РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР

На правах рукописи

ФРАНТОВ АЛЕКСАНДР ЕВГЕНЬЕВИЧ

УДК 622.235

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ КОНВЕРСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Специальность:

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

Диссертация на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва 2017

СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	7
1	Методы оценки эффективности взрывания в геотехнологии и свойства ВВ	15
1.1	Выводы по главе	30
2	Свойства компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов, характеристика месторождений и руд, технологические особенности применения в геотехнологии конверсионных ВВ	32
2.1	Общая характеристика ресурсного потенциала конверсионных ВВ	32
2.1.1	Пороха на основе нитроцеллюлозы	34
2.1.2	Бризантные взрывчатые вещества	38
2.1.3	Физико-технические, химико-технологические свойства порохов и бризантных ВВ, условия безопасного обращения	40
2.2	Горно-геологические условия и горнотехнические особенности разработки месторождений. Технологическая характеристика руд	46
2.3	Отбойка горных пород взрывным способом с применением конверсионных ВВ в геотехнологических процессах	53
2.3.1	Критерии кондиционирования свойств разрывных и метательных зарядов боеприпасов	62
2.4	Обоснование требований по управлению свойствами, методам и параметрам кондиционирования компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов для использования в геотехнологии	64
2.5	Изменение свойств компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов в процессе утилизации	80
2.5.1	Историко-технический анализ утилизации компонентов боеприпасов	80
2.5.2	Программно-целевой подход к утилизации боеприпасов	81
2.5.3	Модифицирование структуры зарядов гранипоров	83
2.5.4	Тренды изменения взрывчатых свойств порохов и гранипоров	86
2.5.5	Тренды изменения взрывчатых свойств бризантных ВВ	91
2.6	Рекомендации по применению конверсионных ВВ для отбойки горных пород на карьерах	93
2.7	Выводы по главе	95
3	Факторы, оказывающие влияние на безопасность применения и устойчивое состояние детонации конверсионных ВВ. Параметры инициирования детонации	98
3.1	Особенности инициирования конверсионных ВВ	99
3.2	Эффективность инициирования практическими видами взрывного импульса	101
3.3	Чувствительность конверсионных ВВ к практическим видам взрывного импульса	106
3.4	Разработка и внедрение технических решений, обеспечивающих исключение низкоскоростных режимов взрывчатого превращения	109

	при инициировании простейших ВВ	
3.5	Действие взрыва шпуровых и скважинных зарядов при различных условиях инициирования	118
3.6	Экспериментальные и промышленные промежуточные детонаторы на основе конверсионных ВВ	121
3.6.1	Обоснование технических решений по использованию баллиститных шашек с осевой полостью в качестве промежуточных детонаторов	123
3.7	Выводы по главе	126
4	Взрывные технологии разрушения горных пород на открытых горных работах с использованием конверсионных ВВ	128
4.1	Влияние параметров зарядов на эффективность взрывания конверсионных ВВ в сложных горнотехнических условиях	137
4.2	Условия безопасного ведения работ при механизированном заряжании скважин конверсионными ВВ на основе нитроцеллюлозы	154
4.3	Технические решения по созданию средств разрушения горных пород на основе бризантных конверсионных ВВ	159
4.3.1	Технология взрывания с использованием кумулятивных зарядов плоской симметрии кольцевой формы	160
4.3.2	Аналитический метод расчета параметров кумулятивных зарядов плоской симметрии кольцевой формы	162
4.3.3	Испытания кумулятивных зарядов кольцевой формы в условиях карьеров строительной индустрии	166
4.4	Технология контурного взрывания с применением конверсионных ВВ	167
4.4.1	Выбор технологических параметров контурного взрывания	172
4.4.2	Исследование параметров контурного взрывания с использованием конверсионных ВВ для обеспечения безопасного состояния откосов уступов при крупномасштабной отбойке	174
4.5	Технология вторичного дробления негабарита на карьерах с использованием конверсионных ВВ	181
4.5.1	Технические средства для вторичного дробления негабарита на основе конверсионных ВВ	182
4.5.2	Кумулятивные заряды для дробления негабарита	185
4.5.3	Аналитический метод расчета параметров кумулятивного заряда плоской симметрии линейной формы	190
4.5.4	Кумулятивные заряды, основанные на принципе «ударного ядра»	198
4.6	Технологические параметры вторичного дробления негабарита на карьерах с использованием конверсионных ВВ	200
4.7	Выводы по главе	203
5	Взрывные технологии на подземных горных работах с использованием конверсионных ВВ	205
5.1	Обоснование параметров взрывания при использовании вертикальных концентрированных зарядов на очистных работах	205
5.1.1	Управление действием взрыва вертикальных концентрированных	205

	зарядов	
5.1.2	Средства инициирования зарядов ВКЗ	207
5.1.3	Управление действием взрыва зарядов ВКЗ при использовании конверсионных ВВ	210
5.1.4	Конструкции зарядов ВКЗ с сосредоточенными инициаторами на основе конверсионных ВВ	213
5.1.5	Конструкции зарядов ВКЗ с линейными инициаторами на основе конверсионных ВВ	214
5.2	Технология взрывных работ в условиях проходческого забоя	215
5.2.1	Особенности взрывной технологии при проведении подземных выработок	217
5.2.2	Инициирование шпуровых и скважинных зарядов на проходческих работах	219
5.2.3	Заряды направленного действия на проходческих работах	221
5.2.4	Технология взрывных работ при использовании конверсионных ВВ на проходке горных выработок	222
5.3	Технология вторичного дробления руды и ликвидации зависаний на подземных горных работах с использованием конверсионных ВВ	231
5.4	Выводы по главе	236
6	Взрывные работы в процессах физико-химической геотехнологии с использованием конверсионных ВВ	239
6.1	Особенности технологических процессов при использовании физико-химических методов	239
6.1.1	Обоснование параметров взрывных работ с использованием конверсионных ВВ при подготовке блоков к подземному выщелачиванию	242
6.2	Технологии взрывной интенсификации подземного выщелачивания и обоснование выбора конверсионных ВВ	244
6.3	Обоснование параметров БВР с использованием бризантных конверсионных ВВ при отработке запасов под дном карьера методом выщелачивания	254
6.4	Выводы по главе	260
7	Оценка факторов воздействия на окружающую среду при применении конверсионных ВВ в геотехнологии	262
7.1	Выводы по главе	266
8	Методические положения по оценке экономической эффективности применения конверсионных ВВ в технологических процессах открытых, подземных горных работ и подземного выщелачивания руд	267
8.1	Выводы по главе	268
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	269
	Список литературы	273
	Приложения	306
А	Анализ методов оценки взрываемости горных пород	306

Б1-Б6	Параметры и показатели взрывных работ при использовании конверсионных ВВ в геотехнологии	311
В	Объемная плотность заряжания Δ при взрывании контурных зарядов	316
Г	Оптимальная линейная плотность заряжания при использовании баллиститных шашек	317
Д	Параметры контурного взрывания при использовании конверсионных ВВ на предприятиях железорудной промышленности	318
Е	Кумулятивные заряды плоской симметрии диаметром 28–85 мм на основе баллиститных шашек	319
Ж	Кумулятивные заряды для дробления негабарита и ликвидации заколов	320
И	Отработка конструкции промежуточного детонатора на основе конверсионных ВВ для проходческих работ	321
К	Коэффициент нагрузки на природную среду веществ, входящих в состав продуктов взрыва НМФ и ПЭКА	329
Л	Методические положения по оценке экономической эффективности применения конверсионных ВВ с учетом особенностей производства взрывных работ в технологических процессах открытых, подземных горных работ и подземного выщелачивания руд	330

Список сокращений

ФТГТ	Физико-техническая геотехнология
ОГР	Открытые горные работы
ПГР	Подземные горные работы
ОПЯ	Открыто-подземный ярус
ФХГТ	Физико-химическая геотехнология
ПВ	Подземное выщелачивание
СПВ	Скважинное подземное выщелачивание
СГД	Скважинная гидродобыча
РМЗ	Редкоземельные металлы
БВР	Буровзрывные работы
ВКЗ	Вертикальный концентрированный заряд
КИШ	Коэффициент использования шпура
СПП	Линия сопротивления по подошве
КВ	Канальная волна
ЛНС	Линия наименьшего сопротивления
СНиП	Строительные нормы и правила
БП	Боеприпасы
ВВ	Взрывчатое вещество
БВВ	Бризантное взрывчатое вещество
ТГ	Сплав тротил-гексоген
ТГА	Сплав тротил-гексоген-алюминий
БРТ, БРТТ	Баллиститное ракетное твердое топливо
МД	Модифицирующая добавка
СРТ, СРТТ	Смесевое ракетное твердое топливо
ТНТ	Тротил
НГЦ	Нитроглицерин
РБП	Ракетные баллиститные пороха
ПП	Пироксилиновый порох
БАП	Баллиститный артиллерийский порох
ЭД	Электродетонатор
КД	Капсюль-детонатор
ДШ	Детонирующий шнур
ПД	Промежуточный детонатор
УДИ	Усилитель детонационного импульса
ККЗ	Кольцевой кумулятивный заряд
ПД	Продукты детонации
ПГО	Пыле-газовое облако
МЭВ	Минимальная энергия воспламенения
ПВ	Продукты взрыва
КБ	Кислородный баланс
АС	Аммиачная селитра
ПАС	Пористая аммиачная селитра
ТУ	Технические условия
ПДК	Предельно-допустимая концентрация

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Основой конверсионных взрывчатых веществ, как объекта применения в геотехнологии, являются компоненты разрывных и метательных зарядов боеприпасов, характеризующиеся спецификой состава, взрывчатых, физико-механических и технологических свойств. Применяемые в разрывных зарядах взрывчатые соединения отличает разнообразие состава – это сложные эфиры азотной кислоты, нитросоединения ароматического ряда, неароматические нитросоединения. Основными представителями метательных ВВ выступают нитроцеллюлозные пороха, которые в зависимости от природы применяемого для желатинизации основного компонента растворителя, разделяются на пироксилиновые, баллиститы, кордиты и др.

Параметрами, характеризующими отличия конверсионных от промышленных ВВ по взрывчатым, физико-химическим свойствам и геометрическим характеристикам, является малый критический диаметр, более высокая скорость детонации, высокая чувствительность к механическим, тепловым и электрическим воздействиям, низкая ударно-волновая чувствительность порохов и топлив, широкий спектр форм и геометрических размеров зарядов, высокая плотность и водостойкость.

Высокая чувствительностью к механическим воздействиям, низкая ударно-волновая чувствительность метательных зарядов обусловливает опасность в обращении при операциях хранения, перевозки, доставки и хранения на местах работ, взрывания горных пород, что ограничивает использование конверсионных ВВ в геотехнологии. Недостатком при использовании твердых ракетных топлив, как компонента конверсионных ВВ, является вредное воздействие на окружающую среду, связанное с токсичностью продуктов взрыва. Завышенная стоимость конверсионных ВВ, не коррелируемая со стоимостью компонентов и издержками при утилизации, является сдерживающим фактором для потребителей.

В процессах открытой физико-технической геотехнологии конверсионные ВВ находят применение при отбойке горных пород, контурном взрывании, вторичном дроблении негабарита. Однако, существующая номенклатура конверсионных ВВ больше отвечает технологии переработки компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов, чем геотехнологическим требованиям при выполнении взрывных работ, связанных с проведением выработок, подземной добычей и подземным выщелачиванием руд.

На многих месторождениях наиболее благоприятные по горно-геологическим и горнотехническим условиям участки находятся в завершающей стадии отработки. Вовлечение в эксплуатацию глубокозалегающих участков месторождений, отработка которых производится в сложных горнотехнических условиях (повышение плотности, прочности, блочности, доли

скальных пород, усложнение гидрогеологических условий). Усложнение условий разработки характеризуется увеличением степени зажима горных пород, возрастанием сопротивлений срезу и трению по подошве уступа.

На подземных горных работах при отработке запасов системами с массовым обрушением не получило должного развития направление управления действием взрыва при отбойке руды при взрывании вертикальных концентрированных зарядов за счет изменения угла падения фронта детонации на границу раздела «заряд ВВ-горная порода». Низкий коэффициент использования шпуров при проходке горных выработок является следствием неполного использования энергии ВВ при образовании врубовой полости. При подготовке запасов к выемке на подземных горных работах это приводит к потере большого объема шпуров при выполнении подготовительно-нарезных работ. При существующей технологии отбойки увеличение глубины разработки, усложнение горно-геологических и горнотехнических условий сопряжено с возрастанием выхода негабарита, что усложняет процесс горных работ. Простои технологического оборудования, связанные с вторичным дроблением руды, ликвидацией зависаний руды в дучках, воронках и рудоспусках ухудшают технико-экономические показатели и относятся к наиболее опасным видам работ.

Комбинированные физико-технические и физико-химические геотехнологии (открыто-подземный ярус - подземное выщелачивание) сочетают технологические процессы и оборудование различных способов и методов добычи - бурения и взрывания, присущих открытому способу разработки, доставки к скважине рабочих агентов и выдачи продуктивных флюидов, присущих выщелачиванию. Имеющиеся технологические решения подготовки блоков в зоне открыто-подземного яруса не обеспечены взрывными методами, учитывающими особенности процесса выщелачивания. Сложные щелочно-кислотные условия, образующиеся при повторном разрушении частично выщелоченных массивов, характеризуются снижением устойчивого распространения детонации.

Учитывая государственное значение проблемы утилизации боеприпасов[1], сопряженной с техногенной и экологической безопасностью общества, вовлечение конверсионных ВВ в хозяйственную деятельность в технологиях разрушения горных пород является актуальной задачей и обусловливает необходимость научного обоснования эффективного и безопасного их применения в геотехнологии.

В диссертационной работе обобщены результаты исследований, выполненных автором в рамках основных направлений фундаментальных исследований Президиума РАН и Отделения наук о Земле РАН, Государственных заданий Федерального агентства научных организаций РФ, Федеральной целевой программы Минобрнауки России "Исследования и разработки по

[1] ФЦП «Промышленная утилизация вооружения и военной техники на 2011-2015 годы и период до 2020 года»

приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 гг.".

Цель работы – научное обоснование и разработка эффективных и безопасных взрывных технологий с применением конверсионных ВВ в физико-технической и физико-химической геотехнологии.

Идея работы. Повышение эффективности взрывной отбойки и обеспечение требуемой безопасности при применении конверсионных ВВ производится на основе управления свойствами компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов с учетом особенностей взрывных работ при извлечении полезных ископаемых из недр.

Руководствуясь изложенной целью и обоснованной идеей работы, поставлены следующие основные **задачи исследований**:

- анализ методов оценки эффективности взрывания и показателей, характеризующих взрывчатые, энергетические, технологические свойства ВВ;

- систематизация особенностей взрывных работ в технологических процессах открытых, подземных горных работ и подземного выщелачивания руд с учетом горно-геологических и горнотехнических условий месторождений;

- обоснование требований по кондиционированию свойств компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов, основанное на учете взрывчатых, физико-механических свойств ВВ и особенностей взрывных работ в физико-технической и физико-химической геотехнологии;

- исследование процесса возбуждения детонации конверсионных ВВ практическими видами взрывного импульса и методов управления действием взрыва шпуровых и скважинных зарядов смесевых ВВ;

- разработка технологий взрывания с применением конверсионных ВВ на карьерах, обеспечивающих увеличение масштабности отбойки в сложных условиях, управление законтурным действием взрыва, повышение эффективности и безопасности работ при дроблении негабарита;

- обоснование технических решений по использованию конверсионных ВВ при подземной разработке месторождений, обеспечивающих управление действием взрыва при отбойке руды, эффективное использование энергии взрыва при проходке выработок, повышение эффективности и безопасности работ при вторичном дроблении и ликвидации заторов при доставке руды;

- разработка способов взрывных работ с применением конверсионных ВВ при отработке запасов методом выщелачивания, при повторном разрушении замагазинированных руд для

интенсификации процесса выщелачивания, для улучшения условий миграции растворов и снижения потерь реагентов и продуктивных растворов;

- обоснование параметров зарядов направленного действия на основе конверсионных взрывчатых веществ для использования во взрывных технологиях разрушения горных пород;

- оценка факторов воздействия на окружающую среду при использовании конверсионных ВВ на взрывных работах в геотехнологии;

- разработка рекомендаций по применению в геотехнологии и методических положений по оценке экономической эффективности использования конверсионных взрывчатых веществ в технологических процессах открытых, подземных горных работ и подземного выщелачивания руд.

В основу методологии проведения исследований при решении поставленных задач положен комплексный подход, включающий:

- анализ результатов исследований в области физики взрыва, управления действием взрыва, оценке эффективности применения ВВ;

- обобщение достижений науки и практики ведения взрывных работ с учетом горно-геологических условий и природных особенностей залегания полезных ископаемых при осуществлении различных способов и методов разработки месторождений;

- методы экспериментальных исследований в полигонных и промышленных условиях свойств конверсионных ВВ, эффективности их применения при инициировании шпуровых и скважинных зарядов, отбойке горных пород;

- аналитические и численные методы при обосновании параметров кумулятивных зарядов плоской симметрии, используемых на взрывных работах в технологических процессах открытых, подземных горных работ и подземного выщелачивания руд;

- факторный анализ и вероятностно-статистические методы при проведении экспериментальных исследований действия взрыва шпуровых и скважинных зарядов промышленных ВВ;

- технико-экономический оценка и опытно-промышленная проверка результатов исследований;

Защищаемые положения:

Первое положение – обоснование методов и параметров кондиционирования свойств конверсионных ВВ (разрывных и метательных зарядов боеприпасов) должно быть основано на учете их взрывчатых и физико-механических свойств и особенностей взрывных работ в соответствии с предложенной систематизацией по видам геотехнологии, способам разработки, методам добычи;

Второе положение – модификация состава, преобразование физического состояния, консистенции и физической структуры, изменение чувствительности к механическим воздействиям и ударной волне, формирование зарядов для применения по назначению обеспечивает необходимые показатели опасности в обращении и устойчивого состояния детонации конверсионных ВВ, соответствующие особенностям взрывных работ в геотехнологии;

Третье положение – изыскание методов применения конверсионных ВВ при взрывном разрушении горных пород на карьерах следует производить за счет управления энергией и действием взрыва на основе установленных связей, позволяющих при разработке сложных забоев определять на основе задаваемых кусочно-линейных функций объемную концентрацию энергии конверсионных ВВ для пород с разной удельной энергоемкостью взрывного разрушения и пространственным положением контактов руд и пород; при контурном взрывании определять объемную плотность заряжания на основе зависимости, выражаемой произведением плотности конверсионных ВВ на разность параболических отношений радиуса заряда и радиуса полости к радиусу скважины;

Четвертое положение – во взрывных технологиях разрушения руд при подземной добыче управление действием и работой взрыва следует производить с учетом установленных зависимостей позволяющих при линейном инициировании вертикальных концентрированных зарядов изменять угол встречи ударной волны со стенкой скважины за счет выбора детонационных характеристик простейших и конверсионных ВВ; при проведении горных выработок определять оптимальную величину линии наименьшего сопротивления на основе зависимости, выражаемой произведением полинома третьей степени на сомножитель, выражаемый кубическим корнем из соотношения произведений плотности ВВ на квадрат диаметр заряда для конверсионных и штатных ВВ;

Пятое положение – во взрывных технологиях разрушения руд при подземном выщелачивании интенсификацию процесса обеспечивает при повторном дроблении замагазинированной руды способность конверсионных ВВ к сохранению взрывчатых свойств в сложных щелочно-кислотных условиях.

Обоснованность и достоверность научных положений выводов и рекомендаций подтверждается:

использованием экспериментальных методов исследований и измерительной аппаратуры, позволяющих получить достоверную информацию о параметрах быстропротекающих процессов;

достаточным объемом экспериментальных исследований, удовлетворительной сходимостью опытных данных с результатами теоретических расчетов, повторяемостью и сопоставимостью их с ранее полученными результатами;

широкой апробацией конверсионных ВВ в технологии взрывания на открытых и подземных горных работах, подтверждением выводов и рекомендаций при проведении промышленных экспериментов.

Научная новизна работы:

1. Дана систематизация особенностей взрывных работ, основанная на признаках, характеризующих вид геотехнологии, способ разработки месторождений, метод добычи, и позволяющая обосновать требования по кондиционированию свойств компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов в соответствии с видом выполняемых взрывных работ в физико-технической и физико-химической геотехнологии;

2. Впервые определено технологическое содержание понятия «кондиционирование свойств конверсионных ВВ», под которым понимается совокупность процессов механического или физического воздействия на разрывные и метательные заряды боеприпасов с целью придания им свойств, обеспечивающих эффективное и безопасное применение в технологических процессах открытых, подземных горных работ и подземного выщелачивания руд;

3. Установлены зависимости параметров взрывных работ от свойств массива горных пород и характеристик конверсионных ВВ, обеспечивающие управление энергией, работой и действием взрыва при отбойке пород, контурном взрывании и проведении выработок, а также устойчивое состояние детонации в сложных щелочно-кислотных условиях при подземном выщелачивании;

4. Разработаны инженерные методики определения рациональных параметров взрывания с использованием конверсионных ВВ при отработке сложных забоев разнотипных горных пород, отбойке пород с сокращением длины перебура скважин, контурном взрывании, взрывании вертикальных концентрированных зарядов, при проведении подземных выработок, при взрывной интенсификации процесса выщелачивания руд;

5. Получены расчетные зависимости активной части кумулятивных зарядов плоской симметрии линейной и кольцевой формы от формы и размеров кумулятивной выемки;

6. Предложена методика оценки экономической эффективности применения конверсионных ВВ, основанная на учете особенностей производства взрывных работ в технологических процессах открытых, подземных горных работ и подземного выщелачивания руд.

Практическая ценность:

• Разработаны рекомендации по применению конверсионных ВВ на открытых горных работах, базирующиеся на учете условий размещения зарядов, технологических свойств горных пород (крепости), свойств ВВ, в качестве основного классификационного признака используется взрывная эффективность, определяемая показателем удельной мощности ВВ;

• Реализованы технические решения по инициированию зарядов, исключающие или снижающие до минимума возникновение низкоскоростных режимов взрывчатого превращения, с передачей инициирующего импульса промежуточному детонатору детонирующим шнуром низкой энергии с усилителем детонационного импульса;

• На основе разработанного расчетного метода определения оптимальных параметров зарядов с осевой полостью обоснованы конструкции зарядов конверсионных ВВ и параметры их взрывания, обеспечивающие сокращение перебура взрывных скважин за счет повышения интенсивности взрывного воздействия на подошвенную часть блока;

• Предложены конструкции зарядов конверсионных ВВ для контурного взрывания, в которых обеспечение оптимальной объемной плотности заряжания производится за счет изменения размеров радиальных зазоров и осевых полостей;

• Обоснованы конструкции вертикальных концентрированных зарядов, обеспечивающие управление параметрами волны напряжений путем изменения угла наклона фронта детонационной волны на границе раздела «заряд - среда» за счет выбора смесевых малоплотных промышленных и конверсионных ВВ;

• Разработаны технологические схемы взрывных работ при дроблении негабарита в процессе выпуска и доставки руды: в дучках, при вибровыпуске, в выработках скреперования, при ликвадации зависаний в рудоспусках с применением зарядов конверсионных взрывчатых веществ специальных конструкций;

• Предложены технологические схемы взрывных работ для интенсификации выщелачивания в зоне открыто-подземного яруса, при создании противофильтрационных завес для предотвращения потерь выщелачивающих и продуктивных растворов, для создания горизонтальных распределительных щелей при распределении выщелачивающих растворов, для изменения характеристик продуктивных пластов;

• Разработаны рекомендации по применению конверсионных взрывчатых веществ в процессах и операциях взрывных работ: на открытых горных работах, при контурном взрывании, при инициировании шпуровых и скважинных зарядов, при вторичном дроблении горных пород, при инициировании вертикальных концентрированных зарядов, при проходке горных выработок. Рекомендации по применению конверсионных ВВ на открытых горных работах, базирующиеся на учете условий размещения зарядов, технологических свойств горных

пород (крепости), свойств ВВ, в качестве основного классификационного признака используется взрывная эффективность, определяемая показателем удельной мощности ВВ.

Реализация выводов и рекомендаций работы. Опытно-промышленную апробацию конверсионные ВВ прошли на предприятиях цветной и черной металлургии, горно-химического сырья, предприятиях по добыче строительных материалов. Результаты исследований используются НПП «Самаравзрывтехнология», НПЦ «Экоресурсы», ОАО «Евразруда», ОАО «Союзвзрывпром» при проектировании взрывных работ и создании эффективных конструкций зарядов.

Апробация работы. Основные положения диссертации в период выполнения докладывались на Международной конференции “Взрывное дело-99” (Москва, МГГУ, 1999), Международной научной конференции «Физические проблемы разрушения горных пород» (ИПКОН РАН, 2000–2010), семинарах научного симпозиума “Неделя горняка” (Москва, МГГУ, 2003–2015), Международной научно-технической конференции «Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов» (Красноармейск, КНИИМ, 2000–2010), Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы утилизации ракет и боеприпасов» (Красноармейск, КНИИМ, 2011–2014), Международной научно-практической конференции «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых» (Москва, РГГРУ, 2004–2006), на Международной научной школе им. академика С.А. Христиановича (Алушта, 2008–2014).

Публикации. Основные научные результаты по теме диссертации изложены в 72 печатных работах, в том числе в одной монографии, в 34 работах, опубликованных изданиями, рекомендованными ВАК, в 17 авторских свидетельствах и патентах, а также в 20 работах, опубликованных прочими изданиями.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 8 глав, заключения и содержит 305 стр. машинописного текста, включая 105 рис., 66 таблиц и список использованной литературы из 472 наименований.

Автор выражает искреннюю признательность и глубокую благодарность научному консультанту, проф. докт. техн. наук С.Д. Викторову, докт. техн. наук В.М. Закалинскому, сотрудникам отдела Проблем геомеханики и разрушения горных пород ИПКОН РАН, коллегам по совместной работе: докт. техн. наук Ю.Г Щукину, канд. техн. наук Н.Г. Демченко, канд. техн. наук В.Н. Анисимову , а также сотрудникам организаций, сотрудничавших с автором в процессе проведения работ - МГГУ, КНИИМ, НИИПМ, ОАО «Союзвзрывпром», НПП «Самаравзрывтехнология», «НТЦ «Росвзрывбезопасность», НПЦ «Экоресурсы».

.

1. Методы оценки эффективности взрывания в геотехнологии и свойства ВВ

К полезным формам работы взрыва в геотехнологии относится отрыв и дробление горной породы, ее отброс, образование навала взорванной горной массы, направленное изменение физического состояния горных пород. В основу оценки эффективности взрывания могут быть положены критерии, устанавливающие взаимосвязи между свойствами, характеризующими показатели эффективности взрывания применительно к решаемым задачам, и свойствами, характеризующими взрывчатые свойства ВВ.

Определение бризантных свойств ВВ проводят обжатием свинцовых столбиков (проба Гесса). Оценку фугасных свойств (работоспособности) проводят методом Трауцля или методом баллистической мортиры. Бризантность и работоспособность характеризует взрывчатые свойства ВВ.

В основополагающей работе проф. М.М. Протодъяконова [273] критерием, обосновывающим выбор ВВ, служит его относительная сила. Значения данного критерия меняются в пределах от 0,3 до 1,0. Для оценки разрушающей способности ВВ в среде используют сопротивление породы взрыву, пропорциональное пределу прочности породы на сжатие. В работе Г. Лареса [208] использован коэффициент работоспособности ВВ, определяемый отношением показателя работоспособности эталонного ВВ по пробе Трауцля (480 см^3) к работоспособности ВВ с учетом множителя, равного обратной плотности заряжания ВВ.

Предпринимали попытки придать физический смысл пробе Гесса с учетом зависимости от свойств ВВ через кинетическую энергию продуктов детонации $B = mD/2$, где m - масса продуктов взрыва; D - скорость детонации ВВ [461], мощность ВВ [177; 465] $B = A_{max} \cdot \Delta/\tau$, где A_{max} - теоретическая работа взрыва; Δ - плотность ВВ; τ - время взрыва. При этом ошибочно полагалось, что бризантный эффект определяет скорость детонации, а не скорость разлета продуктов детонации. Использование теплоты взрыва $Q_в$ вместо теоретической работы взрыва A_{max} с введением дополнительного множителя пропорционального величине обратной длины заряда l [315], приводило к замене времени совершения работы на время распространения детонации $B = Q_v \cdot \Delta/l$. Высказывали предложения использования показателя работоспособности ВВ по Трауцлю [116] с введением поправки к этой пробе на зависимость скорости детонации от диаметра заряда.

Для оценки разрушающей способности ВВ Суханов А.Ф. [341] использовал предположение, что «величина энергии взрыва характеризуется скоростью детонации V_1, а

степень использования этой энергии – поверхностью соприкосновения заряда со взрываемой средой S_1» был предложен критерий разрушающей способности P, равный произведению $V_1 \cdot S_1$.

Для разных ВВ использовали переходной коэффициент $q_x = \frac{q_a \cdot V_a}{V_x}$, равный произведению удельного расхода аммонита (q_a) на соотношение скоростей детонации аммонита 6ЖВ (V_a) и оцениваемого ВВ (V_x). Неудовлетворительность рассматриваемого критерия была показана А.Ф. Беляевым в работе [60] на основе анализа действия сплошного заряда и заряда с инертной сердцевиной.

Взрывную эффективность М.А.Кук [193] оценивает на основе характеристик ВВ: плотности заряда (ρ_o), работоспособности по Трауцлю (A), давления детонационной волны (P), вводя для определения количества ВВ характеристическое произведение $\rho_o \cdot A$ и используя параметр P для определения типа ВВ наиболее пригодного для взрывания данной породы.

Под руководством акад. Н.В. Мельникова проведены работы по оценке свойств ВВ, определяющих характер отбойки и дробления горных пород, в условиях угольных шахт, рудников черных и цветных металлов, горно-химического сырья [51; 297]. При отбойке горных пород наиболее существенными формами работы взрыва является отрыв и дробление, метание, образование навала взорванной горной массы. Сопоставление исследуемых ВВ: бризантности по Гессу, работоспособности по Трауцлю, скорости детонации, - не выявило четкой взаимосвязи с коэффициентом использования шпуров (КИШ). Малые и средние значения бризантности и скорости детонации давали значительный разброс величин КИШ, высокие их значения приводили к снижению среднего значения КИШ. Исследования на известняковом карьере выявили корреляционную связь между показателями удельной теплоты взрыва и объема воронки и величиной суммарной вновь образованной поверхности раздробленной взрывом породы. Корреляции между объемом воронки и показателем бризантности по Гессу не установлено.

При испытаниях в разных условиях применения ВВ: на песчано-цементных блоках, песчано-цементных и базальтовых кубиках исследования А.Ф. Беляева [61] показали, что величина скорости детонации не определяет непосредственно величину работы при осуществлении таких форм работы общего действия взрыва, как разрушение, выброс, дробление значительных объемов среды, расширение полости в среде. При этом следует понимать, что между скоростью детонации и удельной теплотой имеется функциональная зависимость, выражаемая пропорциональностью скорости детонации и удельной энергии в степени одна вторая.

Влияние скорости детонации на результативность взрыва в промышленных условиях при взрывании в мягких грунтах (мореная глина), полускальных породах (мел) и скальных

породах (оливиновый пироксинит) исследовал Л.И. Барон и др. [51; 112; 209]. В мягких и полускальных породах в качестве показателя эффективности взрывания принимали коэффициент простреливания шпура при образовании котлообразного расширения, радиус действия заряда рыхления в глубину, радиус действия зарядов выброса в глубину и показатель действия взрыва заряда на выброс. Увеличение скорости детонации ВВ приводит:

-при взрывании в меле к возрастанию коэффициента простреливания шпура при образовании котлообразного расширения на 41,3%, показателя простреливаемости в котловом расширении в вершине воронки зарядов рыхления на 31,7%, зарядов выброса на 38,4%, радиуса действия заряда рыхления в глубину на 9,5%;

-при взрывании в мягких грунтах и полускальных породах (глина и мел) к возрастанию показателя действия взрыва заряда на выброс соответственно на 7% и 5%, радиуса действия взрыва в глубину заряда рыхления соответственно на 8,7% и 9,5%.

В скальных породах для оценки эффективности взрывания использовали гранулометрический состав отбитой горной массы в проходческом забое. В крепких скальных породах увеличение скорости детонации привело к ухудшению степени дробления и увеличению диаметра среднего куска с 176, 8 мм до 201,2 мм.

Работоспособность ВВ А.Ф. Беляев [58] определил, как работу, совершаемую продуктами детонации при изоэнтропическом расширении:

$$A = E^* \left[1 - \left(\frac{V_н}{V_к} \right)^{\gamma - 1} \right] = E^* \left[1 - \left(\frac{P_н}{P_к} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right]$$

, где *А*- работа совершаемая продуктами детонации при изоэнтропическом расширении; $V_н$ и $P_н$ - объем и давление в начальном состоянии; $V_к$ и $P_к$ - объем и давление в конечном состоянии; E^* - теплота взрыва. Относительная работоспособность сравниваемых ВВ определяется: теплотой взрыва E^*, показателем изэнтропы γ продуктов и прочностью породы, от которой зависит конечное давление $P_к$. При этом Л.Г. Болховитинов [65] показывал, что влияние показателя изэнтропы γ продуктов взрыва при определении «относительной работоспособности двух каких-либо сравниваемых веществ от прочности среды не зависит, но так как показатель γ зависит от состава продуктов, который для типичных ВВ практически одинаков, то единственной существенной характеристикой ВВ становится его теплота взрыва E^*». Однако, опытные данные свидетельствуют о влиянии свойств породы и условий взрывания на работоспособность ВВ. На основе рассмотрения термодинамической неравновесности взрывного процесса получена оценка влияния свойств пород на эффективность взрыва: $V_k - V_0 \approx \frac{E_н}{P_j} \left(1 + \frac{\rho_0 D}{\rho_n c_n} \right)$, где $E_н$ - начальная энергия продуктов детонации; P_j - начальное давление продуктов детонации; $\rho_п$ и $c_п$ - плотность породы и скорость

звука в ней; ρ_0 и D - плотность ВВ и скорость детонации. Эффективность взрыва прямо пропорциональна $E_н$, обратно пропорциональна P_j и максимальна при некотором оптимальном значении P_j. На практике изменение P_j возможно при использовании ВВ, в которых за плоскостью Чепмена-Жуге протекают экзотермические реакции с большим тепловым эффектом; при линейном инициировании зарядов от детонирующего шнура с более высокой скоростью детонации; при использовании зарядов с воздушными промежутками.

Для определения свойств ВВ в производственных условиях А.Н. Ханукаев [434] использовал показатель удельного расхода ВВ при заданной степени дробления. Оценка по данной методике требует идентичности условий (горнотехнических и параметров буровзрывных работ) ведения работ, что существенно увеличивает стоимость испытаний в производственных условиях.

Влияние детонационных характеристик ВВ на эффективность его применения С.Д. Викторов [83] оценивает с использованием методов математической статистики. Расчеты коэффициентов парной корреляции между удельной теплотой взрыва, полной идеальной работой, объемом газов, продуктов детонации, скоростью детонации, квадратом скорости детонации на работоспособность в свинцовой бомбе и бризантность показали, что наиболее тесная связь наблюдается между работоспособностью, показателями удельной теплоты взрыва и полной идеальной работой взрыва. Теснота связи между работоспособностью и объемом газообразных продуктов взрыва также весьма высока. Показатели бризантности тесно коррелируют с динамическими параметрами (скоростью детонации и квадратом ее скорости), а корреляция с полной идеальной работой взрыва лишь превосходит критическое значение коэффициента корреляции для рассматриваемой выборки (0,3365).

При оценке взрывной эффективности ВВ в конкретных условиях применения используют взрывчатые характеристики, определяемые в лабораторных условиях, с установлением количественной оценки тесноты связи между показателями. Количественная оценка тесноты связи между теплотой взрыва и работоспособностью при разных формах работы, по мнению А.Е. Азарковича [6; 7], показала их равнозначность (диапазон колебаний 10-35%). Наблюдаемые колебания объясняются различием проявления форм работы взрыва в конкретных условиях применения - при взрывании на выброс и дроблении массива горных пород.

Оценка эффективности ВВ возможна на основе модели расчетов, учитывающих гидродинамическую составляющую [52], определяющую влияние диаметра заряда на скорость детонации, и термодинамическую составляющую, определяющую полноту реагирования продуктов детонации в плоскости Чепмена-Жуге [249]. Предполагаемая модель расчетов позволяет введение таких факторов как неполное реагирование в точке Чепмена-Жуге, с

условной разбивкой продуктов детонации химические подсистемы, внутри которых устанавливается свое химическое равновесие. Это позволяет получить теоретические оценки, хорошо коррелирующие с экспериментальными данными.

Учет процессов, происходящих в зарядной полости после детонации ВВ, как показал В.Н. Родионов [289], позволяет оценить работоспособность ВВ. В скважине или шпуре происходит выравнивание и установление некоторого среднего давления, соответствующего половине детонационного. Под воздействием продуктов детонации зарядная полость расширяется и при этом совершается работа над окружающим полость пространством. Произведенная работа выражается в виде образования и распространения волн сжатия, в виде дробления среды и последующего выброса раздробленной массы, в виде диссипативных потерь, связанных с нагреванием массива и т.д. Вся эта работа может быть оценена, если нам известны величина начального объема полости $V_н$ до взрыва, величина объема полости после взрыва $V_к$ и закон связывающий давление в полости P с величиной ее объема V. Изменение объема полости при цилиндрической симметрии заряда определяется зависимостями [83, 289]: $\frac{V_н}{V_*} = \left(\frac{d_н}{d_к}\right)^2$, $\frac{V_*}{V_k} = \left(\frac{d_*}{d_k}\right)^2$, где $dн$ и $d_к$ - начальный и конечный диаметры полости. Величина d* соответствует удельному объему стыковки адиабат $d_* = d_н\left(\frac{V_н}{V_*}\right)^{1/2}$. Результаты расчета позволяют сопоставить величину работы расширения продуктов детонации в зарядной полости при камуфлетном взрывании с общей энергией заряда.

При рассмотрении вопроса образования полости при взрыве академиком Казахской АН Б.Н. Ракишевым [280-282] использован близкий подход. Он интегрально включает все элементы развития взрыва: образование ударной волны и разрушение среды на контакте с зарядом, осесиммитричное расширение зарядной полости под действием продуктов детонации (ПД) на этапе безволнового расширения, достижение предельного объема полости под действием ПД в процессе снижения от среднего давления продуктов детонации $P_н$ до прочностной характеристики среды в условиях взрывного нагружения Р0. Предельный размер образуемой полости $r_{пр} = \left(\frac{P_н}{P_0}\right)^{1/4}$ может являться критерием эффективности ВВ так как включает характеристики ВВ $P_H = \frac{\rho_{ВВ} D_O^2}{8}$ и среды $P_0 = \sigma_{сж}\left(\rho_0 C^2 / \sigma_{сж}\right)^{1/4}$, где $\rho_{ВВ}$ и ρ_0 - плотность ВВ и разрушаемой породы; С - скорость продольной волны в породе; $\sigma сж$ - предел прочности породы на сжатие; D_0 - скорость детонации ВВ.

В основу оценки эффективности применения ВВ при изменении фильтрационных свойств продуктивных пластов, предварительного ослабления горного массива могут быть положены параметры и показатели взрывных работ (расстояние между зарядами *a* и *b*, удельный расход ВВ и бурения) при подземном камуфлетном взрыве, образующим зону разрушения с отличительными от естественной среды структурными свойствами. Исследованиями академика В.В. Адушкина и др. [2; 4; 162; 227; 228; 233; 394] показано, что характер действия взрыва (размер камуфлетной полости, радиусы зон дробления и трещинообразования, трещинная пористость и проницаемости в ближней зоне) и зависит от энергетических параметров заряда и свойств разрушаемого массива.

Критерием выбора ВВ в соответствии с акустическими свойствами разрушаемой взрывом среды служит импеданс ВВ, определяемый произведением плотности $\rho_{вв}$ на скорость детонации $D_{вв}$. Для передачи максимального количества энергии взрыва разрушаемой среде необходимо выполнение условия: $\frac{\rho_{ВВ} D}{\rho_n C_p} \to 1$, где ρ_n - плотность разрушаемой среды; C_P - скорость продольной волны в разрушаемой среде, характеризующая степень ее нарушенности. Величина скорости детонации определяет темп силового воздействия взрыва. Исследованиям А.Н.Ханукаева [435] показано, что акустическая жесткость пород является фактором, коррелирующим с переходом энергии ВВ в волну напряжений и коэффициентом простреливания. Для наружных зарядов основным фактором является импульс взрыва, сообщаемый разрушаемому объекту. При этом определяющим, как показано [462; 470], является соответствие акустического импеденса ВВ и разрушаемой горной породы.

Способность ВВ к разрушению породы шведские ученые [207; 459] определяют по способности создавать котловую полость в среде, установив примерную ее пропорциональность от энергии взрыва. Относительную разрушающую способность характеризует не только энергия взрыва, но также газовыделение. Учитывая более сильное влияние на относительную разрушающую способность энерговыделения, чем газовыделения, зависимость для сравнения разных ВВ имеет вид: $S = \frac{5Q}{6Q_э} + \frac{1V}{6V_э}$, где Q и $Q_э$; V и $V_э$ - теплота взрыва и объем газов оцениваемого и эталонного ВВ соответственно. Значения данных параметров могут быть получены разными методами. Работу взрыва при расширении полости в среде в работе [318] характеризуют, выделяя фугасное действие взрыва и связывая его с характеристическим произведением Бертло $Q \cdot V$, где Q - удельная теплота взрыва, V - удельный объем продуктов взрыва.

На основе обобщения большого количества опытных данных В.М. Кузнецовым [190] получена единая зависимость относительной работоспособности ВВ, выражаемая

зависимостью: $A_{отн} = 1{,}6 \cdot Q_{ВВ}^{0,4} \cdot V_0^{0,6}$, где $Q_{ВВ}$ - теплота взрыва и V_0 - объем газообразных продуктов взрыва. Расчет относительной работоспособности f А.Н. Афанасенков [31; 32] предлагает производить на основе теплоты взрыва QBB и объема газообразных продуктов взрыва V_0 предложен в работах: $f = \left(\frac{Q_{ВВ}}{Q_{ЭТ}}\right)^{0,75} \left(\frac{V_0}{V_{ЭТ}}\right)^{0,25}$, где $Q_{ВВ}$ и $Q_{ЭТ}$ - теплота взрыва; V_0 и $V_{ЭТ}$ - объем газообразных продуктов взрыва. Сравнивают ВВ по отношению объемов полостей в свинцовой бомбе по формуле $\Delta V_{ВВ} = f \cdot \Delta V_{ЭТ}$, где $\Delta V_{ЭТ}$ и $\Delta V_{ВВ}$ - объемы полостей в свинцовой бомбе эталонного и испытуемого ВВ. Относительная работоспособность f показывает хорошее согласие для ВВ, «которые детонируют в зарядах диаметром d≥40 мм со скоростью D>2,5 км/с». Работоспособность селективно детонирующих ВВ оценивают с использованием математических моделей [74] по расчетной удельной теплоте взрыва Q, отношению удельного объема газообразных продуктов взрыва к удельной теплоте взрыва $\alpha=V/Q$, и показателю $\beta = D\sqrt{Q_э} \Big/ D_э \sqrt{Q}$. Соотношения дают предварительную оценку эффективности ВВ по Q, удельному объему газов V и измеренной скорости детонации ВВ.

Оценку эффективности ВВ Р. Коул [186] проводит на основе измерений смещения центра «купола брызг» при взрыве приповерхностного заряда ВВ. При подводном взрыве измеряют параметры ударной волны и характер пульсации газового пузыря зарядов, по которым рассчитывают выделившуюся при взрыве энергию, характер ее распределения между ударной волной и поршневым действием продуктов взрыва.

На открытых горных работах эффективность ВВ оценивают на основе соотношений между величиной энергии заряда и скоростью движения свободной поверхности уступа, как характеристики кинетической энергии движения массива, что показано в работах В.М. Кузнецова и др. [188; 189; 211]. Определение поля скоростей движения среды при взрывном нагружении проводят в гидродинамическом приближении для случая цилиндрической симметрии. Скорость в некоторой точке пространства вычисляют по формуле: $V = A\int_0^1 \frac{R}{R^3} d\xi$, где R - расстояние от заряда до рассматриваемой точки пространства; A - мощность источника, связанная с общей энергией заряда E соотношением: $A = \sqrt{\frac{2 r_0 E_k}{\pi \rho_0}}$, где r_0 - радиус источника заряда; E_k - кинетическая энергия движения массива; ρ_0 - плотность среды. После интегрирования подынтегральное выражение принимает вид: $\bar{V} = \frac{A}{R_0 R_1 + \bar{R}_0 \bar{R}_1}\left(\frac{\bar{R}_0}{R_0} + \frac{\bar{R}_1}{R_1}\right)$, здесь

$\left(\overline{R}_0;\overline{R}_1\right)$ расстояние от нижней и верхней точек заряда до рассматриваемой точки пространства, $R_0=\left|\overline{R}_0\right|$, $R_1=\left|\overline{R}_1\right|$. Формула для скорости $\overline{V}$ получена для заряда, действующего в бесконечном пространстве. Наличие свободной поверхности учитывается наложением на поле скоростей заряда поле от мнимого источника, расположенного по другую сторону от свободной поверхности, у которого величина *A* отрицательна: $\overline{V}=\mathrm{A}\left[\frac{\frac{\overline{R}_0}{R_0}+\frac{\overline{R}_1}{R_1}}{R_0\,R_1+\overline{R}_0\,\overline{R}_1}-\frac{\frac{\overline{R}'_0}{R'_0}+\frac{\overline{R}'_1}{R_1}}{R'_0\,R'_1+\overline{R}'_0\,\overline{R}'_1}\right]$, где $\overline{R}'_0$ и $\overline{R}'_1$ - векторы расстояния от начала и от конца мнимого заряда до рассматриваемой точки пространства. При известной скорости движения поверхности над зарядом решение в гидродинамическом приближении относительно E_k определяет кинетическую энергию движения среды [83]. Более точное решение задачи должно включать потенциал с граничными условиями равенства нулю давления на всей поверхности уступа, что значительно усложняет расчет.

Использование металлов (*Al, Mg*) как горючего в составе ВВ существенно повышают общее действие взрыва [52]. Для оценки работоспособности металлизованных ВВ С.Д. Викторовым использовано решение, позволяющее оценить вклад нагретых в детонационной волне до нескольких тысяч градусов твердых частиц, которые при расширении продуктов детонации в работе не участвуют. Термодинамические потери энергии на нагревание твердых частиц в газе зависят как от соотношения теплоемкости газа и частиц, так и от соотношения характеристических времен процесса расширения газа и процесса теплообмена твердых частиц с окружающим газом. Введя величину τ, имеющую смысл характерного времени теплообмена твердых частиц с газом, и характерное время расширения системы газ - твердые частицы τ_*, связанное со скоростью изменения объема газа получено аналитическое решение [83]. При теплоемкости твердых частиц c_2 много меньше теплоемкости газа c_1, т.е. когда твердых частиц в газе мало, процесс соответствует идеальному расширению без термодинамических потерь. Когда процесс расширения идет много быстрее процесса теплообмена газа с твердыми частицами $\tau_* << \tau$ возникают большие потери в твердых частицах. В другом предельном случае, когда $\tau_* >> \tau$, т.е. процесс расширения системы твердые частицы – газ идет очень медленно по сравнению с теплообменом газа с частицами, потерь в энергии твердых частиц нет. Работоспособность газа с частицами в этом случае больше, чем работоспособность чистого газа. Характерное время теплообмена твердых частиц с газом постоянно и не зависит от величины заряда, а характерное время расширения продуктов детонации, напротив, зависит от величины взрываемого заряда. Это показывает, что при использовании зарядов увеличенного

диаметра следует ожидать снижение термодинамических потерь при взрывании металлизованных ВВ.

Форма развала горных пород при взрыве, его ширина и высота зависят от многочисленных факторов, в числе которых свойства пород и параметры взрывных работ. Это позволяет использовать характеристики развала, например, ширину как параметр оценки сравнительной эффективности ВВ [155; 222; 243; 279; 281; 286; 445]. Нас интересуют зависимости, обладающие наибольшей информативностью без использования эмпирических коэффициентов и величин, связанных с расположением зарядов, условиями взрывания. К таким зависимостям относится формула предложенная академиком Н.В. Мельниковым [222], включающая в себя удельный расход ВВ: $\mathrm{B} = 15 q_{\mathrm{т}} \sqrt{HW}$, где H - высота уступа; W - линия сопротивления по подошве уступа; q_T - удельный расход ВВ на 1 т взорванной породы.

Для определения ориентировочной ширины развала Е.Ф. Шешко [445] рекомендуются зависимости:

- при однорядном мгновенном взрывании $B = k_в k_\gamma \sqrt{q} H$, где: q_n - проектный удельный расход ВВ; $k_в$ - коэффициент, характеризующий взрываемость породы ($k_в$=3–3,5; 2,5–3; 2–2,5 равен соответственно для легко-, средне- и трудновзрываемых пород); k_γ–коэффициент, учитывающий угол наклона скважин к горизонту (β) и определяемый из выражения $k_\gamma = 1 + 0.5 Sin\alpha \left(\pi/2 - \beta \right)$;

-при многорядном короткозамедленном взрывании без подпорной стенки максимальная ширина навала определяется по формуле $B_м = K_з B + (n-1)\mathrm{a_p}$, где $K_З$- коэффициент, учитывающий влияние интервалов замедления; n - число взрываемых зарядов; a_p - расстояние между рядами. Величина $K_З$ изменяется от 1 - при мгновенном взрывании, до 0,8 - при замедлении 0,75 мс. Изменение удельного расхода ВВ связывает изменение величины B по степенной зависимости с показателем степени 1/2, т.е. удельный расход ВВ существенно влияет на величину этого параметра.

На основании исследований в производственных условиях П.Э Зурков [155] получил зависимость для ширины развала: $B = k_0 \frac{\sqrt{E} \cdot H \cdot Q}{\cdot W \cdot \sqrt{a} \cdot l_2}$, где E - переводной коэффициент работоспособности ВВ (E - равен частному от деления работоспособности применяемого ВВ по Трауцлю на работоспособность аммонита № 6ЖВ); Q - вес заряда в скважине; k_0 - коэффициент относительного отброса, зависящий от взрываемости пород (k_0 равен соответственно 1,0; 1,1; 1,2 для трудно-, средне- и легковзрываемых пород); a - расстояние между скважинами в ряду; l_2 - длина незаряжаемой ВВ части скважины. В этой зависимости выявлено весьма сильное

удельного расхода ВВ на ширину навала. Имеющиеся в литературных источниках формулы для определения ширины развала [243; 286 и др.] основаны на геометрическом преобразовании сечения заходки в сечении развала и нами не рассматривались.

На основе динамических характеристик взрывчатых веществ В.П. Тарасенко [351-353] предложил критерий эффективности ВВ с учетом акустических и прочностных свойств массива. Для трудновзрываемых пород с большой скоростью распространения упругих волн (C_p) критерий показывает низкую эффективность для ВВ с невысокой скоростью детонации и пониженной работоспособностью. При соотношении $C_p/D_{ВВ}>1$ в ближней зоне взрыва происходит переизмельчение породы, дробление горной массы неравномерное. Практические данные хорошо согласуется для соотношения $C_P/D_{ВВ} \cong 0{,}8 \div 1$. При использовании промышленных ВВ рассматриваемый метод управления действием взрыва трудно выполним для большинства горных пород.

При определении эффективности применения ВВ Е.Г. Баранов [42; 43; 49] и другие авторы [288] указывают на необходимость учета не только скорости детонации ВВ, но также плотности заряда, давления детонации, объема газов и потенциальной энергии ВВ. В работе [43] отмечается, что свойства ВВ должны соответствовать свойствам взрываемой среды. Давление, развиваемое при взрыве ВВ, является функцией от плотности и скорости детонации ВВ. Энергия, выделяющаяся при взрыве, в большей степени зависит от скорости детонации, чем от плотности заряда [55-57].

При выборе ВВ для рациональной степени дробления горной массы В.А. Белин [57] предложил критерий эффективности (Е), связывающий свойства ВВ и разрушаемых пород: $E = \frac{S^2}{S^2+1} \cdot \varphi(Q) + \frac{1}{S^2+1} \cdot \psi(V)$, где S - параметр, учитывающий сопротивляемость пород действию взрыва; $\varphi(Q) = \frac{Q_{эт}\rho_{эт}D_{эт}}{Q_n\rho_nD_n}$ - параметр, учитывающий энергонасыщенность ВВ; $\psi(V) = \frac{P_{эт}\rho_{эт}^{2,5}}{P_n\rho_n^{2,5}}$ - параметр, учитывающий удельное газообразование; $Q_{эт}$, Q_u - теплота взрыва эталонного и испытуемого ВВ; $\rho_{эт}$, ρ_u - плотность заряжания эталонного и испытуемого ВВ; $D_{эт}$, D_u - скорость детонации эталонного и испытуемого ВВ; $P_{эт}$, P_u - давление продуктов детонации в зарядной полости при взрыве эталонного и испытуемого ВВ . Как показывает анализ, для одинаковых пород более предпочтительным является ВВ с более высокими энергетическими и детонационными характеристиками.

Эффективность применения промышленных ВВ Л.В. Дубнов, Г.П. Демидюк [127-129; 221; 223] оценивают на основе энергетического критерия с учетом стоимости ВВ, затрат на

бурение и заряжание исходя из выражения $A = \frac{1}{Э} = \frac{b}{Q} + \frac{C}{Q\rho_з K} + \frac{d}{Q\rho_з}$, где b - стоимость единицы веса ВВ; Q - теплота взрывчатого превращения ВВ, c - стоимость бурения; Δ - плотность заряжания зарядной полости; K - безразмерный коэффициент заряжания (при равенстве диаметра заряда ВВ и зарядной полости выражаемый отношением длины заряда к его длине); d - стоимость заряжания зарядной полости. Целесообразность замены эталонного ВВ новым определяется с учетом получаемой концентрации энергии в единице объема зарядной полости: $K_э = 1 - C_{БВ_н} / C_{БВ_э}$ и $C_{БВ} = C_{Мкал} + C_Б / V_з \cdot 1/A_0 \cdot l_ш / l_з$, где $K_э$ - коэффициент экономичности нового ВВ; $C_{Мкал}$ - стоимость взрывчатых материалов и заряжания , отнесенные к 1 Мкал энергии ВВ; $C_{БВ}$ - стоимость бурения и взрывания , отнесенные к 1 Мкал энергии ВВ и подсчитанные раздельно нового и эталонного ВВ; $C_Б$ - стоимость бурения 1 м зарядной полости; $V_З$ - емкость 1 м зарядной полости; A_0 - объемная концентрация энергии.

При оценке экономической и технической эффективности ВВ определение энергетического критерия Б.Я Светлов [299] производит по результативности взрыва с учетом скорости и давления детонации. При сравнении используют параметр - сила детонации, равный произведению давления детонации на поверхность заряда ВВ массой 1 кг. Оценка производят по величине эквивалентных зарядов по формуле: $q_x^F = q_{эт}^F \frac{D_{эт}^2}{D_x^2}$, где $D_{эт}$,D_x - скорость детонации эталонного и оцениваемого ВВ. Оценка экономической и технической эффективности ВВ включает учет энергетического и динамического параметров, при этом эквивалентный заряд определяется по зависимости: $q^{AF} = \frac{q^A + k q^F}{k+1}$, где k - показатель силы детонации, $k = \frac{q_A - q_{пр}}{q_{пр} - q^F}$, $q_{пр}$ - величина эквивалентного заряда, полученная практически.

Оценку экологического воздействия при применении ВВ производят с учетом формируемого при взрыве пылегазового облака, которое состоит из газообразных и конденсированных продуктов детонации, пылевидных частиц и продуктов их взаимных реакций.

Оценка экологического воздействия от взрывов обычно осуществляется по критерию предельно допустимой концентрации (ПДК). Для атмосферы населённых мест установлено около 500 ПДК и около 1500 (ОБУВ) загрязняющих веществ [182]. Для почвы установлены ПДК для более 100 и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) для приблизительно 70 химических веществ.

Определение ПДК загрязняющих атмосферу химически вредных веществ, по исследованиям Ю.А. Израэля [180], должно включать определение максимальной концентрации вредного вещества, отнесенной к определенному времени осреднения (1 мин, 5 мин, 20-30 мин, 24 часа, 1 месяц 1 год).

Влияние техногенных факторов применения ВВ оценивают прямым и опосредованным воздействием на компоненты природной среды [214], при этом полное ресурсопотребление представляется как сумма прямого и обратного ресурсопотребления [270]. Такое представление ресурсопотребления позволяет в сопоставимой количественной – натуральной и стоимостной форме измерять и соизмерять все ресурсно-экологические звенья [9].

Оценка как непосредственного, так и опосредованного потребления ресурса предложена В.И. Папичевым [259]. В общем виде суммарная техногенная нагрузка на компонент окружающей природной среды в регионе представляется в виде следующего выражения: $И^{\tau} = \frac{\sum_{t=1}^{\tau} |V_i|}{\sum_{t=1}^{\tau} R_t} + \frac{\sum_{t=1}^{\tau} |W_i|}{\sum_{t=1}^{\tau} R_t}$, где: $|V|$ - величина отклонения запасов ресурса в результате непосредственно потреблённого ресурса, $|W|$ - величина отклонения запасов ресурса в результате опосредованно потреблённого ресурса, R_t - запасы ресурса, t - временные интервалы оценки, τ - верхний временной предел оценки.

Определение состава продуктов взрыва, образование пылегазового облака и его распространение может быть оценено в рамках расчетной программы, позволяющей сделать «количественные выводы о составе, концентрации и геометрии образующегося пылегазового облака» [85].

Эффективность взрывной отбойки зависит от устойчивого распространения детонации, определяемого условиями взрывания и особенностями инициирования промышленных ВВ. Это способствует улучшению качества дробления и снижению удельного расхода ВВ, увеличению степени использования энергии взрыва на полезные формы работы. Различия во взрывчатых свойствах промышленных ВВ оказывают большое влияние на выбор методов инициирования практическими видами взрывного импульса (электродетонаторами, детонирующими шнурами, промежуточными детонаторами). В настоящее время не существует точных расчетных методов определения критических параметров процесса инициирования ВВ. Для оценки используют критерии:

– для промышленных веществ А.Н. Дремин [122; 123] использует *P-L* - критерий;

– для оценки вероятностного характера инициирования предложен критерий R_{50} - расстояние передачи детонации при частоте взрывов-отказов 50:50 [463];

– критические параметры инициирования имеют различные формы: критическое давление инициирования ($P_{кр}$) [29]; критическая энергия, выражаемая в формах: $P \cdot U \cdot t = const$; $\frac{P^2 \cdot t}{\rho \cdot D} = const$; $P^2 \cdot t = const$ [471]; удельная энергия, вводимая в ВВ ударной волной $\frac{U^2}{2} = P \cdot \left(\frac{V - V_0}{2} \right)$ [76]; критический градиент или критическое ускорение $\frac{dU}{dt} = A \cdot \left(\frac{\partial U}{\partial t} - \lambda^* \right)$, где λ^* -критическое ускорение, являющееся функцией давления, А - функция параметров состояния [468]; критическая мощность $N \sim \rho \cdot d^2 \cdot V^3$, где d - диаметр ударника (осколка), V - скорость соударения [444].

Рассматриваемые критерии являются практически определимыми, однако при их использовании в производственных условиях возникают существенные трудности: *P-L* - зависимости могут использоваться только в условиях, близких к тем, которые осуществлялись при экспериментальном их определении. Изменение геометрических параметров инициатора приводит к значительным ошибкам. Критическое давление инициирования достаточно хорошо работает как критерий, когда воспроизводятся идентичные условия проведения эксперимента, но является более универсальным, чем критерий *P-L*. При определении критической энергии возникает сложность в экспериментальном определении времени воздействия ударной волны, входящим в критериальную зависимость. Удельная энергия, вводимая в ВВ ударной волной, вызывает трудности в определении за счет того, что необходимо определять одновременно ΔP и ΔV, что является сложно выполнимой задачей. Критическое ускорение весьма точно определяет нарастание параметров детонации, но для экпериментального определения необходима сложная аппаратура, не приспособленная для полевой работы.

Оценку инициирующей способности и восприимчивости к детонации (чувствительности к практическим видам взрывного импульса) в шпуровых и скважинных зарядах осуществляют с использованием критериев R_{50}. Взрывание начинают при среднем количестве прокладок i, определяемом из артиллерийской вилки. При детонации следующий подрыв производится с числом прокладок i+1, при отказе i-1. Методом «вверх-вниз» производится подрыв 50 сборок. Расчет показателя R_{50} производится по формуле:

$$\lg R_{50} = \lg x_0 + \frac{D}{K}\left(\frac{A}{N} \pm 0{,}5 \right); \quad A = \sum_{i=1}^{k} i\, n_i \quad ; \quad N = \sum_{i=1}^{k} n_i \quad ; \quad D = \sum_{i=1}^{k} \left(\lg x_i - \lg x_{i-1} \right)$$

Инициирующая способность детонирующего шнура (ДШ) для разных типов промышленных ВВ, описывают вероятностными *S*-образными зависимостями при различном количестве нитей ДШ.

Одно из проявлений направленного действия взрыва реализуется в кумулятивных зарядах плоской симметрии и зарядах с осевой полостью. При взрыве кумулятивного заряда происходит направленное нагружение горных пород, связанное с эффектом уплотнения потока энергии продуктов детонации вдоль оси кумулятивной выемки [242]. Эффективность действия таких зарядов оценивают величиной и характером разрушения, глубиной пробоя (например, в шпуровых зарядах). Образовавшаяся воронка имеет эллиптическую форму с большей осью в направлении кумулятивной струи. В работах Г.П. Демидюка [113] показано, что при взрыве кумулятивного заряда напряжение в разрушаемом материале в направлении кумулятивной выемки значительно выше. В направлении кумулятивной выемки размер полости разрушения составляет в 2,5, чем в направлении перпендикулярном оси кумулятивной выемки. При использовании разных методов определения (модели, скважинные заряды) распределение энергии взрыва в направлении кумулятивной выемки составляет 56-60%, в противоположном направлении - 40-44%.

Форма кумулятивной выемки определяет эффективность действия заряда: наибольшая глубина пробития соответствует треугольной (60º) форме выемки, наибольший объем разрушения – сферической форме. Параболическая форма обеспечивает минимальный удельный расход ВВ при достижении сравнимых результатов. Глубина проникания струи определяется с учетом уточненной ширины струи $l_{co} = l_o / \cos\Delta$: $l_{\text{пр}} = \frac{l_0}{\cos\Delta}\sqrt{\frac{\rho_н}{\rho_{пр}}}$, где $\rho_н$ и $\rho_{пр}$ - плотности материалов струи и преграды; $l_{пр}$ - толщина преграды.

Взаимодействие кумулятивной струи и горной породы определяют соотношения давления P_x на границе «струя–порода» и скорость движения границы U_x. Движение струи прекращается при достижении $P_x=P_{пр}$, равного прочностному сопротивлению горной породы ударному сжатию. Скорость элемента струи при линейном законе изменения по длине струи [242] можно записать в виде: $U = U_0 - \left(1 - x/l\right)\cdot\left(U_0 - U_{кр}\right)$, где U_0 – скорость соударения струи с преградой; l - длина струи; x - расстояние между рассматриваемым элементом струи и ее хвостовой частью; $U_{кр}$ - скорость, соответствующая давлению струи $P_{кр}$. На основании установленной опытным путем скорости соударения струи и породы определяют значения параметров на границе раздела «струя–порода».

При исследовании действия газовой кумулятивной струи, как показывают работы Е.Г. Баранова [46-48], важными параметрами являются: скорость струи u, ее плотность ρ, давление, оказываемое струей на преграду p_c, а также время ее существования $t_{эф}$. Величина $t_{эф}$ определяется временем падения давления от первоначального p_2, соответствующего началу истечения кумулятивной струи, до статического предела прочности породы на сжатие $\sigma_{ст}$.

Проникновение газовой кумулятивной струи в породу продолжается пока давление струи p_c превышает или равно динамическому пределу прочности породы на сжатие $p_c \geq \sigma_{дин}$. При значении давления $p_c \leq \sigma_{дин}$ внедрение струи прекращается. При изменении давления p_c от $\sigma_{дин}$ до $\sigma_{ст}$ в среде будут происходить пластические деформации, при $p_c < \sigma_{ст}$ в среде наблюдаются упругие деформации.

Скорость смещения границы раздела u_x определяют с учетом прочностных свойств среды:

$$u_x = u \cdot \left[\left(1 + \left(\left(\alpha_1 / \alpha_2 \right) \cdot \left(\rho_{2_0} / \rho_{1_0} \right)^2 \right)^{1/2} \right)^{-1} - p_{пр} \cdot \alpha_2 \cdot \left(\rho_{2_0} \cdot u^2 \right)^{-1} \right]^{1/2},$$

где $p_{пр}$ - величина противодавления или «внутреннее» давление в материале преграды (горной породы); ρ_{10} и ρ_{20} – соответственно, начальные плотности материалов струи и преграды; α_1 и α_2 – соответственно коэффициенты сжимаемости этих материалов. Выражая $p_{пр}$ через $\sigma_{ст}$, получаем $p_{пр} = 10{,}625 \cdot \sigma_{ст} + 0{,}5 \cdot \rho_{20} \cdot u_x^2$, где величина $\sigma_{дин}=10{,}625 \cdot \sigma_{ст}$; выражение $0{,}5 \cdot \rho_{20} \cdot u_x^2$ – инерционная составляющая прочности. Глубину проникновения струи в породу можно определить как $L = U_x \cdot t_{эф}$, а время $t_{эф}$ из выражения: $t_{эф} = (2d + h) / D_{о.у.в.} + \delta t$, где: d - расстояние от заряда до границы раздела сред; h - высота кумулятивной выемки заряда; D - скорость фронта отраженной от границы раздела сред ударной волны, соответствующая $D_{о.у.в.} = U - (k-1) \cdot \left(P_x \left(2\rho_{x\cdot} \cdot (k-1) \right)^{-1} \right)^{1/2}$; δt - промежуток времени, в течение которого произойдет снижение P_x от $\sigma_{дин}$ до $\sigma_{ст}$.

Действие кольцевого кумулятивнго заряда (ККЗ) имеет отличия от обычных кумулятивных зарядов, образующих высокоскоростную и тонкую кумулятивную струю из части облицовки. Ю.П. Желуницин [136-140] показал, что заряд ККЗ воздействует на горную породу всей облицовкой: он не «прошивает» породу, как это делает кумулятивная струя, а создает в ней большие напряжения, приводящие к образованию трещин в плоскости кумулятивной выемки.

Исследования [118; 225; 360] показали, что в осевой полости цилиндрических зарядах поток продуктов детонации движется со скоростью, превышающей скорость детонации заряда. Параметры основной части газовой струи определяются из выражений: плотность ρ= (0,25 d– 0,02); массовая скорость u =1,8 D; давление p (0,7d – 0,4)·100; где $d=d_2/d_1$, (d_2 - диаметр заряда, d_1- диаметр осевой полости, D - скорость детонации). Эффективность заряда зависит от длины заряда и соотношения диаметра заряда к диаметру полости.

Угол встречи ударной волны со стенкой скважины является важным параметром, характеризующим взаимодействие продуктов детонации с окружающей горной средой [28; 179; 246]. При нормальном падении детонационной волны на границу раздела «заряд ВВ – среда» давление в среде определяется из зависимости $P_{уд} = P\frac{1+N}{1+N\frac{\rho_{вв}\,D}{\rho_c\,D_c}}$, где P - давление газообразных продуктов детонации; $\rho_{вв}$ - плотность заряда ВВ; ρ_c - плотность среды; D - скорость детонации; D_c - скорость ударной волны, N - отношение импеданса продуктов взрыва к импедансу ВВ. Отношение импедансов определяется из выражения $N = \frac{\rho_1(v+W)}{\rho_{вв}\,D}$, где ρ_1 - плотность продуктов детонации; w - скорость звука в продуктах детонации.

При взрыве удлиненного цилиндрического заряда детонационная волна движется параллельно стенке зарядной камеры и определение характера действия взрыва будет зависеть от многочисленных факторов (отношения импеданса продуктов взрыва к импедансу ВВ, наклона падающих, отраженных и преломленных волн и др.).

Математическое описание процесса столкновения и отражения ударных волн дано в работах академика Я.Б. Зельдовича и др. [59; 153; 197; 254; 336]. При решении задачи обтекания угла сверхзвуковым потоком величину давления и плотность среды впереди ударной волны, скорость ударной волны и угол поворота потока нужно считать заданными. Как показано в работе В.М. Закалинского и др. [316] при политропическом законе изменения давления $P = \sigma\rho^K$, приняв условие равенства показателей степени изэнтропы среды впереди ударной волны и на ее фронте равными $K_2=K_1=K$, соотношение между величиной давления впереди ударной волны (P_1) и за ее фронтом (P_2) определяется зависимостью: $P_2 - P_1 = \frac{2\rho_1 q_1^2}{K-1}\left(\sin^2\varphi_0 - \frac{c_1^2}{v_1^2}\right)$, где ρ_1 - плотность среды впереди ударной волны; q_1 - скорость ударной волны перед фронтом; c_1 - скорость звука перед фронтом волны,; φ_0 - угол между направлением потока и поверхностью фронта ударной волны.

С учетом регулярного отражения косых ударных волн зависимость давления на фронте отраженной волны, соответствующего давлению на стенке в момент прихода ударной волны, определяется из формулы: $P_2 = -\frac{K-1}{K+1}P_1 + \frac{2\rho_1 D_1^2}{K+1}\sin^2\varphi_0\left[ctg\psi + \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)\right]$, где ψ - угол между стенкой и фронтом падающей ударной волны.

1.1 Выводы по главе

1 При стандартных испытаниях показатели бризантности (проба Гесса) и работоспособности (по Трауцлю, на баллистической мортире, по расширению прочной

оболочки) могут быть использованы для характеристики соответственно местной и общей форм работы взрыва конверсионных ВВ.

2 В геотехнологии для оценки конверсионных ВВ при различных формах проявления работы взрыва с учетом имеющейся связи со свойствами взрывчатых веществ возможно использование показателей - гранулометрический состав отбитой горной массы; коэффициент использования шпуров; объем воронки выброса и рыхления; коэффициент простреливания шпура при образовании котлообразного расширения; радиус действия заряда рыхления в глубину; радиус действия зарядов выброса в глубину; показатель действия взрыва заряда на выброс.

3 Для оценки опасности в обращении конверсионных ВВ возможно использование показателей, характеризующих чувствительность к удару и трению, тепловому импульсу, восприимчивость к инициирующему импульсу, склонность к электризации, химическую и физическую стабильность компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов.

4 При отбойке горных пород взрывным способом оценка конверсионных ВВ может осуществляться с использованием технологических показателей - параметров развала горных пород, характера проработки подошвы уступа, расхода ВВ на вторичное дробление, времени подготовки уступа, производительности погрузочно-транспортного оборудования.

5 Экономическая оценка эффективности применения конверсионных ВВ в физико-технической и физико-химической геотехнологии может осуществляться с использованием показателей и параметров взрывания при отбойке руды, дроблении кумулятивными зарядами, контурном взрывании, отбойке руды зарядами ВКЗ, проходке горных выработок, ликвидации зависаний руды, отбойке руды в зоне открыто-подземного яруса, повторном разрушении руды при подземном выщелачивании.

2 Свойства компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов, характеристика месторождений и руд, особенности применения в геотехнологии конверсионных ВВ

2.1 Общая характеристика ресурсного потенциала конверсионных ВВ.

Взрывчатыми компонентами утилизируемых боеприпасов являются нитроцеллюлозные пороха: пироксилиновый, баллиститный артиллерийский, баллиститное ракетное твердое топливо и бризантные ВВ (тротил, гексоген, октоген и др.), которые, как отметил академик Б. П. Жуков, "… относятся к важнейшим научно-техническим объектам и составляют основу оборонного и экономического потенциала России» [457]. Общая характеристика компонентов и информация о формировании зарядов представлена в табл. 2.1 Представленные в табл. 2.1 компоненты взрывчатых и метательных частей боеприпасов различаются снаряжением, которое производится шнекованием, прессованием в корпус, прессованием и порционным прессованием, раздельно-шашечным методом, заливкой и др. методами.

Рассмотрение состава и снаряжания боеприпасов, используемых в артиллерии, военно-морском флоте, военно-воздушных силах и инженерных войсках, позволяет выделить показатели, характеристики и специфические свойства нитроцеллюлозных порохов и бризантных ВВ [90; 334; 363; 460]:

нитроцеллюлозные пороха

-обеспечение требуемого метательного действия при технически обоснованных характеристиках по массе зарядов;

-безотказность в условиях использования и безопасность в обращении при обеспечении необходимых пределов чувствительности к механическим и тепловым импульсам;

-неизменность физико-химических свойств составов при хранении в течение ГСХ в широком диапазоне климатических условий;

-надлежащие физико-механические свойства (прочность) пороховых элементов;

-специфическая структура пороховых зерен (в одних случаях пористая, в других – плотная), обеспечивающая необходимый режим горения в замкнутом объеме;

-стабильность физико-химических свойств пороховых элементов;

-устойчивое горение порохов без перехода в детонацию [111] при высоких давлениях (до 3000 кг/см^2);

-ограничение теплоты и температуры горения для обеспечения живучести элементов вооружений (стволов пушек);

Таблица 2.1 – Общая характеристика компонентов и методы формирования зарядов [252; 310-314]

Наименование	Характеристика и снаряжение
Артиллерийские выстрелы	Артиллерийские выстрелы, снаряженные: шнекованием тротила, смесевые и суррогатные ВВ Прессованием в корпус А-IX-1, прессованием и порционным прессованием А-IX-2, (А-IX-20) Раздельно-шашечным методом различными ВВ
Противотанковые выстрелы	Противотанковые выстрелы снаряженные: шнекованием тротила, смеси ТГ и суррогатных ВВ; прессованием в корпус А-IX-1; раздельно-шашечным методом различными ВВ
Снаряды ракетных систем залпового огня	Снаряды, снаряженные заливкой литьевыми смесями на основе ТГ, ТГА, порционным прессованием А-IX-2
Боевые части управляемых ракет	Боевые части, снаряженные: заливкой литьевыми смесями на основе ТГ, прессованием в корпус А-IX-1, раздельно-шашечным методом
Морские мины, реактивные глубинные бомбы, торпеды	Снаряженные: заливкой тротилом; заливкой литьевыми смесями на основе ТГА
Мины противотанковые	Мины противотанковые, противопехотные, снаряженные: заливкой тротилом; заливкой литьевыми смесями на основе ТГ.
Крупногабаритные авиационные бомбы	Крупногабаритные авиационные бомбы и боевые части управляемых ракет, снаряженные: заливкой тротилом: заливкой литьевыми смесями на основе ТГА
Неуправляемые авиационные ракеты	Неуправляемые авиационные ракеты, снаряженные: прессованием в корпус А-IX-1; раздельно-шашечным методом.
Авиационные патроны	Авиационные патроны, снаряженные: раздельно-шашечным методом А-IX-2 (А-IX-20); прессованием в корпус А-IX-2 (А-IX-20)
Противотанковые ракеты	Твердотопливные двигатели с вкладными зарядами из баллиститных твердых топлив.
Зенитные управляемые ракеты	С вкладными зарядами из смесевых твердых ракетных топлив весом до 50 кг
Управляемые ракеты	С прочно скрепленными зарядами из смесевых твердых ракетных топлив весом до 200кг
Ракеты	С вкладными и прочно скрепленными зарядами из СТРТ весом до 500 кг.

бризантные ВВ

-безопасность при использовании, обеспечиваемая соответствующими показателями чувствительности к удару;

-безопасность в обращении при использовании в технологиях изготовления БП (заливка, прессование и др.);

-максимальная взрывная эффективность (могущество боеприпаса) при технически обоснованных характеристиках зарядов;

-надлежащие физико-механические свойства (прочность) заряда.

2.1.1 Пороха на основе нитроцеллюлозы

Пироксилиновые пороха и баллиститные артиллерийские пороха по химическому составу пороха данного класса разделяются на следующие виды [69-71; 109; 111; 176; 181; 301]:

-пироксилиновые пороха на летучем растворителе;

-баллиститные артиллерийские пороха, подразделяющиеся в свою очередь на группы:

-нитроглицериновые пороха (баллиститы и кордиты);

-дигликолиевые пороха.

Основой нитроцеллюлозных порохов «являются нитраты целлюлозы с различным содержанием азота, превращенные в уплотненное пластифицированное состояние путем воздействия растворителей (пластификаторов) и давления» [71; 301]. Применяемые в технике нитраты целлюлозы в зависимости от содержания азота называются пироксилинами и коллоксилинами. Удельный вес нитратов целлюлозы порядка 1,66 г/см^3. Нитраты целлюлозы не растворимы в воде. Слабые растворы едких щелочей действуют медленно, крепкие растворы щелочей их разрушают. Слабые растворы кислот практически не действуют до t=100ºС. Концентрированные минеральные кислоты разлагают нитраты целлюлозы. Температура вспышки нитратов целлюлозы 180–185ºС. Скорость детонации пироксилина 6500 м/с. [71]. Другим обязательным компонентом нитроцеллюлозных порохов является растворитель-пластификатор нитратов целлюлозы.

Пороховые элементы имеют разнообразную конфигурацию - цилиндры, трубки, ленты, пластинки, прямоугольные призмы, таблетки, тороиды, спирали. Размер пороховых элементов в сечении составляет от долей миллиметра до нескольких сантиметров и длиной до метра [111; 334]. Некоторые пороховые элементы имеют каналы диаметром от сотых долей миллиметра до первых сантиметров [70]. Конфигурации элементов пироксилиновых и баллиститных порохов показаны на рис. 2.1 и рис. 2.2.

Пироксилиновые пороха небольших размеров цилиндрической, пластинчатой и прямоугольной формы носят название зерненых. Обозначение зерненых порохов производится дробью, числитель которой показывает толщину горящего свода в долях миллиметра, а знаменатель - число каналов в элементе. Трубчатые пороха обозначаются аналогично с добавлением индекса ТР (например, 10/1 Тр), в обозначении нитроглицериновых порохов вместо индекса ТР используется индекс Н или НБ (например, 10/1 Н). Зерненые пироксилиновые пороха имеют размеры: в сечении 0,5–10 мм длина от 1 до 18мм с одним или несколькими каналами. Трубчатые пороха имеют диаметр от 3–4 мм до 6–8 мм и длину до 540 мм.

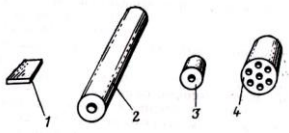


Рис. 2.1 - Конфигурации пироксилиновых пороховых элементов: 1 - пластинчатый порох, 2 - трубчатый порох, 3 - одноканальный зерненый порох, 4 - семиканальный зерненый порох

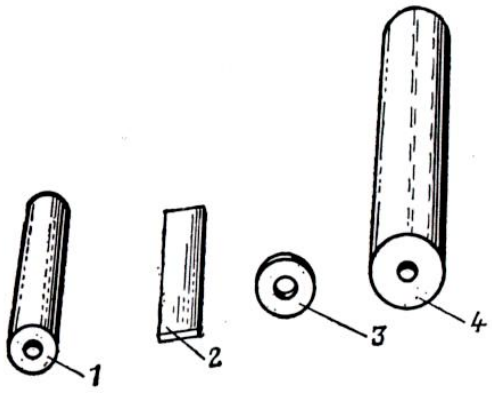


Рис.2.2 - Конфигурации баллиститных пороховых элементов: 1 - трубчатый порох, 2 - ленточный порох. 3 - кольцо, 4 шашка

Пироксилиновые зерненые пороха имеют достаточно развитую удельную поверхность, особенно мелкие пороха с большим количеством каналов. Большая удельная поверхность способствует флегматизации пороховых зерен (водой, раствором АС). В разновидностях зерен с большим количеством мелких каналов находится воздух, что приводит к снижению гравиметрической плотности и усложняет процесс заряжания обводненных скважин.

Плотность элементов пироксилиновых порохов колеблется в зависимости от состава от 1,56 до 1,65 г/см^3, баллиститных артиллерийских порохов (нитроглицериновых) - от 1,54 до 1,62 г/см^3. Гравиметрическая плотность зерненых пироксилиновых порохов - от 0,6 до 0,9 кг/дм^3, предельная вместимость несыпучих (ленточных, трубчатых) порохов - до 0,8 кг/дм^3 [111]. Гравиметрическая плотность (насыпная плотность) зерненых порохов или их смеси зависит от их размеров и соотношения марок пороха в смеси. В утилизируемых выстрелах к 37; 57; 76; 85; 100; 115; 122; 125; 130; 152 и 203 мм орудиям используются пироксилиновые зерненые 7/1, 7/7, 9/7, 12/7, 14/7 и др., а также трубчатые 12/1, 14/1, 16/1, 19/1 пороха. У ограниченного числа выстрелов используют баллиститный порох НДТ-3. Размер снаряжаемых артиллерийских гильз весьма близко совпадает с диаметрами применяемых в геотехнологиях шпуров и скважин. Это говорит о возможности получения близкой насыпной (гравиметрической) плотности в скважинных зарядах порядка 0,7–0,9 г/см^3, для ленточных и трубчатых порохов - до 0,8 г/см^3.

Большое влияние на процесс заряжания оказывают гранулярные свойства порохов: гранулометрический состав зерен порохов, характер упаковки и форма частиц. Характер упаковки конверсионных ВВ весьма сложен. Пороховые элементы различного размера и формы создают трудности для количественного определения характера упаковки [231; 423].

Увеличение гравиметрической плотности порохов достигают усложнением смеси зерен с преобладанием крупных над более мелкими фракциями, в процессе измельчения порохов зерна по форме должны иметь более совершенную окатанность и шероховатость поверхности с отношением минимального размера к максимальному размеру зерна 0,6–0,9.

В состав баллиститных ракетных твердых топлив (БРТ) входят нитраты целлюлозы, высокоэнергетические пластификаторы, стабилизаторы химической стойкости, катализаторы и стабилизаторы горения, технологические добавки [457]. В табл. 2.2 приведен усредненный компонентный состав БРТ (типа НМФ) и СРТТ (типа ПЭКА).

Таблица 2.2 - Компонентный состав БРТ и СРТТ

Наименование компонентов	Содержание компонентов, %	
	БРТ среднего энергетического уровня	СРТТ
Перхлорат аммония	-	53,5
Нитроцеллюлоза	54,0–59,0	-
Гексоген	-	15
Нитроглицерин, диэтиленгликольдинитрат	24,0–39,3	
Алюминий	-	18
Каучук	-	11,5
Дополнительные пластификаторы	0–16,5	-
Стабилизаторы химической стойкости	0–3,0	-
Катализаторы горения (окислы, фталаты, салицилаты Pb, Cu, Ni, Co и др.)	0–1,0	-
Добавки	0,5–11	2

В качестве стабилизаторов баллиститных ракетных топлив используют химически инертные неорганические соединения: оксиды, гидроксиды и соли металлов (*MgO, $Mg(OH)_2$, Al_2O_3, $CaCO_3$, CaO, TiO_2*). Неорганические соединения свинца (*PbO, Pb_3O_4, $PbCO_3$)*, фталаты и органические соединения (стеараты, салицилаты и др.) свинца, меди, кадмия, кобальта служат катализаторами горения.

Смесевые ракетные топлива (СРТТ) содержат окислитель (перхлорат аммония, АДНА и др.), связующее-горючее (пластифицированный органический полимер), металлическое горючее (*Al*), энергетические добавки (гексоген, октоген), технологические добавки различного назначения (ПАВ, сажа, графит, аэросил).

По форме шашки представляют собой тела различной конфигурации по каналу и внешней поверхности (цилиндрические с сечением в виде круга, с поперечным сечением в виде сегмента и др. - рис. 2.3). В табл. 2.3 приведены габаритно-массовые характеристики баллиститных шашек.

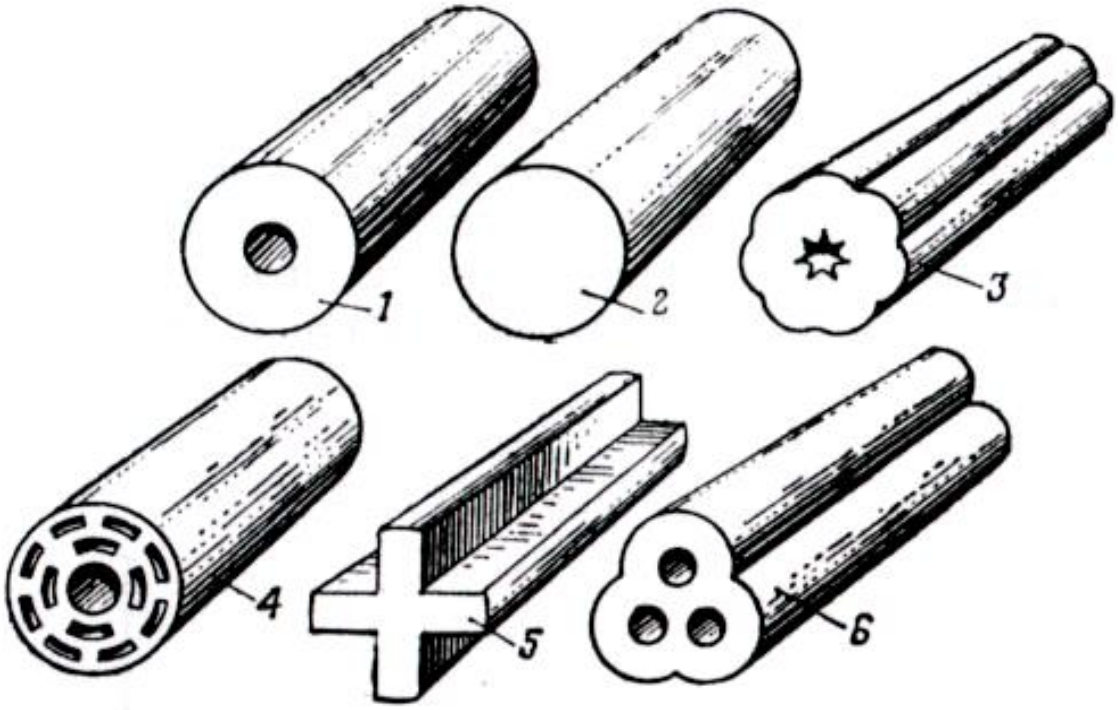


Рис. 2.3 - Формы баллиститных шашек

1 - одноканальная цилиндрическая, 2 - бесканальная цилиндрическая, 3 - звездообразная со звездообразным каналом, 4 - телескопическая, 5 - крестообразная, 6 - трехлепестковая

Скорость детонации компонентов боеприпасов (пироксилиновых и баллиститных артиллерийских порохов, твердых ракетных топлив) зависит от ряда факторов: диаметра заряда, плотности, размера частиц, наличия оболочки и пр. Для зарядов пироксилинового пороха известен факт повышенной скорости детонации при плотности ρ_o =0,76 г/см^3 и размере частиц $\delta_{сф}$ =9,8 мм, которая для заряда в бумажной оболочке диаметром 20 мм составила 7,1 км/с. Наличие аномальной скорости детонации в работе [63] объясняется тем, что при крупности зерен пороха, превышающей критический диаметр, детонация распространяется от одного зерна к другому со скоростью, определяемой плотностью вещества порохового зерна.

Для баллиститного ракетного топлива НБ [21] скорость детонации практически не зависит от диаметра в диапазоне от 8,6 мм до 24,5 мм, что говорит о малой протяженности зоны перехода от критического диаметра $d_{кр}$ к предельному $d_{пр}$.

Таблица 2.3 - Габаритно-массовые характеристики баллиститных шашек

№ п/п	Тип	Параметры				
		Диаметр, мм	Масса, кг		Длина, мм	Диаметр канала, мм
			шашки.	1 п.м		
1.	РСИ-60	38	1,0	1,67	600	10
2.	Н-13	40	1,0	1,82	550	8
3.	НА-13	40	1,0	1,82	550	8
4.	$НМ_2$-13	40	1,0	1,82	550	8
5.	$НМ_2$А-13	40	1,0	1,82	550	8
6.	$НМ_4$Ш-13	40	1,0	1,82	550	8
7.	ФГ-14	43,3	1,1	2,14	515	15
8.	ФСГ-2	43,3	1,1	2,14	515	15
9.	ФСГ-14	43,3	1,1	2,14	515	10
10.	ФСГ-2	43,3	1,1	2,14	515	10
11.	КДСИ-14	43,3	1,1	2,14	515	15
12.	КДСИ-14	43,3	1,1	2,14	515	10
13.	РСИ-5	45	1,1	2,47	445	8,3
14.	РСИ-60	54	1,0	3,33	300	13
15.	РНДСИ-5К	54	1,7	3,46	490	14
16.	БНК	64	3,1	4,45	730	40*
17.	НМФ-2Д	145	5,2	26	200	32
* диаметр описывающей окружности трех сопряженных каналов диаметром 15 мм каждый						

2.1.2 Бризантные взрывчатые вещества

Тротил является индивидуальным взрывчатым веществом, обладающим низкой чувствительностью к механическим воздействиям. Тротил $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$ является продуктом нитрования толуола. Снаряжение тротилом ведется шнекованием, заливкой и кусковой заливкой. Тротил имеет низкую восприимчивость к детонации, более восприимчив прессованный тротил. Фугасность тротила 285 $см^3$, бризантность 16–17 мм [97]. Скорость детонации тротила - 7000 м/с [71]. Теплота взрыва - 1010 ккал/кг. [439]. Для устойчивой детонации необходимо создание мощного инициирующего импульса в виде промежуточного детонатора. Наиболее восприимчив к средствам инициирования тротил в кристаллическом состоянии, снижение восприимчивости идет по следующему ряду: прессованный - чешуйчатый - литой [109].

Тетрил $C_6H_2(NO_2)_3NNO_2CH_3$ получают нитрованием диметиланилина. Восприимчивость к детонации у тетрила выше, чем у тротила. Детонирует от капсюля-детонатора. Скорость детонации (ρ=1,61 $г/см^3$) составляет 7470 м/с, расширение свинцовой бомбы 340 $см^3$, бризантность - 20–22 мм. Тетрил обладает высокой чувствительностью к механическим воздействиям. Используется в чистом виде для снаряжения мелкокалиберных снарядов, сплавами тетрила с тротилом или гексогеном снаряжают некоторые боеприпасы [97]. Легко прессуется до плотности 1,60–1,65 $г/см^3$.

Гексоген $(CH_2NNO_2)_3$ является продуктом нитрования уротропина. Скорость детонации 8380 м/с, расширение свинцовой бомбы 490 $см^3$, бризантность при заряде 25 г - 16мм. Восприимчивость к детонации у гексогена выше, чем у тротила. Технический гексоген имеет вид мелкокристаллического порошка и плохо прессуется. Гексоген обладает высокой чувствительностью к механическим воздействиям, что не позволяет использовать его самостоятельно, а только во флегматизированном виде (составы А-IX-I, А-IX-2, А-IX-20) и в плаве с тротилом (составы ТГ, МС, ТГА-16, ТГАГ-5, ТГАФ-5М и др.). На основе комбинаций компонентов подбираются необходимые взрывчатые свойства применяемых смесей и сплавов. Снаряжение гексогеном производится шашечным методом и порционным прессованием. Компонентный состав гексогеносодержащих бризантных ВВ приведен в табл. 2.4.

Таблица 2.4 - Компонентный состав гексогеносодержащих составов

Марка ВВ	Компоненты
ТГА-16	тротил, гексоген, алюминиевый порошок АСД-4
МС	тротил, гексоген, алюминиевый порошок ПА-4
МС-2	тротил, гексоген, алюминиевый порошок ПА-4, флегматизатор
ТГАФ-5	тротил, гексоген, алюминиевый порошок ПА-4, церезин, мочевина
ТГАФ-5М	тротил, гексоген, алюминиевый порошок ПА-4, церезин
ТГАФ-5А	тротил, гексоген, алюминиевые порошки, церезин
ТГАГ-5	тротил, гексоген, алюминиевые порошки, галовакс
ТОКАФ	тротил, октоген, алюминиевые порошки, церезин
А-IX-2; А-IX-20	гексоген А-1Х-1, алюминиевые порошки

Аналогом гексогена является октоген $C_4H_8(NNO_2)_4$, который также как гексоген получают нитрованием уротропина, но он обладает более высокими параметрами детонации, чем гексоген: скорость детонации 8790-9090 м/с, критический диаметр 18 мм, объем ПВ 0,885-0,908 $м^3$/кг фугасность 434 $см^3$, бризантность 23 мм. Кислородный баланс 21,6%, [97; 126; 250; 251]. Обладает высокой чувствительностью к механическим воздействиям. Для получения литьевого состава производят смешивание с веществами, имеющими низкую температуру плавления. Используется в кумулятивных зарядах.

Тэн $C(CH_2ONO_2)_4$ наиболее простым способом получается при соединении пентаэритрита с концентрированной азотной кислотой. Скорость детонации ТЭНа 8400 м/с, фугасность 599 $см^3$, бризантность при заряде 25 г - 14 мм. Восприимчивость к детонации несколько выше восприимчивости гексогена. ТЭН обладает наиболее высокой чувствительностью к механическим воздействиям среди применяемых бризантных ВВ [97]. Тэн хорошо прессуется до плотности 1,6 $г/см^3$. Применяется во флегматизированном виде.

Динитробензол $C_6H_4(NO_2)_2$ получают нитрованием бензола в одну или две стадии. Он относится к сравнительно маломощным бризантным взрывчатым веществам. Плотность

отливки может достигать 1,5 г/см^3 [71]. По мощности динитробензол уступает тротилу. Скорость детонации 6100 м/с, фугасность 250 см^3.

Динитронафталин $C_{10}H_6(NO_2)_2$ получают нитрованием нафталина смесью азотной и серной кислот преимущественно в две стадии. Он относится к слабым взрывчатым веществам. Фугасность - 80 см^3. Удельный вес около1,5 г/см^3. Мало гигроскопичен, к нагреванию вполне стоек, к механическим воздействиям не чувствителен. Применяется в смеси с аммиачной селитрой [71].

Нитроглицерин $C_3H_5(ONO_2)_3$ получают нитрованием глицерина смесью азотной и серной кислот. Он представляет собой маслянистую бесцветную прозрачную жидкость с удельным весом г/см^3 при 15ºС [71]. Растворимость нитроглицерина в воде при t =20ºС и t=50ºС 1,8 и 2,5 г соответственно. Водные растворы щелочей разлагают нитроглицерин с образованием нитратов и нитритов. Кислоты его разлагают при обычной температуре. Является одним из наименее стойких взрывчатых веществ. Температура вспышки 215–218ºС. Чувствительность к удару и трению нитроглицерина приближается к чувствительности инициирующих взрывчатых веществ. Фугасность- 590 см^3, бризантность - 24–26 мм.

2.1.3 Физико-технические, химико-технологические свойства порохов и бризантных ВВ, условия безопасного обращения

Физическая стойкость нитроцеллюлозных порохов определяет их способность противостоять изменению концентраций компонентов пороха в локальном или полном объеме. Нитроцеллюлозные пороха и бризантные ВВ относятся к веществам мало гигроскопичным, не слеживаемым, частично или полностью водоустойчивым. Баллиститный артиллерийский порох и баллиститное ракетное топливо обладают склонностью к экссудации [97].

Физические и химические свойства бризантных ВВ [97] показаны в табл.2.5. Наличие агрессивных агентов (воды, дизельного топлива и др.) в заряжаемой полости (шпуре или скважине) может приводить к флегматизации ВВ. При замокании ВВ в зарядной полости происходит изменение восприимчивости к инициирующему импульсу [166]. В щелочной среде химическая стабильность тротила снижается. При наличии дизельного топлива ТЭН флегматизируется настолько, что детонирующий шнур ДША через сутки, а детонирующий шнур ДШВ через шесть суток взорвать от сухого детонирующего шнура ДША не удается [451]. Для обеспечения надежного и безотказного инициирования бризантных ВВ при применении в горнодобывающей промышленности необходимо учитывать условия их технологического использования.

Химическая стойкость зависит в основном от природы и наличия примесей в составе ВВ. При обычных условиях скорость непрерывно протекающих химических реакций в ВВ настолько незначительна, что в практическом плане ВВ не претерпевают существенных изменений за длительный срок [250; 251]. Отдельные продукты медленного естественного разложения ВВ могут воздействовать на ВВ каталитически, ускоряя дальнейшее разложение.

Таблица 2.5 - Физические и химические свойства бризантных ВВ

Показатель	Марка ВВ					
	тротил	тетрил	тэн	гексоген	динитро-бензол	октоген
Удельный вес, г/см^3	1,66	1,7	1,77	1,8	1,57	1,906
Плотность прессованный, г/см^3 литой, г/см^3	1,6 1,55-1,59		1, 6	1,66	1,5	
Гравиметрическая плотность, г/см^3	0,9					0,871
Гигроскопичность	мало гигроскопи-чен	не гигро-скопичен	не гигро-скопичен	не гигроскопичен	не гигро-скопичен	не гигро-скопичен
Растворимость в воде 15-20 °С 100 °С	практическ и не растворим 0,15%	не растворим	не растворим	практически не растворим	не праство-рим	0,003% 0,0,02%
Взаимодействие с кислотами	серная и азотная кислота растворяет	реагирует при длительном воздействии	при длительном воздействии кислот разлагается	разбавленные кислоты не действуют; концентрированная серная кислота разлагает, азотная растворяет		
Взаимодействие со щелочами	со щелочами образует высокочувс твительные соединения	реагирует при длительном воздействии	при длительном воздействии щелочей разлагается	разбавленные щелочи не действуют		
Температура вспышки, °С	290	190	215	230	300	291
Термостойкость, °С 130 200 205 220	длительная					8ч 30мин 4ч 30мин 2ч

Процесс старения – необратимое ухудшение взрывчатых и эксплуатационных свойств.

Тротил, гексоген, октоген, относятся к нитросоединениям и обладают достаточно высокой химической стойкостью. Они могут храниться в течение многих лет без изменения своих показателей.

Нитроглицерин, динитрогликоль, тэн и ВВ на их основе являются веществами с ограниченной химической стойкостью. Стойкость нитроэфиров убывает с увеличением нитратных групп в их составе. Однако характер расположения нитратных групп ONO_2 в молекуле ВВ и кристаллическая структура вещества делают нитроэфиры более стойкими как, например, тэн, в сравнении с жидкими нитроэфирами.

К группе ВВ, содержащих в своем составе нитратную группу ONO_2, относится пироксилин (коллоксилин), являющийся основой бездымных порохов и баллиститных ракетных твердых топлив. Химическую стойкость могут понизить продукты разложения исходного вещества. В нитроцеллюлозных порохах происходит медленный распад молекулярного комплекса нитроцеллюлозы, приводящий к выделению оксида азот, окисляемого в дальнейшем до диоксида азота. Смешиваясь с влагой диоксид азота превращается в азотную или азотистую кислоту, которая разлагает порох. Ускорителем разложения нитроэфиров могут выступать даже следы свободных кислот. Взаимодействие с исходным веществом происходит с выделением тепла, что ускоряет разложение и может привести к вспышке.

Химическая стойкость ВВ может быть повышена введением в состав стабилизаторов, которые химически связывают продукты разложения. Такими веществами могут выступать мел, сода, дифениламин и др.

Аммиачная селитра, входящая в состав одноименных ВВ, относится к категории химически стойких веществ.

Токсичность порохов и взрывчатых веществ характеризует опасность применения в геотехнологии в процессах взрывных работ и необходимость проведения специальных защитных мер промышленной санитарии.

Тротил воздействует на печень, кровь, нервную систему. Тротил может вызывать экземы, эритемиты и дерматиты. При длительном воздействии возникает профессиональная катаракта. ПДК пыли тротила в воздухе рабочей зоны 0,5 мг/м^3 [95].

При работе с гексогеном необходимо применение индивидуальных средств защиты от попадания пыли на кожные покровы, слизистые оболочки и в органы дыхания. ПДК пыли и аэрозолей гексогена в производственных помещениях 1 мг/м^3, в воде - 0,1 мг/м^3 [95].

Октоген поражает центральную нервную систему, нарушает кровообращение вызывает малокровие. Октоген весьма ядовит. ПДК пыли октогена в воздухе атмосферы максимальная разовая - 1,0 мг/м^3.

Тетрил является более ядовитым веществом, чем тротил. Обращение с ним требует соблюдение особой осторожности.

Динитробензол летуч и его пары сильно ядовиты [71].

Вдыхание паров нитроглицерина вызывает отравление.

Нитраты целлюлозы токсичны. Выделяющийся при разложении нитратов целлюлозы оксид азота *NO* на воздухе окисляется до диоксида азота и соединяясь с влажной атмосферой образует азотную и азотистую кислоту. ПДК оксидов азота в рабочей зоне производственных помещений 5 мг/м^3, в атмосферном воздухе населенных пунктов максимальная разовая - 0,3 мг/м^3, среднесуточная - 0,1 мг/м^3 [95].

При работе с гранипорами в воздух может выделяться вредная пыль. ПДК пыли гранипоров составляет 0,1 мг/м^3. Дибазит является токсичным веществом. ПДК пыли дибазита в воздухе 0,02 мг/м^3.

Показатели чувствительности порохов и взрывчатых веществ к механическим воздействиям, характеризуют безопасность применения конверсионных ВВ в геотехнологиях. Механические воздействия присущи практически всем видам технологических операций, осуществляемых при изготовлении, транспортировании, утилизации и применении конверсионных ВВ. Основным фактором опасности при механических воздействиях является тепло, в которое преобразуется механическая энергия. Для оценки степени опасности механического воздействия используются методы:

-определяющие сравнительный ряд чувствительности ВВ к механическим воздействиям;

-воспроизводящие реальные механические воздействия в модельном испытании.

Данные по чувствительности к удару и трению [10; 201; 250; 251], полученные по нормированным методикам для рассматриваемой группы компонентов боеприпасов, боевых частей и твердотопливных ракетных двигателей, показаны в табл. 2.6. Эти данные хорошо иллюстрируют конверсионные ВВ на стадии разработки нового типа ВВ.

Таблица 2.6 - Характеристики разрывных и метательных компонентов боеприпасов

ВВ и пороха	Чувствительность к удару ГОСТ 4545, %	Чувствительность к трению ОСТ 84-895, кгс/см^2	Критическая работа удара, кгм
Тротил	4–20	4000	0,7–1,0
Гексоген	70–90	1500	0,2–0,5
Гексоген флегматизированный (А-1Х-1)	24	3000	
Октоген α-модификация β-модификация	 50 50		
Порох пироксилиновый	50 x)	1089	0,25–0,5
Порох баллиститный артиллерийский (НДТ-2)	50–100x)	1089–2180	0,1–0,5
Баллиститные ракетные твердые топлива	50–150x)	1089–1815	0,5–0,6

x) чувствительность к удару по ОСТ 84-892-74 (нижний предел), H_o, мм.

Номенклатура конверсионных ВВ содержит большой перечень изделий из баллиститных ракетных топлив, оценка безопасности применения которых может и должна использовать модельные испытания, соответствующие условиям заряжания скважин. К таким методам можно отнести испытания по волочению изделий и испытания по соударению изделий [201], соответствующие технологическим аспектам процесса заряжания скважин баллиститными шашками (табл. 2.7).

Электризация порохов и взрывчатых веществ играет важную роль при оценке возможности механизированного заряжания шпуров и скважин в геотехнологии. Нитроцеллюлозные пороха и бризантные ВВ (гексоген, тротил, октоген и др.) по своим электрическим свойствам относятся к классу полупроводников и диэлектриков [201], имеющих ρ_V в диапазоне от $2{,}1\cdot10^{7}$ до $1\cdot10^{15}$ и способных в течение длительного времени сохранять электрические заряды.

Таблица 2.7 - Критические параметры при механическом воздействии

Тип воздействия на конверсионные ВВ	Время, с	Критические параметры	
		$P_{уд}$, кгс/см	V, м/с
Проскальзывание при падении или сдвиге	$1\cdot10^{-1}$	20–540	5–4
Кратковременные (импульсные) воздействия	$5\cdot10^{-3}$	500–1000	5

При работе с порохами и взрывчатыми веществами (транспортировании, пересыпании, просеивании, сушке, деформации, разрушении и др. операциях) могут возникать высокие потенциалы статического электричества. Например, при работе с порохами возникают потенциалы до 10 кВ. Такие потенциалы не воспламеняют сам порох, но способны воспламенить пороховую пыль или пары летучих растворителей, пламя которых может зажечь порох.

Применяемые при изготовлении порохов компоненты могут снизить степень электризации порохов (парафин, воск) или ее повысить (дифениламин, камфора). Снижение электризации мелкозернистых и пластинчатых порохов осуществляется покрытием их тонким слоем графита (графитовкой). Мероприятиями по снижению электризации порохов при работе с ними являются обеспечение повышенной относительной влажности воздуха и смачивание рабочих поверхностей и самих порохов.

Минимальная энергия воспламенения (МЭВ) баллиститных шашек [201] низкая (более 1,0 Дж, у некоторых типов очень низка порядка 10 Дж). Бризантные взрывчатые вещества имеют среднюю чувствительность к статическому электричеству ($1{,}5\cdot10^{-2}$ Дж). Утилизированные бризантные ВВ (гексоген, тротил, октоген), обладают более высокой электризуемостью,

которая связана с увеличением дефектности строения при осуществлении длительных сроков хранения [39].

Тепловые воздействия на конверсионные ВВ характерные при переходе механической или электрической энергии в тепловую обусловливаются соотношением условий теплоприхода и теплоотвода, которые пропорциональны объему и поверхности ВВ соответственно. Критерием оценки служит величина температуры вспышки или периода индукции от температуры $T = f(\tau)$. Этот метод позволяет оценить энергию активации, используя выражение $\tau = Be^{-E/RT}$, где R- универсальная газовая постоянная; T- температура вспышки; B-константа.

Воспламеняемость при использовании нитроцеллюлозных порохов в качестве метательных зарядов [71] зависит в первую очередь от природы состава. По степени убывания воспламеняемости пороха могут быть представлены в следующем порядке: кордитные пороха с большим содержанием нитроглицерина - баллиститные пороха без добавок - пироксилиновые нефлегматизированные пороха - пороха на труднолетучем растворителе с различными добавками - пироксилиновые графитованные и флегматизированные пороха. Практически воспламенение порохов происходит от теплового импульса в виде форса огня дополнительного воспламенителя или ударного состава капсюля- воспламенителя.

Под условиями хранения понимается температура окружающей среды, относительная влажность воздуха и герметичность укупорки пороха [71]. Для предохранения от действия атмосферной влаги, сохранности остаточного растворителя, а также удобства хранения и транспортировки пороха укупориваются. Укупорка пороха представляет собой герметические короба различных конструкций и размеров, изготовленные из оцинкованного железа.

Баллиститные артиллерийские пороха и баллиститные ракетные топлива при длительном хранении и хранении при знакопеременных и повышенных температурах обладают склонностью к эксудации. При хранении происходит изменение физической стойкости.

Транспортирование пироксилиновых порохов производится в специальной транспортной упаковке, включающей герметические металлические короба для пироксилиновых порохов и деревянный наружный ящик. Масса брутто упаковки составляет от 30 до 100 кг.

Транспортируют октоген в пастообразном виде с содержанием не менее 10 % растворителя, состоящего из 40% изопропилового спирта и 60% воды. Емкостями для транспортировки служат водонепроницаемые мешки на основе резиновых, прорезиненных или пластмассовых материалов [97].

Заряды к орудиям картузного заряжания хранятся и перевозятся в специальном герметическом футляре - ящике из оцинкованного железа [71].

2.2 Горно-геологические условия и горнотехнические особенности разработки месторождений. Технологическая характеристика руд

Разработка методов взрывных работ, обеспечивающих высокую эффективность взрывания и безопасность ведения работ с применением конверсионных ВВ в геотехнологиях, невозможно без учета горнотехнических особенностей и горно-геологических условий месторождений (особенностей строения, вещественного состава, технологической изменчивости массивов горных пород и др.).

Минерально-сырьевой комплекс России включает многообразие добываемых твердых полезных ископаемых, начиная от угля, руд черных, цветных, редких и радиоактивных металлов, химического, агрономического и технического сырья до строительных материалов, флюсов и огнеупоров. Оценка минерально-сырьевой базы, выявление природных особенностей месторождений, физико-механических и технологических свойств пород представляет собой аналитическую основу исследований в области горных наук, база которой предшествует созданию физически и теоретически обоснованных методов и средств эффективного и безопасного применения конверсионных ВВ в геотехнологиях.

Развернутая геологическая характеристика месторождений руд черных, цветных и радиоактивных металлов, неметаллических природных ископаемых и горного строительного сырья представлена в приложении 1. Месторождения железных руд в Российской федерации представлены различными типами [104; 137; 265; 335]. Магматические месторождения (Качканарское, Первоуральское и др.). Данный тип месторождений характеризуется рудными телами представленными зонами концентрированной вкрапленности с шлировыми и жило-, линзообразными обособлениями титаномагнетита в интрузивах габровой формации. Карбонатитовый тип представлен перовскит-магнетитовыми и апатит-магнетитовыми месторождениями (Ковдорское и др.). К месторождениям скарнового типа относятся Высокогорское и Горноблагодатское. Магнетитовые месторождения магнезиально-скарнового типа приурочены преимущественно в областях развития древних щитов и докембрийской складчатости (Тейское и др.). Развиты вулканогенные гидротермальные месторождения парагенетически связанные с трапами Сибирской платформы (Коршуновское и др.). Осадочный тип представлен сидеритовыми пластовыми месторождениями (Бакальская группа). Метаморфический тип в основном образуют месторождения железистых кварцитов (Оленегорское, Костомукшское, Михайловское, Лебединское, Стойленское и др.). Все крупнейшие месторождения этого типа залегают в первично осадочных и частично вулканогенно-осадочных метаморфизованных породах [265]. Месторождения железистых кварцитов и скарново-магнетитовые играют основную роль в железорудной промышленности.

Месторождения первого типа расположены в Мурманской области, Карелии, в регионе КМА, Челябинской, Читинской областях, Якутии, Дальневосточном регионе, второго типа – на Урале, Алтае, в Горной Шории и Сибири.

Месторождения хромитов пространственно и генетически связаны с комплексами ультраосновных пород. [105; 319; 335].

Месторождения руд цветных и редких металлов характеризует сложное геолого-морфологическое строение рудных тел [104; 105; 319; 358; 458]. Добыча алюминиевого сырья (бокситов) производится на месторождениях геосинклинального или субгеосинклинального типов (Северо-Уральский бокситовый район, Южноуральские месторождения), платформенного типа (Североонежское и др.). Получение глинозема осуществляется также из апатито-нефелиновых руд Хибинских месторождений, нефелиновых сиенитов Кия-Шалтырского месторождения.

Вольфрамовые и молибденовые руды концентрируются в скарновых контактово-метасоматических (Тырныаузское месторождение комплексных вольфрамо-молибденовых руд), грейзеновых и штокверковых (Орекитканское молибденовое и Спокойнинское вольфрамовое), гидротермальных жильных (Жирекенское молибденовое и Холтосонское вольфрамовое, Сорское молибденовое, Иультинское оловянно-вольфрамовое) месторождениях.

Медные руды добываются на месторождениях сульфидных медно-никелевых (Норильское, Талнахское, Октябрьское, Ждановское и др.), медно-колчеданных месторождениях (Учалинское, Сибайское, Гайское, Урупское и др.), а также месторождениях медистых песчаников (Удоканское).

Месторождения никелевых и кобальтовых руд относятся к магматическому (Норильское-1, Талнахское, Ждановское и др.) и экзогенному (Серовское, Черемшанское) типам. Сульфидные руды магматического типа являются комплексными и содержат кроме этого медь и платину.

Свинцово-цинковые месторождения в большинстве случаев характеризует комплексный состав руд, в которых кроме основных компонентов содержится медь, олово, благородные и редкие металлы. Оруденение колчеданных месторождений (Корбалихинского, Степного и др.) приурочено среднедевонским метаморфическим вулканогенно-осадочным породам. Стратиформный тип представлен Горевским метасоматическим месторождением. Метасоматический тип - Благодатское месторождение. Месторождения скарнового типа - Вознесенское цинково-флюоритовое. Жильные месторождения - Садонское, Нерчинское и др.

Месторождения олова представлены в основном касситерит-сульфидными или касситерит-кварцевыми рудами (Депутатское, Солнечное, Хрустальное, Шерловогорское и др.).

Коренные месторождения благородных металлов представлены разными типами месторождений. Скарновые месторождения золота (Ольховское), гидротермальные месторождения золото-кварц-сульфидной формации - Березовское, Дарасунское; золото-кварц-халцедон-сульфидной - Балейское, Тасеевское и др; золото-серебро-кварц-адулярной - Карамкенское, россыпные месторождения. Вулканогенно-гидротермальные месторождения серебряно-золотой формации (Хаканджинское), серебряно-свинцовой Мангазейская группа месторождений). Месторождения платины и платиноидов представлены позднемагматическими (коренное Нижнетагильское), аллювиальными россыпями позднечетвертичного возраста. Осуществляется попутное извлечение платины и платиноидов из сульфидных медно-никелевых руд магматических месторождений.

Для месторождений руд редкоземельных металлов промышленное значение в настоящее время имеют минералы редкоземельных металлов (РМЗ) в виде фосфатов и фтор-карбонатов, сложных оксидов - монацит, бастнезит, иттросинхизит, лопарит [27]. Промышленными источниками РМЗ служат также глинистые минералы кор выветривания. В рудах наблюдается существенное преобладание легких лантаноидов противовес РМЗ иттриевой группы. В пределах одного месторождения в минералах часто разница в составе РМЗ весьма существенна.

Геологическое строение Ловозерского месторождения делает горнотехнические условия его разработки трудными. Интрузивный массив лопаритовых руд вмещает породы трех фаз, в которых выделяется стратифицированный по вертикали комплекс трехчленных пачек ляувритов, фойяитов и уртитов.

Залежь Катунгинского месторождения приурочена к Каларскому разлому. Главное рудное тело прослеживается по простиранию на 4 км, по падению - до глубины 800 м с мощностью 450 м с выделением на блоки - восточный и западный. Форма главного рудного тела линзовидная. Контакты имеют крутое встречное падение. Встречаются линзообразные и неправильной формы рудные тела различных размеров. Руды месторождения в основном тонковкрапленные. Главные полезные минералы - пирохлор, циркон, флюорит и гагаринрт.

Горно-химическое фосфатные сырье представлено комплексными апатито-нефелиновыми рудами Коашвинского, Ньоркпахского, Кукисвумчорского, Юкспорского месторождений. Рудное тела пластообразной или линзообразной формы связанные с ийолит-уртитовыми породами. Ковдорское месторождение апатитосодержащих комплексных железных руд. Фосфориты добываются в месторождениях платформенного типа (Вятско-Камское), ракушняковом месторождении (Кингисепское).

Рассмотрение горно-геологических условий месторождений руд черных металлов, геотехнологической оценки сырьевой базы [94; 98] позволяет охарактеризовать особенности горнотехнических условий разработки месторождений открытым способом. Вмещающие

породы и руды относятся к крепким и весьма крепким. Важнейшей особенностью открытого способа разработки месторождений руд черных металлов различных промышленно-генетических типов является большая глубина ведения горных работ, приближающаяся для отдельных месторождений к 500 метрам. При увеличении глубины разработки происходит усложнение горно-геологических и горнотехнических условий, заключающихся возрастании крепости руды и пород, увеличение блочности пород, изменения удельного веса обводненных пород [94; 98; 163; 319]. Возрастающее при этом уплотнение горных пород способствует увеличению упругих свойств, а наличие плотно сомкнутых трещин содействует трансформированию характера распространения взрывных волн. Все это оказывает влияние на изменение удельного расхода ВВ на глубоких горизонтах.

Уменьшение ширины рабочих площадок на нижних горизонтах приводит к усложнению условий эксплуатации карьерного оборудования. На узких площадках затруднены технологические операции (погрузка, транспортирование, заряжание скважин). Применяемые ВВ должны обладать высокой водоустойчивостью, физической и химической стойкостью. Возрастают требования к эффективности инициирования и безопасности взрывных работ, обеспечиваемых соответствующей ударно-волновой чувствительностью и чувствительностью к первичным средствам инициирования.

Рассмотрение горно-геологических условий разработки месторождений руд цветных, редких и радиоактивных металлов, геотехнологической оценки сырьевой базы [98; 174] позволяет отметить, что происходит развитие форм извлечения из недр полезных ископаемых, в частности, переход к физико-химическим геотехнологиям, который определяет необходимость детального учета горно-геологических условий [121; 158; 236; 238; 361; 390]:

- морфологического типа и условий залегания рудных тел;

- морфологии рудных тел, взаимного расположения, мощности пустых и рудных прослоев при сближенном расположении рудных тел;

- распределения и форм рудной минерализации:

- состава рудной минерализации - самостоятельные окисленные минералы, сульфиды, полезный компонент в закисной форме, изоморфные примеси, самостоятельные минералы гипогенные, полезный компонент связан битумами или фосфатами;

- характера рудной минерализации - налеты и корочки на стенках открытых трещин, мелкопрожилковые цементирующие трещины горной породы, массивная жильная по крупным трещинам, вкрапленная, рассеянная по всей массе горной породы);

- характера минерализации руд (прожилковая, терещинная, тонковкрапленная, рассеянная);

- типа месторождения по состоянию горного массива (наличие зон дробления, рассланцевания, взаимосвязь тектонических нарушений месторождения с тектоническими структурами района);

- физико-механических свойств руды и вмещающих пород, физико-технических свойств пород (проницаемости и фильтрационной неоднородности руды, фильтрационных свойств вмещающих пород);

- гидрогеологических условий (притока подземных вод по локальным разломам, взаимосвязи обводненных зон тектонических структур месторождения с тектоническими структурами района и участками искусственного дробления скальных пород).

Массивные руды характерны для меди, свинца, цинка, марганца, железа. Вкрапленными рудами представлены золото, серебро, платина, молибден, вольфрам, кобальт, никель [121]. Гидротермальный тип месторождений цветных и редких металлов характеризует высокая неравномерность оруденения. Рудообразующие минералы обладают более низкой прочностью и повышенной хрупкостью, чем вмещающие породы.

Отметим особенности горнотехнических условий разработки рудных и нерудных месторождений методом скважинной гидродобычи. Отработка месторождений руд невысокой прочности может осуществляться методом скважинной гидродобычи (СГД). Факторами, затрудняющими применение метода СГД [24; 25], является наличие твердых прослоек конкреционного песчаника при разработке фосфоритоносных оболовых песков (Кингисепское, Нарвское, Котловское, Чаплинское месторождения), твердых включений при разработке железных руд КМА (Яковлевское, Гостищевское, Коробковское, Жигановское месторождения), крупных кусков коренных пород (месторождения апатитоносных карбонатитов коры выветривания), валунов (золотоносные погребенные россыпи). Эффективность СГД при разработке указанных месторождений будет определяться возможностью разупрочнения прочных разностей с использованием различных методов и средств, в том числе взрывных методов.

Важнейшим технологическим свойством в процессе взрывного рыхления горных пород является их взрываемость, т.е. сопротивляемость пород при взрывном разрушении. При определении взрываемости учитываются разнообразные свойства горных пород и массивов, что проявляется в множественности предпосылок, включаемых в зависимости при определении взрываемости горных пород. В большинстве работ в качестве критерия используется удельный расход ВВ, являющийся важным параметром буровзрывных работ.

Исследованиям сопротивляемости горных пород при разрушении взрывом (взрываемости), посвящены работы проф. М.М. Протодъяконова [273], проф. А.Ф. Суханова [340], В.К. Рубцова [291], академика В.В. Ржевского [286; 287], проф. В.Н. Мосинца [235],

проф. Н.Я. Репина [284; 285], проф. Г.П. Демидюка [354], проф. И.А. Тангаева [348; 349], Академик Казахской АН Ракишева Б.Н. [279-282], проф. В.И. Терентьева [355; 356], проф. Б.Н. Кутузова [200; 202; 203], работы Союзвзрывпрома [247] и др. Развернутое рассмотрение критериев, характеризующих взрываемость горных пород, представлено в приложении А.

Рассмотренные данные показывают, что взрываемость горных пород является важнейшим технологическим свойством, отражающим влияние прочности плотности, вязкости горных пород и трещиноватости горных массивов на разрушение пород взрывом. Наиболее информативным является критерий, предложенный проф. Г.П. Демидюком [354], который оценивает сопротивляемость пород при взрывном разрушении на основе экспериментально установленной величины энергоемкости взрывного разрушения, выражаемой в единицах: Мкал/м^3 или МДж/м^3 и коэффициента крепости. В данной классификации выделено пять групп пород по взрываемости: легковзрываемые, средневзрываемые, трудновзрываемые, весьма трудновзрываемые и в высшей степени трудновзрываемые. Корректировка взрываемости пород по другим факторам производится отнесением вязкой породы в группу более высокой энергоемкости, сильная трещиноватость и мелкоблочность крепкой породы - отнесением в группу меньшей энергоемкости. В стандартной постановке энергоемкость разрушения включает затраты энергии на различные формы работы взрыва (отрыв, дробление, отброс, образование воздушной и сейсмической волны).

Свойства горных пород при разрушении характеризуют коэффициентом разрыхления, линейным размером куска, максимальным размером куска, гранулометрическим составом, диаметром среднего куска. В открытой и подземной физико-технической геотехнологии изменение свойств горных пород при дроблении взрывом [240; 317] характеризуют показатели, представленные в табл. 2.8.

Максимальный размер куска задается параметрами технических средств технологических процессов - погрузочно-транспортным, доставочным и дробильным оборудованием, при этом применяются следующие кондиции по размеру куска

в открытой физико-технической геотехнологии

вскрышные работы -80–150 см;

добыча руды - 60–80 см;

циклично-поточная технология -30–40 см;

в подземной физико-технической геотехнологии

отработка мощных рудных тел - 60–70 см;

отработка рудных тел средней мощности - 40–60 см;

отработка жильных месторождений - 40–50 см;

проходка выработок - 30–40 см;

Таблица 2.8 Технологическая характеристика разрушенных горных пород

Технологическая характеристика разрушенных горных породы	Коэффициент разрыхления	Линейные размеры кусков, м
Связновзорванные	1,03–1,1	1,0–1,5
Крупновзорванные	1,2–1,3	1,0–1,5
Мелковзорванные	1,4–1,65	0,6–0,7
Раздробленные	1,5–1,6	0,3–0,2

При дроблении руд цветных и редких металлов гидротермальных месторождений разрушение происходит по ослабленным зонам скопления оруденения или естественным нарушениям. Имеющие более высокую механическую прочность породы, не содержащие металла или обедненные им, дробятся хуже. Дробление руд с прожилковой минерализацией характеризуется селективностью - повышением содержания полезного компонента в мелких фракциях по отношению к содержанию в массиве. Дробление руд с тонковкрапленнной минерализацией характеризуется распределением полезного компонента пропорционально выходу гранулометрического класса [238; 239; 240; 248; 256; 317]. Содержание полезного компонента во фракциях раздробленной руды при разных формах минерализации быть представлено данными табл. 2.9.

Таблица 2.9 Распределение полезных компонентов по гранулометрическим классам

Гран. класс	Распределение содержания полезного компонента при форме рудной минерализации				Гран. класс	Распределение содержания полезного компонента при форме рудной минерализации			
	прожилково-вкрапленный, приуроченный к тектоническим швам и зонам дробления		тонкодисперсный в виде мелких эмульсионных выделений			прожилково-вкрапленный, приуроченный к тектоническим швам и зонам дробления		тонкодисперсный в виде мелких эмульсионных выделений	
	выход руды	выход полезного компонента	выход руды	выход полезного компонента		выход руды	выход полезного компонента	выход руды	выход полезного компонента
0-25 мм	59,4	78	55,8	56,2	50-100 мм	6,6	7,9	15,3	14,9
25-50 мм	20,3	12,8	13,8	14,2	> 100 мм	13,8	1,4	15,9	14,7

Размер отдельности и дисперсионная характеристика гранулометрического состава при дезинтеграции должны обеспечивать вскрытие металлосодержащих минералов. В технологии подземного выщелачивания некондиционным является размер куска, «… который не обеспечивает в рассматриваемый момент времени рентабельного получения единицы промышленной продукции» [238]. При этом увеличение степени дробления руды при

подготовке к выщелачиванию ограничивается процессом переосаждения металла из продуктивного раствора на поверхности раздробленной руды, причем с увеличением степени дробления количество переосажденного металла возрастает.

При подземном выщелачивании золотосодержащих руд гранулометрический состав характеризуется показателями [390]: –200+100 мм - 22,3%, –100+50 мм - 19,2%, –50+25 мм - 27,7%; –25 мм - 30,8%.

Таким образом, вовлечение в эксплуатацию глубокозалегающих месторождений, со сложными горно-геологическими и горнотехническими условиями, с невысоким содержанием компонентов, мелких месторождений с высоким содержанием полезного компонента требует проведения предметных, глубоких и разносторонних исследований по созданию высокоэффективных технологий дробления руд и пород.

2.3 Отбойка горных пород взрывным способом с применением конверсионных ВВ в геотехнологических процессах

Рассмотрим условия обеспечения высокой эффективности и безопасности работ при отбойке горных пород взрывным способом, отвечающие кластеру геотехнологий - физико-технической, физико-химической и комбинированной. Понятию «отбойка горных пород взрывным способом» [357] соответствует «… отделение взрывом от горного массива некоторой его части с одновременным дроблением ее на отдельные куски и их перемещением ...».

В физико-технической открытой геотехнологии при взрывании скважинных зарядов используют цилиндрические зарядные полости, диаметр которых выбирают в соответствии со свойствами горных пород и массивов. Для сильнотрещиноватых пород применяются скважины большого диаметра (300–350 мм), в которых могут использоваться конверсионные ВВ с критическим диаметром *($d_{кр}$)* равным 100–150 мм, в средне- и малотрещиноватых породах - скважины диаметром 200–250 мм и взрывчатые вещества с $d_{кр}$=80–100 мм. В монолитных горных породах диаметр скважин составляет 150-200 мм и $d_{кр}$ конверсионных ВВ - 60–80 мм. Скорость детонации зависит от диаметра заряда, плотности ВВ и дисперсности частиц. Для дробления трудновзрываемых пород или трудновзрываемых участков повышают объемную концентрацию энергии заряда за счет плотности заряжания. Взрывную отбойку ведут при двух и более свободных поверхностях. При расположении скважинных зарядов параллельно свободной поверхности обеспечивается одинаковое сопротивление массива горных пород действию взрыва и равенство запаса энергии в единице длины заряда. Однако, на уровне подошвы уступа равенство условий взрыва нарушается: изменяется степень зажима, появляется необходимость преодоления взрывом сопротивления срезу на уровне подошвы и трения

смещаемой породы по подошве уступа [357]. Кондиции дробления горных пород для различных технологических процессов открытой физико-технической геотехнологии показаны в подразделе 2.2.

Повышенной водостойкостью обладают баллиститные шашки, литой тротил и гексогеносодержащие составы. Микропористая структура зерна пироксилинового пороха в обводненных скважинах способствует повышению детонационной способности. Наоборот, гомогенная структура зерна баллиститного артиллерийского пороха снижает детонационную способность в этих условиях и может привести к отказу. Конверсионные ВВ на основе зерненых и трубчатых порохов, имеющие заполненные воздухом каналы внутри пороховых частиц (зерен), при заряжании глубоких обводненных скважинах не должны образовывать пробок. При взрывании гранипоров в обводненных условиях плотность заряд возрастает за счет заполнения межгранульного пространства. Скорость детонации заряда повышается, что соответственно приводит к усилению бризантного действия взрыва. Одновременно тепловая энергия взрыва расходуется на испарение воды, при этом они смешиваются с продуктами детонации и увеличивают их объем.

У метательных зарядов боеприпасов, основным видом взрывчатого превращения которых является горение, образование газов при горении пороха определяется формой и размерами элементов, что характеризует наличие широкого спектра форм и размеров пороховых элементов [301].

Технологические операции (погрузка, складирование, транспортирование, заряжание скважин) связаны с механическими воздействиями, электризацией. Чувствительность к удару и трению ВВ для безопасного применения при механизированном заряжании должна соответствовать уровню гранулотола, граммонитов 50/50 и 30/70. При ручном заряжании патронами (шашками) - уровнем аммонита скального, детонита. В обводненных скважинах баллиститные шашки заряжаются с ограничением скорости перемещения (4–5 м/с). Снижение чувствительности к механическим воздействиям конверсионных ВВ достигается покрытием их инертными или малочувствительными материалами, введением в состав специальных веществ - флегматизаторов, которые по степени пожароопасности располагаются в порядке возрастания опасности следующим образом: вода и водные растворы селитр - жиры природного происхождения и воскообразные вещества - продукты перегонки нефти. Более предпочтительными являются не ухудшающие условий взрыво-пожаробезопасности производства и применения материалы. Минимальная энергия воспламенения (МЭВ), характеризующая чувствительность к искровому разряду, возникающему в технологических операциях (при пересыпании, волочении, загрузке в транспортные емкости, разгрузке

транспортных емкостей, заряжании взрывных скважин) должна соответствовать уровню бризантных ВВ (гексоген, тротил, октоген), для которых МЭВ составляет $1{,}5 \cdot 10^{-2}$ Дж.

Механические смеси компонентов боеприпасов с аммиачной селитрой (АС) помимо снижения чувствительности к механическим воздействиям увеличивают фугасное действие взрыва. Для смеси ПП и АС этот показатель равен фугасному действию ТНТ. Баллиститные шашки с осевой полостью за счет эффекта газовой кумуляции обеспечивает режим повышенного нагружения массива горных пород.

Физические и химические свойства ВВ определяет технологические показатели применения ВВ – физическую и химическую стойкость, гигроскопичность, слеживаемость, водоустойчивость, расслаиваемость и др. Не допускается использование компонентов боеприпасов и конверсионных ВВ с явными признаками изменения физической или химической стабильности (изменение концентраций компонентов пороха в локальном объеме, пониженная химическая стойкость порохов). Смесевые конверсионные ВВ на основе ПП, БАП, баллиститных шашек, бризантных ВВ и модифицирующих добавок (нефтепродукты, вода, водные коллоидные растворы, антифризы), не должны расслаиваться при транспортировании и в течение гарантированного срока хранения. Конверсионные ВВ, не должны взаимодействовать с горными породами и грунтовыми водами.

Эффективность и безопасность взрывных работ при применении конверсионных ВВ достигается при соответствующей ударно-волновой чувствительности и чувствительности к первичным средствам инициирования (ЭД, ДШ, СИНВ и др.). Повышение ударно-волновой чувствительности конверсионных ВВ, содержащих в своем составе нитроклетчатку, осуществляют введением минеральных добавок, играющих роль горячих точек, или изменением физического состояния (например, для баллиститных шашек дробление до крошки или таблетирование). Высокая восприимчивость к инициирующему импульсу тротила-У и гексогеносодержащих обеспечивает надежное срабатывание от первичных средств инициирования.

Высокоэнергетические компоненты боеприпасов используют для повышения скорости детонации и теплоты взрыва водонаполненных и эмульсионных ВВ. Тротил- и гексогеносодержащие компоненты боеприпасов содержат от 11 до 27% алюминия в виде порошков с дисперсностью 0,8–22мкм, при взрыве которых образуются твердые частицы (Al_2O_3). Часть тепловой энергии взрыва алюминизированных составов расходуется на нагревание Al_2O_3, содержащейся в виде твердой фазы в продуктах взрыва. Одновременно увеличение теплоты взрыва алюминизированных составов способствует усилению проявления фугасных форм работы взрыва.

Возможность механизированного заряжания и безопасной эксплуатации заряжающих устройств, использующих конверсионные ВВ определяет:

-чувствительность конверсионных ВВ к механическим воздействиям (удар, трение), чувствительность к искровому разряду при пересыпании, загрузке в транспортные емкости, заряжании взрывных скважин, определяющая условия безопасной эксплуатации зарядных машин (разгружаемых самотеком или пневматической диафрагмой). Снижение электризации обеспечивает повышение относительной влажности воздуха, смачивание рабочих поверхностей и компонентов боеприпасов;

-сыпучесть, обеспечивающая очистку транспортных емкостей и транспортных трубопроводов зарядной техники и заполнение всего объема зарядной полости;

-отсутствие пылеобразования для создания требуемых условий промышленной санитарии;

Воспламеняемость нитроцеллюлозных порохов, зависящая в первую очередь от их природы, характеризует безопасность применения порохов при длительном воздействии теплового импульса. По степени убывания воспламеняемости, пороха могут быть представлены в следующем порядке: кордитные пороха с большим содержанием нитроглицерина - баллиститные пороха без добавок - пироксилиновые нефлегматизированные пороха - пороха на труднолетучем растворителе с различными добавками - пироксилиновые графитованные и флегматизированные пороха.

Метод контурного взрывания обеспечивает не только отделение породы от массива, но и сохранность горных пород за пределами зон разрушения. Образование щелевой полости происходит при демпфировании местного действия взрыва. Предотвращение нарушений горных пород в ближней к скважине области обеспечивает условие $P_{скв} \le [\sigma]_{сж}$. Давление на стенки скважины $P_{скв}$ зависит от факторов: типа ВВ (ρ, D, Q), соотношения $r_{зар}/r_{скв}$, степени возрастания давления воздушной волны при отражении от стенками скважины. Для горных пород с пределом прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ 500–2000 кгс/см^2 объемная плотность заряжания конверсионных ВВ должна составлять 0,034–0,194 кг/м^3 в скважинах диаметром 105–215 мм.

Безопасность применения конверсионных ВВ при контурном взрывании определяет допустимый уровень механического воздействия (удар, трение) при технологических операциях (заряжании скважин гирляндами шашек, трении шашек о внутреннюю поверхность скважин). Кратковременные (импульсные) воздействия не должны превышать $P_{уд}$ =500-1000 кгс/см^2 с продолжительностью не более $5\cdot10^{-3}$с.

Разрушение негабаритных кусков горных пород осуществляют взрывными методами. При шпуровом методе взрывание осуществляют в условиях полного отсутствия зажима с минимальной энергоемкостью разрушения. При взрывании негабарита наружными зарядами по

сравнению со шпуровыми энергоемкость взрывного разрушения возрастает. Ассортимент конверсионных ВВ для вторичного дробления включает осесимметричные кумулятивные инженерные изделия и кумулятивные заряды с плоской симметрией на основе баллиститных шашек, применение которых приводит к существенному сокращению удельного расхода ВВ по сравнению с наружными зарядами.

При вскрытии месторождений могут проводится работы по осушению карьерного поля (Аллерическое месторождение никелевых руд). Для этого создается система гидротехнических сооружений [1]. Может использоваться чешуированный тротил и боевые головки с составом ТГА и авиационные бомбы массой от 100 до 500 кг. При строительстве траншей боеприпасы использовались для проведения взрывов на выброс (Каракумский канал им. В.И. Ленина). Расстояние между промежуточными детонаторами траншейных зарядов составляло 50-60 м. Взрывание производилось участками длиной 300–655м.

Особенности применения конверсионных ВВ в физико-технической подземной геотехнологии. Скважинная отбойка при очистной выемке определяет требования минимизации удельного расхода ВВ, достижения определенной кусковатости отбитой горной массы, зависящей от применяемого горного оборудования и технологии обогащения. Конверсионные ВВ для подземной технологии должны иметь кислородный баланс (КБ) ±3%. Для заряжания скважин используется только ручной способ. Конверсионные ВВ шашечного исполнения используются в качестве усиленных боевиков при ручном заряжании нисходящих скважин при разработке мощных месторождений скважинами увеличенного диаметра с обеспечением безопасности заряжания и снижения экологических последствий выброса вредных газов. Кондиции дробления горных пород для различных технологических процессов подземной физико-технической геотехнологии показаны в подразделе 2.2.

Шпуровая отбойка применяется при отбойке крепких руд пологих мощных и жильных месторождений. Параметры буровзрывных работ с применением конверсионных ВВ должны обеспечивать наличие в отбитой горной массе минимального количества негабаритных кусков и снижение размеров зон с избыточной энергии, которые вызывают высокий выход рудной мелочи. Для крепких руд предпочтительными являются схемы отработки вертикальными и наклонными шпурами при почвоуступной отбойке с использованием мощных конверсионных ВВ.

При использовании вертикальных концентрированных зарядов, осуществляется отработка месторождений с массовым обрушением руды. Обеспечение высоких показателей отбойки, снижение выхода негабаритных кусков, уменьшение сейсмического действия взрыва и воздушной волны в выработках достигается применением низкоплотных зарядов АС при эффективном инициировании конверсионных ВВ (сосредоточенные и линейные инициаторы).

Снижение токсичности достигается сбалансированным по КБ количеством АС и конверсионных ВВ.

При проходке горизонтальных, наклонных и вертикальных горных выработок почти повсеместно используется шпуровая отбойка. Работа взрыва заряда в подошвенной и устьевой части различается в 2–2,5 раза [357]. Ограничение сечения горной выработки и положение заряда в забое характеризуют степень зажима, что также влияет на работу взрыва. При проведении выработок запас энергии шпуровых зарядов дифференцируется в зависимости от их расположения и необходимости перемещения раздробленных пород с учетом сил тяжести: подошвенных - против сил тяжести, в кровельных – совпадающих с направлением действия сил тяжести. При образовании врубовой полости заряд по действию приближается к сосредоточенному (клиновой, прямой вруб) с образованием воронки взрыва (врубовой полости), образует щелевую полость за счет местного действия взрыва группы сближенных зарядов. Заряды конверсионных ВВ с осевой полостью и кумулятивные заряды осевой симметрии на основе конверсионных ВВ обеспечивают:

-высокую концентрацию энергии во врубовых шпурах диаметром до 45 мм и усиленное действие в забойной части шпура в условиях наибольшего зажима;

-низкое бризантное действие в оконтуривающих шпурах для приближения реального контура выработки к проектному контуру;

-минимизацию законтурного действия взрыва.

В обводненных забоях при проходке вертикальных выработок (стволов) применение шашек БРТ с высокой объемной концентрацией энергии наиболее безопасно.

Щадящая отбойка осуществляется при добыче ценного минерального сырья, разделке штучного камня. Выбор конверсионных ВВ (по взрывчатым и технологическим свойствам) производится аналогично контурному взрыванию с использованием зарядных полостей (шпуров) диаметром 30–45 мм и ограничением конверсионных ВВ по критическому диаметру размером 6–8 мм.

Вторичное дробление негабаритов и ликвидацию зависаний осуществляют в очистном пространстве, выработках для доставки руды, специальных выработках для вторичного дробления, рудоспусках и др. местах. Негабаритные и расклинивающиеся куски образуют зависания в горловинах выпускных выработок и рудоспусков. Взрывание осуществляется при ограниченном зажиме. Энергоемкость взрывного разрушения наружными зарядами возрастает в связи с неполным использованием энергии газообразных продуктов взрыва. Эффективность взрывания при ликвидации зависаний может повышена при применении кумулятивными зарядами с осевой или плоской симметрией.

Особенности применения конверсионных ВВ в физико-химической геотехнологии с элементами подземных горных работ. Скважинная отбойка определяет требования минимизации удельного расхода ВВ, достижения определенной кусковатости отбитой горной массы, зависящей от технологических процессов дальнейшей переработки (выщелачивания). Применение конверсионных ВВ на отбойке руды может осуществляться скважинами малого (менее 75 мм), среднего (75–125 мм) и увеличенного диаметра (более 125 мм) с различным расположением скважинных зарядов в объеме отбиваемой руды. Для получения кондиционных размеров куска отбитой горной массы при взрывании труднодробимых руд теплота взрыва конверсионных ВВ должна составлять 4800–5000 кДж/кг. Конверсионные ВВ для подземной технологии должны иметь кислородный баланс (КБ) ± 3%. Для заряжания скважин используется только ручной способ. Конверсионные ВВ шашечного исполнения используются в качестве усиленных боевиков при ручном заряжании нисходящих скважин при разработке мощных месторождений скважинами увеличенного диаметра с обеспечением безопасности заряжания и снижения экологических последствий выброса вредных газов.

Шпуровая отбойка применяется при отбойке крепких руд пологих мощных и жильных месторождений. Для крепких руд предпочтительными являются схемы отработки вертикальными и наклонными шпурами при почвоуступной отбойке с использованием мощных конверсионных ВВ. Создание за счет уступных схем дополнительных свободных поверхностей облегчает работу взрыва. Параметры буровзрывных работ с применением конверсионных ВВ должны обеспечивать наличие в отбитой горной массе минимального количества негабаритных кусков и снижение размеров зон с избыточной энергии, которые вызывают высокий выход рудной мелочи.

Взрывное воздействие для интенсификации процесса выщелачивания используют для нарушения равновесия действующих в массиве сил сцепления за счет периодического встряхивания замагазинированных руд, отбойки на предварительно замоченный переуплотненный раздробленный массив. Это способствует ликвидации канализированных протоков повышенного гидродинамического сечения и образованию промежуточных аккумуляторов для технологических растворов при отработке трещиноватых пород.

Предотвращение потерь выщелачивающих и продуктивных растворов осуществляют созданием на пути движения растворов щелевидную полость, имеющую вертикальную и горизонтальную часть и располагаемую по простиранию перпендикулярно к генеральному направлению движения продуктивных растворов по руде. Оконтуривающие поверхности щелевых полостей создают с применением контурных зарядов, кумулятивных зарядов с плоской симметрией, кумулятивных зарядов кольцевой формы, образующих магистральную трещину в плоскости перпендикулярной к оси скважины.

Особенности применения конверсионных ВВ в комбинированной геотехнологии. Отработка рудных тел производится в зависимости от условий залегания, физико-механических свойств руд и вмещающих пород. При рудоподготовке для подземного выщелачивания используют магазинирование руды на месте залегания, производят этажную отбойку руды, отработку сплошными или столбовыми системами. Скальные породы отбивают на зажатую среду глубокими скважинами параллельными рядами или с использованием веерной схемы. Для маломощных и слабонаклонных рудных тел применяют стадийную отработку: первоначально отбивают балансовые руды и производят их взрыводоставку, а затем - магазинирование забалансовых руд. Месторождения с неустойчивой кровлей отрабатывают с оставлением естественных и созданием искусственных целиков, отбиваемых слоями, и последующим магазинированием руды. Приуроченные к трещиноватым породам месторождения, отрабатывают с вовлечением в разработку трещиноватого слабопроницаемого массива.

Отбойку горных пород в зависимости от горнотехнических условий производят в зажатой среде взрыванием на одну или две свободные поверхности. Используют взаимодействие зарядов при срабатывании последующих зарядов в момент раскрытия трещин от действия предыдущих зарядов. Для достижения максимальной плотности микротрещин в раздробленной горной породе применяют методы взрывного разупрочнения горных пород. Формирование компенсационного пространства осуществляют многорядным короткозамедленным взрыванием на замагазинированную руду наклонных или вертикальных зарядов ВВ; секционным взрыванием зарядов в глубоких вертикальных скважинах; взрыванием парно-сближенных скважинных зарядов; взрыванием горизонтально и наклонно расположенных шпуровых зарядов; взрыванием с повышенным удельным расходом ВВ при повышенном коэффициенте сближения скважин и дополнительных незаряженных скважинах.

Интенсификацию процесса выщелачивания производят взрыванием, обеспечивающим нарушение равновесия действующих в массиве сил сцепления. Это приводит к уменьшению количества канализированных протоков повышенного гидродинамического сечения.

Снижение потерь продуктивных растворов в районе технологии подземного выщелачивания осуществляют созданием вертикальных и горизонтальных полостей. Оконтуривание поверхностей полостей производят кумулятивными зарядами с плоской симметрией, при взаимодействии которых образуются магистральные трещины по линии скважин или шпуров. Отрезные щели в кровле и подошве формируют кумулятивными зарядами кольцевой формы, подсекающими в плоскости перпендикулярной оси скважин.

Проходка подготовительных (штреки, квершлаги, восстающие, бремсберги, съезды и др.) и нарезных (орты, буровые выработки и др.) выработок осуществляется при подготовке месторождения к подземному выщелачиванию.

Контроль процесса подземного выщелачивания и отработка технологических процессов подготовки руд осуществляют в выработках, которые проходят из штрека в лежачем боку блока в замагазинированную руду.

Контурное взрывание используют при создании противофильтрационных завес рядом с контуром выщелачивания, образовании горизонтальных экранов по кровле и подошве пластов, формировании аккумуляторов технологических растворов.

При применении конверсионных ВВ в геотехнологиях происходит внесение в окружающую среду (воздух, воду, почвенный покров) инородных веществ, содержащихся в продуктах взрыва и зависящих от состава конверсионных ВВ, технологии их применения. Возможность применения конверсионных ВВ, особенно с отрицательным кислородным балансом, ограничивается соблюдением установленных ПДК (газы, твердые вещества). При крупномасштабном взрывании, использовании в глубоких карьерах требуется разработка технических мероприятий по снижению экологических последствий, связанных с выбросом вредных газов.

При транспортировании и работе с конверсионными ВВ необходимо выполнение требований по обеспечению мер безопасности. Для предохранения от действия атмосферной влаги, сохранности остаточного растворителя, а также удобства хранения и транспортировки пороха укупориваются в герметические короба различных конструкций и размеров, изготовленные из оцинкованного железа. Баллиститные пороха при длительном хранении и хранении при знакопеременных и повышенных температурах обладают склонностью к эксудации. При хранении происходит изменение физической стойкости.

Транспортирование и хранение конверсионных ВВ на местах работ должны проводиться в соответствии с требованиями Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах» Москва 2014. Транспортирование конверсионных ВВ автомобильным транспортом ведется в соответствии с требованиями «Европейского соглашения о международной дорожной перевозке опасных грузов» (ДОПОГ). Перевозить конверсионных ВВ разрешается только в исправной заводской упаковке. Гранипоры переносятся в мешках заводской упаковки. Переносить россыпные коллоидные пороха в сумках взрывника категорически запрещено.

Механические воздействия присущи практически всем видам технологических операций, осуществляемых при применении конверсионных ВВ. Основным фактором опасности при механических воздействиях является тепло, в которое преобразуется

механическая энергия. Тепловые воздействия на конверсионные ВВ характерные при переходе механической или электрической энергии в тепловую обусловливаются соотношением условий теплоприхода и теплоотвода, которые пропорциональны объему и поверхности ВВ соответственно. Критерием оценки служит величина температуры вспышки.

Электризация порохов и взрывчатых веществ играет важную роль при оценке возможности механизированного заряжания шпуров и скважин в геотехнологии. При работе с порохами и взрывчатыми веществами (пересыпании, транспортировании, просеивании, сушке, деформации, разрушении и др. операциях) могут возникать высокие потенциалы статического электричества. Мероприятиями по снижению электризации порохов при работе с ними являются обеспечение повышенной относительной влажности воздуха и смачивание рабочих поверхностей и самих порохов.

Для производства взрывных работ допускаются конверсионные ВВ, на которые имеются ГОСТы или утвержденные в установленном порядке ТУ. Заряжание скважин гранипорами производится с помощью воронок. Промежуточные детонаторы и патроны-боевики должны обеспечивать надежность инициирования заряда. При заряжании из баллиститных шашек формируют гирлянды, расположенные по всей длине скважины или рассредоточенные по длине скважины. Бризантные ВВ (тротил-У, гексотал и др.) заряжают вручную.

После взрыва осматривают развал горной массы. Отказавшие заряды уничтожают сжиганием или взрыванием в соответствии с требованиями Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах» Москва 2014. При дроблении негабарита взрыванием наружных зарядов конверсионных ВВ (сосредоточенных зарядов, кумулятивных зарядов с осевой симметрией) радиус опасной зоны 300 м.

2.3.1 Критерии кондиционирования свойств разрывных и метательных зарядов боеприпасов

Конверсионные ВВ производят из компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов. Уникальность конверсионных ВВ состоит в большом разнообразии физико-механических и взрывчатых свойств используемых веществ, включая формы и размеры частиц. На основе анализа технологии взрывания конверсионных ВВ, горнотехнических условий разработки месторождений, технологических характеристик руд можно отметить, что при использовании конверсионных ВВ взрывные работы отличаются особенностями,

характеризуемыми спецификой производственных процессов в физико-технических и физико-химических геотехнологиях.

При решении геотехнологических задач, связанных с отбойкой горных пород, актуальной проблемой является управление энергией, действием и работой взрыва. Требования к взрывному разрушению горных пород при отделении пород от массива и дроблении на куски заданных размеров определяются отличиями в используемой технологии, осуществляемых производственных процессах и применяемых технических средствах. «Определяющим фактором разрушающего действия взрыва является соотношение между запасом энергии заряда и массива горных пород действию взрыва» [357].

Количественные и качественные показатели дробления горных пород взрывом определяется запасом энергии и степенью ее использования на полезные формы работы. В скважинных зарядах запас энергии задается диаметром заряда и объемной концентрацией энергии ВВ. Затраты энергии на различные формы работы взрыва не является постоянными и зависят от характера размещения зарядов в массиве горных пород. С учетом фундаментальных положений о связи между свойствами ВВ и формами работы взрыва [65] следует рассматривать вопрос об управлении свойствами конверсионных ВВ. Применяемые ВВ должны обладать комплексом свойств и показателей, обеспечивающих возможность управления действием взрыва, т.е. определяющих полноту детонации; эффективность дробления; эксплуатационные характеристики; безопасность применения, хранения и транспортирования [143; 398; 404; 411].

В комбинированной физико-химической геотехнологии параметры взрывных работ должны учитывать особенности химической технологии выщелачивания и управление крупностью, степенью разрыхления руды. Особенностью взрывных работ также является повторное дробление взорванной горной массы. Новой является задача активного воздействия на нетронутую часть массива (блок, участок) таким образом, чтобы активно менять в достаточно широком диапазоне его физические свойства и структуру в пределах первоначального положения.

Анализ методов оценки эффективности взрывания и свойств ВВ, представленный в разделе 1 и [404], применение конверсионных ВВ в геотехнологии, представленное в данном разделе и [398; 409; 413] позволили сформулировать критерии управления свойствами конверсионных ВВ в геотехнологии, определить параметры для их оценки. Положенные в основу управления свойствами конверсионных ВВ критерии включают рекомендации по методам и параметрам кондиционирования компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов:

1. Критерий эффективности взрывания – осуществление управления энергией, работой и действием взрыва при решении технологических задач за счет исходных и приобретенных при утилизации свойств компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов;

2. Критерий безопасности (опасности в обращении) – соответствие базовых (чувствительность к механическим и тепловым воздействиям, электрическим зарядам, химическая и физическая стабильность) и специальных (время воздействия $P_{уд}$ при волочении изделий, скорость соударения изделий, характер взаимодействия с горными породами и грунтовыми водами) характеристик конверсионных ВВ условиям применения;

3. Критерий надежности работы – устойчивое состояние детонации зарядов в условиях использования, обеспечиваемое восприимчивостью к детонации, детонационной и инициирующей способностью конверсионных ВВ;

4. Критерий экологического воздействия – минимизация нагрузки на атмосферу, воду и почву с учетом массы выбросов и коэффициента нагрузки продуктов взрыва (газообразных соединений и твердых частиц);

5. Критерий экономической эффективности - получение положительного экономического эффекта за счет более низкой себестоимости разрушения, дробления и перемещения горных пород при применении конверсионных ВВ.

2.4 Обоснование требований по управлению свойствами, методам и параметрам кондиционирования компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов для использования в геотехнологии

Анализ технологии взрывных работ [143; 144; 398; 404; 410–413; 415; 416; 421; 464] позволил выявить общие черты, различия и особенности. На основе анализа опыта производства взрывных работ выполнена систематизация особенностей взрывания (взрывных технологий, методов взрывных работ, параметров взрывания, характеристик ВВ) с учетом вида геотехнологии (физико-техническая, физико-химическая и комбинации), способа разработки месторождений (открытый, подземный, открыто-подземный), метода добычи (шахтное выщелачивание, скважинное выщелачивание, скважинная гидродобыча). Технологические особенности взрывных работ в геотехнологии характеризуются видами работ, методами взрывания, параметрами взрывных работ (параметрами взрывных полостей, расположением, заряжанием, инициированием), требованиями к характеристикам ВВ (взрывчатым, безопасности в обращении, безотказности в применении; стойкости к действию активных химических агентов, экологическим, промышленно-санитарным), гидрогеологическими условиями.

В физико-технической геотехнологии с использованием конверсионных ВВ проводятся работы - дробление руды на карьерах и подземных горных работах; контурное взрывание на карьерах при отработке приконтурных лент, заоткоске уступов, постановке бортов в предельное состояние; контурное взрывание на подземных горных работах при проходке горных выработок; вторичное дробление негабарита на карьерах; дробление негабарита на выпуске и доставке руды, ликвидация зависаний руды в рудоспусках на подземных горных работах. В физико-химической геотехнологии с использованием конверсионных ВВ проводятся работы - ослабление прочности горных пород при скважинной гидродобыче; повторное взрывание для интенсификации процесса подземного выщелачивания; повышение проницаемости и коллекторских свойств массива при скважинном подземном выщелачивании, взрывные работы, обеспечивающие снижение потерь растворов через тектонические нарушения, зоны разломов и дробления, а также притока подземных вод внутрь рудного массива.

В представленной на рис.2.4 систематизации признаки и технологические особенности детально рассмотрены для процессов физико-технической геотехнологии. Для процессов комбинированной физико-технической геотехнологии, физико-химической геотехнологии и их комбинаций рассматриваемые параметры и условия определяют, исходя из существования преемственности технических и технологических решений [2; 143].

Предлагаемая систематизация позволяет обобщить технологии, методы и виды взрывных работ и с учетом особенностей технологических процессов физико-технической, физико-химической геотехнологии и их комбинаций обосновать требования по кондиционированию свойств компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов. Для рационального использования в геотехнологии разработаны требования по управлению свойствами, рекомендации по методам и параметрам кондиционирования физико-механических, взрывчатых и технологических свойств конверсионных ВВ [403], разработанные с учетом особенностей ведения взрывных работ, исходных свойств компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов (табл. 2.10). В табл. 2.10 использованы сокращения: ПП - пироксилиновый порох, БАП - баллиститный артиллерийский порох, БРТ - баллиститное ракетное топливо, СРТ – смесевые твердые топлива; ББВ – бризантные взрывчатые вещества; ТНТ – тротил; ПДК – предельно-допустимая концентрация; ОПЯ – открыто-подземный ярус; КБ – кислородный баланс.

При реализации требований по кондиционированию свойств конверсионных ВВ введено понятие «кондиционирование свойств», под которым понимается совокупность процессов механического, физического воздействия на компоненты разрывных и метательных зарядов боеприпасов при утилизации с целью придания им комплекса взрывчатых, механических и

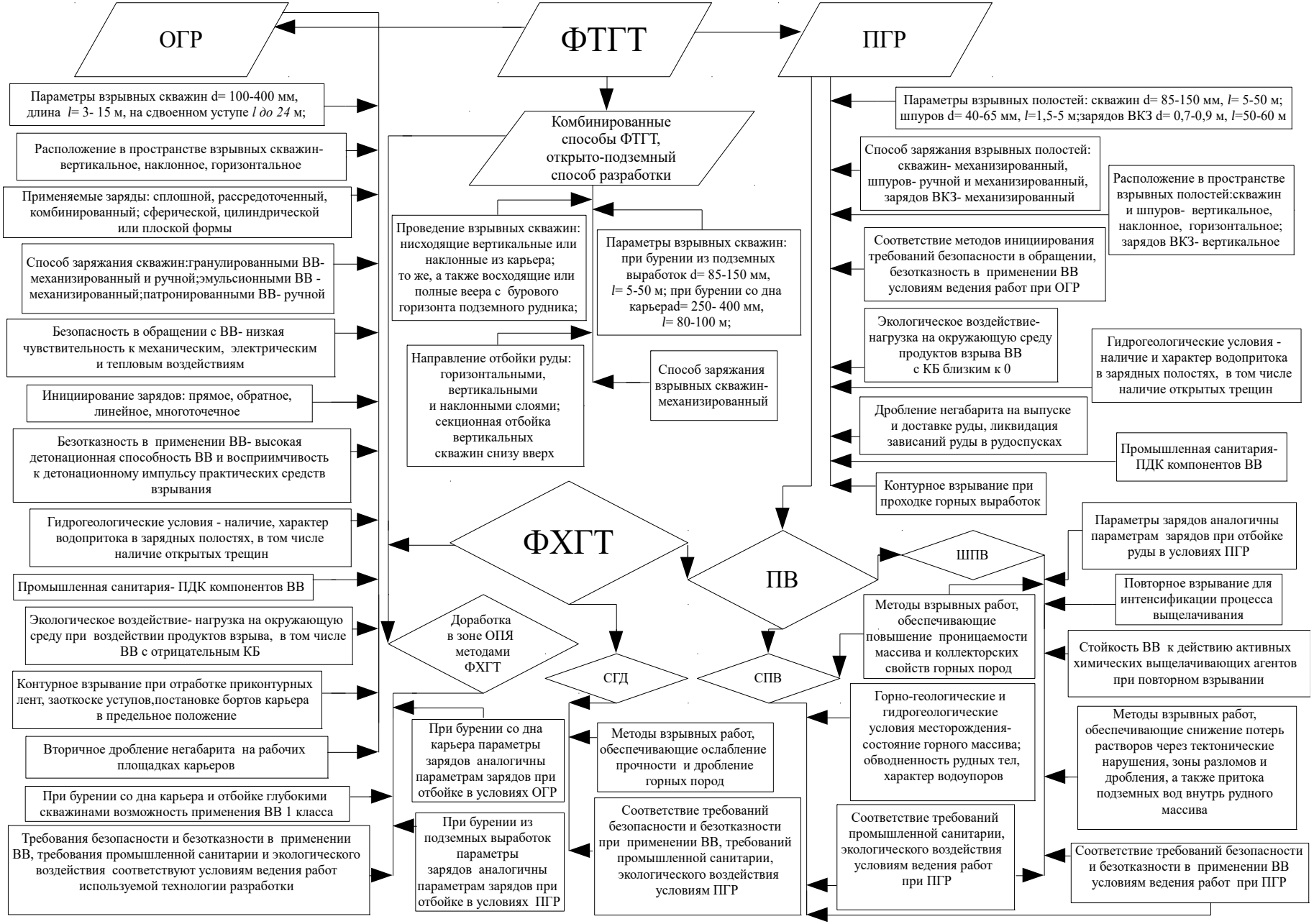

ОГР
ФТГТ
ПГР
Параметры взрывных скважин d= 100-400 мм, длина l= 3- 15 м, на сдвоенном уступе l до 24 м;
Расположение в пространстве взрывных скважин- вертикальное, наклонное, горизонтальное
Применяемые заряды: сплошной, рассредоточенный, комбинированный; сферической, цилиндрической или плоской формы
Способ заряжания скважин:гранулированными ВВ- механизированный и ручной;эмульсионными ВВ - механизированный;патронированными ВВ- ручной
Безопасность в обращении с ВВ- низкая чувствительность к механическим, электрическим и тепловым воздействиям
Инициирование зарядов: прямое, обратное, линейное, многоточечное
Безотказность в применении ВВ- высокая детонационная способность ВВ и восприимчивость к детонационному импульсу практических средств взрывания
Гидрогеологические условия - наличие, характер водопритока в зарядных полостях, в том числе наличие открытых трещин
Промышленная санитария- ПДК компонентов ВВ
Экологическое воздействие- нагрузка на окружающую среду при воздействии продуктов взрыва, в том числе ВВ с отрицательным КБ
Контурное взрывание при отработке приконтурных лент, заоткоске уступов,постановке бортов карьера в предельное положение
Вторичное дробление негабарита на рабочих площадках карьеров
При бурении со дна карьера и отбойке глубокими скважинами возможность применения ВВ 1 класса
Требования безопасности и безотказности в применении ВВ, требования промышленной санитарии и экологического воздействия соответствуют условиям ведения работ используемой технологии разработки
Комбинированные способы ФТГТ, открыто-подземный способ разработки
Проведение взрывных скважин: нисходящие вертикальные или наклонные из карьера; то же, а также восходящие или полные веера с бурового горизонта подземного рудника;
Параметры взрывных скважин: при бурении из подземных выработок d= 85-150 мм, l= 5-50 м; при бурении со дна карьерd= 250- 400 мм, l= 80-100 м;
Направление отбойки руды: горизонтальными, вертикальными и наклонными слоями; секционная отбойка вертикальных скважин снизу вверх
Способ заряжания взрывных скважин-механизированный
ФХГТ
Доработка в зоне ОПЯ методами ФХГТ
СГД
СПВ
ПВ
При бурении со дна карьера параметры зарядов аналогичны параметрам зарядов при отбойке в условиях ОГР
При бурении из подземных выработок параметры зарядов аналогичны параметрам зарядов при отбойке в условиях ПГР
Методы взрывных работ, обеспечивающие ослабление прочности и дробление горных пород
Соответствие требований безопасности и безотказности при применении ВВ, требований промышленной санитарии, экологического воздействия условиям ПГР
Параметры взрывных полостей: скважин d= 85-150 мм, l= 5-50 м; шпуров d= 40-65 мм, l=1,5-5 м;зарядов ВКЗ d= 0,7-0,9 м, l=50-60 м
Способ заряжания взрывных полостей: скважин- механизированный, шпуров- ручной и механизированный, зарядов ВКЗ- механизированный
Расположение в пространстве взрывных полостей:скважин и шпуров- вертикальное, наклонное, горизонтальное; зарядов ВКЗ- вертикальное
Соответствие методов инициирования требований безопасности в обращении, безотказность в применении ВВ условиям ведения работ при ОГР
Экологическое воздействие-нагрузка на окружающую среду продуктов взрыва ВВ с КБ близким к 0
Гидрогеологические условия - наличие и характер водопритока в зарядных полостях, в том числе наличие открытых трещин
Дробление негабарита на выпуске и доставке руды, ликвидация зависаний руды в рудоспусках
Промышленная санитария- ПДК компонентов ВВ
Контурное взрывание при проходке горных выработок
ШПВ
Параметры зарядов аналогичны параметрам зарядов при отбойке руды в условиях ПГР
Повторное взрывание для интенсификации процесса выщелачивания
Методы взрывных работ, обеспечивающие повышение проницаемости массива и коллекторских свойств горных пород
Стойкость ВВ к действию активных химических выщелачивающих агентов при повторном взрывании
Горно-геологические и гидрогеологические условия месторождения-состояние горного массива; обводненность рудных тел, характер водоупоров
Методы взрывных работ, обеспечивающие снижение потерь растворов через тектонические нарушения, зоны разломов и дробления, а также притока подземных вод внутрь рудного массива
Соответствие требований промышленной санитарии, экологического воздействия условиям ведения работ при ПГР
Соответствие требований безопасности и безотказности в применении ВВ условиям ведения работ при ПГР

Рис. 2.4. Систематизация особенностей взрывания в физико-технической, физико-химической геотехнологии и их комбинациях: ФТГТ - физико-техническая геотехнология; ОГР - открытые горные работы; ПГР - подземные горные работы; ОПЯ - открыто-подземный ярус; ВВ – взрывчатое вещество; ВКЗ - вертикальный концентрированный заряд; КБ - кислородный баланс ВВ; ПДК - предельно допустимые концентрации; ФХГТ - физико-химическая геотехнология; ПВ - подземное выщелачивание; СПВ - скважинное подземное выщелачивание; СГД - скважинная гидродобыча

технологических свойств, обеспечивающих эффективное и безопасное применение в производственных процессах геотехнологии.

Особенностью методов кондиционирования разрывных и метательных зарядов боеприпасов является, с одной стороны, неразрывная связь с технологическими процессами и оборудованием извлечения и переработки ВВ, с другой стороны, обеспечение условий эффективного и безопасного применения конверсионных ВВ в геотехнологии при разнообразии методов ведения буровзрывных работ и назначения взрывных работ.

Это реализуется в технологиях утилизации боеприпасов и разработки продукции на основе ВВ, включающих:

переработку дроблением, измельчением, резкой;

переработку вымыванием, выплавкой, грануляцией, чешуированием;

изготовление флегматизированных, сухих, водосодержащих, льющихся, пластичных и с высокоэнергетическими добавками смесей,

увеличение ударно-волновой чувствительности, снижение чувствительности к механическим воздействиям, снижение критического диаметра, уменьшение токсичности продуктов взрыва;

изготовление зарядов в оболочках для ограниченно водоустойчивых, льющихся и пластичных смесей, а также для снижения чувствительности к механическим воздействиям;

формование специальных зарядов (контурного взрывания, линейного инициирования, для проходческих работ, кумулятивных зарядов плоской симметрии линейной и кольцевой формы, промежуточных детонаторов);

повышение химической стойкости при воздействии агрессивных химических агентов;

обеспечение защиты от опасного внешнего воздействия при транспортировании, перевозке и доставке к местам работ.

Таблица 2.10 - Обоснование требований по кондиционированию свойств с учетом особенностей взрывных работ в геотехнологии, физико-механических и взрывчатых свойств компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов

<table>
<tr><td></td><td>Условия, показатели взрывания в геотехнологии</td><td>Свойства компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов</td><td>Рекомендуемые методы и параметры управления свойствами и кондиционированием компонентов боеприпасов для применения в геотехнологии</td></tr>
<tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="3">Физико-техническая открытая геотехнология</td></tr>
<tr><td>1.1</td><td>Взрывчатые и технологические свойства ВВ</td><td>теплота взрыва (МДж/кг): пороха - 3,3–3,7; БРТ - 4,02–5,8; БВВ - 4,2–5,4.
плотность (г/см^3): пороха 1,54–1,65 (насыпная 0,6–0,85); БРТ 1,57–1,65; БВВ 1,55–1,8 (насыпная 0,8–1,0)
скорость детонации (км/с) пороха 6–6,5; БРТ 7–7,8; БВВ 6,5–8,5
физическое состояние - зерно, гранулы, трубки, шашки</td><td>дробление ПП - d <5 мм
измельчение БАП и БРТ, СРТ (крошка, гранула, таблетка и т.д.) - 2–20 мм
дробление - d <45 мм, выплавление и грануляция ТНТ - d <8 мм
дробление бризантных (гексогено- и алюмосодержащих) ВВ - d <8 мм
оптимальное соотношение размеров гранул d_{min}/d_{max}=0,6–0,9
получение сухих, водосодержащих смесей БВВ; эмульсий, гелей, льющихся и пластичных смесей ПП, БАП, БВВ, смесей с высокоэнергетическими добавками БРТ и СРТ</td></tr>
<tr><td>1.2</td><td>Безопасность в обращении с ВВ</td><td>чувствительность к механическим воздействиям
<table><tr><td>ВВ</td><td>к удару ГОСТ 4545, %</td><td>к трению ОСТ 84-895, кгс/см^2</td></tr><tr><td>Тротил</td><td>4–20</td><td>>3000</td></tr><tr><td>Гексоген</td><td>70–90</td><td>1500</td></tr><tr><td>Порох пироксилиновый</td><td>50 x)</td><td>1089</td></tr><tr><td>Порох баллиститный артиллерийский (НДТ-2)</td><td>50–100 x)</td><td>1089–2180</td></tr><tr><td>Твердые ракетные топлива</td><td>50 x)</td><td>1089–1573</td></tr></table>x) чувствительность к удару по ОСТ 84-892-74 (нижний предел), Но, мм.</td><td><table><tr><td rowspan="2">ВВ</td><td colspan="2">Чувствительность</td></tr><tr><td>к удару ГОСТ 4545, %</td><td>к трению ОСТ 84-895, кгс/см^2</td></tr><tr><td>Тротил У</td><td>0–20</td><td>>5000</td></tr><tr><td>Гексоген фл. (А-1Х-1)</td><td>24</td><td>3000</td></tr><tr><td>Альгетолы</td><td>8-16</td><td>2940</td></tr><tr><td>Эмульсены</td><td>0</td><td>>3000</td></tr><tr><td>Гельпоры</td><td>0</td><td>1570–2500</td></tr><tr><td>ПП с флегматизатором x)</td><td></td><td></td></tr><tr><td>вода</td><td>200–250</td><td>1300–1390</td></tr><tr><td>1% приборного масла</td><td>75</td><td>1089</td></tr><tr><td>30% АС</td><td>500</td><td>1573</td></tr><tr><td>БАП (НДТ-2) с флегматизатором x)</td><td></td><td></td></tr><tr><td>1% приборного масла</td><td>100–300</td><td>1270–3025</td></tr><tr><td>30 % АС</td><td>300–500</td><td>1815–3025</td></tr><tr><td>Гранипоры</td><td></td><td></td></tr><tr><td>ПП</td><td>8-12</td><td>2000-2500</td></tr><tr><td>БАП</td><td>4-24</td><td>1573-2573</td></tr></table>x) чувствительность к удару по ОСТ 84-892-74 (нижний предел), Но, мм.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td>Условия, показатели взрывания в геотехнологии</td><td>Свойства компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов</td><td>Рекомендуемые методы и параметры управления свойствами и кондиционированием компонентов боеприпасов для применения в геотехнологии</td></tr>
<tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>флегматизация порохов, БВВ продуктами перегонки нефти (масла и высокомолекулярные топлива), воскообразными веществами, жирами природного происхождения, водой, селитрой, водными растворами селитры</td></tr>
<tr><td>1.3</td><td>Безопасность при перевозке ВВ</td><td>чувствительность к механическим воздействиям (включая вибрационные воздействия, трение при проскальзывании, волочении, соударении изделий), искровому разряду, тепловому воздействию, при ударе быстролетящим телом</td><td>
<table>
<tr><td rowspan="2">Вид воздействия</td><td rowspan="2">Время, с</td><td colspan="2">Критические параметры</td></tr>
<tr><td>$P_{уд}$, кгс/см^2</td><td>V, м/с</td></tr>
<tr><td>Проскальзывание при падении или сдвиге</td><td>$1\cdot10^{-1}$</td><td>20–540</td><td>5–4</td></tr>
<tr><td>Кратковременные (импульсные) воздействия</td><td>$5\cdot10^{-3}$</td><td>500–1000</td><td>5</td></tr>
<tr><td>Длительное трение при установившемся теплоотводе</td><td>>3000</td><td>10–25</td><td>0,3–0,2</td></tr>
<tr><td>Трение с истиранием испытуемого образца</td><td>5–30</td><td>15–30</td><td>1,2</td></tr>
</table>
<table>
<tr><td>Группа чувствительности от статического электричества</td><td>Типичный представитель</td><td>Минимальная энергия воспламенения</td></tr>
<tr><td>Средняя</td><td>Октоген</td><td>$1,5*10^{-2}$</td></tr>
<tr><td>Низкая</td><td>БРТ</td><td>>1,0</td></tr>
</table>
<table>
<tr><td rowspan="2">Наименование</td><td rowspan="2">Критическая скорость, м/с</td><td colspan="2">Параметры восприимчивости к детонации</td></tr>
<tr><td>$d_{кр}$, мм</td><td>$P_{кр}$, ГПа</td></tr>
<tr><td>БРТ без минеральных добавок (РБП)</td><td>2500</td><td>19</td><td>9</td></tr>
<tr><td>БРТ с минеральными добавками (РБП)</td><td>2000</td><td>1,5–14</td><td>4–4,5</td></tr>
<tr><td>А-IX-I</td><td>500</td><td>3</td><td>0,7</td></tr>
<tr><td>ТНТ (прессованный)</td><td>800–1000</td><td>10</td><td>1–1,4</td></tr>
</table>
<table>
<tr><td>ВВ</td><td>Температура вспышки, t°</td></tr>
<tr><td>Гранипоры</td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td>Условия, показатели взрывания в геотехнологии</td><td>Свойства компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов</td><td>Рекомендуемые методы и параметры управления свойствами и кондиционированием компонентов боеприпасов для применения в геотехнологии</td></tr>
<tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>
<table>
<tr><td>ПП</td><td>180-190</td></tr>
<tr><td>БАП</td><td>170-180</td></tr>
<tr><td>Альгетолы</td><td>210</td></tr>
<tr><td>Эмульсены:</td><td></td></tr>
<tr><td>Г</td><td>230-240</td></tr>
<tr><td>П</td><td>190</td></tr>
<tr><td>Гельпоры</td><td>170-190</td></tr>
</table>
упаковка: ящики древесноволокнистые, из гофрированного картона, дощатые, мешки бумажные битумированные, мешки бумажные битумированные с п/э вкладышем
</td></tr>
<tr><td>1.4</td><td>Надежность взрывания (безотказность в применении ВВ)</td><td>ударно-волновая чувствительность разрывных и метательных компонентов боеприпасов
ТНТ (прессованный) $P_{кр}$=0,7-0,9 ГПа, ТНТ (литой) $P_{кр}$=1,4 ГПа
Гексоген (порошок) $P_{кр}$=0,05-0,2 ГПа, Гексоген (прессованый) $P_{кр}$=0,7 ГПа
БРТ без минеральных добавок (РБП) $P_{кр}$=7–9 Гпа
<table>
<tr><td>БРТ</td><td>p_+/p_-, ГПа</td></tr>
<tr><td>РСТ-4К</td><td>5,8/5,7</td></tr>
<tr><td>РНДСИ</td><td>6,5/6,2</td></tr>
<tr><td>РСИ-12К</td><td>7,1/6,7</td></tr>
<tr><td>НБ-40</td><td>8,6/8,1</td></tr>
<tr><td>РАМ-10</td><td>8,4/8,1</td></tr>
<tr><td>Н</td><td>8,2/8/1</td></tr>
</table>
</td><td>повышение ударно-волновой чувствительности метательных компонентов боеприпасов:
введением минеральных добавок (углерод, металлы, окислы или соли металлов), способных играть роль горячих точек при детонации – БРТ, содержащие минеральные добавки (РБП) $P_{кр}$=4–4,5 ГПа
изменением физического состояния – таблетка БРТ (РПБ) ($P_{кр}$=0,5–0,7 ГПа), крошка БРТ (РПБ) ($P_{кр}$=0,05–0,2 ГПа), раздробленные элементы 0,5-10 мм БРТ $P_{кр}$=0,1–1 ГПа;
раздробленные элементы >5 мм ББВ ($P_{кр}$=1 ГПа), раздробленные элементы до 5 мм ББВ ($P_{кр}$=0,1–1 ГПа), стружка ББВ ($P_{кр}$=0,05–0,2 ГПа);</td></tr>
<tr><td>1.5</td><td>Диаметр скважин (80-320 мм)</td><td>устойчивое состояния детонации - критический диаметр (мм): пороха - 8–35; БРТ - 2–28; ББВ 1,5–10; БРТ без минеральных добавок (РБП) $d_{кр}$=15–30 мм</td><td>введение минеральных добавок (углерод, металлы, окислы или соли металлов), обеспечивающих снижение критического диаметра (БРТ, содержащие минеральные добавки (РБП) - $d_{кр}$=1,5–14 мм)</td></tr>
<tr><td>1.6</td><td>Длина скважин (5-20 м)</td><td>детонационная способность</td><td>введение минеральных добавок (углерод, металлы, окислы или соли металлов), обеспечивающих повышение детонационной способности</td></tr>
<tr><td>1.7</td><td>Направление</td><td>физическое состояние - зерно, гранулы, трубки, шашки</td><td>получение консистенции: сухие, водосодержащие полидисперсные смеси</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td>Условия, показатели взрывания в геотехнологии</td><td>Свойства компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов</td><td>Рекомендуемые методы и параметры управления свойствами и кондиционированием компонентов боеприпасов для применения в геотехнологии</td></tr>
<tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr>
<tr><td></td><td>скважин (вертикальные, наклонные)</td><td></td><td>БВВ; льющиеся и пластичные смеси ПП, БАП, БВВ;
патронирование: патроны, полиэтиленовые оболочки и корпуса, шашки БРТ;</td></tr>
<tr><td>1.8</td><td>Заряжание скважин</td><td>чувствительность к трению, волочению и соударению изделий</td><td>покрытие шашек БРТ с наружной поверхности инертным материалом;
увлажнение водой и водными растворами, омасливание
<table>
<tr><td rowspan="2">Воздействие</td><td rowspan="2">Время, с</td><td colspan="2">Критические параметры</td></tr>
<tr><td>$P_{уд}$, кгс/см^2</td><td>V, м/с</td></tr>
<tr><td>Проскальзывание при падении или сдвиге</td><td>$1\cdot10^{-1}$</td><td>20–540</td><td>5–4</td></tr>
<tr><td>Кратковременные (импульсные) воздействия</td><td>$5\cdot10^{-3}$</td><td>500–1000</td><td>5</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>1.9</td><td>Заряжание обводненных шпуров и скважин</td><td>водоустойчивые гомогенные пороха и литые БВВ, ограничено водоустойчивые пористые пороха, прессованные БВВ</td><td>использование ограниченно водоустойчивых ПП, льющихся и пластичных смесей ПП, БВВ в патронах, оболочках, корпусных изделиях</td></tr>
<tr><td>1.10</td><td>Инициирование зарядов</td><td>физическое состояние: шашки, таблетка, зерно, трубка, (БРТ, пороха)
ударно-волновая чувствительность (БРТ без минеральных добавок (РБП) $P_{кр}$=7–9 ГПа)</td><td>повышение ударно-волновой чувствительности добавлением более чувствительных ВВ (БРТ (РБП), содержащие кристаллические ВВ $P_{кр}$=2,5–3,5 ГПа)</td></tr>
<tr><td>1.11</td><td>Вторичное дробление</td><td>физическое состояние: шашки, таблетка, зерно, трубка, (БРТ, пороха)</td><td>получение консистенции: сухие, водосодержащие полидисперсные смеси БВВ; льющиеся и пластичные смеси ПП, БАП, БВВ;
патронирование: патроны, полиэтиленовые оболочки и корпуса, шашки БРТ;
изготовление кумулятивных зарядов плоской симметрии $d_{зар}$=60–100 мм</td></tr>
<tr><td>1.12</td><td>Контурное взрывание</td><td>шашки (БВВ, БРТ)</td><td>изготовление зарядов контурного взрывания с линейной плотностью заряжания 0,4-3 кг/м</td></tr>
<tr><td>1.13</td><td>Пылеобразование при обращении с ВВ</td><td>ПДК пыли в воздухе рабочей зоны, мг/м^3
тротил - 0,5; гексоген - 1; гранипор - 0,1; дибазит - 0,02</td><td>оптимизация режимов переработки ПП, БАП, БВВ; шашек БРТ, гидрообеспыливание в процессе переработки, увлажнение водой непосредственно перед заряжанием скважин</td></tr>
<tr><td>1.14</td><td>Экологическое</td><td>кислородный баланс взрывчатых и метательных</td><td>введение окислителя для снижения токсичности продуктов взрыва</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td>Условия, показатели взрывания в геотехнологии</td><td>Свойства компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов</td><td>Рекомендуемые методы и параметры управления свойствами и кондиционированием компонентов боеприпасов для применения в геотехнологии</td></tr>
<tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr>
<tr><td></td><td>воздействие ПВ</td><td>компонентов боеприпасов от -21,6 % до -74%</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="3">Физико-техническая подземная геотехнология</td></tr>
<tr><td>2.1</td><td>Взрывчатые и технологические свойства ВВ</td><td>теплота взрыва (МДж/кг): БРТ - 4,02–5,8; БВВ - 4,2–5,4.
плотность (г/см^3): БРТ 1,57–1,65; БВВ 1,55–1,8
скорость детонации (км/с): БРТ 7–7,8; БВВ 6,5–8,5
физическое состояние - шашки</td><td>изготовление зарядов для проходки
изготовление линейных инициаторов
изготовление кумулятивных зарядов плоской симметрии</td></tr>
<tr><td>2.2</td><td>Безопасность в обращении с ВВ</td><td>чувствительность к механическим воздействиям
<table><tr><td>ВВ</td><td>к удару ГОСТ 4545, %</td><td>к трению ОСТ 84-895, кгс/см^2</td></tr><tr><td>Тротил</td><td>4–20</td><td>>3000</td></tr><tr><td>Гексоген</td><td>70–90</td><td>1500</td></tr><tr><td>БРТ</td><td>50 x)</td><td>1089–1573</td></tr></table>
x) чувствительность к удару по ОСТ 84-892-74 (нижний предел), Но, мм.</td><td>покрытие шашек БРТ с наружной поверхности инертным материалом;
<table><tr><td rowspan="2">ВВ</td><td colspan="2">Чувствительность</td></tr><tr><td>к удару ГОСТ 4545, %</td><td>к трению ОСТ 84-895, кгс/см^2</td></tr><tr><td>Гексоген фл. (А-1Х-1)</td><td>24</td><td>3000</td></tr><tr><td>флегматизация БРТ</td><td>50–150 x)</td><td>1089–1815</td></tr></table>x) чувствительность к удару по ОСТ 84-892-74 (нижний предел), Но, мм.</td></tr>
<tr><td>2.3</td><td>Безопасность при перевозке ВВ</td><td>Показатели см. п. 1.3</td><td>Характеристики см. п. 1.3</td></tr>
<tr><td>2.4</td><td>Надежность взрывания (безотказность в применении ВВ)</td><td>ударно-волновая чувствительность разрывных и метательных компонентов боеприпасов. Характеристики см п.1.4</td><td>повышение ударно-волновой чувствительности метательных компонентов боеприпасов:
введением минеральных добавок (углерод, металлы, окислы или соли металлов), способных играть роль горячих точек при детонации – БРТ, содержащие минеральные добавки (РБП) $P_{кр}$=4–4,5 ГПа</td></tr>
<tr><td>2.5</td><td>Диаметр скважин (100-150 мм)
Диаметр шпуров (40-75 мм)</td><td>критический диаметр ($d_{кр}$, мм): БВВ 1,5–10; БРТ - 2–28;
БРТ без минеральных добавок (РБП) $d_{кр}$ =15–30 мм</td><td>введение минеральных добавок (углерод, металлы, окислы или соли металлов), обеспечивающих снижение критического диаметра (БРТ, содержащие минеральные добавки (РБП) $d_{кр}$=1,5–14 мм)</td></tr>
<tr><td>2.6</td><td>Длина взрывных полостей (60 м), скважин (40 м), шпуров (10 м)</td><td>высокая детонационная способность при малых диаметрах зарядов, при удлинениях до 300–500 калибров</td><td>введение минеральных добавок (углерод, металлы, окислы или соли металлов), обеспечивающих повышение детонационной способности</td></tr>
</table>

	Условия, показатели взрывания в геотехнологии	Свойства компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов	Рекомендуемые методы и параметры управления свойствами и кондиционированием компонентов боеприпасов для применения в геотехнологии
	1	2	3
2.7	Направление взрывных полостей – вертикальное, скважин, шпуров - полный веер	физическое состояние - шашки	форма выпуска: шашки БВВ и БРТ. Формирование зарядов для линейного инициирования; формирование зарядов для проходческих работ
2.8	Заряжание взрывных полостей, скважин, шпуров	показатели см. п. 1.8	параметры воздействия (проскальзывание при падении или сдвиге, кратковременное импульсное воздействие) см. п. 1.8; покрытие шашек с наружной поверхности инертным материалом
2.9	Заряжание обводненных шпуров и скважин	водоустойчивые шашки БВВ и БРТ	использование водоустойчивых шашек БВВ и БРТ
2.10	Инициирование зарядов	физическое состояние: шашки	характеристики см. п. 1.4
2.11	Вторичное дробление	физическое состояние: шашки, таблетка, зерно, трубка, (БРТ, пороха); шашки (БВВ, БРТ)	получение консистенции: сухие, водосодержащие полидисперсные смеси БВВ; льющиеся и пластичные смеси ПП, БАП, БВВ; патронирование: патроны, полиэтиленовые оболочки и корпуса, шашки БРТ; изготовление кумулятивных зарядов плоской симметрии $d_{зар}$=40–60 мм
2.12	Пылеобразо-вание при обращении с ВВ	показатели см. п. 1.13	методы см. п. 1.13
2.13	Экологическое воздействие ПВ	ПДК пыли в воздухе рабочей зоны, мг/м^3 тротил - 0,5; гексоген - 1;	оптимизация режимов переработки БВВ, гидрообеспыливание в процессе переработки, увлажнение водой непосредственно перед заряжанием скважин
	Комбинированная физико-техническая геотехнология		
3.1	Взрывчатые и технологические свойства ВВ	теплота взрыва (МДж/кг): БВВ - 4,2–5,4. плотность (г/см3): БВВ 1,55–1,8 (насыпная 0,8–1,0) скорость детонации (км/с): БВВ 6,5–8,5 физическое состояние - гранулы	дробление - d <45 мм, выплавление и грануляция ТНТ - d <8 мм дробление бризантных ВВ - d <8 мм оптимальное соотношение размеров гранул dmin/dmax=0,6–0,9
3.2	Безопасность в обращении с ВВ	чувствительность к механическим воздействиям	флегматизация БВВ селитрой, водными растворами селитры получение консистенции: сухие, водосодержащие полидисперсные смеси БВВ; льющиеся и пластичные смеси БВВ;

<table>
<tr><td></td><td>Условия, показатели взрывания в геотехнологии</td><td>Свойства компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов</td><td>Рекомендуемые методы и параметры управления свойствами и кондиционированием компонентов боеприпасов для применения в геотехнологии</td></tr>
<tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>
<table>
<tr><th>ВВ</th><th>к удару ГОСТ 4545, %</th><th>к трению ОСТ 84-895, кгс/см^2</th></tr>
<tr><td>Тротил</td><td>4–20</td><td>>3000</td></tr>
<tr><td>Гексоген</td><td>70–90</td><td>1500</td></tr>
</table>
<table>
<tr><th>ВВ</th><th>к удару,%</th><th>к трению, кгс/см^2</th></tr>
<tr><td>Тетрил</td><td>50–60</td><td>2500</td></tr>
</table>
</td><td>
<table>
<tr><th rowspan="2">ВВ</th><th colspan="2">Чувствительность</th></tr>
<tr><th>к удару ГОСТ 4545, %</th><th>к трению ОСТ 84-895, кгс/см^2</th></tr>
<tr><td>Тротил У</td><td>0–20</td><td>>5000</td></tr>
<tr><td>Альгетолы</td><td>8-16</td><td>2940</td></tr>
<tr><td>Эмульсены</td><td>0</td><td>>3000</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>3.3</td><td>Безопасность при перевозке ВВ</td><td>Показатели см. п. 1.3</td><td>Характеристики см. п 1.3</td></tr>
<tr><td>3.4</td><td>Надежность взрывания (безотказность в применении ВВ)</td><td>ударно-волновая чувствительность разрывных компонентов боеприпасов
ТНТ (прессованный) $P_{кр}$=0,7-0,9 ГПа,
ТНТ (литой) $P_{кр}$=1,4 ГПа
Гексоген (порошок) $P_{кр}$=0,05-0,2 ГПа, Гексоген (прессованный) $P_{кр}$=0,7 ГПа</td><td>раздробленные элементы >5 мм БВВ ($P_{кр}$=1 ГПа), раздробленные элементы до 5 мм БВВ ($P_{кр}$=0,1–1 ГПа), стружка БВВ ($P_{кр}$=0,05–0,2 ГПа);</td></tr>
<tr><td>3.5</td><td>Длина скважин при отработке ОПЯ (до 100 м)</td><td>высокая детонационная способность ВВ; скорость детонации (км/с) БВВ 6,5–7,5</td><td>введение минеральных добавок (углерод, металлы, окислы или соли металлов), обеспечивающих повышение детонационной способности выплавка и грануляция ТНТ - d <8 мм
дробление бризантных и гексогеносодержащих составов - d <8 мм</td></tr>
<tr><td>3.6</td><td>Диаметр скважин (до 320 мм)</td><td>детонационная способность</td><td>введение минеральных добавок (углерод, металлы, окислы или соли металлов), обеспечивающих повышение детонационной способности</td></tr>
<tr><td>3.7</td><td>Направление скважин (вертикальные, наклонные)</td><td>физическое состояние - зерно, гранулы, трубки, шашки</td><td>получение консистенции: сухие, водосодержащие полидисперсные смеси БВВ; льющиеся и пластичные смеси БВВ;
патронирование: патроны, полиэтиленовые оболочки и корпуса;</td></tr>
<tr><td>3.8</td><td>Заряжание скважин</td><td>чувствительность к трению, волочению и соударению изделий</td><td>параметры воздействия (проскальзывание при падении или сдвиге, кратковременное импульсное воздействие) см. п. 1.8
увлажнение водой и водными растворами</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td>Условия, показатели взрывания в геотехнологии</td><td>Свойства компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов</td><td>Рекомендуемые методы и параметры управления свойствами и кондиционированием компонентов боеприпасов для применения в геотехнологии</td></tr>
<tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr>
<tr><td>3.9</td><td>Заряжание обводненных шпуров и скважин</td><td>водоустойчивые гомогенные БВВ,
ограничено водоустойчивые прессованные БВВ</td><td>использование ограниченно водоустойчивых БВВ, льющихся и пластичных смесей БВВ в патронах, оболочках, корпусных изделиях</td></tr>
<tr><td>3.10</td><td>Инициирование зарядов</td><td>физическое состояние: таблетка, зерно</td><td>изменением физического состояния – раздробленные элементы >5 мм БВВ (Ркр=1 Гпа), раздробленные элементы до 5 мм БВВ (Ркр=0,1–1 ГПа), стружка БВВ (Ркр=0,05–0,2 ГПа);</td></tr>
<tr><td>3.11</td><td>Пылеобразование при обращении с ВВ</td><td>ПДК пыли в воздухе рабочей зоны, мг/м^3
тротил - 0,5; гексоген – 1;</td><td>оптимизация режимов переработки БВВ; гидрообеспыливание в процессе переработки, увлажнение водой непосредственно перед заряжанием скважин</td></tr>
<tr><td>3.12</td><td>Экологическое воздействие ПВ</td><td>кислородный баланс взрывчатых компонентов боеприпасов от -21,6 % до -74%</td><td>введение окислителя для снижения токсичности продуктов взрыва</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="3">Физико-химическая геотехнология</td></tr>
<tr><td>4.1</td><td>Взрывчатые и технологические свойства ВВ</td><td>теплота взрыва (МДж/кг): БВВ – 4,2–5,4.
плотность (г/см^3): БВВ 1,55–1,8 (насыпная 0,8–1,0)
скорость детонации (км/с) БВВ 6,5–7,5
физическое состояние - зерно, гранулы</td><td>дробление - d <45 мм, выплавка и грануляция ТНТ - d <8 мм
дробление БВВ - d <8 мм</td></tr>
<tr><td>4.2</td><td>Безопасность в обращении с ВВ</td><td>чувствительность к механическим воздействиям
<table>
<tr><td>ВВ</td><td>к удару ГОСТ 4545, %</td><td>к трению ОСТ 84-895, кгс/см^2</td></tr>
<tr><td>Тротил</td><td>4–20</td><td>>3000</td></tr>
<tr><td>Гексоген</td><td>70–90</td><td>1500</td></tr>
</table>
<table>
<tr><td>ВВ</td><td>к удару,%</td><td>к трению, кгс/см^2</td></tr>
<tr><td>Тетрил</td><td>50–60</td><td>2500</td></tr>
</table></td><td>флегматизация БВВ селитрой, водными растворами селитры
получение консистенции: сухие, водосодержащие полидисперсные смеси БВВ; льющиеся и пластичные смеси БВВ
<table>
<tr><td rowspan="2">ВВ</td><td colspan="2">Чувствительность</td></tr>
<tr><td>к удару ГОСТ 4545, %</td><td>к трению ОСТ 84-895, кгс/см^2</td></tr>
<tr><td>Тротил У</td><td>0–20</td><td>>5000</td></tr>
<tr><td>Альгетолы</td><td>8-16</td><td>2940</td></tr>
<tr><td>Эмульсены</td><td>0</td><td>>3000</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>4.3</td><td>Безопасность при перевозке ВВ</td><td>показатели см. п. 1.3</td><td>характеристики см. п 1.3</td></tr>
</table>

	Условия, показатели взрывания в геотехнологии	Свойства компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов	Рекомендуемые методы и параметры управления свойствами и кондиционированием компонентов боеприпасов для применения в геотехнологии
	1	2	3
4.4	Надежность взрывания (безотказность в применении ВВ)	ударно-волновая чувствительность разрывных компонентов боеприпасов ТНТ (прессованный) $P_{кр}$=0,7-0,9 ГПа, ТНТ (литой) $P_{кр}$=1,4 ГПа Гексоген (порошок) $P_{кр}$=0,05-0,2 ГПа, Гексоген (прессованный) $P_{кр}$=0,7 ГПа	раздробленные элементы >5 мм БВВ ($P_{кр}$=1 ГПа), раздробленные элементы до 5 мм БВВ ($P_{кр}$=0,1–1 ГПа), стружка БВВ ($P_{кр}$=0,05–0,2 ГПа)
4.5	Длина скважин ПГР - 40-60 м, ОПЯ - до 100 м Длина шпуров ПГР – до 10 м	высокая детонационная способность ВВ; скорость детонации (км/с) БВВ 6,5–7,5	выплавка и грануляция ТНТ - d <8 мм дробление бризантных и гексогеносодержащих составов - d <8 мм
4.6	Диаметр скважин ПГР – 80-150 мм ОПЯ - до 320 мм Диаметр шпуров ПГР – 40-75 мм	детонационная способность	введение минеральных добавок (углерод, металлы, окислы или соли металлов), обеспечивающих повышение детонационной способности
4.7	Направление скважин (вертикальные, наклонные)	физическое состояние - зерно, гранулы, трубки, шашки	получение консистенции: сухие, водосодержащие полидисперсные смеси БВВ; льющиеся и пластичные смеси БВВ; патронирование: патроны, полиэтиленовые оболочки и корпуса
4.8	Заряжание скважин	чувствительность к трению, волочению и соударению изделий	параметры воздействия (проскальзывание при падении или сдвиге, кратковременное импульсное воздействие) см. п. 1.8; увлажнение водой и водными растворами
4.9	Заряжание обводненных шпуров и скважин	водоустойчивые гомогенные БВВ, ограничено водоустойчивые прессованные БВВ	использование ограниченно водоустойчивых БВВ, льющихся и пластичных смесей БВВ в патронах, оболочках, корпусных изделиях
4.10	Инициирование зарядов	физическое состояние: шашка, таблетка, зерно, трубка, (БРТ, пороха)	изменение физического состояния – раздробленные элементы >5 мм БВВ (Ркр=1 Гпа), раздробленные элементы до 5 мм БВВ (Ркр=0,1–1 ГПа), стружка БВВ (Ркр=0,05–0,2 ГПа)

<table>
<tr><td></td><td>Условия, показатели взрывания в геотехнологии</td><td>Свойства компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов</td><td>Рекомендуемые методы и параметры управления свойствами и кондиционированием компонентов боеприпасов для применения в геотехнологии</td></tr>
<tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr>
<tr><td>4.11</td><td>Интенсификация выщелачивания</td><td>физико-химические свойства, растворимость в воде, взаимодействие с кислотами и щелочами
наличие в продуктах взрыва веществ, являющихся активными химическими агентами при выщелачивании

<table><tr><td>Показатель</td><td colspan="3">ВВ</td></tr><tr><td></td><td>тротил</td><td>тетрил</td><td>гексоген</td></tr><tr><td>Растворимость в воде 15–20 °С 100°С</td><td>практически не растворим 0,15%</td><td>не растворим</td><td>практически не растворим</td></tr><tr><td>Взаимодействие с кислотами</td><td>серная и азотная кислота растворяет</td><td>реагирует при длительном воздействии</td><td>разбавленные кислоты не действуют; концентрированная серная кислота разлагает, а азотная растворяет</td></tr><tr><td>Взаимодействие со щелочами</td><td>со щелочами образует высокочувствительные соединения</td><td>реагирует при длительном воздействии</td><td>разбавленные щелочи не действуют</td></tr></table></td><td>обеспечение химической стабильности и сохранения взрывчатых свойств при воздействии агрессивных химических агентов в течение 4, 6 и 10 суток</td></tr>
<tr><td>4.12</td><td>Пылеобразование при обращении с ВВ</td><td>ПДК пыли в воздухе рабочей зоны, мг/м^3
тротил - 0,5; гексоген – 1;</td><td>оптимизация режимов переработки БВВ; гидрообеспыливание в процессе переработки, увлажнение водой непосредственно перед заряжанием скважин</td></tr>
<tr><td>4.13</td><td>Экологическое воздействие ПВ</td><td>кислородный баланс взрывчатых компонентов боеприпасов от -21,6 % до -74%</td><td>введение окислителя для снижения токсичности продуктов взрыва</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td>Условия, показатели взрывания в геотехнологии</td><td>Свойства компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов</td><td>Рекомендуемые методы и параметры управления свойствами и кондиционированием компонентов боеприпасов для применения в геотехнологии</td></tr>
<tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="3">Комбинированная физико-техническая и физико-химическая геотехнология</td></tr>
<tr><td>5.1</td><td>Взрывчатые и технологические свойства ВВ</td><td>теплота взрыва (МДж/кг): БВВ – 4,2–5,4.
плотность (г/см^3): БВВ 1,55–1,8 (насыпная 0,8–1,0)
скорость детонации (км/с) БВВ 6,5–7,5
физическое состояние - зерно, гранулы</td><td>дробление - d <45 мм, выплавка и грануляция ТНТ - d <8 мм
дробление БВВ - d <8 мм</td></tr>
<tr><td>5.2</td><td>Безопасность в обращении с ВВ</td><td>чувствительность к механическим воздействиям
<table>
<tr><td>ВВ</td><td>к удару ГОСТ 4545, %</td><td>к трению ОСТ 84-895, кгс/см^2</td></tr>
<tr><td>Тротил</td><td>4–20</td><td>>3000</td></tr>
<tr><td>Гексоген</td><td>70–90</td><td>1500</td></tr>
</table>
<table>
<tr><td>ВВ</td><td>к удару,%</td><td>к трению, кгс/см^2</td></tr>
<tr><td>Тетрил</td><td>50–60</td><td>2500</td></tr>
</table></td><td>флегматизация БВВ селитрой, водными растворами селитры
получение консистенции: сухие, водосодержащие полидисперсные смеси БВВ; льющиеся и пластичные смеси БВВ;
<table>
<tr><td rowspan="2">ВВ</td><td colspan="2">Чувствительность</td></tr>
<tr><td>к удару ГОСТ 4545, %</td><td>к трению ОСТ 84-895, кгс/см^2</td></tr>
<tr><td>Тротил У</td><td>0–20</td><td>>5000</td></tr>
<tr><td>Альгетолы</td><td>8-16</td><td>2940</td></tr>
<tr><td>Эмульсены</td><td>0</td><td>>3000</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>5.3</td><td>Безопасность при перевозке ВВ</td><td>показатели см. п. 1.3</td><td>характеристики см. п 1.3</td></tr>
<tr><td>5.4</td><td>Надежность взрывания (безотказность в применении ВВ)</td><td>ударно-волновая чувствительность разрывных компонентов боеприпасов
ТНТ (прессованный) $P_{кр}$=0,7-0,9 ГПа, ТНТ (литой) $P_{кр}$=1,4 ГПа
Гексоген (порошок) $P_{кр}$=0,05-0,2 ГПа, Гексоген (прессованный) $P_{кр}$=0,7 ГПа</td><td>раздробленные элементы >5 мм БВВ ($P_{кр}$=1 ГПа), раздробленные элементы до 5 мм БВВ ($P_{кр}$=0,1–1 ГПа), стружка БВВ ($P_{кр}$=0,05–0,2 ГПа)</td></tr>
<tr><td>5.5</td><td>Длина скважин при отработке ОПЯ (до 100 м)</td><td>высокая детонационная способность ВВ; скорость детонации (км/с) БВВ 6,5–7,5</td><td>выплавка и грануляция ТНТ - d <8 мм
дробление бризантных и гексогеносодержащих составов - d <8 мм</td></tr>
<tr><td>5.6</td><td>Диаметр скважин (до 320 мм)</td><td>детонационная способность</td><td>введение минеральных добавок (углерод, металлы, окислы или соли металлов), обеспечивающих повышение детонационной способности</td></tr>
<tr><td>5.7</td><td>Направление скважин</td><td>физическое состояние - зерно, гранулы, трубки, шашки</td><td>получение консистенции: сухие, водосодержащие полидисперсные смеси БВВ; льющиеся и пластичные смеси БВВ;</td></tr>
</table>

	Условия, показатели взрывания в геотехнологии	Свойства компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов	Рекомендуемые методы и параметры управления свойствами и кондиционированием компонентов боеприпасов для применения в геотехнологии
	1	2	3
	(вертикальные, наклонные)		патронирование: патроны, полиэтиленовые оболочки и корпуса;
5.8	Заряжание скважин	чувствительность к трению, волочению и соударению изделий	параметры воздействия (проскальзывание при падении или сдвиге, кратковременное импульсное воздействие) см. п. 1.8; увлажнение водой и водными растворами
5.9	Заряжание обводненных шпуров и скважин	водоустойчивые гомогенные БВВ, ограничено водоустойчивые прессованные БВВ	использование ограниченно водоустойчивых БВВ, льющихся и пластичных смесей БВВ в патронах, оболочках, корпусных изделиях
5.10	Инициирование зарядов	физическое состояние: шашка, таблетка, зерно, трубка, (БРТ, пороха)	изменением физического состояния - раздробленные элементы >5 мм БВВ (Ркр=1 ГПа), раздробленные элементы до 5 мм БВВ (Ркр=0,1–1 ГПа), стружка БВВ (Ркр=0,05–0,2 ГПа)
5.11	Интенсификация выщелачивания	физико-химические свойства, растворимость в воде, взаимодействие с кислотами и щелочами (см. табл. п. 4.11) наличие в продуктах взрыва веществ, являющихся активными химическими агентами при выщелачивании	обеспечение химической стабильности и сохранения взрывчатых свойств при воздействии агрессивных химических агентов в течение 4, 6 и 10 суток
5.12	Формирование схем орошения, создание противофильтрационных завес	физическое состояние: шашки и заряды (БВВ, БРТ)	изготовление кумулятивных зарядов плоской симметрии линейной и кольцевой формы
5.13	Пылеобразование при обращении с ВВ	ПДК пыли в воздухе рабочей зоны, мг/м^3 тротил - 0,5; гексоген – 1;	оптимизация режимов переработки БВВ; гидрообеспыливание в процессе переработки, увлажнение водой непосредственно перед заряжанием скважин
5.14	Экологическое воздействие ПВ	кислородный баланс взрывчатых компонентов боеприпасов от -21,6 % до -74%	введение окислителя для снижения токсичности продуктов взрыва взрывание химическое связывание ПВ в технологии подземного выщелачивания.

2.5 Изменение свойств компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов в процессе утилизации

2.5.1 Историко-технический анализ методов утилизации компонентов боеприпасов.

Первыми после Первой мировой войны и Революции 1917 года работами по утилизации ВВ в России следует считать использование военно-инженерных ВВ для валки деревьев при заготовке дров, на расчистке от пней и валунов площадей при превращении их в пахотные. В дальнейшем военно-инженерные ВВ нашли применение при образовании канав и траншей, зимней заготовке глины для кирпичных заводов, дроблении металла, удалении бетонных и кирпичных фундаментов, валке зданий рыхлении мерзлоты [342; 343]. По мере расходования военно-инженерных ВВ, была организована разрядка БП, снаряженных аммонитом, аммоналом и амматолом [185; 344]. Работы по расснаряжению БП производились преимущественно в арсеналах и воинских складах и осуществлялись по специальным инструкциям [110; 111; 262].

В 1912 году на Туркестанском промысле «Чимион» проводились работы по усилению отдачи нефтяного пласта с использованием пироксилина. Было произведено до 15 взрывов массой от 32 до 112 кг [245]. В двадцатых годах XX века исследованиями [69; 343] была установлена возможность детонации мелких пироксилиновых и нитроглицериновых порохов от сильного капсюля детонатора, а трубчатых и ленточных длиной до 130 мм при инициировании от ПД из пироксилина. Пироксилиновые пороха крупных размеров измельчались до нужного размера в водной среде, а нитроглицериновые пороха перерабатывались в тонкие пластины. Измельченные пороха для снижения чувствительности к механическим нагрузкам обрабатывали раствором кальциевой селитры и патронировали. В 1923-1925 г.г. бездымный порох находил широкое применение при взрывной корчевке пней [187]. Вопросы практической утилизации порохов в довоенный период рассмотрены также в работе [70].

Следующий этап применения бездымных порохов связан с работами [345-347], когда бездымный порох стали заливать водой и, в дальнейшем, насыщенным раствором АС, что существенно повысило эффективность взрыва. Использование пироксилиновых зерненых порохов на взрывных работах, в том числе и на отбойке горной массы, началось после первой мировой войны. Для возбуждения в порохах устойчивой детонации в большинстве случаев требовалось наличие промежуточного детонатора.

После второй мировой войны пироксилиновые зерненые пороха в большом объеме применялись на многочисленных объектах народного хозяйства. В 60-е годы широко использовались пороха при строительстве профильных сооружений различного назначения. Для осушения Алларечинского месторождения никеливых руд, расположенного в Мурманской

области, при создании гидротехнических сооружений использовался чешуированный тротил, боевые части торпед со сплавом ТГА и авиационные бомбы [1]. В 1963-1965гг. при строительстве канала Иртыш-Караганда было взорвано свыше 4000 т пироксилиновых порохов. Большое количество списанных порохов было использовано при взрывах на сброс на Сулюктинском буроугольном месторождении, в Тырныаузском ГМК.

2.5.2 Программно-целевой подход к утилизации боеприпасов

Начальный этап процесса утилизации боеприпасов, боевых частей и твердотопливных ракетных двигателей в России проходил без создания научных основ применения конверсионных материалов в геотехнологии. Для утилизации запасов боеприпасов был выбран путь их уничтожения, в результате чего был нанесен ущерб экологии, отвлечены существенные материальные и людские ресурсы. Однако этот путь не был удовлетворительным. По данным Российской газеты [274] хронология происшествий на складах и арсеналах Министерства обороны следующая:

2001 – артиллерийские склады у поселка Гусиное озеро;

2003 – база Тихоокеанского флота у поселка Таежный;

2003 – артиллерийские склады в селе Бабстово;

2005 – склады боеприпасов возле поселков Южные и Северные Коряки;

2008 - склад ракетного вооружения и боеприпасов Лодейное Поле;

2008 – склад Тихоокеанского флота у поселка Фокино;

2009 – склад боеприпасов у города Карабаш;

2010 – склад боеприпасов в поселке Арга;

2010 – 31-й арсенал ВМФ в Ульяновске;

2011 – склад 260-й центральной ракетно-артиллерийской базы в поселке Дачный;

2011 – 99-й арсенал поселок Урман;

2011 – склад боеприпасов в поселке Ашулук.

Из приведенного перечня следует, что решение вопросов утилизации обычных боеприпасов не может решаться только их уничтожением. В настоящее время стала очевидной задача поиска новых технологий, с помощью которых можно удовлетворить потребность во взрывчатых веществах, не привлекая значительных капиталовложений. Эта проблема решается путем вторичного использования накопленных запасов снятых с вооружения боеприпасов, боевых частей и твердотопливных ракетных двигателей и, в частности, содержащихся в них компонентов взрывчатых материалов различного назначения [141; 252].

Порядок, номенклатура и объемы утилизации боеприпасов определялись постановлением Правительства Российской Федерации от 05.07.92 «О порядке утилизации обычных видов боеприпасов» [386]. Постановлением Правительства Российской Федерации от 25.05 94 г. № 548 была принята Федеральная целевая программа промышленной утилизации вооружения и военной техники на период до 2000 года. В Российской Академии наук, Высшей школе, в отраслевых институтах в этот период были проведены фундаментальные и прикладные исследования технологии безопасной утилизации боеприпасов и применения конверсионных ВВ в геотехнологиях. В последующие годы утилизация стала проводиться на основе нормативной-правовой базы, представленной в документах Правительства РФ, Минобороны России и др. ведомств [77].

Результаты работ докладывались на общероссийских и международных конференциях, проводимых в ИПКОН РАН, КНИИМ, МГГУ, РАРАН и др. учреждениях с участием представителей НАТО и других государств: США, Германии, Великобритании, КНР, Швеции, Франции, Украины, Республики Беларусь. В работе конференций участвовали зарубежные фирмы: И-ОУ-Ди Солюшн (Великобритания) - Explosive and Ordnance Demilitarisation Solutions Ltd, Наммо Бак ГмбХ (Германия) - Nammo Demil Division; Рейнметалл Ваффе Мьюнишн, ГмбХ (Германия), Эйзенманн Анлагенбау ГмбХ энд Ко, КГ (Германия) - EISENMANN AG, Грэдиент Текнолоджи (США), Ньюмакс, Инк (США), Эль-Дорадо Инжиниринг (США), Ю-Ар-Эс (США), Ю-Экс-Би Интэрнэшнл, Инк (США), Алсетекс-Лакруа (Франция), Вингакерсверкен / НАММО Ас (Швеция), Дайнасейф АБ (Швеция) - Dynasafe Germany GmbH.

За период 1987-2014 г.г. проведены теоретические и экспериментальные исследования по определению технически возможных и экологически безопасных технологий утилизации боеприпасов, боевых частей и твердотопливных ракетных двигателей в промышленности [165; 205; 255; 275; 310-314]. Однако получить технологический скачек в реализации утилизируемых боеприпасов мешает недостаточная проработка требований к характеристикам конверсионных ВВ для процессов взрывных работ геотехнологий. Проведем анализ свойств компонентов боеприпасов, боевых частей и твердотопливных ракетных двигателей применительно к возможности дальнейшего использования в геотехнологии.

Промышленные конверсионные ВВ на основе нитроцеллюлозы будем называть гранипорами. Гранипоры имеют в составе пироксилиновые, баллиститные пороха и баллиститное ракетное топливо. Ввиду особенностей химического состава компонентов, физического состояния зерен и зарядов (сплошная или пористая структура) гранипоры существенным образом различаются по детонационной способности, чувствительности к инициирующему импульсу, особенностям взрывания в условиях горного производства.

Детонационная способность [117; 145; 389] нитроцеллюлозных порохов в значительной мере определяется размером гранул и подразделяются на группы: δ>dkp , и δ< dkp (δ - диаметр порохового элемента; dkp - критический диаметр детонации пороха). Природа пороха, структура заряда и условиям взрывания (взрывание сухого, увлажненного или водонаполненного пороха) оказывают существенное влияние на критический диаметр детонации. Для семиканальных порохов скорость детонации монотонно меняются от диаметра зерна. При этом для отдельных размеров пороховых зерен имеется аномальное увеличение критического диаметра заряда (до 55–57 мм в увлажненном состоянии и до 27–28 мм в водонаполненном состоянии). Это обусловлено распространением детонационной волны не сплошным фронтом, а по отдельным зернам [63; 145; 389].

Наличие разнородных контактов между зернами (линейных, плоскостных, точечных) способствует возникновению воздушных ударных волн (УВ), которые распространяются со скоростью, значительно превышающей скорость детонационной волны в зерне. При этом скорость воздушных ударных волн зависит от взаимного расположения контактирующих пороховых зерен.

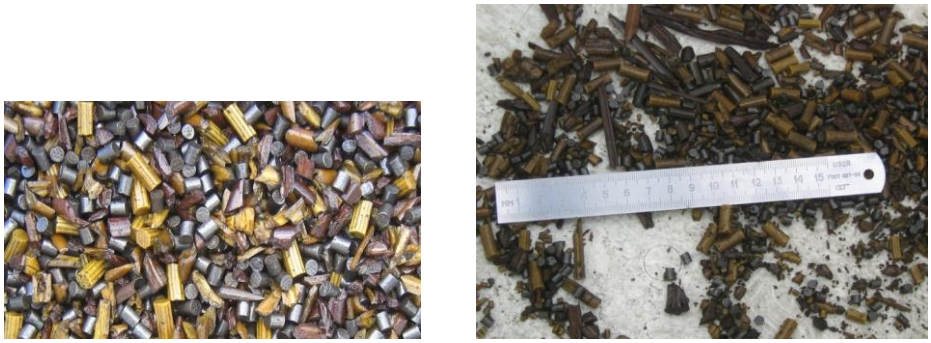
2.5.3 Модифицирование структуры зарядов гранипоров

Гранипоры представляют смесь зерен и кусочков порохов размером до 20 мм. Используется также дробленый трубчатый пироксилиновый порох, размеры зерен которого могут достигать 25 мм. Степень и характер измельчения зерен влияет на критический диаметр, у пироксилинового пороха он составляет 8-10 мм, в пористых зарядах детонация распространяется устойчиво при диаметре порохового зерна, превосходящем 6,5 мм [117] с максимальной скоростью 7 км/с при плотности 0,76 г/см^3. В зарядах пироксилинового пороха с размерами зерен δ>dkp детонация распространяется со скоростью свойственной плотности зерен [63]. Повышение дисперсности зерен приводит к снижению скорости до 3,7–4,9 км/с при плотности заряжания 0,91–0,97 г/см^3.

В зависимости от размера зерен критический диаметр зерненого пироксилинового пороха составляет 20–60 мм, баллиститного артиллерийского пороха 28–50 мм [124]. Возрастающие требования к эффективности и безопасности работ с применением конверсионных ВВ делают актуальными исследования по модификации свойств (структуры пороховых смесей, плотности и запаса энергии заряда) в различных условиях применения (обводненные скважины, различные диаметры зарядов).

Изменение физической структуры ВВ является одним из путей управления взрывом. Гранипоры представляют собой смесь порохов, имеющую дискретную структуру и состоящую

из соприкасающихся пороховых гранул и пустот между ними. Связь между гранулами в такой смеси позволяет им перемещаться и изменять в определенных пределах форму и внутреннюю конфигурацию. Это создает предпосылки получения более компактной укладки, позволяющей увеличить массу вещества в единице объема. При проведении фото-геометрического анализа структуры гранипора ФМ определялась форма пороховых зерен, характер поверхности, тип межзерновых контактов, анизометричность расположения. Для экспериментального определения размеров гранул пороха гранипор рассеивали на ситах с ячейкой 2мм, 5мм, 7мм и 10 мм (рис. 2.5). Зерненые пороха, сохранившие первоначальную форму со слегка сглаженными ребрами характеризуются как плохо окатанные, а дробленые пороха с острыми краями как совершенно неокатанные.



а) б)

Рис. 2.5 - Форма (а) и размер зерен (б) пироксилинового пороха в гранипоре

Зерненые пороховые элементы имеют слабую шероховатость и по своим свойствам приближаются к «идеальной» гладкой поверхности. Зерна дробленых пороховых элементов имеют выраженную шероховатость поверхности, имеющую максимальную высоту неровностей 2–3мм и ширину 2–4мм, что меняется характер взаимодействия частиц зерненных и дробленых порохов при заряжании скважин. Для гранипора характерны контакты: точечные - зерна соприкасаются в одной точке; линейные - зерна соприкасаются по отрезку прямой различной протяженности.

Для описания структуры гранипора применена глобулярная модель пористой среды. Моделирование структуры показало влияние формы, размеров и их соотношений на пористость смеси. По форме исследуемые пороховые зерна гранипоров классифицированы как пластины и цилиндры. Типизированной форме соответствует сферическая поверхность, описываемая вокруг порохового элемента, принимаемая за размер глобулы ($R_{гл}$). В реальной среде глобулы отличаются от шара и нужно говорить о форме гранулы. Отношение диаметра цилиндра к

длине (*d*/*l*) или ширины пластины к длине (*S*/*l*) определяет форму гранулы, которую используют для описания анизометричности расположения гранул.

Фактор формы [231] использован для определения размера межзерновых пор: $R_n = \frac{\varphi_n}{\varphi_{гр}} \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} R_{гл}$, где φ_n и $\varphi_{гр}$ - факторы формы пор и глобул, $R_{гл}$ - размер глобул; R_n - размер пор; ε - пористость, задаваемая плотностью упаковки. Геометрические характеристики модельных зерненых порохов приведены в табл. 2.11. Структура смеси определена для глобул размером 1–20 мм (табл. 2.12). Для модельной среды приняты показатели кубической упаковки с пористостью 0,476 и координационным числом N_y равным 6, что согласуется с упаковками реальных пористых материалов. Совместное влияние формы гранул и их распределения по размерам проявляет себя более сложным образом.

На основании проведенных исследований [400; 423] можно сделать вывод, что увеличение гравиметрической плотности гранипоров достигают усложнением смеси зерен порохов с преобладанием крупных над более мелкими фракциями. В процессе измельчения порохов зернам придается форма с более совершенной окатанностью и шероховатостью поверхности с отношением минимального размера зерна к максимальному 0,6–0,9.

Таблица 2.11 - Геометрические характеристики модельных зерненных порохов

Типизация формы порохового элемента	Геометрические характеристики модельных пороховых зерен			
	Тип	Радиус глобулы $R_{гл}$,мм	d/l или S/l	Фактор формы гранулы φ
пластина	зерненые	0,55–0,94	0,19–0,32	2
цилиндр	зерненные	0,86–2,02	0,33–0,91	4
цилиндр	зерненные	8,15	0,43	4

Таблица 2.12 - Показатели упаковки модельных глобул и гранул разной формы

$R_{гл}$, мм	N_y	ε, доли ед.	$\varepsilon_{смеси}$, доли ед.	Размеры полости R_n с учетом фактора формы гранул $\varphi_{гр}$, мм			Размеры пор модели $r^*_{пор}$, мм	
				$\varphi_{гр}$ пластина	$\varphi_{гр}$ цилиндр	$\varphi_{гр}$ сфера	устья	полости
1	6	0,476	-	0,73	0,37	0,25	0,41	0,73
5	6	0,476	-	3,66	1, 83	1,23	2,07	3,66
10	6	0,476	-	7, 32	3,67	2,46	4,14	7,32
20	6	0,476		14,64	7,34	4,92	8,28	14,64
10 и 1	6		0,227	-	-	-		

С увеличением сложности смеси пористость снижается за счет заполнения мелкими гранулами пустот между крупными гранулами. Смесь глобул размером 10мм, поровое пространство которой заполнено глобулами размером 1мм, имеет пористость равную 0,227. При учете фактора формы гранул $\varphi_{гр}$ для пластины, цилиндра и сферы характерные размеры

пор отличаются в три раза. При расположении мелких гранул в участках контактов крупных гранул проявляется эффект, приводящий к увеличению пористости за счет уменьшения межзерновых пор.

2.5.4 Тренды изменения свойств порохов и гранипоров

Как показывает обзор работ в сфере утилизации боеприпасов [12; 103; 142; 229; 308; 339; 384; 436], сохраняется негативная тенденция их уничтожения без практического использования в геотехнологиях. Для обеспечения соответствия свойств и характеристик конверсионных ВВ (гранипоров) геотехнологическим требованиям горного производства должно производиться совершенствование их рецептуры.

С учетом особенностей взрывных работ были сформулированы основные положения по кондиционированию свойств конверсионных ВВ [425] для применения в открытой и подземной физико-технической геотехнологиях. Под кондиционированием свойств понимается совокупность процессов механического или физического воздействия на конверсионный материал с целью придания ему свойств, обеспечивающих эффективное и безопасное применение в геотехнологических процессах

Чувствительность порохов к механическим воздействиям и ее изменение под влиянием флегматизации показано на рис. 2.6.

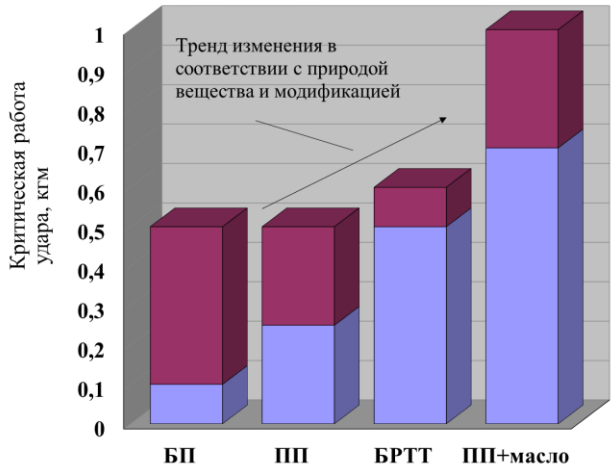


Рис. 2.6 - Чувствительность к механическим воздействиям порохов: БРТТ - баллиститное ракетное твердое топливо; БП - баллиститный артиллерийский порох; ПП - пироксилиновый порох

Пироксилиновые гранипоры модифицируются за счет флегматизатора - органического (минерального масла, дизельного топлива, жиров животного происхождения) или неорганического (аммиачная или другие селитры) происхождения, оптимизации его

содержания, а также введения в ВВ дробленого трубчатого пироксилинового пороха (марки ПЗФ, ППФ, ФМ). Такие рецептуры гранипоров положительно себя зарекомендовали при ведении взрывных работ в различных условиях, в том числе при заряжании обводненных скважин [10; 11; 55; 56; 91; 132; 133; 172; 448; 449].

Влияние модификации химического состава и изменения физической структуры (размеров, формы, внешнего вида) на восприимчивость к детонации показано на рис. 2.7. В рецептурах смесевых гранипоров используют менее чувствительные к инициирующему импульсу баллиститные артиллерийские пороха и баллиститные ракетные топлива. Их состав содержит в различных соотношениях измельченные баллиститные пороха, зерненые пироксилиновые пороха (марки БП-1 и БП-3) [374], или измельченные баллиститные пороха в смеси с зерненым и дробленным трубчатым пироксилиновым порохом (марки №7–№9) [365]. Компонентный состав гранипоров обеспечивает высокие взрывчатые и эксплуатационные характеристики.

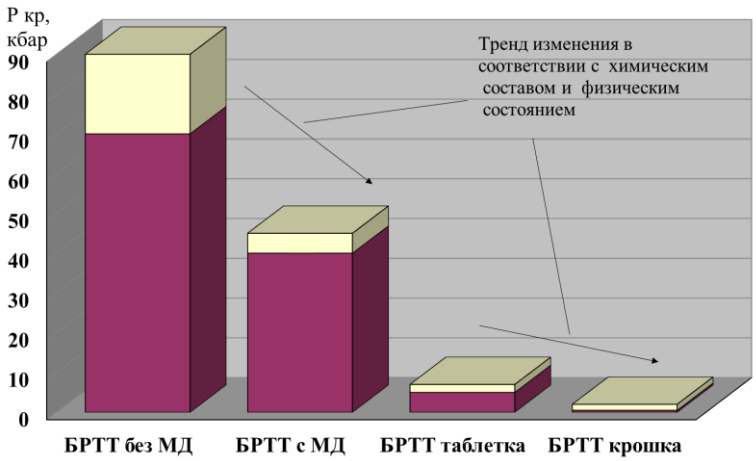


Рис. 2.7 - Критическое давление инициирования: БРТТ - баллиститное ракетное твердое топливо; МД - модифицирующая добавка

На основе баллиститного ракетного топлива созданы гранипоры марки БМ и Дибазит [370], обладающие исключительными показателями по водоустойчивости, в связи с использованием в их производстве баллиститных ракетных топлив, имеющих низкую пористость.

В табл. 2.13 и 2.14 представлен компонентный состав гранипоров. Для сухих и частично обводненных скважин используют гранипоры - №1-№ 6, ППС, БС-1 и БС-2, БПС-1, БПС-2, которые отличаются содержанием аммиачной селитры (от 5 до 55%) [365; 367; 374]. Гранипоры марок №1–№3 с содержанием аммиачной селитры до 25% могут применяться в частично обводненных скважинах без ухудшения своих взрывчатых характеристик.

Таблица 2.13 - Компонентный состав водоустойчивых гранипоров

Компоненты	ФМ	ПЗФ	№7	№8	№9	БП-1	БП-3	Б-3	Б-2	Б-1	Дибазит
Порох пироксилиновый типа 4/7, 7/7, 9/7, 12/7	100	100	80	70	60	50	50	-	-	-	-
Порох артиллерийский баллиститный типа ДГ, НДТ	-	-	20	30	40	50	-	-	100	-	-
БРТ марки РБФ, РСИ, НМФ	-	-				-	50	-	-	100	100
Порох минометный	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-

Таблица 2.14 - Компонентный состав гранипоров с ограниченной водоустойчивостью

Компоненты	№1	№2	№3	№4	№5	№6	БПС-1	БПС-2	БС-1	БС-2
Порох пироксилиновый типа 4/7, 7/7, 9/7, 12/7, 14/7	95	85	75	65	55	45	35	35	-	-
Порох артиллерийский баллиститный типа ДГ, НДТ	-	-	-	-	-	-	35	-	70	-
БРТ марки РБФ, РСИ, НМФ, ВИК, РСТ	-	-	-	-	-	-	-	35	-	70
Аммиачная селитра АС ГОСТ 2 - 85	5	15	25	35	45	55	30	30	30	30

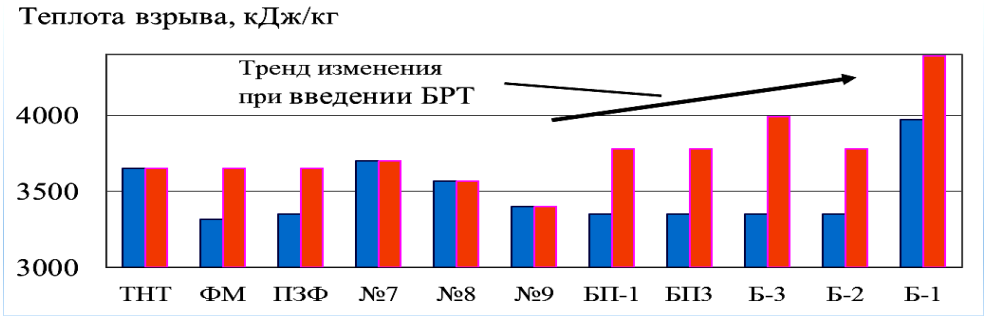
Альтернативным направлением использования нитроцеллюлозных порохов является флегматизация их водой, растворами окислителей или смеси растворов окислителей с антифризами [368; 369; 372; 376; 377]. В заводских условиях выпускаются промышленные ВВ, в состав которых входит водный раствор АС (марка Зернит), вода или водный раствор антифриза (марка Гидропор), вода или водный раствор антифриза с АС (марки Нитропор). Для компенсации потерь энергии на испарение воды применяют АС опудренную алюминиевым порошком (марка Алюмопор тип 1 и тип 2), что дает прирост по теплоте взрыва порядка 15 - 20%.

Повышение объемной концентрации энергии, снижение чувствительности к удару составов на основе нитроцеллюлозных порохов производится введением загущенного раствора АС (гельпоры марок 1, 2, 3 и марки ГП-1), использованием обратной эмульсии (эмульсен марки П). Получаемые при этом технологические характеристики составов (текучесть, повышенная вязкость, липкость) предполагают обязательное использование патронировки [376; 377].

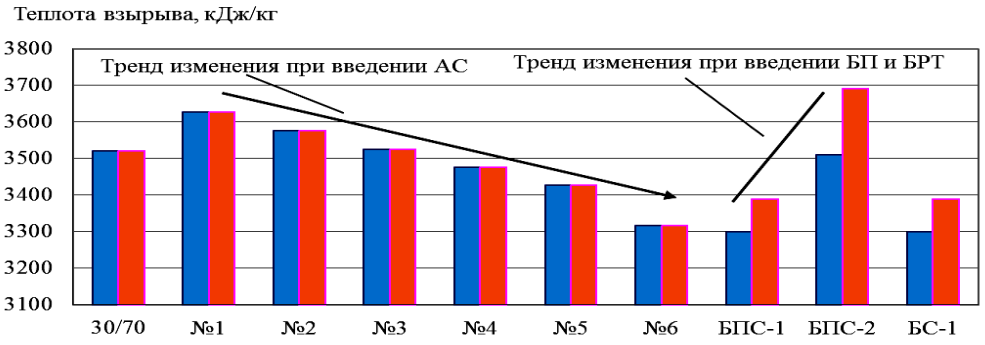
По теплоте взрыва гранипоры (рис. 2.10), содержащие в качестве основного компонента пироксилиновый порох (50-100 %), находятся на уровне тротила (3600 ±200 кДж/кг). Существенная прибавка в теплоте взрыва (500–800 кДж/кг) ощущается при наличии в составе баллиститных артиллерийских порохов (минометных) и баллиститных ракетных топлив.

Неводоустойчивые гранипоры имеют теплоту взрыва в пределах 3500 ±200 кДж/кг, что практически идентично граммониту 30/70 (№ 1). Снижение теплоты взрыва гранипоров марок № 1–№ 7 закономерно, т.к. в них возрастает содержание низкоэнергетического компонента (АС) с 5% до 55%.

Гранипоры БПС-1 и БПС-2 содержат в своем составе высокоэнергетические компоненты - баллиститные пороха, что обеспечивает прирост в теплоте взрыва по сравнению с составами на основе пироксилинового пороха [231]. Тренды изменения теплоты взрыва гранипоров приведены на рис. 2.8.



а)



б)

Рис. 2.8 - Теплота взрыва гранипоров:

а) – водоустойчивые; б) - неводоустойчивые

Объем газообразных продуктов взрыва гранипоров на основе нитроцеллюлозных порохов, а также аммиачной селитры (рис. 2.9) находится в диапазоне 750–850 л/кг, при введении в состав аммиачной селитры он возрастает до 950–1000 л/кг.

Насыпная плотность водоустойчивых гранипоров колеблется в пределах 0,8–0,9 г/см^3 и определяется геометрическими размерами, как зерен, так и дробленых (переработанных) кусков нитроцеллюлозных порохов, их упаковки при заряжании взрывных скважин на карьерах. Плотность неводоустойчивых гранипоров находится в пределах 0,85–0,95 г/см^3. Этот показатель несколько выше, чем у водоустойчивых за счет лучшей упаковки гранул, зерен и дробленых кусочков нитроцеллюлозных порохов и аммиачной селитры.

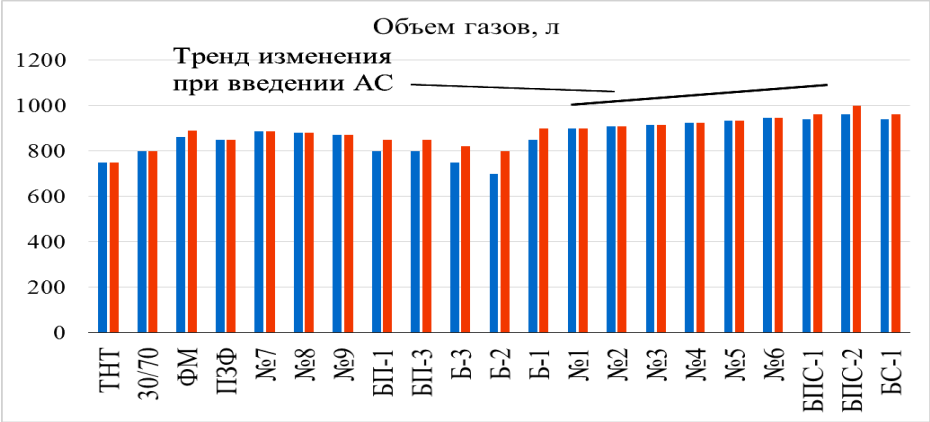


Рис. 2.9 - Объем газообразных продуктов взрыва гранипоров на основе порохов, БРТ и аммиачной селитры

Тренд изменения кислородного баланса неводоустойчивых гранипоров показан на рис. 2.10. Введение в гранипоры аммиачной селитры в количестве от 5 до 55 % монотонно увеличивает кислородный баланс с –42% до –9% (№ 11 и № 17), что значительно лучше аналогичного показателя граммонита 30/70 (-46%). В составах, имеющих процентное содержание аммиачной селитры примерно 30 % (№ 18–№ 21) кислородный баланс равен –24 ± 4%.

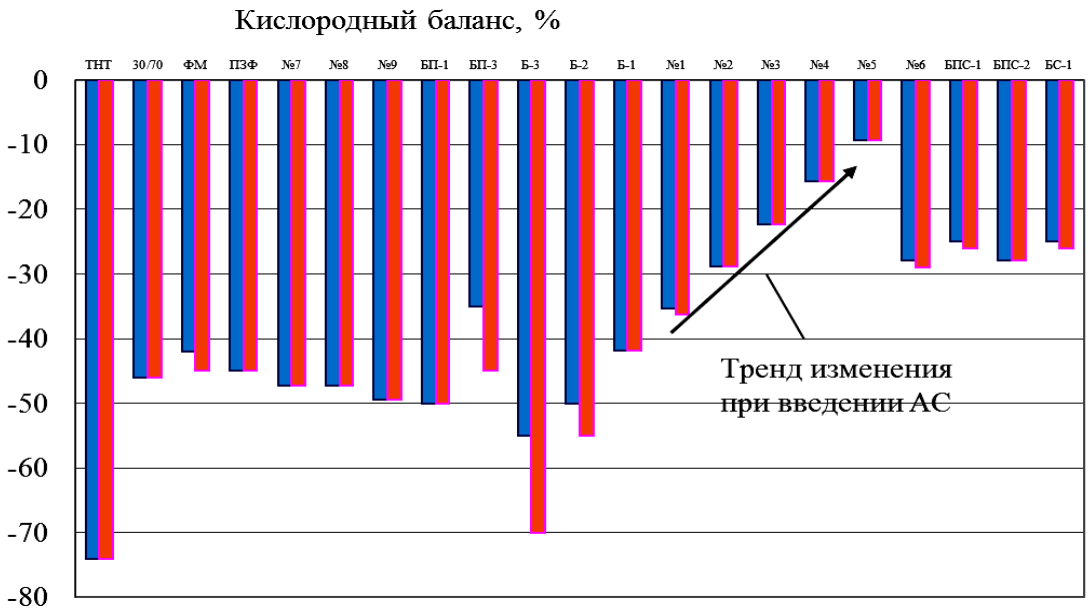


Рис. 2.10 - Кислородный баланс гранипоров

Фугасность взрыва гранипоров изменяется несущественно (7-10 %) при изменении АС от 0 до 70%. Фугасность гранипоров при содержании АС до 50% превышает фугасность ТНТ на 8 – 10 %. Снижение фугасности гранипоров наблюдается при содержании АС более 50 %.

2.5.5 Тренды изменения свойств бризантных ВВ

В номенклатуре бризантных конверсионных ВВ ведущее место по объему использования занимает тротил-У. Кусковый тротил марки УД имеет крупность фракций до 50 мм. При утилизации боеприпасов применяют технологии механического дробления тротила до крупности 6-8 мм и получения гранулированного продукта [56; 57]. Вид зависит от типа расснаряжаемых боеприпасов и применяемой технологии утилизации. Из инженерных боеприпасов получают дробленый тротил-У с крупностью до 6–8 мм, который имеет повышенную пористость и пониженную прочность. Его применение при заряжании приводит к дополнительному измельчению. Выплавка из боеприпасов и грануляция дает более равномерные по размерам гранулы. Грануляция проводится образованием гранул в межфазном слое двух несмешиваемых жидкостей [56; 57]. Формирование капель и гранул нужного размера производится выбором оптимальных соотношений свойств жидкостей (силы поверхностного натяжения на границе раздела буферной и охлаждающей жидкости). Кусковый тротил может использоваться только при ручном заряжании скважин, тротил-УГ - при механизированном заряжании скважин, при изготовлении сухих смесей с АС (граммониты марок 30/70 и 40/60).

Гексоген является одним из наиболее мощных бризантных ВВ, однако его высокая чувствительность к механическим воздействиям допускает его использование только во флегматизированном виде в составах (А-IX-I, А-IX-2, А-IX-20) и в плаве с тротилом (составы ТГ, МС, ТГА-16, ТГАГ-5, ТГАФ-5М и др.) [15; 99-102; 172; 310-314]. Наличие в составе последних алюминия (11–27%) существенно увеличивает теплоту взрыва. Порошки алюминия, используемые при изготовлении бризантных ВВ, различаются по удельной поверхности (1000–26000 $см^2/г$), размеру частиц (0,8–22 мкм), форме частиц (неправильная, лепестковая, сферическая). Гексогеносодержащие бризантные ВВ используются при изготовлении наиболее мощных водоустойчивых ВВ [366; 371; 373; 375; 378] - альгетолов, гекфола, гексотала, а также в смесях с АС – алюмогекситов. При использовании данных составов разрешено только ручное заряжание скважин и запрещается механизированная разборка отказавших зарядов. Эмульсионное ВВ (марка эмульсен-Г) с использованием гексогена (составы А-1Х-1, А-1Х- 2, А-1Х-20) как сенсибилизатора, предназначено для применения на открытых горных работах в патронированном виде [366].

Октоген является близким аналогом гексогена, но обладает рядом специфических характеристик [251] и свойств (плотность монокристалла - 1,906 $г/см^3$, высокая термостойкость), что делает его привлекательным для использования в геотехнологиях. Октоген используется при ведении взрывных работ в сложных горно-геологических и

технологических условиях, когда от ВВ требуется высокая термоустойчивость, а также высокая удельная мощность и детонационная способность.

Чувствительность к механическим воздействиям и восприимчивость к детонации бризантных ВВ показаны на рис. 2.11 и 2.12. Тренды изменения исходных свойств компонентов боеприпасов происходят в зависимости от природы вещества и его физического состояния.

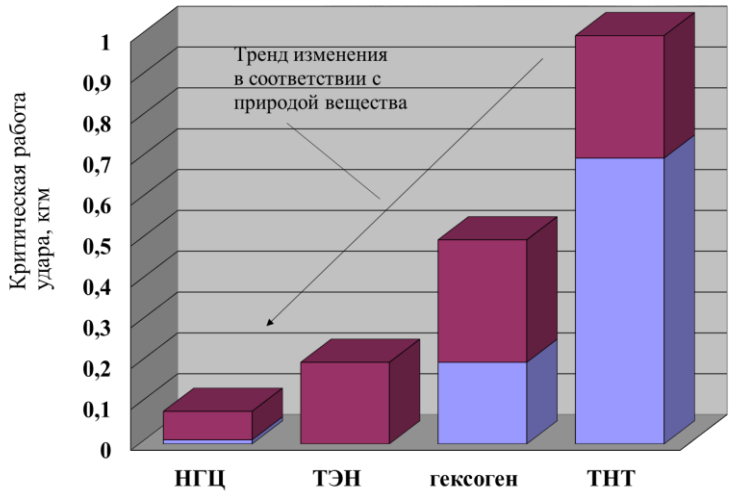


Рис. 2.11 – Чувствительность к механическим воздействиям бризантных ВВ: НГЦ- нитроглицерин; ТНТ- тротил

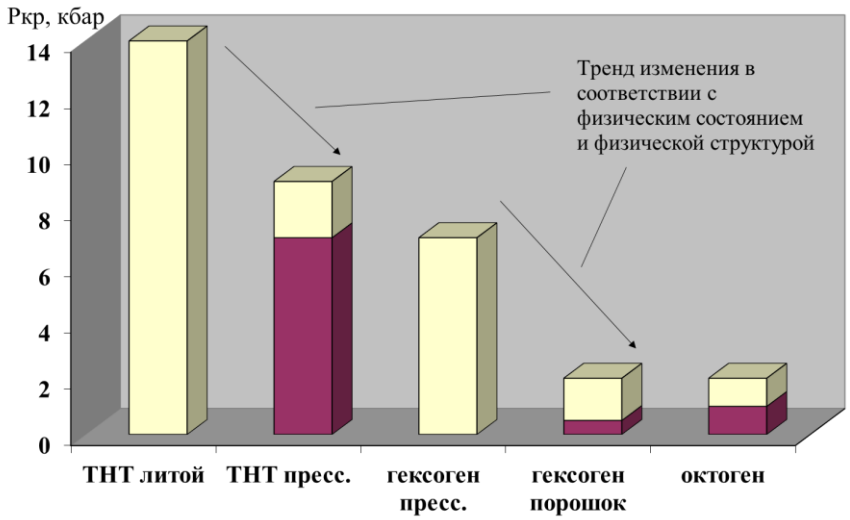


Рис. 2.12 – Критическое давление инициирования бризантных ВВ: ТНТ- тротил

По теплоте взрыва БВВ, содержащие в качестве компонента гексоген, находятся на уровне (4600–6350 кДж/кг). Более низкая теплота взрыва альгетола 15, альгетола 25, альгетола 35, гексонита и гекфола 1 объясняется несбалансированностью состава по кислородному балансу (рис. 2.13).

Наличие в составах АС и алюминия значительно повышает теплоту взрыва (алюмогекситы и др.). Насыпная плотность бризантных ВВ колеблется в пределах 0,8–0,9 г/см^3 и определяется геометрическими размерами как зерен, так и дробленых (переработанных) кусков, их упаковки при заряжании взрывных скважин.

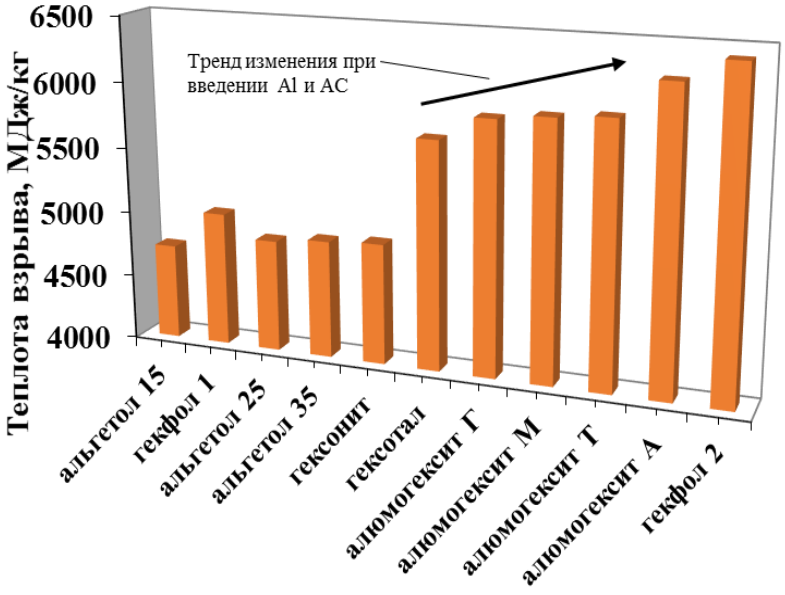


Рис. 2.13 – Теплота взрыва гексогеносодержащих конверсионных ВВ

Низкая плотность гекфола марки 2 объясняется упаковкой в заряжаемом объеме (скважине) в виду значительного размера гранул (шашек) исходного материала. Объем газообразных продуктов взрыва БВВ находится в диапазоне 730–970 л/кг.

2.6 Рекомендации по применению конверсионных ВВ для отбойки горных пород на карьерах

В основу разработанной классификации положен принцип, принятый Межведомственной комиссией по взрывному делу, основная идея которой дополнена выделением нового классификационного признака - эффективностью взрывания, определяемой с учетом удельной мощности ВВ. В табл. 2.15 приведены разработанные и прошедшие апробацию на горных предприятиях конверсионные ВВ. Размещение конверсионных ВВ в соответствующем разделе классификации определяется на основе оценки их свойств (водостойкости, удельной мощности, взрывной эффективности и др.). Взрывная эффективность характеризуется через удельную мощность ВВ и выражается зависимостью: $N_{уд} = \rho DQ$, Вт/м^2, где ρ - плотность ВВ, кг/м^3; D - скорость детонации, м/с; Q - теплота взрыва, кДж/кг.

Таблица 2.15 - Классификация условий применения на открытых горных работах конверсионных взрывчатых веществ с учетом удельной мощности ВВ

Условия размещения зарядов ВВ	Породы		
	Крепкие и весьма крепкие	Средней крепости	Слабые
	Удельная мощность конверсионных ВВ		
	N уд ≥ (23-25)·10^{12} Вт/м^2	N уд = (17-25)·10^{12} Вт/м^2	N уд = (12-20)·10^{12} Вт/м^2
Сухие скважины и котлы или сухая часть обводненных скважин	Алюмогекситы А, М, Г, Т Эмульсен Г Эмульсен П Алюмопор 1 и 2 Гидропор Альгетолы 35, 25, 15 Гельпор 1, 2, 3 Гельпор ГП-1	Гидропор Альгетолы 35, 25, 15 Граммопор Гранипоры №1, №2, №3, №4 Гранипоры БС-1 и БС-2 Гранипоры БПС-1 и БПС-2 Гранипор ППС Граммониты40/60 и 30/70	Граммопор Гранипоры №1, №2, №3, №4, №5 и №6 Гранипоры БС-1 и БС-2 Гранипоры БПС-1 и БПС-2 Гранипор ППС Граммониты 40/60 и 30/70
Обводненная часть скважин с непроточной водой	Алюмогекситы А, М, Г, Т Эмульсен Г Алюмопор 1 и 2 Альгетол 35 и 25 Гекфол 1 и 2 Гексотал Гельпор 1, 2, 3 Эмульсен П Гельпор ГП-1 Гельпор ГП-2У, ГП-Т Нитропор Гидропор	Эмульсен П Алюмопор 1 Альгетол 25 и 15 Гекфол 1 и 2 Гексотал Гельпор ГП-1 Нитропор Гидропор Гранипор БМ Дибазит Тротил У Гранипоры БП-1 и БП-2 Гранипор ППФ Гранипор ПЗФ Гранипор ФМ	Тротил У Гранипоры БП-1 и БП-2 Гранипор ППФ Гранипор ПЗФ Гранипор ФМ Гранипоры №7, №8, № 9 Гранипоры № 1, №2, №3 Фл.ПП
Обводненная часть скважин с проточной водой	Алюмогекситы А, М, Г, Т Эмульсен Г Алюмопор 1 и 2 Альгетол 35 и 25 Гекфол 1 и 2 Гексотал Гельпор 1, 2, 3 Эмульсен П Гельпор ГП-1 Гельпор ГП-2У, ГП-Т Нитропор Гидропор	Эмульсен П Алюмопор 1 Альгетол 25 и 15 Гекфол 1 и 2 Гексотал Гельпор ГП-1 Нитропор Гидропор Гранипор БМ Дибазит Тротил У Гранипоры БП-1 и БП-2 Гранипор ППФ Гранипор ПЗФ Гранипор ФМ	Тротил У Гранипоры БП-1 и БП-2 Гранипор ППФ Гранипор ПЗФ Гранипор ФМ Гранипоры №7, №8, № 9 Флегматизированные ПП
Камеры сухие и осушенные	Алюмогекситы А, М, Г, Т Эмульсен Г Эмульсен П Алюмопор 1 и 2 Альгетолы 35, 25, 15 Гельпор 1, 2, 3 Гельпор ГП-1 Гельпор ГП-2У, ГП-Т Гидропор	Гидропор Альгетолы 35, 25, 15 Граммопор Гранипоры №1, №2, №3, №4 Гранипоры БС-1 и БС-2 Гранипоры БПС-1 и БПС-2 Гранипор ППС Граммониты40/60 и 30/70	Граммопор Гранипоры №1, №2, №3, №4, №5 и №6 Гранипоры БС-1 и БС-2 Гранипоры БПС-1 и БПС-2 Гранипор ППС Граммониты 40/60 и 30/70

С учетом рекомедаций [235; 237; 240] на основе критерия Nуд конверсионные ВВ рекомендуются для крепких и весьма крепких пород, имеющие Nуд = (23–25)10^{12} Вт/м^2, для пород средней крепости Nуд = (17–25)10^{12} Вт/м^2, для слабых пород Nуд = (12–20)10^{12} Вт/м^2. В группах по крепости пород (табл. 2.15) рекомендуемые ВВ располагаются в порядке убывания показателя Nуд [431]. Изложенные рекомендации по применению конверсионных ВВ для отбойки горных пород на открытых горных работах не являются достаточно полными, так как не учитывают всю номенклатуру разработанных ВВ, но не допущенных к постоянному применению в установленном порядке. В процессе апробации изложенные рекомендации могут быть скорректированы в области предлагаемых границ показателя Nуд для крепких и весьма крепких пород, для пород средней крепости и для слабых пород.

2.7 Выводы по главе

1 Анализ горно-геологических условий и горнотехнических особенностей разработки месторождений твердых полезных ископаемых показывает, что рассматриваемые месторождения обладают большим разнообразием условий залегания, различием физико-механических свойств и особенностей строения массивов горных пород. Отработка залежей многих крупных месторождений осуществляется на протяжении длительного периода времени и наиболее благоприятные по горно-геологическим и горнотехническим условиям участки находятся в завершающей стадии разработки. При совершенствовании параметров взрывания должен учитываться масштаб отбойки выемочной единицы из горного массива, глубина ведения горных работ, строение забоев разнотипных горных пород

2 Впервые представлена систематизация процессов и операций взрывных работ с использованием конверсионных ВВ в физико-технической, физико-химической геотехнологии и их комбинациях с выделением способов и методов разработки, горно-геологических и гидрогеологических условий, методов и параметров буровзрывных работ, характеристик ВВ, санитарные и экологические требования при применении ВВ. Особенности взрывных работ увязаны с преемственностью процессов и операций взрывной технологии и представлены технологическими связями при сочетании разнообразных условий ведения работ (открытые горные работы, подземные горные работы; открыто-подземный ярус; подземное выщелачивание; скважинное подземное выщелачивание; скважинная гидродобыча).

3 Рассмотрение особенностей взрывания в геотехнологии показывает, что применение конверсионных ВВ может быть эффективно в процессах дробления руды на карьерах и отбойки на подземных рудниках; при вторичном дробления негабарита на карьерах, на выпуске и доставке руды, при ликвидации зависаний руды в рудоспусках; при контурном

взрывании при заоткоске уступов и на проходке горных выработок; повторном взрывании для интенсификации подземного выщелачивания; при повышении проницаемости массива при скважинном подземном выщелачивании.

4 На основе анализа условий ведения взрывных работ в физико-технической, физико-химической и комбинированной геотехнологии предложены критерии управления свойствами конверсионных ВВ в геотехнологии, характеристики которых положены в основу обоснования требований по методам и параметрам кондиционирования свойств разрывных и метательных зарядов боеприпасов для эффективного использования в процессах физико-технической и физико-химической геотехнологии.

5 Стратегия совершенствования конверсионных ВВ для применения в геотехнологии основывается на учете горно-геологических условий и природных особенностей месторождений полезных ископаемых, особенностей производственных процессов различных способов и методов добычи, свойств компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов. Методология обоснования геотехнологических параметров включает:

-анализ особенностей взрывных работ в физико-технической, физико-химической и комбинированной геотехнологии;

-исследование свойств компонентов разрывных и метательных частей боеприпасов, оказывающих влияние на эффективность разрушения горных пород и безопасность применения в геотехнологии;

-обоснование рекомендаций по кондиционированию взрывчатых, механических и технологических свойств компонентов разрывных и метательных частей боеприпасов, обеспечивающих эффективное и безопасное применение в геотехнологии. Рекомендуемые методы и параметры кондиционирования компонентов боеприпасов базируются на технологиях, включающих: переработку дроблением, измельчением, резкой; переработку вымыванием, выплавкой, грануляцией, чешуированием; изготовление флегматизированных, сухих, водосодержащих, льющихся, пластичных и с высокоэнергетическими добавками смесей; увеличение ударно-волновой чувствительности, снижение чувствительности к механическим воздействиям, снижение критического диаметра, уменьшение токсичности продуктов взрыва; изготовление зарядов в оболочках для ограниченно водоустойчивых, льющихся и пластичных смесей; формование специальных зарядов (контурного взрывания, линейного инициирования, для проходческих работ, кумулятивных зарядов плоской симметрии линейной и кольцевой формы, промежуточных детонаторов); повышение химической стойкости при воздействии агрессивных химических агентов; обеспечение защиты от опасного внешнего воздействия при транспортировании, перевозке и доставке к местам работ.

6 При разработке новых методов и способов ведения взрывных работ с использованием конверсионных ВВ необходимо учитывать:

-особенности процессов взрывных работ в физико-технической, физико-химической геотехнологии и их комбинациях в условиях разнообразия горно-геологических условий залегания, различий физико-механических свойств горных пород и строения массивов;

-широкий диапазон физико-механических и взрывчатых свойств компонентов разрывных и метательных частей боеприпасов: форма и размер зерен порохов и зарядов, плотность, критический диаметр, скорость детонации, восприимчивость к детонации, детонационная способность, бризантность;

-различия в чувствительности к механическим воздействиям (к удару и трению, в том числе с учетом вибрационного воздействия, трения при проскальзывании, волочения, соударении изделий), ударно-волновой чувствительности компонентов разрывных и метательных частей боеприпасов и промышленных ВВ.

7 Разработаны рекомендации по применению для отбойки горных пород на карьерах конверсионных взрывчатых веществ с учетом условий размещения зарядов ВВ, типа взрываемых пород, взрывной эффективности ВВ, определяемой с учетом удельной мощности ВВ.

3. Факторы, оказывающие влияние на безопасность применения и устойчивое состояние детонации конверсионных ВВ. Параметры инициирования детонации

Применение конверсионных ВВ в геотехнологии включает хранение в постоянных или временных стационарных складах (отдельных площадках, участковых пунктах, раздаточных камерах, сейфах), перевозку транспортом (железнодорожным, водным или автомобильным), доставку на места работ (автомобильными транспортными средствами, оборудованными для этих целей шахтными видами и средствами транспорта, взрывниками и подносчиками), хранение на местах взрывных работ, использование при ведении взрывных работ, которые определяются общим термином «обращение с ВВ». Рассмотрим факторы, оказывающие существенное влияние на безопасность применения конверсионных ВВ.

Для оценки опасности в обращении конверсионных ВВ используют данные по чувствительности к механическим воздействиям (в том числе с учетом вибрационного воздействия, трения при проскальзывании, волочения, соударения изделий, удара быстролетящим телом), температуре воспламенения, реакции ВВ при воспламенении, склонности к электризации и минимальной энергии воспламенения (МЭВ) и др.

Влияние на обеспечение устойчивого состояния детонации оказывает надежность и безотказность инициирования зарядов. Ликвидация отказавших зарядов является трудной и опасной операцией производства взрывных работ. Показателями, характеризующими надежность и безотказность инициирования, устойчивое состояние детонации конверсионных ВВ, является ударно-волновая чувствительность, критический диаметр, скорость детонации, способность передачи детонации от заряда к заряду.

Факторы, определяемые условиями использования конверсионных ВВ в геотехнологии, связаны с санитарными условиями, экологическим воздействием продуктов взрыва, влиянием на взрывчатые свойства ВВ щелочно-кислотных условий процесса физико-химической геотехнологии. Опасность в обращении, связанная с санитарными безопасностью, характеризуют предельно-допустимые концентрации (ПДК) пыли конверсионных ВВ, связанную с экологическим воздействием - токсичность продуктов взрыва (для бризантных ВВ – наличие окислов углерода, азота, для баллиститного ракетного топлива – наличие окислов азота, соединений *Pb, Ca, Co, Cu, Ti* в конденсированной фазе, для смесевого ракетного твердого топлива - наличие Al_2O_3, *HCl*, $ZnCl_2$, CH_4), связанную с влиянием на взрывчатые свойства ВВ показателя pH среды - стойкость к действию активных химических агентов.

Для оценки опасности в обращении конверсионных ВВ, связанной с химической и физической стойкостью используют показатели, характеризующие способность сохранять свои химические и физические свойства. Химическая стойкость характеризуется отсутствием

экссудата, признаков разложения пороха (желтоватых пятен, вздутий, трещин), физическая – способностью сохранять консистенцию при хранении, заряжании, нахождении в скважине.

В подразделах 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3 рассмотрено влияние различных факторов (чувствительности порохов и взрывчатых веществ к механическим воздействиям, тепловым и электрическим воздействиям), играющих важную роль при оценке опасности применения конверсионных ВВ в геотехнологиях. Для эффективного применения в рабочих процессах взрывания физико-технической, физико-химической и комбинированной геотехнологии необходимо изменение в соответствии с требованиями указанных геотехнологий свойств метательных и разрывных зарядов боеприпасов. Изменение чувствительности к механическим воздействиям порохов в соответствии с природой вещества и модификацией состава рассмотрено в подразделе 2.5.4 (рис. 2.6), бризантных ВВ - в подразделе 2.5.5 (рис. 2.11). Изменение критического давления инициирования баллиститного топлива (БРТТ) в соответствии с химическим составом и физическим состоянием рассмотрено в подразделе 2.5.4 (рис. 2.7), изменения критического давления инициирования бризантных ВВ в соответствии физическим состоянием и физической структурой - в подразделе 2.5.5 (рис. 2.12). Информацию по существенным для использования в геотехнологии свойствам ВВ получают в ходе испытаний, адекватных условиям использования, транспортирования, перевозки и доставки их к местам работ (табл. 2.7).

Влияние на чувствительность к ударно-волновым воздействиям баллиститных порохов с учетом содержания минеральных добавок, играющих роль активных центров реакции, показано в разделе 3. Исследование восприимчивости баллиститных шашек НМ, Н, НДСИ, ФСГ, ФГ, НМФ, РСИ, РНДСИ, РСТ к инициирующему импульсу по величине минимального заряда и количеству нитей детонирующего шнура представлено в разделе 5.

На безопасность взрывания скважин с различной обводненностью оказывает влияние водостойкость порохов. Данный вопрос рассмотрен в разделе 4. Обеспечение сохранности взрывчатых свойств бризантных ВВ в сложных щелочно-кислотных условиях ведения взрывных работ при подземном выщелачивании рассмотрено в разделе 6.

3.1 Особенности инициирования конверсионных ВВ в геотехнологии

Многообразие условий разработки полезных ископаемых и используемых технологических схем взрывания обусловливают влияние на надежность и безопасность взрывных работ способов инициирования практическими видами взрывного импульса: капсюлем-детонатором (КД), электродетонатором (ЭД), неэлектрическим детонатором, детонирующим шнуром (ДШ) пониженной, нормальной или повышенной мощности,

промежуточным детонатором. Возбуждение детонации в скважинных зарядах осуществляется по цепи: первичное средство инициирования - патрон-боевик - заряд ВВ, в которой конверсионные ВВ могут выступать в качестве инициирующего и инициируемого заряда. Недостаточная изученность свойств компонентов боеприпасов в условиях длительного хранения, при расснаряжении, утилизации, а также соответствия свойств конверсионных ВВ природным и технологическим условиям при использовании в геотехнологиях вызвали к жизни необходимость исследований их взрывчатых свойств (восприимчивости к детонации, инициирующей и детонационной способности и др.).

Анализ технологии буровзрывных с применением конверсионных ВВ (подраздел 2.3) показывает, что их использование осуществляется в качестве скважинных и шпуровых зарядов, в гранулированном и патронированном виде, в качестве усиленных зарядов, мощных боевиков и линейных инициаторов. Таким образом, развитие методов взрывания с применением конверсионных ВВ направлено на решение вопросов инициирования шпуровых и скважинных зарядов, управление энергией, действием и работой взрыва при направленном разрушении горных пород, при крупномасштабном взрывании, в физико-химических геотехнологиях и т.д. Различия в характеристиках (ударно-волновой чувствительности, детонационной способности) промышленных и конверсионных ВВ определили необходимость изучения процессов возбуждения детонации конверсионных ВВ практическими видами взрывного импульса, применяемыми в геотехнологии (электродетонатор, детонирующий шнур, промежуточный детонатор). Использование новых взрывчатых материалов (конверсионных ВВ) в геотехнологии относится к технологическим новациям, оценка которых осуществляется с учетом эффективности взрывания в процессах открытых, подземных горных работ, подземного выщелачивания. Развитие способов инициирования практическими видами взрывного импульса направлено на увеличение степени использования энергии заряда ВВ на полезные формы работы взрыва, исключение низкоскоростных режимов взрывчатого превращения ВВ и повышение надежности работы поверхностных и внутрискважинных взрывных сетей.

Анализ структуры потребления ВВ на карьерах показывает, что объем использования гранулированных ВВ доходит до 40–50% от объема производства промышленных ВВ. Инициирование скважинных зарядов на открытых горных работах производят, в основном, ДШ и неэлектрическими системами взрывания (типа Нонель), передающими детонационный импульс промежуточному детонатору и скважинному заряду. Для управления действием взрыва используются методы прямого, обратного, встречного, многоточечного, линейного инициирования. Как известно, ДШ с навеской ВВ 12–14 г/п.м вызывает в гранулированных ВВ (гранулиты, граммониты и др.) нестационарный режим взрывчатого превращения, скорость которого значительно ниже скорости нормальной детонации. Это отрицательно влияет на

степень использования энергии заряда на полезные формы работы взрыва. Наличие в скважинах воды и агрессивных агентов (дизельного топлива, минеральных масел) приводит к флегматизации взрывчатой сердцевины ДШ и промежуточных детонаторов и снижает надежность всей схемы взрывания. Заряжание обводненной части скважины производят водоустойчивыми ВВ, в том числе конверсионными ВВ, для инициирования которых используют промежуточные детонаторы повышенной мощности. При применении низкочувствительных ВВ необходимо исключить выгорание ВВ при ведении работ в условиях воздействия агрессивных химических агентов природного или техногенного характера.

При разработке системы инициирования, обеспечивающей надежное инициирование зарядов низкочувствительных промышленных ВВ, методика работ предусматривала исследование восприимчивости к детонационному импульсу промышленных ВВ, методов инициирования скважинных зарядов, инициирующей способности ДШ. Оценку результатов испытаний производили по гранулометрическому составу, выходу отбитой горной массы с 1 п.м скважины, удельному расходу ВВ, производительности погрузочного оборудования, наличию отказов, трудоемкости заряжания. В работе участвовали институты ВНИПИгорцветмет, ЦНИГРИ (опытно-методическая партия при Тырныаузском ВМК), ИПКОН РАН, НИИ «Росконверсвзрывцентр» и специализированные предприятия (НПО «Краснознаменец», «ВНИПИвзрывгеофизика», КНИИМ, завод «Эластик» и др.). Опытно-промышленную апробацию осуществляли на предприятиях черной (Соколовско-Сарбайский ГОК), цветной металлургии (Ачинский ГК) и строительной индустрии (ГП «Гранит», Афанасьевский карьер).

3.2 Эффективность инициирования практическими видами взрывного импульса

При оценке эффективности инициирования промышленных ВВ практическими видами взрывного импульса использовался метод факторного дисперсионного анализа [38], показавший значимость параметра *«А»* (вид инициатора - промежуточный детонатор (ПД) или детонирующий шнур (ДШ)) - $F_a=37,8>F_{0,95}(1,2)=18,5$ и малую значимость параметра *«В»* (характер возбуждаемого процесса на различных расстояниях от инициатора $D=f(l)$) - $F_b=2,93<F_{0,95}(1,2)=18,5$. Анализ значимости составляющих параметра A показал, что вид инициатора (ПД или ДШ) является значимой составляющей (разность рангов $Y_3-Y_1=0,6275$ и $Y_3-Y_2=0,495$ больше наименьшего значимого ранга $\bar{S}y=0,198$), а тип промежуточного детонатора является незначимой составляющей параметра (разность рангов меньше наименьшего значимого ранга $Y_2-Y_1=0,1525<\bar{S}y=0,198$).

При воздействии импульса на заряд ВВ ударная волна приводит к образованию зоны сжатия в соприкасающейся области и разогреву в ней ВВ. Характер очага разогрева определяется природой и физическим состоянием инициируемого ВВ, характеристиками инициирующего устройства. На открытых горных работах ДШ является эффективным практическим средством инициирования зарядов ВВ, в том числе конверсионных ВВ. Экспериментальным путем в лаборатории взрывного разрушения ИГМ АН Грузии методом «аквариума» определяли параметры ударной волны в воде при взрыве ДШ (рис.3.1).

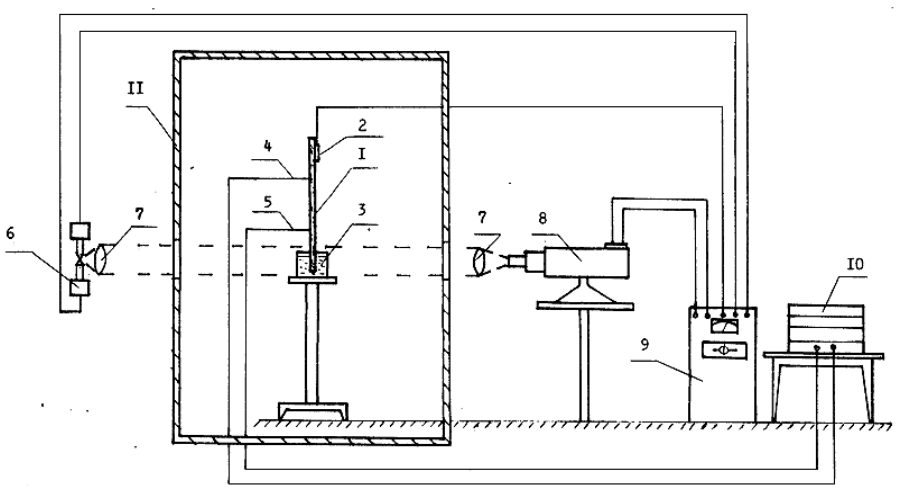


Рис 3.1 - Установка для исследования во взрывной камере:
1 - исследуемый детонирующий шнур: 2 - электродетонатор; 3 - аквариум с водой; 4 - пусковой ионизационный датчик; 5 - остановочный ионизационный датчик; 6 - разрядник; 7 - фокусирующая линза; 8 - скоростной фоторегистратор СФР; 9 - пульт управления СФР; 10 - частотомеры; 11 - взрывная камера

Фотограмма процесса распространения ударной волны в воде показана на рис. 3.2. Обработка полученных данных велась методом наименьших квадратов путем замены переменных (линеаризация логарифмированием) в зависимости дробно-степенного вида.

6 мкс 10 мкс 14мкс

18 мкс 22 мкс 26 мкс

Рис. 3. 2 - Процесс распространения ударной волны в воде при взрыве ДШ

Полученные уравнения регрессии зависимости массовой скорости за фронтом ударной волны в воде от расстояния для детонирующих шнуров малой, нормальной и повышенной мощности [407; 417]:

детонирующий шнур ДШЭ-6

$$y = 1{,}221\left(x + 1{,}7\right)^{-0{,}662} \quad (3.1)$$

(η=0,98; $\sigma_{ост}$=83,83);

детонирующий шнур ДШЭ-12

$$y = 1{,}265\left(x + 2{,}27\right)^{-0{,}6698} \quad (3.2);$$

(η=0,89; $\sigma_{ост}$=235,9);

детонирующий шнур ДША

$$y = 6{,}767\left(x + 2{,}427\right)^{-1{,}3606} \quad (3.3);$$

(η=0,906; $\sigma_{ост}$=124,8);

детонирующий шнур ДШЭ-20

$$y = 14{,}538\left(x + 3\right)^{-1{,}5039} \quad (3.4)$$

(η=0,956; $\sigma_{ост}$=84,87);

детонирующий шнур ДШЭ-50

$$y = 2{,}029\left(x + 3{,}61\right)^{-0{,}6060} \quad (3.5)$$

(η=0,753; $\sigma_{ост}$=179,8).

Графическое отображение полученных зависимостей показано на рис. 3.3.

Влияние мощности детонирующего шнура на инициирующую способность определяли при передаче детонации на заряд аммонита 6ЖВ через плотную преграду (слой бумажных листов). Количество бумажных листов R_{50}, соответствующее 50% вероятности возбуждения детонации, является мерой инициирующей способности. Показатель R_{50} составляет: для шнуров нормальной мощности ДША – 3,75; ДШЭ-12 – 4,70; ДШВ – 4,75; для шнуров повышенной мощности ДШЭ-30 – 13,9. Это говорит о существенной зависимость инициирующей

способности ДШ от его мощности. Полигонные исследования проводились в Опытно-методической партии ЦНИГРИ при Тырныаузском ВМК.

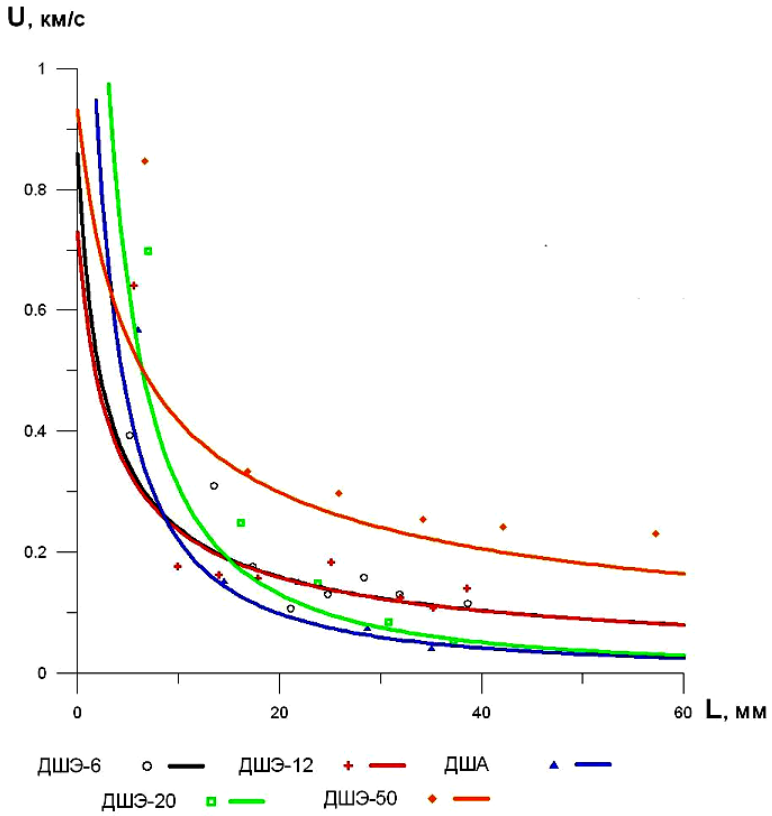


Рис.3.3 - Зависимость массовой скорости за фронтом ударной волны в воде от расстояния для детонирующихо шнуров различной мощности

Также оценку инициирующей способности осуществляли при возбуждении детонации в зарядах простейших и низкочувствительных ВВ детонирующими шнурами разной мощности. Исследования проводились в условиях испытательного полигона на Соколовско-Сарбайском ГОКе. Заряды гранулотола, граммонита 79/21, и гранулита АС-8 формировали в трубах с размещением разного количества нитей ДШ. Проведенная обработка экспериментальных данных показывает, что процесс инициирования смесевых ВВ может быть охарактеризован вероятностью возбуждения детонации инициирующим шнуром [407; 417], и представлен в виде S-образной зависимости от количества нитей инициирующего шнура, имеющей верхний, нижний пределы и величину 50% вероятности инициирования детонации (рис.3.4), принимаемую за критериальный показатель.

Для граммонита 79/21 при инициировании ДШМ-2 показатель S_{50} равен 3,5 в зарядах Ø 90 мм и составляет 7 в зарядах Ø 40 мм. При инициировании ДШЭ-6 показатель S_{50} для граммонита 79/21 и гранулотола равен 1, а для гранулита АС-8 составляет 4. При

инициировании ДША показатель S_{50} для граммонита 79/21 равен 0,5; для гранулита АС-8 составляет 1. При инициировании ДШЭ-12 показатель S_{50} для гранулита АС-8 1; для для гранулотола составляет 1,5 в зарядах Ø 70 мм.

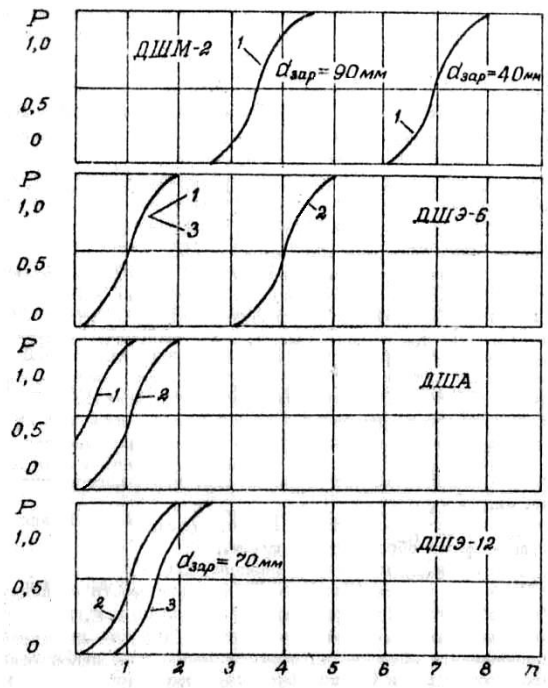


Рис. 3.4 - Инициирование детонации промышленных ВВ детонирующими шнурами ДШМ-2, ДШЭ-6, ДША, ДШЭ-12: 1 - граммонит 79/21; 2 - гранулит АС-8; 3 – гранулотол; n - число нитей детонирующего шнура; *P* – вероятность возбуждения детонации

Для установления корреляционной связи инициирующей способности ДШ от параметров (масса навески ВВ в шнуре, масса оболочки детонирующего шнура, давление на границе раздела шнур-среда) использовался метод множественной регрессии, на основании которого получена зависимость инициирующей способности ДШ вида:

$$J = 0{,}1195\,q - 0{,}04315\,m + 0{,}0035\,P + 0{,}20418 \qquad (3.6),$$

где J - инициирующая способность шнура, относительные единицы; q - масса навески ВВ в шнуре, г/м; m - масса оболочки детонирующего шнура, г/м; P - давление на границе раздела шнур-среда, кбар

Оценка восприимчивости к инициирующему импульсу конверсионных ВВ проводилась на основе определения параметров: величины заряда, надежно обеспечивающего полную детонацию исследуемого заряда, и восприимчивости к импульсу ДШ. Работы проводились на полигоне завода синтетических волокон «Эластик» с использованием зарядов, имеющих соотношение $d_{зар}/d_{кр}$=5–20. Регистрация детонационного процесса осуществлялась по пробитию

стальной пластины-свидетеля толщиной от 8 до 12 мм и величине образовавшейся воронки в грунте. В качестве детонаторов использовались заряды диаметром 6–36 мм при соотношении *l/d*=1–8. Использовались бризантные ВВ - тротил (*d*=20–30 мм, *l*=22–47 мм, *m*=10–50 г), А-1Х-1 (*d*=23 мм, *l*=46 мм, *m*=26 г), А-1Х-2 (*d*=19,7–23,5 мм, *l*=38,5–40,5 мм, *m*=14–37 г), продукт ОСТ В3-6610-91 (*d*=14 мм, *l*=30 мм, *m*=6 г), продукт ОСТ В84 636-81 (*d*=15–21 мм, *l*=10–33 мм, *m*=3–16 г). Экспериментами в НИИ «Росконверсвзрывцентр» с использованием тротиловых ПД установлены величины заряда для баллиститных шашек РНДСИ - 10 г, РСТ - 20 г, ФГ - 40 г. Баллиститные шашки НДСИ не детонировали от детонатора из тротила массой 50 г. Результаты испытаний при инициировании баллиститных шашек гексогеносодержащими ВВ [432] приведены в табл.3.1. В представленных результатах детонация обозначена знаком «+», отказ обозначен знаком «–». В шашках РНДСИ детонация возбуждается от заряда массой 6 г. В шашках ФГ, ФСГ заряд массой 3 г детонацию не возбуждает, а заряд массой 26 г - инициирует детонацию. В шашках НМФ заряд массой 37 возбуждает детонацию при размещении как в осевом канале, так на ее торце.

Таблица 3.1 - Инициирование баллиститных шашек гексогеносодержащими ВВ

№№ п/п	ВВ инициатора	Масса инициатора, г	Результат испытаний	Примечание
Баллиститные шашки РНДСИ				
1	Продукт ОСТ В3-6610-91	6	+	Пробитие пластины 8 мм
2	А-1Х-2	13	+	Пробитие пластины 10 мм
3	А-1Х-1	26	+	Пробитие пластины 10 мм
Баллиститные шашки ФГ, ФСГ				
4	Продукт ОСТ В84-636-81	3 3х2	– +	Пробития пластины нет Пробитие пластины 10 мм
Баллиститные шашки НМФ				
5	А-1Х-2	37 в отверстии	+	Воронка, h=40–45см, d=1,6–1,8 м
6	А-1Х-2	37 на торце	+	Воронка, h=30–35см, d=1,5м
7	А-1Х-2	37х2 на торце	+	Воронка, h=40–50см, d=1,5–1,7м

3.3 Чувствительность конверсионных ВВ к практическим видам взрывного импульса

Возможность эффективного и безопасного применения конверсионных ВВ определяет их чувствительность к ударно-волновым воздействиям, а также показатели восприимчивости к детонации от первичных средств инициирования. Инициирование баллиститных порохов РСТ, РНДСИ, НДСИ, ФГ, ФСГ, КДСИ, Н, НМФ требует различных средств инициирования [68; 337; 389]. Параметры инициирующей ударной волны, способной возбудить в баллиститных порохах детонацию, зависят в основном от взрывчатых характеристик инициатора (давления детонации) и природы инициируемого ВВ [337]. При прохождении по баллиститному пороху ударной волны минеральные добавки (углерод, металлы, окислы металлов или соли), содержащиеся в

составе, играют роль дополнительных активных центров реакции [22; 68; 201; 337]. Минеральные добавки оказывают влияние на взрывчатые характеристики баллиститного пороха. При введении минерала $CaCO_3$ в баллиститные пороха НБ (размер частиц $3 \cdot 10^{-4}$ см, содержание от 0,02 до 5%) и Н (содержание от 0,5 до 5%) снижается критический диаметр с 8,5 мм до 3,2 мм и с 28 мм до 5,6 мм соответственно. В наибольшей степени влияют на снижение критического диаметра добавки PbO, HgO и Bi_2O_3 [22; 337].

Анализ состава баллиститных порохов (табл. 3.2) показывает, что содержание компонентов составляет: нитроцеллюлозы (НЦ) 54-59%, труднолетучего растворителя 35–42%, технологических добавок 0–6,4%. Относительно небольшие колебания содержания нитроцеллюлозы и труднолетучего растворителя дают основание говорить, что фактором, влияющим на взрывчатые свойства (детонационную способность, критический диаметр, восприимчивость к детонации) является содержание добавки. Размер частиц в технологических добавках (углерод, металлы, окислы или соли металлов) составляет 10^{-5}–10^{-6} м.

Таблица 3.2 - Компонентный состав и взрывчатые характеристики баллиститных порохов

№№ п/п	Баллиститный порох	Критический диаметр детонации, мм	Содержание нитроцел-люлозы (НЦ), %	Содержание труднолетучего растворителя, %		Содержание добавок, %
				НГЦ и др.	ДНТ	
1	РСТ	1,5–2,5	56	28	7–8	6,4
2	РНДСИ	3–6	58–59	НГЦ - 16–17 ДЭГДН - 15–16	2–3	3–4,3
3	НДСИ	-	55–58	НГЦ - 27–34 Дина - 11–7	-	2,3–3,2
4	РСИ	-	56	27	11–12	1,8–2,8
5	НМФ	16–25	57	26	11–12	2,3–3
6	ФГ, ФСГ	16–25	55	30	10	1,5
7	Н, НМ	16–25	54–57	25–28	11–17	0–3,2

При прохождении ударной волны добавки играют роль дополнительных активных центров реакции [201]. Из данных табл. 3.2. следует изменение критического диаметра баллиститных порохов по убывающей от первой позиции к седьмой, что коррелирует с содержанием добавки. Полученные данные позволяют качественно охарактеризовать восприимчивость к инициирующей ударной волне баллиститных порохов (по мере возрастания): НМ → Н → НДСИ → ФСГ → ФГ → НМФ → РСИ → РНДСИ → РСТ, с учетом содержания минеральных добавок, играющих роль активных центров реакции. Результаты эксперимнтального определения восприимчивости к инициирующей ударной волне баллиститных порохов показывает разумное соответствие с представленными данными.

На практике инициирование зарядов осуществляют патронами-боевиками с использованием капсюлей-детонаторов (КД), электродетонаторов (ЭД), неэлектрических детонаторов; детонирующих шнуров (ДШ) различной мощности (маломощных, нормальной мощности, повышенной мощности); прессованных или литых шашек - промежуточных детонаторов (ПД). Изготовление боевиков из патронированных ВВ, прессованных или литых шашек бризантных ВВ осуществляется установкой КД, ЭД или ДШ в углубление (гнездо) патрона или сквозной канал шашки с заглублением. Боевик для взрывания от ДШ формируют при расположении ДШ снаружи и (или) внутри.

Испытания на восприимчивость к детонации от ДШЭ-12 осуществлялись при расположении последнего виток к витку по образующей баллиститных шашек (РНДСИ, КДСИ, ФГ, ФСГ). Для шашек РНДСИ получено: 9(–), 10(+). Испытания менее чувствительных к инициирующему импульсу шашек КДСИ, ФГ, ФСГ проводились при дополнительном размещении 2 нитей ДШЭ-12 в осевом канале заряда. При расположении ДШЭ-12 по образующей шашек ФГ, ФСГ установлены показатели: 2(–), 3(+), для шашек КДСИ соответственно: 4(–), 5(+), что объясняется более низкой чувствительностью к инициирующему импульсу КДСИ. Аналогичный эффект инициирования шашек КДСИ получен при запрессовке в осевой канал тротила 4 (–), 5 (+).

При инициировании кумулятивных зарядов осевой симметрии марки ЗКЛБ на основе баллиститного ракетного топлива от ДШЭ-12 получен результат: 3(+) при расположении шнура виток к витку по образующей и 2(+) при пропускании шнура через осевое отверстие заряда. Передача детонации от заряда к заряду ЗКЛБ [16] при взаимном расположении в торец, по боковой поверхности, под углом, при передаче на расстояние 30–60 мм показало полное их срабатывание (рис. 3.5).

Полученные данные позволяют оценить восприимчивость конверсионных ВВ к инициирующему импульсу практических видов взрывания и являются основой для разработки методов инициирования, снижающих негативное влияние ДШ на заряд ВВ и обеспечивающих повышение качества дробления и проработки подошвы уступа. Повышение эффективности инициирования и увеличение степени использования энергии взрыва на полезные формы работы взрыва за счет исключения или снижения до минимума низкоскоростных режимов взрывчатого превращения может реализоваться при использовании ДШ низкой энергии совместно с соответствующим усилителем детонационного импульса.

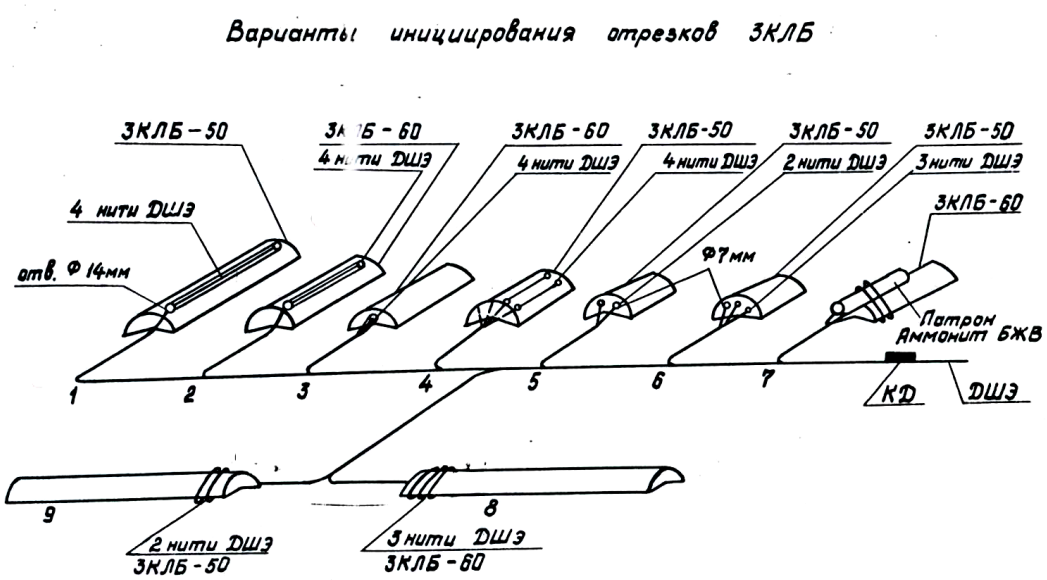


Рис.3.5 - Схемы инициирования зарядов ЗКЛБ

3.4 Разработка и внедрение технических решений, обеспечивающих исключение низкоскоростных режимов взрывчатого превращения при инициировании простейших ВВ

На основании проведенных исследований получены характеристики процесса инициирования детонации смесевых ВВ шнурами малой и нормальной мощности, которые описываются *S*-образными зависимостями. Данные по возбуждению детонации смесевых ВВ от импульса различного количества нитей шнура представлены в табл. 3.3. В скобках после шнура указана его инициирующая способность, рассчитанная по зависимости (3.6). Количество нитей ДШ дающих отказы обозначено знаком (–), вызывающих детонацию знаком (+). При использовании ДШ с навеской 11–12 г/п.м возникают низкоскоростные режимы взрывчатого превращения.

Таблица 3.3 - Инициирование детонации в зарядах промышленных ВВ импульсом детонирующего шнура малой и нормальной мощности

ВВ	Тип детонирующего шнура и масса ВВ в шнуре, г/п.м			
	ДШМ-2 (2,64)	ДШЭ-6 (5,50)	ДШЭ-12 (10,9)	ДША (11,7)
Гранулит АС-8	16(-)	3(-)…5(+)	2(+)	1(-)…2(+)
Граммонит 79/21	6(-)…8(+)	2(+)	-	1(+)
Гранулотол	-	2(+)	1(-)…2(+)	-

Для обратного и многоточечного инициирования разработана конструкция усилителя детонационного импульса УДИ (рис. 3.7) для маломощного ДШМ-2 с навеской ВВ 2,5 г/п.м. На

технические решения при разработке усилителя детонационного импульса получены АС № 946321, МКИ^3 F 42B 1/02 [81] и АС № 948218, МКИ^3 F 42B 3/10 [385]. Применение детонирующего шнура ДШМ-2 обеспечивает исключение низкоскоростных режимов взрывчатого превращения гранулированных ВВ. В конструкции усилителя УДИ применена стальная гильза диаметром 11,35 мм и длиной 62,5 мм, в которую запрессован заряд бризантного ВВ. Вторая часть заряда была насыпной плотности. Со стороны дна гильзы создана кольцевая канавка для установки крепежной муфты. Проведенные лабораторные испытания позволили выбрать материал соединительной муфты (полиэтилен), обеспечивающий надежность крепления и удобство монтажа, и отработать конструкцию УДИ, надежность соединения с шашкой Т-400.

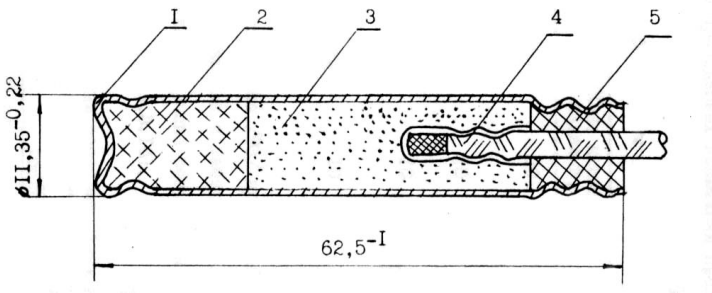


Рис. 3.7 – Эскизное изображение конструкции усилителя детонационного импульса для шнура низкой энергии (УДИ): 1 - корпус; 2 - прессованный состав; 3 - насыпной состав; 4 - детонирующий шнур; 5 - резиновая втулка

При проведении полигонных испытаний промежуточных детонаторов ПД-300М и ПД-400, имеющих в своей конструкции УДИ, производили инициирование открытых зарядов гранулотола, граммонитов 30/70 и 79/21 с диаметром зарядов 68–200 мм. Испытания показали более высокую эффективность инициирования по сравнению со существующими средствами инициирования - шашкой Т-400 и детонирующим шнуром ДШЭ-12 [253; 455]. В промышленных условиях промежуточные детонаторы ПД-300М и ПД-400 испытывали при отбойке железных руд и горных пород с коэффициентом крепости f=12–16 по шкале проф. М.М. Протодьяконова. Производилось сравнение показателей взрыва при инициировании скважинных зарядов новыми и существующими средствами взрывания. Отбойку вели 15 метровыми уступами с глубиной скважин 17–18 м. Сетка скважин составляла 6,5 х 6,5 м. Скважины диаметром 243 мм заряжали граммонитом 79/21, обводненную часть заряжали гранулотолом или граммонитом 30/70.

Детонаторы ПД-300М (рис.3.8а) и ПД-400 (3.8б) размещали в нижней части скважинного заряда, производили дублирование взрывной сети в скважине. На контрольных блоках скважинные заряды инициировали от шашек Т-400, монтируемых на двойную нитку ДШЭ-12. Всего за время испытаний с использованием детонаторов ПД-300М и ПД-400 было

отбито около 2 млн. м^3 горной массы. За счет исключения низкоскоростных режимов взрывчатого превращения гранулированных ВВ размер среднего куска снизился с 262,2 мм до 216,8 мм. Производительность погрузочного оборудования возросла при использовании ПД-300М на 11,7%, при использовании ПД-400 - на 8,8%. Удельный расход ВВ снизился на 10,3% и 3,7% соответственно.

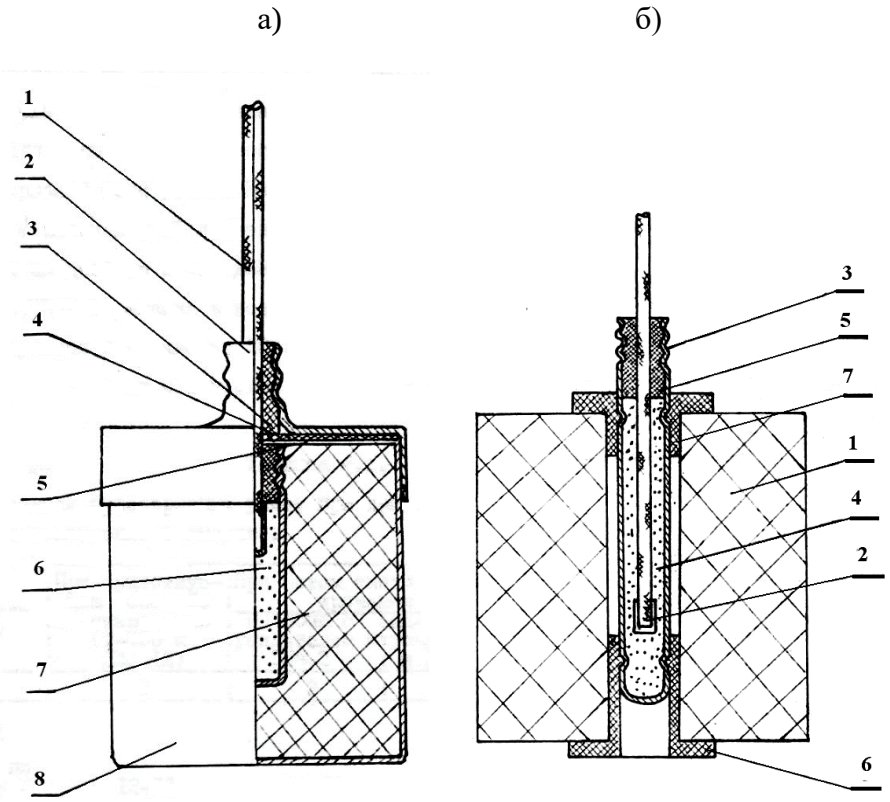


Рис.3.8 – Конструкции промежуточных детонаторов с усилителем детонационного импульса

а) ПД-300 М: 1 - детонирующий шнур ДШМ-2; 2 - металлическая крышка; 3 - резиновая втулка; 4 - картонные прокладки; 5 - зазор; 6 - усилитель;7 - тротиловая шашка; 8 - металлический корпус;

б) ПД-400: 1 - шашка Т-400; 2 - детонирующий шнур ДШМ-2; 3 - металлический корпус усилителя; 4 - заряд порошкообразного ВВ; 5 - резиновая втулка; 6 - нижняя полиэтиленовая муфта; 7 - верхняя полиэтиленовая муфта

На усилитель детонационного импульса разработана конструкторская документация - черт. ЛД.34.409.005. Внедрение промежуточных детонаторов ПД-300М и ПД-400 с усилителем детонационного импульса позволяет осуществить инициирование зарядов гранулированных ВВ

с применением штатных шашек Т-400, повысить эффективность взрывной отбойки, улучшить дробление горных пород. Акт внедрения рекомендаций по инициированию детонации гранулированных ВВ, исключающих низкоскоростные режимы взрывчатого превращения при взрывании скважинных зарядов с применением усилителя детонационного импульса в составе детонатора ПД-400, утвержден предприятием п/я А-7491 и представлен в работе [414].

В дальнейшем промышленностью были освоены изделия - детонатор усиленный ДУ-6 ТУ 84-07513406-045-95, состоящий из концевого усилителя, выполненного в размере стандартного детонатора, и мерного отрезка детонирующего шнура малой мощности ДШЭ-6 ВДТ. Внедрение новых средств взрывания (промежуточных детонаторов ПД-400) при скважинной отбойке руды на рудниках ССГОКа при отбойке горной массы в объеме 403,4 тыс. $м^3$ позволило получить экономический эффект в размере 47,9 тыс. рублей в масштабе цен 1988 года. Внедрение промежуточных детонаторов ПД-300М и детонирующего шнура ДШЭ-6 для осуществления метода «обратного» и многоточечного инициирования скважинных зарядов на ССГОКе позволило получить экономический эффект в размере 54,9 тыс. рублей в масштабе цен 1988 года [414].

Для инициирования гранулированных ВВ в обводненных условиях разработан промежуточный детонатор с цилиндрическим элементом, на который наматывается детонирующий шнур, и размещаемым внутри элемента зарядом порошкового ВВ (рис.3.9).

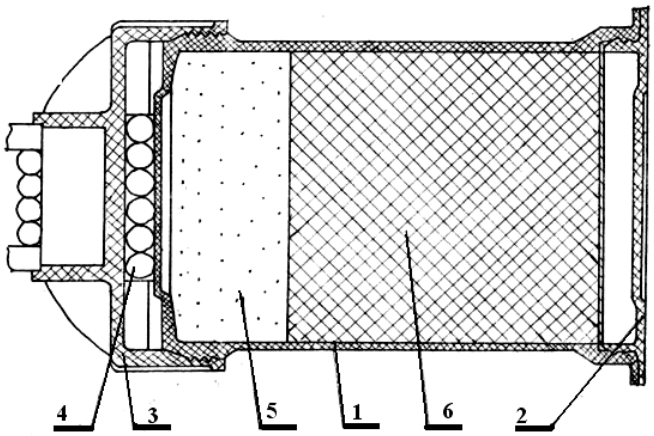


Рис. 3.9 – Конструкция промежуточного детонатора ДПК с усилителем детонационного импульса катушечного вида: 1 - герметичный корпус ПД; 2 - крышка; 3 - цилиндрический элемент; 4 - детонирующий шнур; 5 - заряд усилителя детонационного импульса; 6 - основной заряд ПД

Цилиндрический элемент с порошковым ВВ является усилителем детонационного импульса катушечного вида. При отработке конструкции ДПК исследовалась зависимость скорости детонации по длине шашки для различных типов ДШ, числа витков ДШ и толщины

инертной перегородки. Обработка на ЭВМ опытных данных позволила получить корреляционные зависимости, аппроксимируемые уравнениями вида:

$$y = a + b\,x + c\,x^2 + d\,x^3 \qquad (3.7).$$

Результаты расчетов коэффициентов зависимости (3.7) представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4. Коэффициенты *a, b, c, d* для детонирующих шнуров разных типов

Количество витков шнура	Коэффициенты				Коэфф. корр.
	a	b	c	d	
Детонирующий шнур ДША					
n=2	1635	83,06	-0,99	0,00438	0,975
n=3	3065	2,95	0,3	-0, 0018	0,940
n=4	-850,2	205,2	-2,75	0,00119-	
n=5	3745	-12,87	0,262	-0,00076-	0,976
n=6	3068	-1,1,149	0,394	-0,0024-	0,928
Детонирующий шнур ДШМ-2					
n=6	3216	37.56	-0,5102	0,002471-	0,91
n=9	1534	83,16	-0,8807	0,003469-	0,9

Характер изменения скорости детонации в усилителе детонационного импульса катушечного вида от количества витков детонирующего шнура показан на рис. 3.10 [407]. Исследование полученных зависимостей показало, что скорость детонации имеет интервал насыщения, на котором она достигает значения 0,85 от номинала для детонирующих шнуров типа ДШМ-2 и ДША с навеской ВВ 2,6 и 11,7 г/п.м. С учетом выявленных закономерностей определены рациональные параметры детонатора, которые положены в основу конструкции промежуточного детонатора ДПК с усилителем детонационного импульса:

длина заряда УДИ 40–60мм;

диаметр УДИ 70–80 мм;

толщина инертной перегородки 1–1,5 мм;

плотность ВВ 1±0,05 г/см^3.

Разработанный промежуточный детонатор ДПК обеспечивает герметичность конструкции и предназначен для использования в условиях воздействия агрессивных агентов природного и техногенного характера [303; 455]. В условиях промышленных блоков детонаторы ДПК испытывали при отбойке пород, представленных уртитами (нефелиновая руда), мраморизованными известняками и ийолитами метасоматическими, мраморами и скарнами. Крепость пород по шкале проф. М.М. Протодьяконова *f*=8–15. При испытаниях сравнивались способы инициирования скважинных зарядов детонаторами ДПК и штатными шашками Т-400. Сетка скважин составляла 7,0–7,5 х 6,5–7 м.

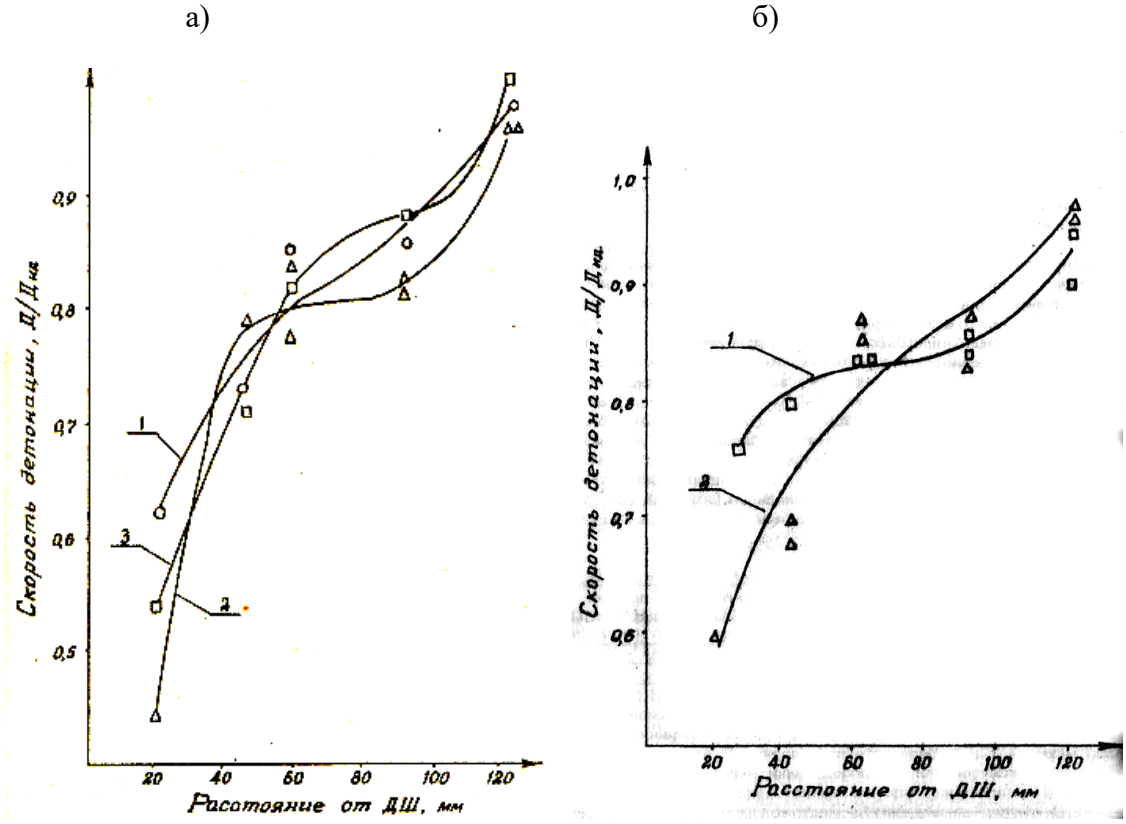


Рис. 3.10 - Зависимость скорости детонации от количества нитей ДША (а) и ДШМ-2 (б):
а) 1 - n=2; 2 - n=4; 3 - n=6; б) 1- n=6; 2 - n=9

Скважины диаметром 250 мм заряжали гранулитом АС-8, обводненная часть была заряжена гранулотолом или алюмотолом. Детонаторы ДПК размещались в нижней части скважинного заряда. На контрольных блоках скважинные заряды инициировали промежуточным детонатором Т-400, монтируемым на двойную нитку детонирующего шнура ДШЭ-12 [414; 420; 424]. Всего за время испытаний с использованием детонаторов ДПК было отбито 264,6 тыс. м^3 горной массы. Отказов и неполных детонаций при разборе навала горных пород не обнаружено, проработка подошвы уступа хорошая, размер среднего куска не изменился.

На промежуточный детонатор разработаны технические условия ДПК ТУ 84 501-56-86. Внедрение промежуточного детонатора ДПК позволяет повысить эффективность взрывной отбойки путем расширения сетки скважин и улучшения дробления горных пород. Акт внедрения рекомендаций по обеспечению возбуждения детонации гранулированных ВВ, исключающих низкоскоростные режимы взрывчатого превращения при взрывании скважинных

зарядов с применением детонатора ДПК, утвержден предприятием п/я А-7690 и представлен в работе [414].

Конверсионные ВВ на основе пироксилиновых порохов имеют более низкую восприимчивость к инициирующему импульсу по сравнению с промышленными ВВ [164; 303]. Анализ данных [164] показывает, что возбуждение детонации пироксилинового пороха от инициирующего заряда зависит от формы и размеров порохового элемента, количества каналов и массы инициирующего заряда. Проведенная обработка данных показывает, что чувствительность к детонации пироксилинового пороха может быть охарактеризована вероятностью возбуждения детонации инициирующим зарядом и представлена *S*-образной зависимостью от массы инициирующего заряда, имеющими верхний, нижний пределы и величину 50% вероятности инициирования детонации (рис.3.11), принимаемую за критериальный показатель.

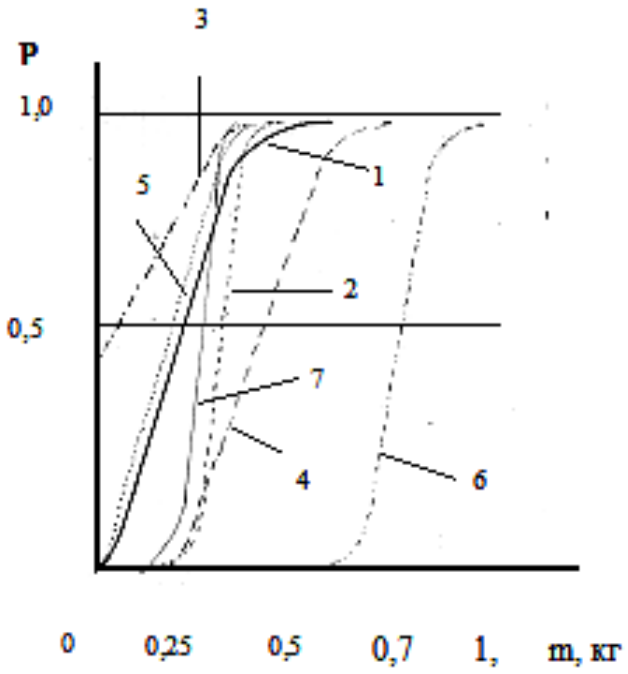
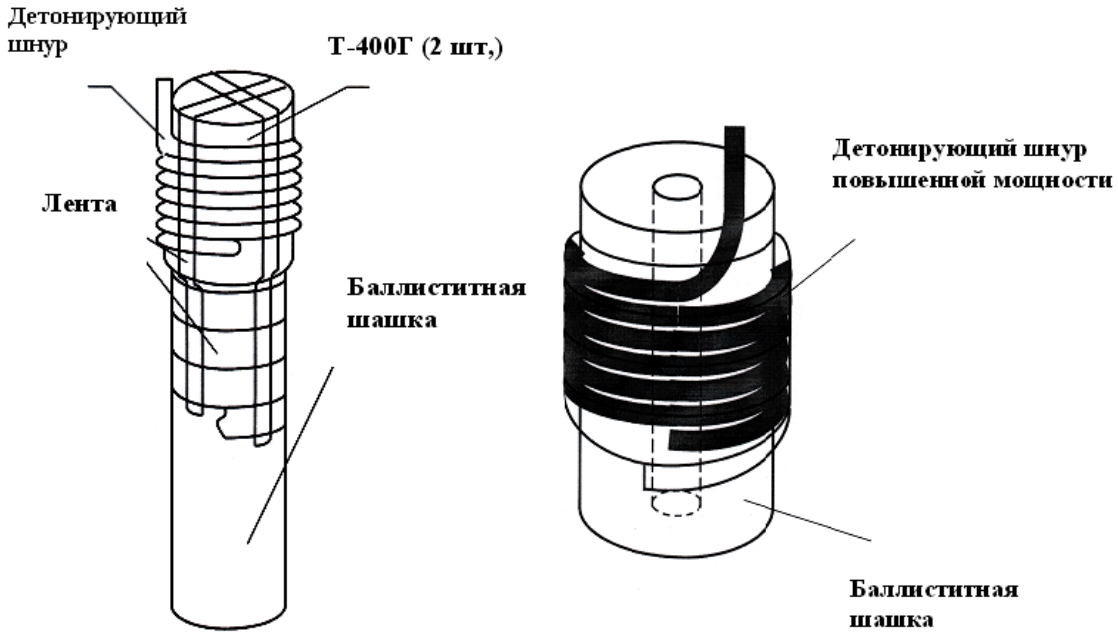


Рис.3.11 - Восприимчивость к детонации (R_{50}) пироксилиновых порохов от массы инициирующего заряда (m): 1 - 4/1; 2 - 7/7; 3 - 7/14; 4 - 9/7; 5 - 12/7; 6 - 14/7; 7 - 15/7

По восприимчивости к детонации зерненые пироксилиновые пороха [164] можно расположить в следующей последовательности по убывающей: 7/14 → 12/7 → 4/1 → 15/7 → 7/7 → 9/7 →14/7. Это показывает, что инициирование смесевых конверсионных ВВ на основе пироксилинового пороха полидисперсного состава должно производиться с учетом восприимчивости к детонации наименее чувствительной фракции пороха.

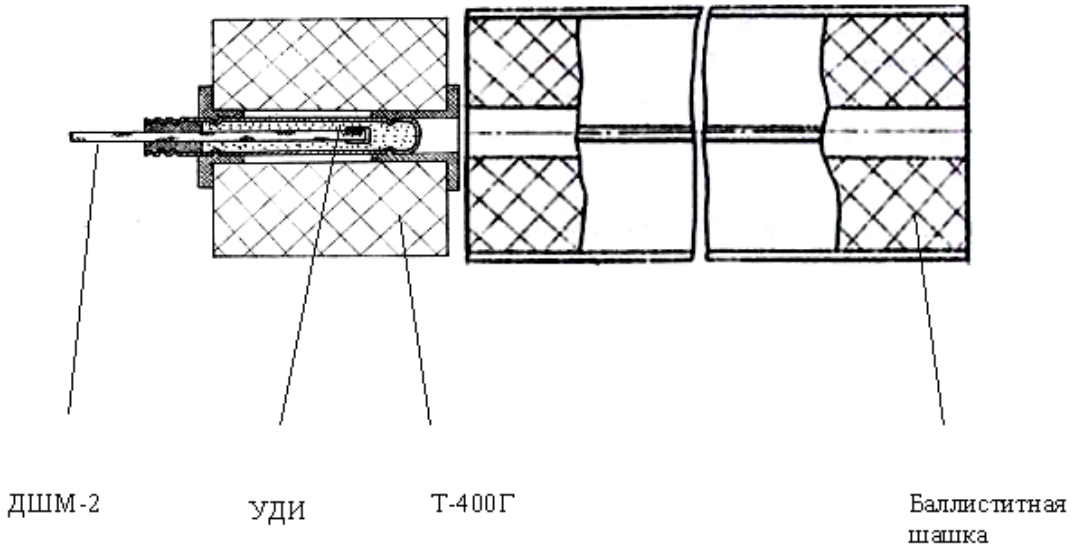
На основе установленных показателей восприимчивости баллиститных шашек к инициирующему импульсу (ЭД, ДШ, инициирующего заряда) разработаны промежуточные детонаторы для низко чувствительных гранулированных ВВ. Для инициирования скважинных зарядов используются промежуточные детонаторы, инициируемые детонирующим шнуром нормальной мощности и штатной шашкой Т-400 (рис. 3.12а), при использовании высоко чувствительных баллиститных ракетных топлив - детонирующим шнуром повышенной мощности (рис. 3.12б). Экспериментальная проверка в производственных условиях эффективности взрывания с использованием конверсионных промежуточных детонаторов из баллиститных шашек РНДСИ проводились при отбойке известняка, доломита и мергеля скважинами глубиной 5–6,5 м. Сетка скважин - 4,5 х 5 м. Скважины диаметром 160 мм заряжали гранипором марки ПЗФ. Скважины диаметром 160 мм заряжали гранипором марки ПЗФ, в нижней части скважинного заряда размещали промежуточные детонаторы. Отбойку гранитов, гранодиоритов и диоритов вели 11,7 м уступами при глубине скважин 13–15 м. Сетка скважин - 6 х 6 м. Скважины диаметром 243 мм заряжали гранипором ПЗФ. Конверсионные промежуточные детонаторы на основе баллиститных шашек НМФ-2 размещали в верхней, средней и нижней частях скважинного заряда. Усиленные промежуточные детонаторы состояли из двух, трех или четырех шашек, формируемых в связку или гирлянду.



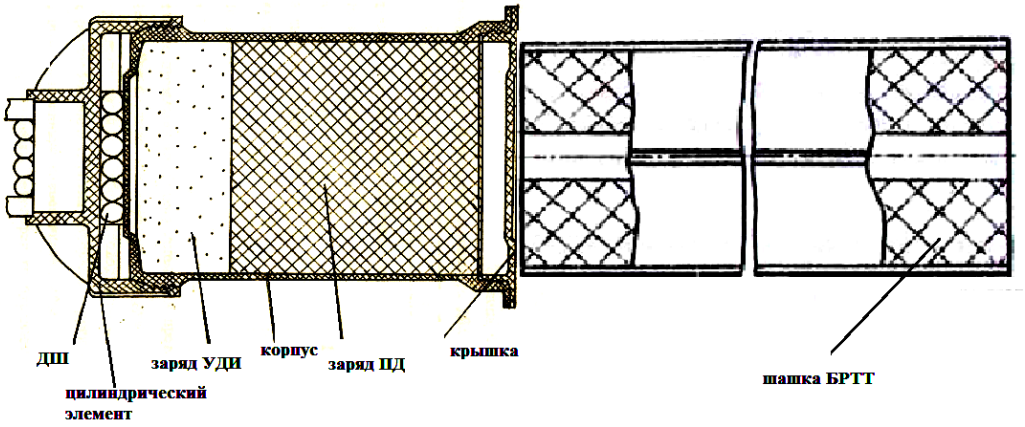
а) б)

Рис. 3.12 – Конструкции промежуточных детонаторов на основе баллиститных шашек с Т-400 с детонирующим шнуром нормальной (а) и с детонирующим шнуром повышенной мощности (б)

На основе обобщения результатов проведенных испытаний в промышленных условиях были предложены конструкции промежуточных детонаторов, объединяющих качества усиленных промежуточных детонаторов на основе баллиститных шашек и детонаторов, содержащих усилитель детонационного импульса маломощного детонирующего шнура (рис. 3.13). Новые конструкции промежуточных детонаторов позволяют получить в одной конструкции усиленный промежуточный детонатор на основе баллиститных шашек, исключающий выгорание низкочувствительных ВВ.



а)



б)

Рис. 3.13 – Эскиз промежуточного детонатора на основе баллиститной шашки с УДИ на основе:

а) - ПД-400 с детонирующим шнуром ДШМ-2; б) – ДПК с детонирующим шнуром ДШМ-2

3.5 Действие взрыва шпуровых и скважинных зарядов при различных условиях инициирования

Методикой работ предусматривалась исследование в производственных условиях скорости детонации и параметров инициирования зарядов в шпурах и скважинах. Оценка эффективности инициирования осуществляль с использованием показателей (скорость детонации, объем воронки взрыва в скальных породах, КИШ при проведении горных выработок, эффективности применения ВВ на открытых горных работах). Исследования проводились в Опытно-методической партии ЦНИГРИ (на полигоне и в опытной штольне), полигоне предприятия ООО «Нитротехнологии-Приморье», на карьерах Маднеульского ГОКа и «Микашевичи». В экспериментах по установлению влияния условий инициирования на степень использования энергии взрыва [414; 420; 422; 424] производилось взрывание скважинных зарядов диаметром 100 мм, длиной 0,6 м в осадочных породах с прямым, обратным и линейным инициированием (рис. 3.14). Использованное ВВ - гранулит АС-8 и граммонит 79/21. Инициирование осуществлялось от аммонита 6 ЖВ, ДША, ДШЭ-12, ДШЭ-30. Эффективность инициирования оценивалась объемом воронки взрыва в скальных породах.

Влияние способа инициирования на степень использования энергии взрыва на полезные формы работы показало изучение размеров воронок взрыва. Обработка результатов испытаний показала, что соотношение объемов разрушения при прямом и обратном инициировании составляет 0,8 для гранулита АС-8 и 0,55 для граммонита 79/21. Объем разрушения горного массива при обратном инициировании гранулита АС-8 на 25–30 % больше объема разрушения граммонита 79/21, что корреспондируется с теплотой взрыва исследуемых ВВ - 5225 кДж/кг и 4291 кДж/кг соответственно.

Изменение макрокристаллической структуры гранул АС путем выполнения модификационных переходов при термической обработке – «поризации» позволяет повысить «удерживающую способность» АС по отношению к ДТ, что обеспечивает улучшение стабильности смеси АСДТ. Для измерения скорости детонации были использованы приборы: ZBS-10 (КНР) - измеритель интервалов времени на нескольких дискретных базах и регистратор «Handitrap II» (Канада), основанный на измерении сопротивления с реостатным датчиком. Экспериментальное определение взрывчатых характеристик показало, что скорость детонации поризованной аммиачной селитры ПорАС в смеси с ДТ составляет 3370 м/с, что выше скорости детонации аммиачной селитры ГОСТ 2-2013 в смеси с ДТ (3280 м/с) в зарядах диаметром 140 мм с асбестоцементной оболочкой при насыпной плотности 0,93 г/см^3 и 0,98 г/см^3 соответственно [89].

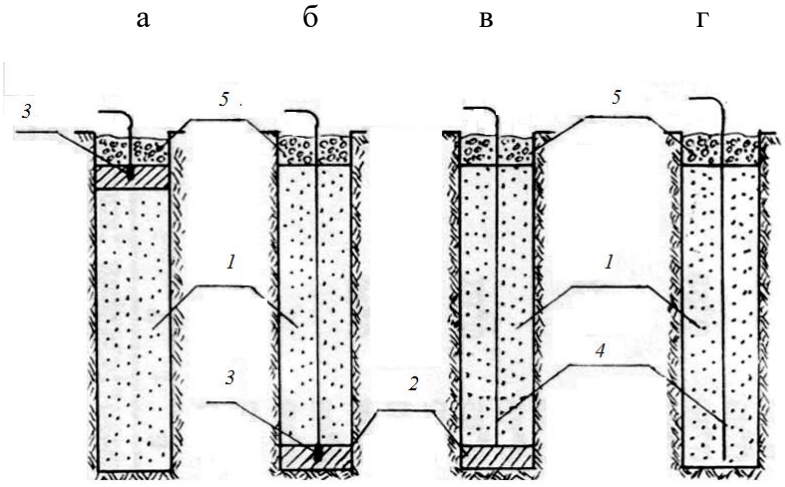


Рис. 3.14 - Конструкции скважинных зарядов: а – прямое инициирование от ПД; б – обратное инициирование от ПД; в - обратное инициирование от ПД и детонирующего шнура; г - линейное инициирование; 1 - заряд ВВ; 2 - промежуточный детонатор (ПД); 3 - капсюль-детонатор; 4 - ДШ; 5 - забойка.

При линейном инициировании ДША, ДШЭ-30 граммонита 79/21 разрушаемый объем составляет 0,55–0,6 от объема при обратном инициировании. При использовании ДШЭ-12 аналогичная величина составляет 0,2–0,4 объема при обратном инициировании. Соотношение объемов разрушения при линейном и обратном инициировании зарядов гранулита АС-8 составляет 0,83 при одной нити ДШЭ-30; 0,93 при двух нитях ДШЭ-30 и 0,6 при двух нитях ДША.

Влияние мощности ДШ на эффективность взрыва при проходке определялось в условиях одного забоя [414, 420, 424]. Опытные взрывы проводились в гранитах крепостью f=12–14 по шкале проф. М.М. Протодъяконова. Выработка имела сечение 6,5 м^2. Паспорт БВР включал 23 шпура при использовании гранулита АС-8 и 24 шпура при использовании граммонита 79/21. Клиновой вруб состоял из 6 шпуров. Шпуровые заряды инициировались от боевика (патрон аммонита 6 ЖВ), располагаемого первым от забоя шпура (рис. 3.15), и ДШ (ДШЭ-30, ДША и ДШМ-2) по всей длине заряда. Точность воспроизведения условий эксперимента обеспечивало постоянство свойств пересекаемых горных пород в условиях одного забоя.

Масса заряда составляла 1,8 и 1,9 кг гранулита АС-8 и граммонита 79/21 соответственно. Эффективность инициирования детонирующим шнуром оценивалась показателем КИШ.

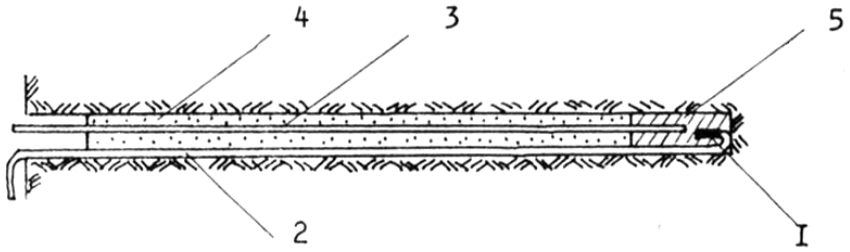


Рис. 3.15 - Конструкция шпурового заряда на проходке горных выработок 1 - капсюль-детонатор; 2 - огнепроводный шнур; 3 - исследуемый ДШ; 4 - заряд ВВ; 5 - патрон боевик

Анализ результатов испытаний на проходке горных выработок показал:

-изменение объема разрушения при инициировании ВВ одного типа (граммонита 79/21 или гранулита АС-8) детонирующими шнурами существенно разной мощности (навеска ВВ 2-30 г/пм) находится в пределах ошибки измерений (КИШ 0,86–0,88 и 0,79–0,80 соответственно для граммонита 79/21 и гранулита АС-8);

-объем разрушения граммонитом 79/21 на 7–10% выше при инициировании детонирующим шнуром одинаковой мощности.

Экспериментальная проверка эффективности линейного инициирования в промышленных условиях проводилась на Маднеульском ГОКе [241]. При проведении испытаний отбито более 40 тыс. м^3 горных пород с коэффициентом крепости по шкале М.М. Протодьяконова *f*=12–14, V–VI категории взрываемости. Диаметр скважин - 243 мм. Параметры БВР: высота уступа - 12 м, глубина скважин - 14,5 м, ЛСПП - 8,5 м, расстояние между скважинами в ряду 7 м, расстояние между рядами скважин 6,5 м. Использовался сплошной колонковый заряд граммонита 79/21. На контрольном участке инициирование осуществлялось сосредоточенным инициатором (Т-400 и ДШЭ-12), на опытном - линейным инициатором, состоявшим из 4 нитей ДШЭ-20 или 2 нитей ДШЭ-50 (навеска взрывчатой сердцевины детонирующего шнура 20 г/пм и 50 г/пм соответственно). Хронометраж работы погрузочно-транспортного оборудования на опытных и контрольных блоках показал, что при применении линейных инициаторов производительность погрузочного оборудования увеличилась на 9,7%, а автотранспортного - на 7,7%.

Исследование взрывания конверсионных ВВ проводилось при производственном эксперименте на карьере «Микашевичи» при отбойке гранитов, гранодиоритов и диоритов с коэффициентом крепости *f*=16–20. Скважины имели диаметр 250 мм. Высота колонки заряда 8–9 м, высота забойки 5–6 м. Сетка бурения 6х6 м, высота уступа 11–12 м, величина перебура 2–

2,5 м. Использовались заряды сплошной конструкции массой 320–350 кг. Для инициирования применялись 400 граммовые тротиловые шашки с обвязкой 4 нитями ДШЭ-12. Схема взрывания диагональная, вруб - клиновой. Производственный эксперимент показала, что навал взорванной горной компактный, шириной не более 30–35 м, выброс горной массы за последний ряд скважин отсутствовал. По поверхности навала не наблюдалось крупных негабаритных кусков [452].

С учетом результатов выполненных исследований инициирования шпуровых и скважинных зарядов, чувствительности к детонации конверсионных ВВ [16; 407; 417; 422; 432; 433; 452] разработаны научно-методические рекомендации «Методы инициирования шпуровых и скважинных зарядов с использованием конверсионных ВВ». В рекомендациях рассмотрены вопросы эффективности инициирования и результаты работ по оценке чувствительности конверсионных ВВ к практическим видам взрывного импульса. Изложены материалы по развитию систем инициирования на основе детонирующего шнура и управлению действием взрыва шпуровых и скважинных зарядов с использованием конверсионных ВВ. Даются рекомендации по применению баллиститных шашек с осевой полостью и промежуточных детонаторов на основе конверсионных ВВ для повышения эффективности взрывания.

Разработанные рекомендации согласованы ОАО «Союзвзрывпром» предназначены для инженерно-технических работников предприятий черной и цветной металлургии, горно-химического и строительного сырья.

3.6 Экспериментальные и промышленные промежуточные детонаторы на основе конверсионных ВВ

Скважинная отбойка горных пород в современных условиях ведется при размещении в скважине 500 и более кг ВВ, достигая в отдельных случаях 1000 кг. Это требует безотказности и надежности взрывания, что обеспечивают средства взрывания, передающие начальный импульс к заряду. Надежность взрывания скважинных зарядов достигают применением ПД, отвечающих техническим и технологическим условиям ведения работ. Экспериментальные работы по использованию конверсионных ВВ в качестве мощных промежуточных детонаторов для инициирования скважинных зарядов проводились на карьере ОАО «Лебединский ГОК» для инициирования скважинных зарядов ВВ местного изготовления. В исследованиях использовались следующие виды зарядов конверсионных ВВ: УЗ-1, УЗ-2, УЗ-3, СЗ-3, СЗ-6. Масса ВВ для перечисленных зарядов составляла 5,35 кг соответственно для изделий УЗ-1, УЗ-2, УЗ-3; 3 кг и 5,9 кг соответственно для изделий СЗ-3, СЗ-6 при габаритных размерах последних 65х116х337 мм и 98х142х395 мм. Испытания конверсионных ВВ на

восприимчивость к инициирующему импульсу практических видов взрывного импульса показало надежность инициирования при намотке 10 витков вплотную детонирующего шнура ДШЭ-12. Опытно-промышленные взрывы проводились в разных типах кварцитов (биотито-магнетитовых, магнетитовых, куммингтонитовых, окисленных). Диаметр скважинных зарядов составлял 380–450 мм, используемое ВВ - Акватол Т-20Г. Применение боевиков повышенной мощности СЗ-3, СЗ-6 позволило снизить средний диаметр куска на 6–8% на отдельных типах кварцитов [168].

Необходимые параметры инициирования обеспечивают взрывчатые и физико-механические свойства используемых в промежуточных детонаторах ВВ. Основные характеристики промежуточных детонаторов, изготовленных из конверсионных ВВ, представлены в работах [159; 168; 171; 387; 453]. Начальный импульс к промежуточным детонаторам передается неэлектрическими системами инициирования - Эдилин, УНСИ, Нонель и др. Для этого используют волновод или маломощный ДШ с навеской 1,5 г/м. Шашки имеют цилиндрические отверстия для ДШ или волновод и гнездо для детонатора.

Шашки ПД из поротола - смеси (сплава) тротила и зерненого бездымного пороха в соотношении компонентов 50/50, обладают высокой водоустойчивостью и надежно детонируют после выдержки в воде под давлением 0,3 МПа (3,0 атм.) в течение 20 суток. ПД обеспечивает надежное инициирование в сухих и обводненных условиях практически всех применяемых ВВ, в том числе гранипоров, дибазитов.

Прессованные шашки «ПИГМА» массой 900 г из утилизированного тротила и гексогена. Тротил получают выплавкой из артиллерийских снарядов. Гексоген содержится в нижней части прессованной шашки «Пигма». Недостатками данного решения являются усложнение технологии изготовления шашек и увеличение ее стоимости. На основе гексогена разработаны гексогеновые шашки ТГФ и ГТП массой 500 и 850 г (состава ТГФ), а также тротиловые массой 500 г.

НИИ Росконверсвзрывцентр разработал и испытал ПД на основе шашек ТПК, шашек тротиловых для взрывных работ, баллиститных шашек. Низкая восприимчивость баллиститного ракетного топлива к детонационному импульсу предполагает использование дополнительных инициирующих элементов в предлагаемых конструкциях.

ОАО «НТЦ» Росвзрывбезопасность» предложены конструкции промежуточных детонаторов: ДБУ на основе баллиститных шашек и ШДП на основе ТНТ, ТЭНа и ТГ [453]. Конструктивные высокочувствительные элементы обеспечивают чувствительность ПД к практическим видам взрывного импульса (ДШ, ЭД, неэлектрических систем инициирования Эдилин и УНСИ и др.).

3.6.1 Обоснование технических решений по использованию баллиститных шашек с осевой полостью в качестве промежуточных детонаторов

В удлиненных зарядах с осевой полостью возникают эффекты, связанные с образованием и распространением по полости ударной волны, опережающей фронт детонации ВВ. Зависимости плотности, массовой скорости, давления струи от характеристики $d=d_2/d_1$ имеют вид [389]:

плотность $\rho = \left(0{,}25 \cdot d_2 / d_1 - 0{,}02\right)$,

массовая скорость $u = 1{,}8 \cdot D_{BB}$,

давление $P = \left(0{,}7 \cdot d_2 / d_1 - 0{,}4\right) \cdot 100$,

где d_2 - диаметр заряда; d_1 - диаметр осевой полости; D_{BB} - скорость детонации.

С целью определения возможности использования в геотехнологиях зарядов с осевой полостью представляет интерес рассмотрение особенностей процесса детонации зарядов. В разделе 4 представлена картина детонации таких зарядов на основе работ [41; 96; 118; 210; 224; 225; 298; 305; 306; 360; 438; 472]. Сейчас мы остановимся на некоторых аспектах, влияющих на технологические параметры (геометрия, размеры), при использовании зарядов с осевой полостью в качестве практических видов взрывного импульса.

Экстраполяция значений геометрических параметров заряда в область $d_2/d_1=4–5$ показывает возможность увеличения давления P в 1,5-1,7 раза. Взрывная эффективность заряда, определяемая глубиной и объемом кратера разрушения [118], имеет максимальную величину при относительной длине $L=(30–40)\ d_1$. Изменение массы от диаметра в диапазоне значений $2<d_2/d_1<4$ и $L=35\ d_1$ носит характер квадратичной зависимости, при этом более сильная связь в области больших соотношений d_2/d_1. Введем понятие оптимальной длины L_{onm}, соответствующей наибольшей взрывной эффективности по кратерообразующей способности (рис.3.16). При изменении диаметра полости d_1 изменяется оптимальная длина L_{onm}. На рис.3.15 показан характер зависимости L_{onm} от d_1. Область «1», обозначенная знаком ◢, соответствует зарядам длиной ~ 35-65 см, область «2», обозначенная знаком ■, - зарядам длиной ~5–20 см. Деление на выделенные области отражает специфику взрывных работ в геотехнологии при использовании в качестве усиленных и инициирующих зарядов.

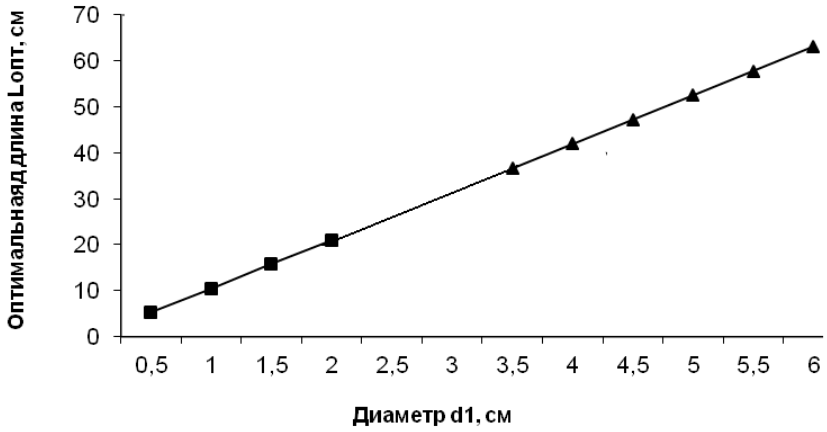


Рис. 3.16. Оптимальная длина заряда $L_{опт}$ от диаметра осевой полости заряда d_1

Рассмотрим характеристики баллиститных шашек, представленных в табл. 2.4. С использованием [404; 410] для них определены параметры: давление газовой кумулятивной струи, оптимальная длина. Корреляция максимальной глубины и объема кратера разрушения при относительной длине $L=30\text{-}40\ d_1$ позволяет разработать рекомендации по выбору геометрических параметров зарядов, обладающих наибольшей взрывной эффективностью. Наиболее высокие параметры газовой кумулятивной струи имеют заряды с максимальным соотношением d_2/d_1 - баллиститные шашки Н-13, НА-13, НМ-13, РСИ-5, НМФ-2Д. Наибольшей взрывной эффективностью по кратерообразующей способности обладают баллиститные шашки РНДСИ-5К, ФГ-14, ФСГ-2, КДСИ-14 с соотношением L/d_1 =34–35.

На основе анализа изменения параметров (давления газовой кумулятивной струи и взрывной эффективности по кратерообразующей способности) обоснован выбор оптимальной конструкции боевика - баллиститных шашек РНДСИ-5К и КДСИ-14 с осевым каналом 15 мм. При использовании в качестве практических видов взрывного импульса баллиститных шашек Н-13, НА-13, НМ-13 длина должна быть уменьшена, а при использовании шашек НМФ-2Д - увеличена.

Выбор стратегии повышения инициирующей способности промежуточных детонаторов должен предусматривать изменение параметров газовой кумулятивной струи. Увеличение диаметра заряда (d_2) при постоянном диаметре осевой полости (d_1) способствует возрастанию скорости переднего фронта газового потока и давления (P) канальной волны. Зависимость P от d_1 приведена в главе 4 на рис. 4.6. Давление P в газовой кумулятивной струе возрастает при уменьшении соотношения d_1/d_2. Таким образом, параметры зарядов усиленного действия с осевой полостью должны определяться при выполнении условия $P \rightarrow \max$ при d_1/d_2=0,2; L/d_1=35. С учетом исследованных соотношений на рис.3.17 и 3.18 получены зависимости массы и длины промежуточного детонатора от диаметра шашки.

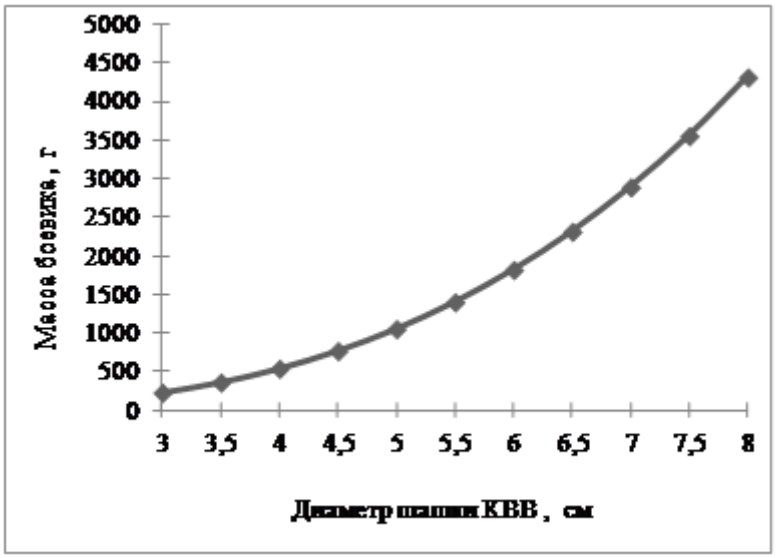


Рис.3.17 - Зависимость массы заряда усиленного действия от диаметра шашки

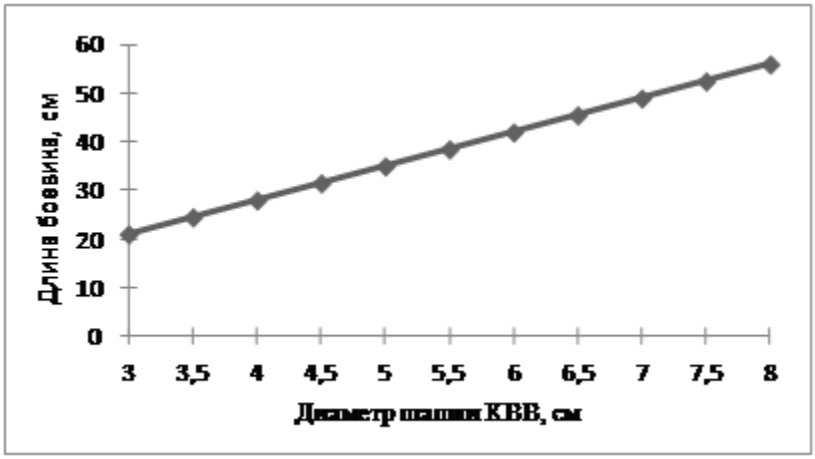


Рис. 3.18 - Зависимость длины заряда усиленного действия от диаметра шашки

С учетом имеющихся параметров баллиститных шашек в табл. 3.9 представлены параметры промежуточных детонаторов, разработанные на основании рассмотренных выше условий.

Экспериментальная проверка баллиститных шашек с осевой полостью, используемых в качестве промежуточных детонаторов, проводилась на карьере Микашевичи [452] при отбойке гранитов, гранодиоритов и диоритов III-IV категории с коэффициентом крепости по М.М.Протодьяконову *f*=16–20. Использовались заряды сплошной конструкции массой 320–350 кг. Высота колонки заряда 8–9 м, высота забойки 5–6 м. В каждую скважину устанавливали не менее 2-х боевиков. Использование для инициирования скважинных зарядов боевиков с

рациональными параметрами позволило обеспечить более равномерное дробление гранитов, гранодиоритов и диоритов, а также снижение выхода негабаритов.

Таблица 3.9 – Характеристики промежуточных детонаторов с осевой полостью

Диаметр шашки (мм)	Диаметр осевой полости в шашке КВВ, мм	Длина, мм	Масса, г
40	8	280	540
50	10	350	1055
60	12	420	1820

На подземных горных работах использование баллиститных шашек в качестве промежуточного детонатора сталкивается с проблемами обеспечения требуемой восприимчивости к детонационному импульсу и снижения чувствительности к внешним воздействиям. Первая проблема решается введением в состав сенсибилизирующих добавок или созданием инициирующего узла, монтируемого в баллиститную шашку [278].Вторая проблема, связанная с сохранностью баллиститных шашек и безопасностью ее применения, решается с использованием специальных контейнеров, в которых размещается боевик, в том числе баллиститной шашки. Разработано техническое решение [181], содержащее контейнер для размещения патрона боевика, включающий цилиндрический корпус с одним закрытым торцом. На боковой поверхности контейнера имеется два распорных элемента и расположены они с одной стороны на образующей цилиндрического корпуса. Наибольшую эффективность и безопасность ведения взрывных работ техническое решение обеспечивает при обратном инициировании шпуровых зарядов.

3.7 Выводы по главе

1 Исследованы факторы, влияющие на безопасность применения, устойчивое состояние детонации и параметры инициирования конверсионных ВВ. Снижение опасности в обращении конверсионных ВВ, включая хранение, перевозку транспортом, доставку на места работ, хранение на местах взрывных работ, использование при ведении взрывных работ достигается кондиционированием компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов в соответствии с условиями взрывания в различных способах извлечения полезных ископаемых, видами взрывных работ, методами взрывания, параметрами зарядов.

2 Исследованы параметры возбуждения детонации конверсионных ВВ, а также влияние способа инициирования на степень использования энергии взрыва на полезные формы работы посредством сравнения объема воронки взрыва и КИШ при прямом, обратном, встречном инициировании. Обоснованы параметры зарядов с осевой полостью, используемых в открытой

физико-технической геотехнологии в качестве промежуточных детонаторов и включающих ряд баллиститных шашек диаметром 40-60 мм с осевой полостью диаметром 8-12 мм.

3 Происходящее при термообработке – «поризации» изменение структуры поверхности и тела гранул (раскрытие трещин, смещение блоков по высоте, смыкание крупных трещин) является существенной параметром и определяет возможность изготовления физически стабильных смесевых ВВ, обладающих высокими взрывчатыми характеристиками.

4 Предложена качественная характеристика восприимчивости к инициирующей ударной волне баллиститных порохов (по мере возрастания): НМ → Н → НДСИ → ФСГ → ФГ → НМФ → РСИ → РНДСИ → РСТ с учетом содержания минеральных добавок, играющих роль активных центров реакции, показывающая разумное соответствие с опытными данными.

5 Установлены характеристики возбуждения детонации простейших и низкочувствительных ВВ детонирующими шнурами малой, нормальной и повышенной мощности. Разработаны инициирующие устройства (АС № 946321, МКИЗ F 42B 1/02 и № 948218, МКИЗ F 42B 3/10), обеспечивающие гармонизацию показателей инициирующей способности средств взрывания и восприимчивости к детонации простейших и низкочувствительных ВВ, что обеспечивает увеличение степени использования энергии взрыва на полезные формы работы за счет исключения или снижения до минимума низкоскоростных режимов взрывчатого превращения. При экспериментальной проверке в открытой геотехнологии эффективности взрывного разрушении руды и пород с использованием разработанных устройств получено снижение на 5-10% удельного расхода ВВ, уменьшение на 15–20% размера среднего куска отбитой горной массы, повышению на 10–12% производительности погрузочного оборудования.

6 На основе результатов работ в рамках выполнения исследований по планам ИПКОН РАН для предприятий предприятиях черной и цветной металлургии, горно-химического и строительного сырья разработаны рекомендации «Методы инициирования шпуровых и скважинных зарядов с использованием конверсионных ВВ».

4 Взрывные технологии разрушения горных пород на открытых горных работах с использованием конверсионных ВВ

Отбойка горных пород на открытых разработках с использованием гранипоров осуществляют скважинными зарядами диаметром 90-250мм. Для оценки детонационной способности гранипоров определяют скорость детонации в зарядах разного диаметра. При диаметре заряда больше критического, но меньше предельного процесс детонации зарядов гранипоров имеет неидеальный характер, при этом скорость детонации зависит от диаметра заряда. Исследование детонации гранипоров в условиях, приближенным технологии взрывания на горных предприятиях, связано с взрыванием зарядов большого диаметра и длины, что является сложной технической задачей. Это обусловливает поиск альтернативных методов оценки, в том числе с использованием аналитических методов. Анализ результатов работ многих исследователей показывает, что зависимость вида $D_i/D_{id}=f\ (a/R_i)$, где D_i - скорость детонации; D_{id} - идеальная скорость детонации; a - характерный размер, связанный с шириной зоны химической реакции; R_i- радиус заряда, хорошо выполняется при описании скорости неидеальной детонации при различной плотности ВВ [467].

Условия распространения детонации, форма заряда, наличие оболочки и другие факторы имеют существенное значение при определении функции $f(a/R_i)$. Используя рассматриваемый подход, определим идеальную скорость детонации $D_i(d_i)$ и скорость детонации конкретного диаметра D_i для баллиститного пороха НБ-40 с содержанием 60% пироксилина и 40% нитроглицерина. Для этого используем экспериментально определенную скорость детонации для зарядов d_i=50мм, 60мм и 80 мм [80]. С использованием полученной в работе [66] зависимости определяем идеальную скорость детонации для зарядов d_i=50мм, 60мм и 80 мм. С учетом полученного значения скорости идеальной детонации D_{id}=6199м и экспериментальных значений скорости детонации D_i для зарядов d_i=50мм, 60мм и 80 мм рассчитываем скорость детонации искомого диаметра заряда. На рис. 4.1 для баллиститного пороха НБ-40 приведены опытные и расчетные данные, описываемые единой зависимостью $D_i/D_{id}=f(a/R)$, а в таблице 4.1 даны расчетные значения скорости детонации для зарядов d_i=100мм, 110мм, 130 мм, 150мм и 160 мм.

На основе динамических характеристик ВВ и акустических свойств горных пород возможен выбор конверсионных взрывчатых веществ для отбойки. Критерием служит импеданс ВВ, определяемый произведением плотности $\rho_{вв}$ на скорость детонации $D_{вв}$. Для передачи максимального количества энергии взрыва разрушаемой среде необходимо

выполнение условия $\frac{\rho_{BB} D_{BB}}{\rho_n C_p} \to 1$, где ρ_n - плотность разрушаемой среды; C_P - скорость продольной волны в разрушаемой среде, характеризующая степень ее нарушенности.

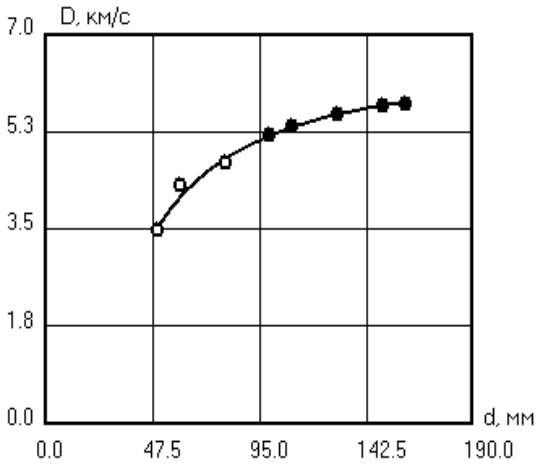


Рис. 4.1 Зависимость $D_i\,(d_i)$ для баллиститного пороха НБ-40
(○ эксперимент [302], ● расчет)

Величина скорости детонации определяет темп силового воздействия взрыва. Акустическая жесткость пород является фактором, коррелирующим с переходом энергии ВВ в волну напряжений и коэффициентом простреливания [435].

Таблица 4.1 - Расчетные значения скорости детонации зарядов баллиститного пороха НБ-40 для диаметров скважин 100-160 мм

Диаметр заряда d_i, мм	100 мм	110 мм	130 мм	150 мм	160 мм
Скорость детонации D_i, м/с	5215	5362	5582	5732	5781

С учетом динамических характеристик ВВ на основе работ [351; 353] для трудновзрываемых пород с большой скоростью распространения упругих волн (C_p) необходимы конверсионные ВВ с большой скоростью детонации и высокой работоспособностью. При соотношении $C_p/D_{KBB}>1$ в ближней зоне взрыва происходит переизмельчение породы, дробление горной массы неравномерное. Практические результаты взрывания гранипоров хорошо согласуются при выполнении соотношения $C_P \big/ D_{KBB} \cong 0{,}8 \div 1$.

Пироксилиновые пороха и гранипоры обладают хорошей водоустойчивостью и используются для заряжания полностью или частично обводненных скважин [55; 56]. При

заряжании скважин пустоты между гранулами пороха заполняются по высоте скважины различным образом. В части заряда, переходящей от воздуха к воде, гранулы пороха покрыты слоем воды. В нижней части скважины вода полностью заполняет пустоты между гранулами пороха.

Исследуем вопросы применения гранипоров в сухих и обводненных скважинах с учетом особенностей детонации нитроцеллюлозных порохов. Зависимость бризантности от коэффициента заполнения пустот ($К_з$) в графическом виде [20] представлена на рис. 4.2 для смеси пироксилинового пороха и легкоплавких предельных и циклических углеводородов. При коэффициенте заполнения 0,03–0,05 наполнитель покрывает поверхность пороховых гранул, что затрудняет их воспламенение и горение и оказывает флегматизирующее действие.

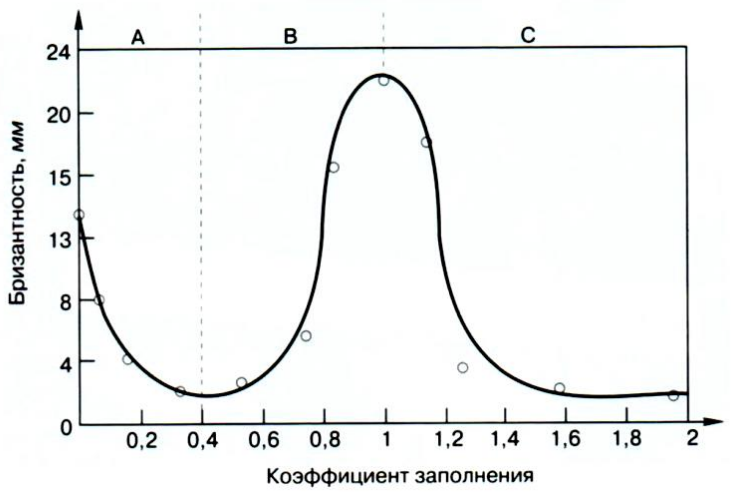


Рис. 4.2 - Изменение бризантности пироксилинового пороха в зависимости от коэффициента заполнения пор ($К_з$)

В диапазоне $К_з$ от 0,05 до 0,4 флегматизирующее действие наполнителя возрастает по мере заполнения пор, при этом бризантность пороха монотонно снижается до локального минимума при коэффициенте заполнения 0,4. По мере возрастания $К_з$ от 0,4 до 1 однородность заряда повышается, его структура становится гомогенной и при $К_з$, равном 1, бризантность пироксилинового пороха достигает локального максимума. При $К_з$ больше 1 концентрация гранул пороха в единице объема снижается, что ведет к уменьшению объемной концентрации энергии заряда. Физические и химические свойства наполнителя влияют на бризантность пироксилинового пороха, но характер изменения бризантности сохраняется независимо от природы наполнителя и, следовательно, качественные закономерности, для разных видов наполнителей (воды, пентана, глицерина, компрессорного масла, вазелина) носят общий характер [20]. Изменение бризантных свойств пороха в зависимости от коэффициента заполнения пор $К_з$ делает возможным разработать рекомендации по безопасности и

безотказности взрывания гранипоров в обводненных условиях.

В обводненных скважинах при коэффициенте заполнения равном 1 гранипор обладает максимальной бризантностью. При изменении коэффициента заполнения от 1 до 0,4 бризантность снижается до минимума. В верхней части скважины коэффициент заполнения равен 0,03–0,05 и бризантность гранипора соответствует своему нормальному значению. При заряжании комбинированных зарядов в обводненных скважинах происходит их расслоение. При контакте с водой аммиачная селитра частично растворяется и заполняет пространство между гранулами пороха. Это характерно для всех типов аммиачно-селитренных ВВ. Кроме этого, в тротилосодержащих аммиачно-селитренных ВВ образуется слой, обогащенный тротилом. Снижение концентрации гранул пороха в единице объема может происходить в период заряжания обводненных скважин, однако, в дальнейшем пороховые гранулы оседают и формируют соответствующую структуру гранипора.

Гранипор и пироксилиновый порох обладают максимальной эффективностью при коэффициенте заполнения равном 1. При изменении коэффициента заполнения от 1 до 0,03–0,05 бризантность гранипора и пироксилинового пороха изменяется от локального максимума до нормального значения, проходя через локальный минимум при $K_з$=0,4. При заряжании комбинированных зарядов происходит их расслоение. При контакте аммиачной селитры с водой она частично растворяется. Раствор аммиачной селитры заполняет пространство между гранулами пороха. Это свойственно всем типам аммиачно-селитренных ВВ. В тротилосодержащих аммиачно-селитренных ВВ образуется обогащенный тротилом слой. При заряжании обводненных скважин может происходить снижение концентрации гранул пороха в единице объема, однако, в дальнейшем пороховые гранулы оседают и формируют соответствующую структуру гранипора. Водонаполнение гранипоров позволяет повысить их детонационные свойства. Это объясняется увеличением однородности заряда при водонаполнении и наличием специфической (пористостой) структуры пороховых зерен. Распространение ударной волны в однородном заряде происходит с меньшими потерями энергии, а структурные газовые включения способствуют поддержанию реакции по механизму «горячих точек». Баллиститные артиллерийские пороха с гомогенной структурой имеют сниженные детонационные характеристики и находят ограниченное применение на взрывных работах в качестве ВВ.

Рассмотренные специфические особенности детонации порохов обосновывают вопросы безопасного применения гранипоров в сухих и обводненных скважинах, которые должны учитываться при их использовании в геотехнологии.

Мягкое действие взрыва порохов и гранипоров объясняется влиянием воды на бризантность ВВ [55; 56]. В большинстве случаев использование порохов и гранипоров

происходит в обводненных или частично обводненных скважинах. В этих условиях максимальным бризантным действием обладает обводненная часть заряда, напротив минимальным бризантным действием обладает часть заряда, находящаяся в сухой части скважины. Пороха и гранипоры имеют относительно низкую насыпную плотность заряжания и энергию взрывчатого превращения. Для обеспечения расчетной энергии взрыва скважинного заряда размещаемые пороха или гранипоры занимают большую высоту скважины. При этом в нижней обводненной части эти факторы создают благоприятные условия для работы скважинного заряда. В результате этого развалы горной массы при применении гранипоров отличаются правильными формами.

В связи с повышенной чувствительностью пироксилиновых порохов к механическим воздействиям производят их флегматизацию. Для флегматизации используют воду, нефтепродукты (индустриальное масло, дизельное топливо) и другие органические добавки. Для установления влияния методов флегматизации пироксилиновых порохов на эффективность заряжания и безопасность взрывных работ проведены испытания при отбойке гранитов, гранито-гнейсов, известняков, иногда с расслоением с дайками диабаза, песчаников, габродиоритов, кварцевых порфиров весьма трещиноватого и блочного строения, сидеритов, амфиболитов. Доставленные на заряжаемый блок пироксилиновые зерненые пороха в оцинкованных металлических коробах разгружали в непосредственной близости от места ведения работ. Вскрытые короба заполняли водой. Заряжание скважин порохом производили через 5 минут после заполнения короба водой. Заполнение скважин порохом производили путем опрокидывания короба с находящейся в нем суспензией. После заряжания скважин порохом и установки промежуточных детонаторов выполняют забойку скважин и монтаж взрывной сети. Инициирование производилось от детонирующего шнура ДША, ДШВ, ДШЭ-12 и тротиловых шашек Т-400. Экспериментальная проверка показала, что флегматизация в коробах значительно увеличивает трудоемкость заряжания скважин. Применение флегматизированных водой пироксилиновых порохов позволило улучшить дробление горных пород, снизить выход негабарита на 50%, обеспечить ровную линию отрыва.

Для взрывания в зимнее время флегматизацию пироксилинового пороха производили индустриальным маслом или дизельным топливом при тщательном перемешивании получаемой суспензии лопаткой, изготовленной из материала, не дающего искру. Остальные операции по заряжанию и взрыванию были аналогичны.

При взрыве пироксилиновых порохов продукты детонации содержат большое количество свободного углерода и его оксида. Одним из путей повышениния полноты использования энергии ВВ является добавление веществ с избытком кислорода, например, аммиачной селитры. При соотношении пороха и аммиачной селитрой 1/1,2 происходит полное

окисление углерода. Промышленные взрывы при отбойке гранитов, известняков, песчаников, габродиоритов, кварцевых порфиров показали, что такие смеси обладают хорошими детонационными свойствами. Качество дробления горных пород хорошее. Для повышения стабильности применяемого ВВ (смесевого простейшего ВВ) проводится термическая обработка гранул, обеспечивающая повышение удерживающей способности АС. Термическая обработка (поризация) селитры АС ГОСТ 2-2013 обеспечивает получение удерживающей способности поризованной селитры (ПорАС) на уровне 5,4-5,5% [89]. Для реализации данного предложения разработан способ получения поризованной гранулированной аммиачной селитры [332]. Положительные результаты показало использование в качестве наполнения насыщенного раствора аммиачной селитры. Плотность заряда пироксилинового пороха в воде составляет - 1,16–1,27 г/см^3, с 50% раствором аммиачной селитры 1,33–1,4.

Экспериментальные работы по изучению восприимчивости к инициированию, детонационной способности, взрывной эффективности, безопасности применения гранипоров на основе различных нитроцеллюлозных порохов проводились при отбойке плотных, тугоплавких глин с включениями щебня сланцев и известняков, известняка слабо трещиноватого, брекчированного на кальцитовом цементе. Инициирование скважинных зарядов производилось от ДША, ДШВ, ДШЭ-12, тротиловых шашек Т-400, РУВ-800, патронов аммонита 6ЖВ. Поверхностная взрывная сеть содержала пиротехнические реле РП-Н-35, ЭД-8Э. Применение гранипоров позволило улучшить интенсивность дробления горных пород, обеспечить ровную линию отрыва. Безотказное инициирование и полноту детонации заряда гранипора обеспечивали два боевика, состоящие из двух тротиловых шашек Т-400, или двух детонаторов РУВ-800, или патронов аммонита 6ЖВ весом 3–10 кг.

В рамках экспедиционных работ института ИПКОН РАН в Центральном регионе, на Северном Кавказе и Краснодарском крае [423] выполнены исследования на месторождениях черных металлов, гипсового сырья, мергеля, мергелистого известняка, известняка. Коэффициент крепости *f* взрываемых пород на месторождениях гипсового сырья, мергеля, мергелистого известняка, известняка изменялся от 6 до 10, группа пород по СНиП соответствовала VI–VII категории. Удельный расход ВВ изменялся от 0,4 до 0,65 кг/м^3. Обводненность скважин на большинстве карьеров сезонная - за счет притока атмосферных осадков. Для заряжания сухой части скважины на предприятиях используют аммиачно-селитренные ВВ заводского или местного изготовления. Обводненную часть скважин заряжают конверсионным ВВ - гранипором ФМ.

Формируя сплошной колонковый заряд по всей длине или части заряжаемой скважины, обеспечивают повышение мощности заряда за счет высоких взрывчатых и энергетических характеристик баллиститных шашек. Экспериментальные работы по установлению

характеристик баллиститных шашек РСИ и возможности управления действием взрыва [448] проводились на месторождении брекчиевидных известняков, скальных грубораслацованных авгитовых порфиритов, сильнотрещиноватых известняков с прослойками глины. Для взрывания использовались скважины диаметром 250 мм, глубиной 11,0–17,5 м, часть скважин была обводнена (столб воды - до 13 м). Баллиститные шашки, имеющие вид сегмента, связывали по четыре для получения цилиндрического пучка диаметром около 220 мм. На блоках, сложенных сильнотрещиноватыми породами, для предотвращения застревания зарядов в нарушенных скважинах, пучки вязали из трех шашек (диаметр пучка составлял около 200 мм). Высота заряда из баллиститных шашек РСИ менялась от 4,5 м до 6,2 м. Пространство между стенками скважины и колонкой заряда из шашек заполняют ВВ подсыпкой граммонита 79/21, гранулотола и др. взрывчатых веществ. На сложноструктурных блоках, представленных разнородными породами - скальными туфами порфиров, брекчеевидным известняком, авгитовым порфиром, - высота зарядов баллиститных шашек составляла 6,2 м. При использовании баллиститных шашек было получено качественное дробление пород и проработки подошвы уступа. Для определения рациональных параметров БВР с использованием баллиститных шашек отсутствуют расчетные методики, обеспечивающие выбор рациональных конструкций комбинированных зарядов (баллиститные шашки + промышленное ВВ), обеспечивающие для пород с различной удельной энергоемкостью взрывного разрушения соответствие объемной концентрации энергии ВВ необходимому запасу энергии скважинного заряда.

Экспериментальными исследованиями восприимчивости к инициирующему импульсу баллиститных шашек [432; 448] установлены параметры инициирующих зарядов, обеспечивающие надежное инициирование баллиститных шашек - боевики тротиловые типа Т-400Г, тротилогексогеновые - ТГ-500 или другие общей массой не менее 0,8 кг. Во избежание «выстреливания» заряда из скважины рекомендуется верхнее инициирование скважинного заряда из баллиститных шашек. Предъявляются более жесткие требования к качеству забойки. Используют песок, мелкие фракции породы при общей длине забойки не менее 5,0 м.

Экспериментальные исследования [258] показали низкую способность шашек при передаче детонации через влияние, поэтому шашки в скважине необходимо располагать вплотную друг к другу без зазоров. Ввиду повышенной чувствительности баллиститных шашек к механическим воздействиям благоприятным и безопасным условием для их применения является наличие воды в скважинах. В полностью обводненные скважины допускают заряжание шашек путем их свободного погружения, что значительно сокращает время зарядных работ. При этом следят за состоянием скважин. Во избежание застревания шашек заряжают ненарушенные скважины, без выступов и заколов по всей длине. В сухие скважины

шашки опускают на шнуре из хлопчатобумажных или синтетических нитей. Предел прочности шнура не менее чем в 5 раз превышает массу одновременно опускаемых шашек. В частично обводненные скважины шашки опускают на шнуре до уровня воды, а далее - путем их свободного погружения. Следует подчеркнуть, что в случае возгорания баллиститных шашек переход горения в детонацию исключен, что подтверждено испытаниями.

Для дробления подошвы уступа или верхней части блока заряд из шашек (пучков шашек) располагают в определенной части скважины, остальной объем заполняют ВВ [35-37]. Для определения взрывных характеристик баллиститных шашек проводились опытные работы на карьерах по добыче известняка, доломита и мергеля. Масса баллиститных шашек РНДСИ - 1,7 кг. Шашки взрывали в комбинированных зарядах с гранипором ПЗФ, аммонитом 6 ЖВ в скважинах диаметром 160 м, глубиной 5–9 м, высотой столба воды 1,0–1,5 м. Конструкция включала усиленную часть из одной баллиститной шашки, а также двух и трех последовательно скрепленных шашек. Сравнение с контрольным участком показало, что качество дробления и уровень проработки подошвы уступа не изменилось. Использованные баллиститные шашки имели диаметр 54 мм с осевой полостью 14 мм. Усиленные заряды из баллиститных шашек длиной 0,49–1,47 мм, массой 1,7–5,1 кг не показали взрывной эффективности, способствующей сокращению перебура скважин.

При отбойке гранитов, гранодиоритов и диоритов проведена оценка особенностей действия зарядов с осевой полостью в качестве зарядов повышенной эффективности [432% 452]. Заряды гранипор ПЗФ размещали в скажинах диаметром 250 мм, глубиной 13–15 м, глубина перебура 2–2,5 м. На забое скважины размещали две баллиститные шашки НМФ-2Д. В центральной и верхней части заряда использовали баллиститные шашки НМФ-2Д в качестве усиленных боевиков. Использование заряда повышенной мощности в нижней части скважины позволило получить равномерное дробление гранитов, гранодиоритов и диоритов за счет улучшения дробления на уровне подошвы уступа. По результатам экскаваторной разборки взорванной горной массы пороги на подошвенной части уступа не зафиксированы, что характеризует хороший уровень проработки подошвы уступа.

Рассмотренными видами не ограничены способы использования баллиститных шашек [55; 56]. Применяют комбинации с другими видами зарядов. Из различных вариантов конструкций скважинных зарядов можно выделить два основных:

– из баллиститных шашек формируют гирлянды, расположенные по всей длине скважины, которые служат мощным линейным инициатором (аммиачной селитры, гранипора, тротила-У). Наличие линейного инициатора поддерживает детонационную волну, распространяемую по заряду, не давая ей затухнуть;

– баллиститные шашки располагают рассредоточено по длине скважины. Баллиститные шашки играют роль мощных точечных инициаторов.

В качестве линейных инициаторов скважинных зарядов игданита, акватола, ГЛТ, ифзанита, порэмита, граммонита нашли применение баллиститные шашки. Баллиститные шашки, как в сочетании с различными ВВ, так и без них, применяют на взрывных работах по отбойке горной массы преимущественно на предприятиях с небольшим объемом взрывных работ и ручным заряжанием скважин (карьеры строительных материалов и небольшие рудоуправления).

В производственных условиях на предприятиях черной и цветной металлургии, горнохимического и строительного сырья экспериментальные работы по испытаниям конверсионных ВВ проводили силами производственных предприятий с привлечением заинтересованных сторон: разработчиков продукции, сотрудников экспертных организаций, контролирующих территориальных организаций.

Анализ результатов промышленных взрывов на предприятиях железорудной и цветной металлургии, строительной индустрии показан на основе анализа параметров БВР при применении баллиститных шашек, пироксилиновых порохов и гранипоров. Параметры и показатели БВР при опытном применении баллиститных шашек при разработке месторождений железных руд скарнового типа (Высокогорское), гранитных карьеров Республики Белоруссия, месторождения бокситов платформенного типа (Североонежское), месторождений известняка приведены в приложении Б1.

Пироксилиновые пороха прошли апробацию при разработке магнетитового месторождения магнезиально-скарнового типа (Тейское), сидеритового пластового месторождения осадочного типа (Бакальская группа), месторождения нефелиновых сиенитов (Кия-Шалтырского), месторождений гранитов (Кузнечное), порфиров (Неверовское). Параметры и показатели БВР приведены в приложении Б2.

Гранипоры различного состава прошли испытания при разработке месторождений гранитов (Глушкевичи, Микашевичи), известняков (Туканское, Мазульское). Параметры и показатели БВР приведены в приложении Б3.

Гранипор ФМ нашел промышленное применение при разработке месторождений гипсового камня (Шедокское, Шушукское), мергеля (Адербиевское, Новороссийское), мергелистого известняка (Верхнебаканское), известняка (Богогоевское, Мезыбское, Неберджаевское, Хаджокское). Параметры буровзрывных работ приведены в приложении Б4.

Используемые конверсионные ВВ обладают широким диапазоном взрывчатых характеристик (теплотой взрыва, объемной концентрацией энергии), что позволяет создавать различный запас энергии на 1 пм скважинного заряда. Для скважин диаметром 240–250 мм

запас энергии на 1 пм скважинного заряда изменялся в диапазоне 124,2–143,5 МДж/м, для скважин диаметром 215–220 мм в диапазоне - 100,1–108,1 МДж/м, для скважин диаметром 160 мм в диапазоне - 57,4–60,0 МДж/м, для скважин диаметром 110 мм составлял 21,8 МДж/м.

Анализ буровзрывных работ при отбойке пород разной удельной энергоемкости взрывного разрушения конверсионными ВВ проводился с использованием параметров и показателей: выход горной массы с 1 м скважины, удельный расход ВВ, ширина развала, завышения подошвы, выход негабарита, производительность при экскавации и транспортировании. Оценка показала хорошее совпадение расчетных параметров сетки скважин, определяемых с учетом запаса энергии скважинного заряда, удельной энергоемкости взрывного разрушения горных пород с фактической сеткой скважин (максимальное отклонение не превышает 20% при среднем отклонении 8%).

На основе обобщения результатов проведенных исследований по управлению действием взрыва разработаны научно-методические рекомендации «Применение конверсионных взрывчатых веществ на открытых горных работах». В рекомендациях рассмотрены характеристики конверсионных взрывчатых веществ и условия их применения: чувствительность нитроцеллюлозных порохов и бризантных ВВ к механическим воздействиям, восприимчивость к детонации нитроцеллюлозных порохов и бризантных ВВ. Рассмотрены вопросы модифицирования структуры зарядов гранипоров и кондиционирования характеристик конверсионных ВВ: нитроцеллюлозных порохов и бризантных ВВ. Даны рекомендации по выбору и применению конверсионных ВВ: при отбойке горных пород для отбойки горных пород, взрывании высоких уступов. Показана возможность механизированного заряжания гранипоров на открытых горных работах и применения бризантных ВВ при отбойке горных пород. Рекомендации «Применение конверсионных взрывчатых веществ на открытых горных работах» согласованы ОАО «Союзвзрывпром».

Разработанные рекомендации предназначены для инженерно-технических работников предприятий черной и цветной металлургии, горно-химического и строительного сырья, занимающихся вопросами повышения эффективности взрывов.

4.1 Влияние параметров зарядов на эффективность взрывания конверсионных ВВ в сложных горнотехнических условиях

Анализ геологических и горнотехнических условий разработки месторождений, в том числе наклонных и с крутым падением рудных тел, показывает, что в настоящее время совершенствование процессов открытой разработки месторождений связано с укрупнением масштаба отбойки выемочной единицы (блока) из горного массива, с отработкой

месторождений на больших глубинах. Реализовать идею с укрупнением масштаба отбойки в открытой геотехнологии возможно при отработке массивов горных пород высокими уступами [84], однако, увеличение высоты уступа характеризует рост линии наименьшего сопротивления, возрастание сопротивлений срезу и трению по подошве уступа, степени зажима и напряженности горных пород. Увеличение масштабности подготовки горной массы к выемке связано с обеспечением дифференцированного распределения энергии заряда по длине заряжаемой части скважины, повышением эффективности действия взрыва в подошвенной части заряда (за счет создания необходимого запаса энергии или использования зарядов специальной конструкции).

Работа по данному направлению проводилась в рамках основных направлений фундаментальных исследований Президиума РАН и Отделения наук о Земле: «Теория и методология эффективного освоения недр» тема «Комплексное физико-техническое исследование технологии крупномасштабного взрывного разрушения массивов горных пород при разработке месторождений полезных ископаемых» (№ гос. регистрации 01.20.02.09755) и «Проблемы комплексного освоения недр Земли и новые технологии извлечения полезных ископаемых из минерального и техногенного сырья» тема «Геомеханические, гидродинамические и газодинамические процессы в техногенно изменяемых массивах горных пород» раздел «Развитие теории, методов исследования, прогноза опасных геомеханических процессов и физики разрушения массивов горных пород при освоении недр Земли» (№ гос. регистрации 01.02.007 04493), раздел «Физико-технические основы и новые технологии разрушения высоких уступов крупномасштабными взрывами при освоении месторождений полезных ископаемых» (№ гос. регистрации 01.02.0 503842).

Для обоснования способов ведения взрывных работ в сложных горнотехнических условиях, при укрупнении масштаба отбойки выемочной единицы из горного массива, отработке месторождений на больших глубинах, разработке сложных забоев разнотипных горных пород использован сопоставительный метод, включающий сравнение данных при моделировании процесса взрывания в рассматриваемых условиях с учетом элементов заложения скважинных зарядов ВВ. Исследовалось влияние факторов, имеющих существенное значение для обоснования параметров взрывных работ, а именно: диаметра скважинного заряда (d_j), линии наименьшего сопротивления по подошве уступа (W), расстояния между скважинами в ряду (a), коэффициента сближения зарядов (m), удельной энергоемкости взрывного разрушения горных пород (A_{pk}), запаса энергии 1 п. м скважинного заряда ($А_{з\ пм}$), объемной концентрации энергии эмульсионного ($A_{O\ эм}$) или гелевого ($A_{O\ гл}$) ВВ. Элементы заложения на уступе скважинного заряда показаны на рис. 4.3, где $W_в$ - линия наименьшего сопротивления верхней части скважинного заряда; W - линия наименьшего сопротивления по подошве уступа;

W_n - линия сопротивления по подошве (СПП); α - угол откоса уступа. Незаряжаемая часть скважины (длина забойки) соответствует величине линии сопротивления по подошве.

Разрушающее действие взрыва [357] зависит от соотношения между запасом энергии заряда и сопротивлением массива горных пород действию взрыва. В соответствии с этим принципом объем разрушения скважинного заряда пропорционален запасу энергии заряда

$$E_{зап}=f(n)\cdot A_p\cdot V \quad , \qquad (4.1)$$

где A_p - удельная энергоемкость взрывного разрушения, V - объем породы, намеченный к отбойке взрывом, равный $V=a\cdot W\cdot L$ (a - расстояние между скважинами в ряду, W - линия наименьшего сопротивления по подошве уступа, L - длина скважины), $f(n)$ коэффициент пропорциональности (функция показателя действия взрыва). Энергоемкость взрывного разрушения единицы объема породы при $f(n)$=1 включает затраты энергии взрыва, расходуемые на отрыв от массива, дробление, отбрасывание, сейсмическое действие взрыва, образование воздушной волны и потери энергии.

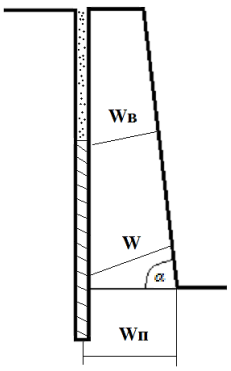


Рис. 4.3 - Элементы заложения скважинного заряда

Линию наименьшего сопротивления W при групповом взрывании по квадратной сетке определяют [357]:

$$W = 28\,d\sqrt{A_0 / A_p \cdot f_n} \quad , \qquad (4.2)$$

где d-диаметр заряда, м; A_o - объемная концентрация энергии ВВ, МДж/дм^3; A_p - удельная энергоемкость взрывного разрушения, МДж/м^3. При отбойке на вертикальную или наклонную свободную поверхность расчет зарядов производится с использованием функции показателя действия взрыва $f(n)=0{,}34$ (заряд наибольшего камуфлета) или $f(n)=0{,}5$ (заряд вспучивающего действия). Меньшему значению функции $f(n)$ соответствует максимальная (предельная) величина W [357]. Работа взрыва при отбойке высоких уступов сопряжена с преодолением увеличивающейся массы вышележащей части массива и характеризуется

усилением степени зажима и напряженности горных пород, при этом на стыке откоса уступа с подошвой возрастает сопротивление срезу и трению, что приводит к росту энергетических затрат в 2–2,5 раза. Следует подчеркнуть, что при увеличении высоты уступа возрастает коэффициент заполнения скважин и снижается относительный объем пород, не подвергающихся непосредственному воздействию взрыва. Улучшение дробления пород устьевой части скважины может происходить за счет увеличения кинетической энергии кусков горных пород при падении с большей высоты.

Для первого ряда скважин линия наименьшего сопротивления имеет переменное значение и определяется из выражения $W = B \cdot Sin\alpha + H \cdot Cos\alpha$, где α - угол откоса уступа; B - безопасное расстояние до бровки уступа. Необходимая объемная концентрация энергии ВВ при изменении W по высоте уступа определяется с учетом геометрических параметров взрыва, свойств разрушаемой среды:

$$A_{0i} = f_n \cdot A_{pk} \cdot \frac{aW}{(28 \cdot d_j)^2} \qquad (4.4)$$

где d_j - диаметр скважинного заряда, м; A_{oi} - объемная концентрация энергии ВВ используемого типа, МДж/дм^3; A_{pk} - удельная энергоемкость взрывного разрушения горных пород различной крепости, МДж/м^3.

В модельной постановке определим параметры взрывания высокого уступа при высоте до 24 м, угле откоса уступа α=75˚, для горных пород с удельной энергоемкостью взрывного разрушения 4,18; 4,6, 5,85, 7,1 и 7,95 МДж/м^3 (соответственно пород средней крепости f=3–4; довольно крепких f=5–8; крепких f=9–12; очень крепких f=13–16 и в высшей степени крепких f=17–20). На участке уступа H_1=8 м, H_2=16 м или H_3=24 м линия наименьшего сопротивления составляет W_1=5 м, W_2=7 м и W_3=9 м соответственно. Для выбранных условий взрывания линия наименьшего сопротивления составляет W_3=9 м. Расстояние между скважинами в ряду выбирается из условия a=W_3=9 м при квадратной сетке расположения скважин. Параметры взрывания, выбираемые в данной модели на основе фиксированного расстояния между скважинами a=9 м, учетывают изменение коэффициента сближения равного m_1=1,8; m_2=1,3; m_3=1 при W_1=5 м, W_2=7 м и W_3=9 м соответственно.

Для оценки количества энергии взрыва, необходимой для разрушения горных пород заданной удельной энергоемкости взрывного разрушения с учетом показателя действия взрыва, определяется запас энергии заряда на соответствующем участке уступа. Для определения необходимого запаса энергии 1 п.м скважинного заряда используется зависимость

$$A_{зпм} = a \cdot W_i \cdot A_{pk} \cdot f(n) \qquad (4.5)$$

где a - расстояние между скважинами в ряду, м; W_i - линия наименьшего сопротивления на i участке уступа по высоте, м; A_{pk} - энергоемкостью взрывного разрушения k-породы, МДж/м^3; $f(n)$ - функция показателя действия взрыва.

Для компенсации факторов, осложняющих условия взрывания на глубоких горизонтах (увеличение трудности выведения из зацепления отдельностей горных пород, повышение вязкости, плотности горных пород), в соответствии [357] удельную энергоемкость взрывного разрушения породы определять отнесением ее к более высокой категории по энергоемкости взрывного разрушения. Т.е., для пород средней крепости (f=3–4); довольно крепких пород (f=5–8); для крепких пород (f=9–12) и для очень крепких пород (f=13–16) удельная энергоемкость взрывного разрушения A_{pk} на глубоких горизонтах составляет 4,6; 5,85, 7,1 и 7,95 МДж/м^3. Вследствие отсутствия данных по энергоемкости взрывного разрушения пород, следующих за категорией пород в высшей степени крепких, из дальнейшего рассмотрения они исключены.

При взрывании пород средней крепости, довольно крепких, крепких и очень крепких требуемый запас энергии 1 погонного метра скважинного заряда $A_{з\ пм}$ на i-м участке уступа с ЛНС 5, 7, и 9 м определяем с использованием (4.5). Таким образом, на глубоких горизонтах при взрывании рассматриваемых типов пород требуемый запас энергии 1 погонного метра скважинного заряда $A_{з\ пм}$ на i-м участке уступа с ЛНС 5, 7, и 9 м соответствует графикам, приведенным на рис. 4.4. Из графиков видно, что при постоянном запасе энергии 1 п.м скважинного заряда линия наименьшего сопротивления изменяется в зависимости от удельной энергоемкости взрывного разрушения пород. Наоборот, при постоянной линии наименьшего сопротивления в зависимости от удельной энергоемкости взрывного разрушения пород изменяется величина запасе энергии 1 п.м скважинного заряда.

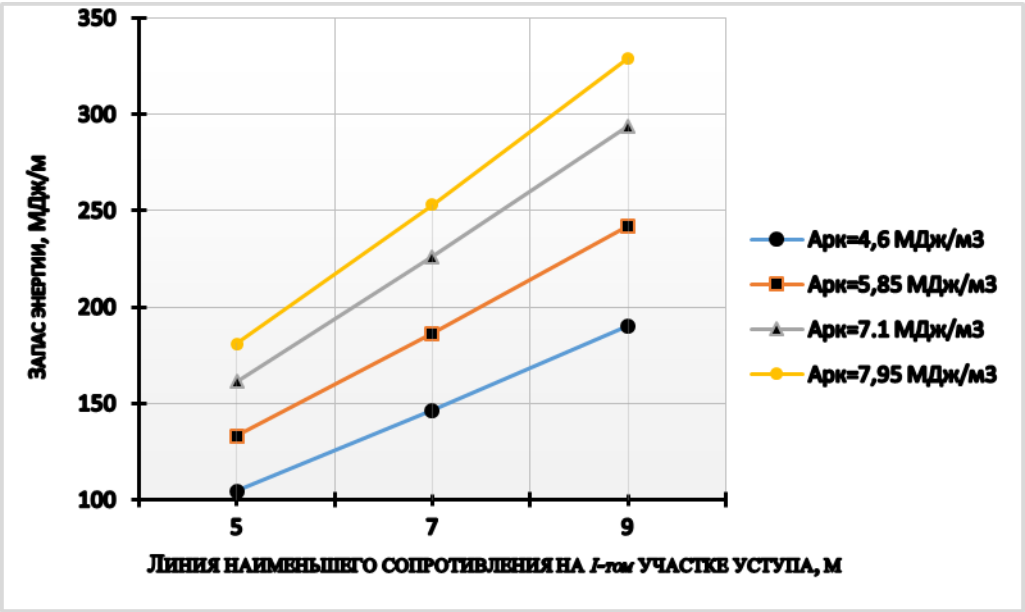
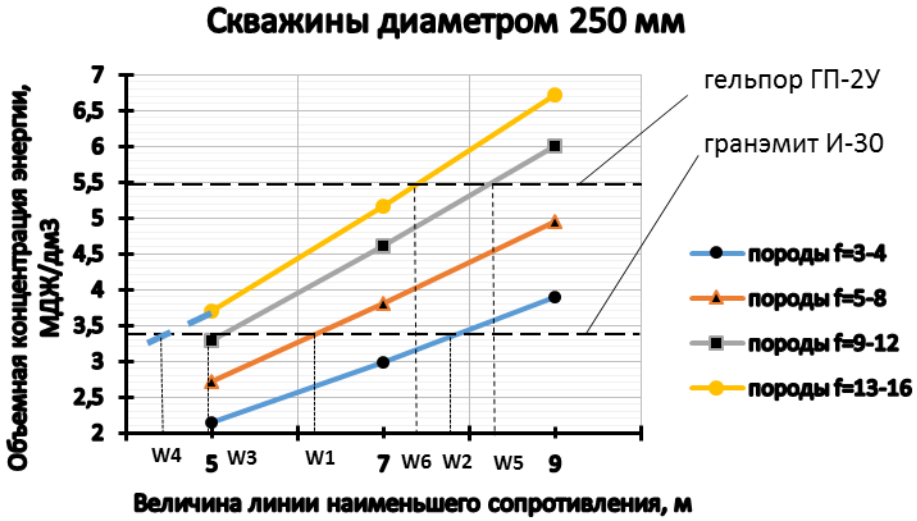
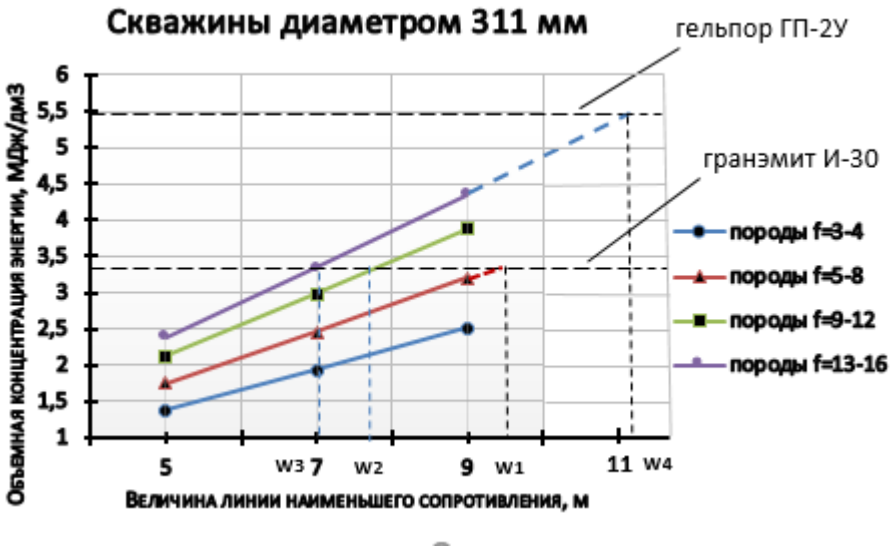


Рис. 4.4 - Запас энергии скважинного заряда на *i*-м участке уступа (W=5–9) при взрывании пород с удельной энергоемкостью взрывного разрушения 4,6–7,95 МДж/м^3

Определим изменение параметров взрывания при использовании эмульсионных и гелевых ВВ. Требуемый запас энергии 1 погонного метра скважинного заряда может быть достигнут при использовании различных по диаметру скважин и различных по объемной концентрации энергии ВВ [406]. Исследуем применение зарядов промышленного эмульсионного ВВ ($A_{Oэм}$) и конверсионного гелевого ВВ ($A_{Oгл}$). Эмульсионное ВВ - гранэмит И-30 ($A_{Oэм}$=3,35 МДж/дм^3), гелевое ВВ - гельпор ГП-2У ($A_{Oгл}$=5,495 МДж/дм^3). Как следует из представленного выше анализа графиков на рис.4.4, для пород с удельной энергоемкостью взрывного разрушения A_p соответствие требуемого запаса энергии $A_{зпм}$ в заряде заданного диаметра *dj*, пропорционального преодолеваемой линии наименьшего сопротивления W_i на соответствующей высоте уступа, может быть получено при использовании ВВ с объемной концентрацией энергии A_{oi}. В породах крепостью *f*=3-16 в зависимости от преодолеваемой линии наименьшего сопротивления скважинными зарядами диаметром 250 и 311 мм объемная концентрация энергии изменяется по зависимостям, представленным на рис. 4.5а и 4.5б.



а)



б)

Рис. 4.5 - Изменение объемной концентрации энергии от величины преодолеваемой *W* для пород средней крепости (*f*=3–4); довольно крепких (*f*=5–8), крепких (*f=9–12*) и очень крепких породах (f=13–16)

Как показывает сравнительная оценка параметров взрывания промышленным ВВ (гранэмитом И-30) и конверсионным ВВ (гельпором ГП-2У), объемная концентрация энергии гранэмита И-30 обеспечивает в скважинах диаметром 250 мм создание запаса энергии 1 п.м заряда достаточного для преодоления линии наименьшего сопротивления в породах средней крепости – W_2 не выше 7,8–7,9 м; в довольно крепких породах – W_1 не превышает 6,1–6,2 м; в крепких породах – W_3 равна 4,8–5 м; в очень крепких породах, как показывает экстраполяция верхней зависимости, – W_4 не превышает 4,0–4,2 м. Объемная концентрация энергии гельпора ГП-2У обеспечивает в скважинах диаметром 250 мм создание запаса энергии 1 п.м заряда достаточного для преодоления линии наименьшего сопротивления в крепких породах – W_5=8,2–8,3 м; в очень крепких породах – W_6 не превышает 7,3–7,4 м. Линии наименьшего сопротивления W_1, W_2, W_3 W_4, W_5, W_6 показаны на рис. 4.5а.

Объемная концентрация энергии гранэмита И-30 обеспечивает в скважинах диаметром 311 мм создание запаса энергии 1 п.м заряда достаточного для преодоления линии наименьшего сопротивления в довольно крепких породах – W_1 до 9,5 м; в крепких породах – W_2 равную 7,8 м; в очень крепких породах – W_3 не превышает 7 м. Объемная концентрация энергии гельпора ГП-2У обеспечивает в скважинах диаметром 311 мм создание запаса энергии 1 п.м заряда достаточного для преодоления линии наименьшего сопротивления в породах средней крепости; довольно крепких и крепких – W_4 составляющую 11–11,2 м. Линии наименьшего сопротивления W_1, W_2, W_3, W_4 показаны на рис. 4.5б.

Для увеличения эффективности отбойки блочного камня в массиве горных пород разработано техническое решение [332], включающее бурение по линии откола шпуров или скважин с продольными профильными надрезами. Продольные надрезы в стенках шпуров или скважин создаются в плоскости раскола массива горных пород. Первоначально в продольных надрезах размещают линейные заряды, затем их плоскости отделяют экранами от цилиндрической плоскости шпура или скважины. В цилиндрической полости шпуров или скважин по всей их длине создают статическую нагрузку. После создания распорных нагрузок в шпурах или скважинах одновременно взрывают все линейные заряды. Линейные заряды для шпуров создают из детонирующих шнуров нормальной или повышенной мощности. Для скважинных зарядов линейные заряды создают из зарядов конверсионных ВВ (баллиститных шашек). Наличие статической нагрузки позволяет обеспечить снижение нарушенности массива за счет снижения удельного динамического воздействия на площадь отрыва.

Применение зарядов с осевой полостью в горной промышленности показало возможность повышения эффективности взрывной отбойки руды на открытых и подземных горных работах [298; 305]. Применение зарядов с осевой полостью диаметром 80 мм на карьере №1 ЦГОК осуществляли при взрывании скважин диаметром 256 мм, глубиной 18,5 м. Используемое ВВ граммонит 79/21, в обводненной части скважины - тротил. Уровень проработки подошвы уступа по сравнению с контрольным участком изменился с 15, м до 16,3 м. Таким образом, применение зарядов с осевой полостью позволяет улучшить технологические показатели взрывных работ – дробление пород на уровне подошвы уступа и сократить перебур скважин на 30-50% [298; 305]. Взрывание скважин диаметром 256 мм глубиной 15–16,5 м и 19,5–24,5 м вели с использованием граммонита 79/21, в обводненной части скважины – тротила. Проработка подошвы уступа по сравнению с контрольным участком изменилась на одном участке с 15–15,3 м до 15,9–16 м; на другом участке с 19–24 м до 19,2–24,8 м.

Проведем обоснование технологических параметров взрывания с сокращением длины перебура скважин при использовании баллиститных шашек. На эффективность разрушения горных пород помимо взрывчатых характеристик заряда оказывает влияние его геометрия, характеризующая особенности распространения детонационного процесса. В зарядах с осевой полостью возникает взрывной эффект, связанный с появлением канальной волны (КВ) [210], представляющей собой сильную ударную волну в заполненной газом осевой полости, образуемую разлетом ПВ в осевой полости. Канальная волна распространяется впереди фронта детонации заряда, изменяя физическое состояние ВВ [118; 225; 360]. Рассмотрение действия заряда с учетом формирования кумулятивной газовой струи [118] и построения теоретической модели процесса с численным решением задачи [41] позволило характеризовать параметры

кумулятивной струи - скорость 0,4–0,6 относительно детонационной волны, плотность 0,05 $\rho_{ВВ}$, давление 0,01 $P_{ч\text{-}ж}$.. Экспериментальное определение параметров КВ, проведенное [224] показало: скорость КВ совпадает с расчетной, массовая скорость вещества в струе (1,3–1,4) D, плотность струи $\rho_{ст} = 0{,}11 - 0{,}12\,\rho_{ВВ}$. Начальный участок процесса и участок стабилизации имеет длину $(15-20)d_1$. Максимальная скорость УВ соответствует значению $d = d_2/d_1 \approx 3$. Исследованный интервал параметров зарядов $2 \le d_2/d_1 \le 3$. С увеличением d_2/d_1 давление газовой струи P возрастает [96, 224, 225, 438], достигая максимального значения при $d_2/d_1 \approx 3$ [438]. Максимальная взрывная эффективность заряда, определяемая глубиной и объемом кратера разрушения [118], соответствует относительной длине заряда $L = (30-40)d_1$. В рассматриваемом диапазоне геометрических размеров зарядов энергия кумулятивной струи КВ эквивалентна энергии заряда на длине $2d_2$ [41; 118; 210; 225; 360].

В работах [118; 210] показан механизм длиннопериодических пульсаций КВ с шагом $(100-200)d_1$. По мнению [210] в зарядах с большим удлинением происходит изменение структуры продуктов взрыва, что приводит к повышению давления в канале перед фронтом ДВ и исчезновению кумулятивной струи. Скорость КВ падает и становится меньше D. Давление за КВ и расстояние между КВ и фронтом детонации достигает минимума после чего восстанавливается процесс течения с кумулятивной струей.

В практике взрывных работ при открытой разработке месторождений для снижения влияния краевого эффекта действия взрыва на уровне подошвы производят перебур взрывных скважин, служащий для размещения дополнительного заряда. Рекомендуемая длина перебура [281; 282], обеспечивающего вовлечение пород на уровне подошвы в зону интенсивного дробления, составляет $l_п = r_1 - r_2$, где $l_п$ - длина перебура; r_1 - радиус зоны радиальных трещин; r_2 - радиус зоны переизмельчения. Для карьеров цветной, черной металлургии, угольных разрезов, карьеров нерудной промышленности [237] перебур в относительных единицах составляет $l_{пер}/W = 0{,}2 - 0{,}4$. Авторы работы [115] на основе теоретических и экспериментальных исследований обосновывают достижение проектных параметров взрывания (проработка подошвы уступа, отсутствие порогов и др.) с учетом энергетических характеристик зарядов. При определении величины перебура скважин используют [86] параметры: удельный расход ВВ, длину заряда над подошвой уступа, размеры сетки скважин и др.

Выбор стратегии повышения взрывной эффективности зарядов с осевой полостью на основе баллиститных шашек для проработки пород на уровне подошвы уступа предусматривает изменение параметров газовой кумулятивной струи и поиск оптимальных геометрических размеров заряда. Увеличение диаметра заряда (d_2) при неизменном диаметре осевой полости (d_1) ведет к возрастанию скорости переднего фронта газового потока и давления канальной волны (P). Зависимость P от d_1 для зарядов различного диаметра показана рис. 4.6, из которой следует возрастание P при уменьшении соотношения d_1/d_2. Исходя из этого, представляется возможным в диапазоне соотношений $d_1/d_2 = 0{,}2 - 0{,}4$ оптимизировать геометрические параметры заряда в сторону минимизации с обеспечением требуемых параметров канальной волны. При значении соотношения d_1/d_2=0,2 давление P стремится к максимальному значению. Следовательно, параметры зарядов усиленного действия с осевой полостью целесообразно выбирать с учетом P, d_1/d_2 и L/d_1. Исходя из вышеизложенного, оптимальные соотношения геометрических параметров для зарядов с осевой полостью: d_1/d_2=0,2; $L=30\ d_1$. В скважинах диаметром 160, 200 и 250 мм длина зарядов для проработки пород на уровне подошвы уступа составляет 0,96; 1, 2 и 1,5 м соответственно.

Рассмотрим применение зарядов с осевой полостью на основе баллиститных шашек (Н, НМФ, ФГ, КДСИ, РСИ) в сравнении с параметрами зарядов промышленных ВВ, соответствующих условиям заряжания при проведении промышленных испытаний [210; 298] при плотности заряжания промышленных ВВ $\rho_{ВВ}$=900кг/м^3. Расчетные параметры зарядов с осевой полостью (L/d_1, d_2/d_1, P, $E_{стр}$) на основе промышленных ВВ и баллиститных шашек приведены в табл. 4.6. Для скважин диаметром 250 мм геометрические параметры баллиститных шашек: диаметр заряда 200 мм, высота 400 мм, диаметр осевой полости 50 мм; взрывчатые - теплота взрыва 4,8 МДж/кг.

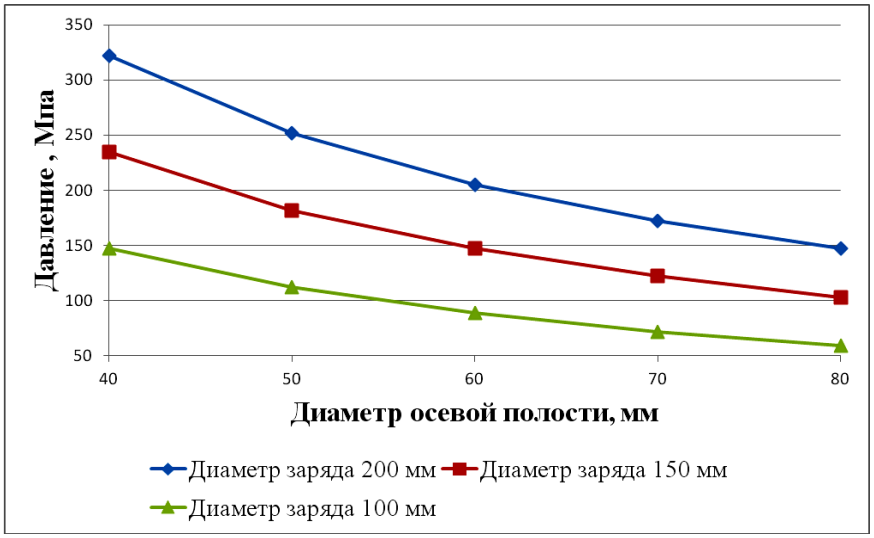


Рис. 4.6 - Зависимость давления P от d_1 для зарядов диаметром 100; 150 и 200 мм

Параметры зарядов промышленных ВВ: диаметр заряда 150 и 250 мм, высота равна двум диаметрам (300-500 мм), диаметр осевой полости 50-80 мм; теплота взрыва 4,18 МДж/кг. В соответствии с [41; 210] энергия кумулятивной струи $E_{стр}$ эквивалентна энергии заряда на длине $2d_2$, т.е.

$$E_{стр} = \frac{\pi d_2^2}{4} 2 d_2 Q \rho, \tag{4.7}$$

после преобразований зависимость имеет вид

$$E_{стр} = \frac{\pi d_2^3}{2} Q \rho \tag{4.8}$$

где d_2 - диаметр заряда, м; Q - теплота взрыва, МДж/кг; ρ - плотность ВВ, кг/м^3.

Анализ данных табл. 4.6. показывает, что характеристики зарядов с осевой полостью промышленных ВВ и баллиститных шашек имеют существенные различия. Заряды с осевой полостью на основе промышленных ВВ в значительной мере уступают зарядам на основе баллиститных шашек по давлению и энергии кумулятивной струи, что является подтверждением правильности выбора стратегии. Кроме этого, особенности распространения кумулятивной струи ПВ в зарядах с осевой полостью, энергетические параметры струи, действие струи и КВ влияют на возможность снижения перебура скважин на уровне подошвы. Отражение КВ создает на забой скважины давление [41; 210] ~ 0,3–0,5 ГПа, которое возрастает до 5 ГПа с подходом кумулятивной струи. Такое давление способно инициировать обратную детонационную волну навстречу детонационной волне заряда.

Таблица 4.6 - Сравнительные геометрические и взрывчатые параметры зарядов с осевой полостью на основе промышленных и конверсионных ВВ

№№	ВВ и баллиститные шашки	d_2/d_1	$P_{стр}$, Мпа	$E_{стр}$, МДж
Промышленные ВВ				
1.	Тротил	3,2	184	92,3
2.	Граммонит 79/21	3,2	184	92,3
3.	Аммонит 6ЖВ	1,875-3	91-170	19,9
Конверсионные ВВ				
4.	Баллиститные шашки	5	240	96,5

С учетом обобщения опыта взрывных работ, анализа результатов экспериментальных исследований [96; 118; 224; 225; 306; 360; 438] и промышленных испытаний [41; 210; 305] обоснованы параметры зарядов на основе баллиститных шашек с осевой полостью, обеспечивающие увеличение эффективности взрыва на уровне подошвы уступа. Для взрывания пород крепостью f=3–14 параметры БВР при использовании баллиститных шашек показаны в табл. 4.7.

Таблица 4.7 - Параметры зарядов для проработки пород на уровне подошвы уступа при использовании баллиститных шашек с осевой полостью

Коэффициент крепости *f*	Относительная величина перебура $l_{пер}/W$ с учетом 50 % сокращения	Длина перебура, м	Масса заряда в перебуре, кг
$d_{скв}$=250 мм			
3-5	0,05	0,35	16,9
5-9	0,1	0,7	33,8
9-14	0,15	1,05	50,7
$d_{скв}$=200 мм			
3-5	0,05	0,3	9,3
5-9	0,1	0,6	18,6
9-14	0,15	0,9	27,9

Для проверки обоснованности разработанных рекомендаций были проведены испытания баллиститных шашек НМФ-2Д с осевой полостью на предприятии ГП «Гранит» при отбойке гранитов, гранодиоритов и диоритов. Опытный блок имел объем 47800 м^3. Использование зарядов с осевой полостью на основе баллиститных шашек позволило улучшить дробление на уровне подошвы уступа. Пороги на подошвенной части уступа не зафиксированы, что характеризует хороший уровень проработки подошвы уступа. Опытные работы продемонстрировали хорошее соответствие теоретических предпосылок и экспериментальных данных.

При взрывании разнородных забоев используется метод взрывания комбинированными зарядами. Изменение объемной концентрации энергии комбинированного заряда конверсионных ВВ достигается изменением плотности заряжания и использованием конверсионных ВВ, имеющих разную теплоту взрыва.

При взрывании высоких уступов, сложных забоев разнотипных горных пород объемную концентрацию энергии скважинного заряда конверсионных ВВ регулируют сочетанием компонентов комбинированного заряда (гранипор, альгетол, алюмогексит, баллиститная шашка). Результаты исследований [307; 310] показывают, что при взрывании крепких пород объемная концентрация энергии гранипора позволяет в скважинах диаметром 250 мм создать запас энергии, достаточный для преодоления сопротивления по подошве на сдвоенном уступе высотой 24 м. В комбинированных зарядах максимальная объемная концентрация энергии составляет $0{,}65 \cdot A_{01} + 0{,}35 \cdot A_{02}$ при величине объемной концентрации энергии баллиститных шашек A_{01} и гранулированных ВВ A_{02}, что превышает объемную концентрацию энергии гранипора. Однако, в скважинах диаметром 200 мм возросшая объемная концентрация энергии комбинированного заряда не является достаточной. Из этого следует, что необходимо сочетание элементов конструкции комбинированного заряда - применение ВВ с различной объемной концентрацией энергии ВВ, изменение концентрации энергии по длине заряда. Исследование влияния рассматриваемых параметров при большом многообразии форм

залегания пород, контактов разнородных пород, их прочности, характера и степени трещиноватости представляет многофакторную задачу. В нашем исследовании рассматривается модельная постановка вопроса, включающая конкретные случаи залегания слоев пород и структурных элементов при взрывании высоких уступов, сложных забоев разнотипных горных пород, которые в совокупности позволяют установить влияние свойств пород на изменение объемной концентрации энергии по длине заряда.

Необходимость регулирования объемной концентрации энергии по длине заряда при взрывании высоких уступов вытекает из того, что условия взрывания на уровне устья скважины и на уровне подошвы уступа существенно отличаются по степени зажима, напряженности горных пород. Отработка сложных забоев разнотипных горных пород с визуально неразличимыми границами рудных тел и пустых пород, отдельными сортами руд, неравномерным оруденением, разнообразием конфигурации и размеров рудных тел также обусловливает регулирование объемной концентрации энергии по длине заряда.

На обоснование технологических параметров буровзрывных работ оказывают влияние структурные особенности массива [405]: количество слоев руд и пород, направление контактов рудных тел и пустых пород, особенности размещения во вмещающих породах и форма рудных тел неправильной формы (гнезда, трубки, штокверки). Идеальным в рассматриваемых условиях является учет влияния всех горнотехнических и горно-геологических факторов, основными из которых являются высота уступа, диаметр заряда, объемная концентрация энергии ВВ, сопротивление по подошве уступа (W), энергоемкость разрушения различающихся крепостью и трещиноватостью горных пород, наличие включений горных пород с различными физико-механическими свойствами, характер контактов, выдержанность направления рудных тел и др. факторы.

Отбойку первого ряда скважин с переменной по высоте уступа линией наименьшего сопротивления (W_i) при взрывании в породах с удельной энергоемкостью взрывного разрушения A_{pk} можно вести с использованием взрывчатых веществ с объемной концентрацией энергии A_{01}, A_{02}. Границу между частями комбинированного заряда определяет максимальная преодолеваемая W_i при использовании взрывчатого вещества с меньшей объемной концентрацией энергии $A_{01} > A_{02}$, для определения которой используют зависимость (4.2). При отбойке уступов высотой 12–15 м длина нижней части комбинированного заряда $l_н$ определяется по зависимости: $l_н \geq 0{,}6W$ [357]. При отработке высоких уступов возрастает роль и влияние изменчивости горных пород, минерального состава, плотности, физико-механических и технологических свойств на определение конструктивных параметров скважинных зарядов. Для улучшения дробления и качественной проработки подошвы уступа длина нижней части

комбинированного заряда определяется по зависимости: $l_н = (1{,}2 \div 1{,}5)W$. Изменение концентрации энергии по длине заряда создает предпосылки повышения интенсивности и равномерности дробления при взрывании высоких уступов.

Как показывают исследования [396; 405], при взрывании однородной по прочностным свойствам породы A_{p1} с приближением к подошве уступа возрастает сопротивление срезу и трению смещаемой породы. Для компенсации применяют комбинированные заряды баллиститных шашек и гранулированных конверсионных ВВ с изменением объемной концентрации энергии по длине скважины. В интервале от устьевой части заряда до границы между верхней и нижней частями комбинированного заряда, располагаемой на расстоянии $l_н = (1{,}2 \div 1{,}5)W$ от забоя скважины или на расстоянии, определяемом по зависимости (4.2), изменение объемной концентрации энергии на участке ($l_{зар}$ - $l_н$) задается кусочно-постоянной функцией $A_{0i}=A_{02}$ (рис.4.7). В интервале от границы между верхней и нижней частями комбинированного заряда до забоя скважины, т.е. на расстоянии $l_н = (1{,}2 \div 1{,}5)W$ или на расстоянии, определяемом по зависимости (4.2), объемная концентрация энергии изменится от величины $(0{,}65 \cdot A_{01} + 0{,}35 \cdot A_{02})$ до величины A_{02}.

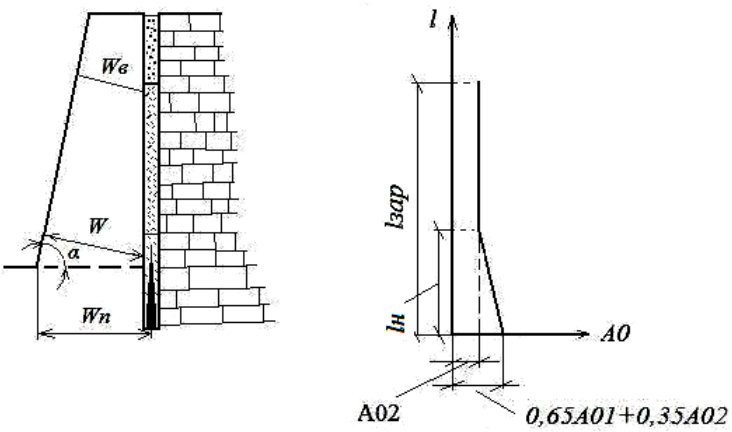


Рис. 4.7 - Конструкция заряда и изменение объемной концентрации энергии по длине при отбойке однородной горной породы: $l_{зар}$ - длина заряда; $l_н$ - длина нижней части комбинированного заряда

Определим характер изменения этой зависимости при минимальном значении параметров в установленных граничных условиях. Коэффициент пропорциональности равен

$$k = \frac{0{,}35\,(A_{01} - A_{02})}{1{,}2W} \qquad (4.9)$$

где A_{01} - объемная концентрация энергии баллиститных шашек, МДж/дм^3; A_{02}, - объемная концентрация энергии гранипора, МДж/дм^3, W - линия наименьшего сопротивления, м.

В интервале от границы между верхней и нижней частями комбинированного заряда до забоя скважины, т.е. на участке $l_н$ изменение объемной концентрации энергии задается кусочно-линейной функцией:

$$A_{0i} = A_{02} + \frac{0{,}35(A_{01} - A_{02})}{1{,}2W} l \quad , \qquad (4.10)$$

где l - расстояние от границы между верхней и нижней частями комбинированного заряда, м.

График рассматриваемых зависимостей имеет вид непрерывной кусочно-линейной функции и показан в правой части рисунка 4.7. Для пород с более высокой энергоемкостью разрушения выбирается большее значение расстояние $l_н$.

В массивах, характеризующихся интенсивной трещиноватостью, наличием нарушений или ослабленных контактов слоев, зависимость напряженности от увеличивающейся вышележащей массы горных пород будет более выражена.

При отбойке массива с горизонтальным сложением разнотипных по взрываемости пород с удельной энергоемкостью взрывного разрушения $A_{p1} < A_{p2}$ объемная концентрация энергии зарядов в массиве пород с удельной энергоемкостью взрывного разрушения A_{p1} изменение объемной концентрации энергии на участке ($l_{зар}$ - $l_н$) задается кусочно-постоянной функцией A_{0i}=A_{02}, а в массиве с удельной энергоемкостью взрывного разрушения A_{p2} - изменение объемной концентрации энергии на участке $l_н$ задается кусочно-постоянной функцией $A_{0i} = (0{,}65 \cdot A_{01} + 0{,}35 \cdot A_{02})$. График рассматриваемых зависимостей имеет вид разрывной кусочно-линейной функции. Величина линии наименьшего сопротивления по подошве в массиве пород с удельной энергоемкостью взрывного разрушения A_{p2} характеризует выбор конверсионного ВВ с требуемой объемной концентрацией энергии (рис. 4.8). Графически вид зависимостей изменения объемной концентрации энергии по длине заряда показан в правой части рис. 4.8.

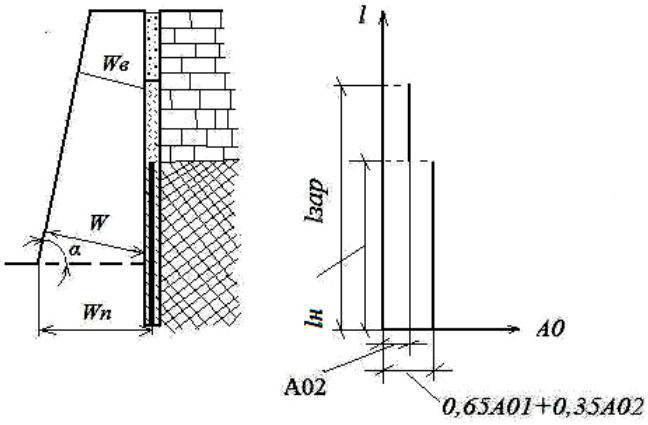


Рис. 4.8 - Конструкция заряда и изменение объемной концентрации энергии при отбойке массива разнотипных пород: $l_{зар}$ - длина заряда; $l_н$ - длина нижней части комбинированного заряда

При отбойке массива, представленного породами с удельной энергоемкостью взрывного разрушения A_{p1} и включением пород с удельной энергоемкостью взрывного разрушения A_{p2}, при условии $A_{p1} < A_{p2}$, применяют заряды, в которых изменение объемной концентрации энергии на участке ($l_{зар}$ - $l_н$ - $l_{уч}$) задается кусочно-постоянной функцией $A_{0i}=A_{02}$; в породном включении изменение объемной концентрации энергии на участке $l_{уч}$ задается кусочно-постоянной функцией $A_{0i}=A_{03}$; в нижнем участке массива изменение объемной концентрации энергии на участке $l_н$ задается кусочно-монотонной функцией

$$A_{0i} = A_{02} + \frac{0{,}35\left(A_{01} - A_{02}\right)}{l_н} l \quad , \qquad (4.11)$$

где $l_н$ - длина нижней части комбинированного заряда, м; l - расстояние от подошвы включения, м.

График рассматриваемых зависимостей имеет вид разрывной кусочно-линейной функции. Величина линии наименьшего сопротивления по подошве в массиве пород с удельной энергоемкостью взрывного разрушения A_{p1} определяет выбор конверсионного ВВ с требуемой объемной концентрацией энергии (рис. 4.9).

С учетом найденной объемной концентрации энергии A_0 определяют удельные затраты энергии $A_{ч\ уд}$ частей комбинированных зарядов конверсионных ВВ. Весовые количества ВВ частей комбинированного заряда конверсионных ВВ определяются делением суммарной затраты энергии [357] на идеальную работу взрыва 1 кг.

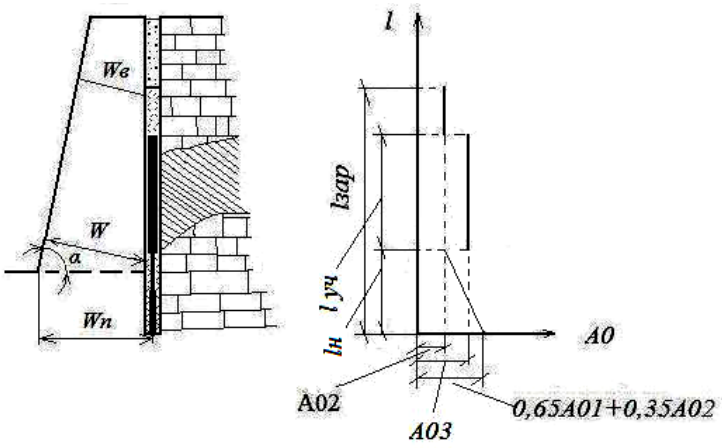


Рис. 4.9 - Конструкция заряда и изменение объемной концентрации энергии при отбойке массива с включением горных пород: $l_{зар}$ - длина заряда; $l_{уч}$ - мощность породного включения; $l_{н}$ - длина нижней части комбинированного заряда

Разработан способ отбойки горных пород с применением зарядов с осевой полостью при котором на уступе горных пород бурят ряды скважин, располагаемые друг от друга на расстоянии расчетной линии наименьшего сопротивления. Скважины заряжают взрывчатым веществом, а промежуточные детонаторы размещают по наклонной плоскости в направлении нижней бровки уступа, то есть в рядах скважинных зарядов, ближних к боковой поверхности обнажения, промежуточный детонатор располагают в скважинном заряде со стороны донной части скважины. В скважинах, наиболее удаленных от боковой поверхности блока, детонаторы размещают в устьевой части, а в промежуточных рядах скважинных зарядов - в средней части скважин [331; 330]. Кроме размещения промежуточных детонаторов вдоль всех колонок зарядов протягивают линейные инициаторы, состоящие из отрезки мощного детонирующего шнура, способного инициировать боковым воздействием взрывчатое вещество в скважине. Скорость детонации линейного инициатора принимают больше скорости детонации скважинного заряда. Инициирование промежуточных детонаторов производят маломощным детонирующим шнуром, мощность которого недостаточна для инициирования скважинного заряда. Инициирование промежуточных детонаторов в рядах скважин осуществляют в направлении от поверхности обнажения к наиболее удаленным рядам. Инициирование каждого скважинного заряда производят от промежуточного детонатора и линейного инициатора с формированием конического фронта детонационной волны в каждом скважинном заряде. В результате опережающего воздействия мощного линейного инициатора в окружающем горном массиве создается напряженное состояние, при этом часть заряда детонирует с низкой скоростью. Под воздействием мощного детонационного импульса от промежуточного

детонатора в скважинном заряде возбуждается детонационная волна, распространяющаяся вдоль колонки заряда.

Использование разработанных способов взрывания высоких уступов, сложных забоев разнотипных горных пород с использованием зарядов конверсионных ВВ позволяет вести эффективную подготовку горных пород в сложных горнотехнических условиях, при разнообразии форм залегания пород, наличия контактов разнородных пород.

Для крупномасштабного взрывного разрушения горных массивов сложной структуры с селективной выемкой полезного ископаемого на открытых работах предложен способ [328], включающий бурение в массиве рядов одиночных скважинных зарядов, пучковых скважинных зарядов, количество скважин в которых возрастает пропорционально увеличению коэффициента зажима, заряжание скважин штатными и конверсионными ВВ с изменяемой объемной концентрацией энергии, формирование комбинированных зарядов с переменным запасом энергии нижней части заряда, установкой в соседних пучковых зарядах, как в ряду, так и между рядами навстречу друг другу кумулятивных зарядов с плоской симметрией и установкой в центральных скважинах пучков кумулятивных зарядов с плоской симметрией кольцевой формы с ориентированием оси кумулятивной выемки заряда по направлениям горизонтальных или пологих контактов и руды и горных пород и короткозамедленное взрывание скважинных зарядов, начиная со второго и последующего рядов, с увеличением ступени замедления каждого последующего ряда.

На основе обобщения результатов проведенных исследований по управлению работой взрыва при отбойке горных пород разработаны научно-методических рекомендации «Применение конверсионных ВВ шашечного исполнения на открытых горных работах». В разработанных рекомендациях рассматривают взрывчатые свойства конверсионных ВВ, а также особенности применения баллиститных шашек на горных работах. Дано обоснование выбора шашек конверсионных ВВ для использования в горной технологии, Рассмотрены вопросы эффективности использования баллиститных шашек на открытых горных работах, при взрывании высоких уступов, для снижения перебура скважин. Даны перспективные конструкции скважинных зарядов с использованием шашек конверсионных ВВ.

Рекомендации согласованы ОАО «Союзвзрывпром» и предназначены для инженерно-технических работников предприятий горнорудной промышленности, занимающихся вопросами повышения эффективности взрывных работ.

4.2 Условия безопасного ведения работ при механизированном заряжании скважин конверсионными ВВ на основе нитроцеллюлозы

На горных предприятиях России используется конверсионные ВВ на основе нитроцеллюлозных порохов: гранипоры и дибазит, которые, в определенном смысле, являются аналогами тротилосодержащих ВВ. Проведем обоснование условий безопасного применения конверсионных ВВ при механизированном заряжании на открытых горных работах. Горнотехнические условия разработки месторождений, технологический уровень взрывных работ, взрывчатые и технологические свойства ВВ определяют возможность механизированной и безопасной эксплуатации заряжающих устройств, именно:

- чувствительность к механическим воздействиям (удар, трение), обеспечивающая безопасную эксплуатацию зарядных машин (разгружаемых самотеком или диафрагменного типа);

- чувствительность к искровому разряду (минимальная энергия воспламенения), возникающему в сыпучих материалах (порохах) при технологических операциях переработки (пересыпании, волочении, загрузке в транспортные емкости, разгрузке транспортных емкостей, заряжании взрывных скважин). Применяемые компоненты ВВ должны снижать степень электризации конверсионных ВВ. Мероприятиями по снижению электризации является обеспечение повышенной относительной влажности воздуха и смачивание рабочих поверхностей и самих компонентов боеприпасов. Минимальная энергия воспламенения баллиститных шашек низкая (более 1,0 Дж, у некоторых типов очень низкая порядка 10 Дж). Компоненты конверсионных ВВ (гексоген, тротил, октоген) обладают более высокой электризуемостью, что связано с увеличением дефектности строения при длительных сроках хранения;

- возможность получения дисперсности частиц конверсионных ВВ, соответствующей техническим требованиям применяемой зарядной техники;

- обеспечение эффективной очистки транспортных емкостей и транспортных трубопроводов зарядной техники и заполнение всего объема зарядной полости (хорошая сыпучесть);

- создание необходимых санитарно-гигиенических условий труда персонала (отсутствие пылеобразования);

- использование конверсионных ВВ в сложных гидрогеологических условиях должно обеспечивать производительное заряжание взрывных скважин без образования пробок. Это требование актуально для зерненых и трубчатых порохов, имеющих заполненные воздухом каналы внутри частиц ВВ;

- низкое поглощение влаги (низкая гигроскопичность) при технологических операциях при подготовке к загрузке зарядной машины, во время транспортирования к технологическим блокам и заряжания взрывных скважин.

Для определения условий безопасного ведения взрывных (зарядных) работ и выбора зарядной техники необходимо рассмотреть физико-химические, детонационные, электрофизические и другие свойства веществ этого класса, обеспечивающие эффективность и безопасность применения в геотехнологиях. Предпочтительно сравнение вести с характеристиками гранулотола как эталонного ВВ.

В рецептуры гранипоров в различных сочетаниях входят нитроцеллюлозные пороха. Гранипоры на основе баллиститных ракетных топлив и Дибазит обладают высокой водоустойчивостью среди всех ВВ на основе порохов. В качестве флегматизатора в смесевых и баллиститных гранипорах используется минеральное масло [428]. Дибазит ввиду малой чувствительности к механическим воздействиям не имеет в составе флегматизаторов на основе предельных и цикличных углеводородов. В табл. 4.8 приведены физико-химические характеристики конверсионных ВВ, используемых для механизированного заряжания.

Взрывчатые свойства рассматриваемых ВВ зависят от химического состава, структурных особенностей (размера пороховых зерен и т.д.) и условий взрывания [22; 29; 30; 35; 117; 337]. Скорость детонации пироксилиновых и баллиститных артиллерийских порохов в зарядах без прочной оболочки меняется от 3,5 до 7 км/сек, баллиститных шашек - 6,8–7,1 км/с. Критический диаметр тротила и пироксилиновых порохов составляет 8–10 мм, зерненого пироксилинового пороха - 15–25 мм, дробленного пироксилинового пороха - 35 мм (ρ=0,97–1,0 г/см^3), дробленого баллиститного артиллерийского пороха изменяется от 33 до 200 мм (ρ=0,97–1,0 г/см^3), баллиститного ракетного топлива - 2,0–28 мм.

При переработке порохов в промышленные ВВ производится их модифицирование введением сенсибилизирующих (для снижения критического диаметра детонации и критического давления возбуждения детонации) и флегматизирующих (для снижения чувствительности к удару и трению) добавок. Неорганические добавки в баллиститные ракетные топлива влияют на ударно-волновую чувствительность. Добавки металлов, оксидов металлов или солей при прохождении по веществу ударной волны играют роль дополнительных активных центров реакции. В наибольшей степени снижают критический диаметр добавки *PbO, HgO* и Bi_2O_3. Высокой сенсибилизирующей эффективностью, близкой по эффективности к *PbO*, является окись цинка, вводимая в Дибазит, которая позволила снизить критический диаметр детонации сплошного заряда до 1,5–2 мм, а гранулированного до 25-40 мм в воде и до 100-150 мм в сухом виде.

Испытания Дибазита по определению бризантности проводились в стальных трубах диаметром 40 мм и толщиной стенки 2,5 и 10 мм. В первом случае заряд имел массу 100 г, во втором длина заряда равнялась пяти диаметрам, плотность зарядов составляла 0,85 г/см^3[428]. Высокая бризантность Дибазита (18–28 мм) при увлажнении 2,5 % свидетельствует о его детонационной способности, дальнейшее увеличение бризантности до 31–33 мм при полном

заполнении межзеренного пространства связано с увеличением усредненной плотности заряда (табл. 4.9).

Таблица 4.8 - Сравнительная характеристика взрывчатых свойств нитроцеллюлозных порохов и конверсионных ВВ

Пороха и ВВ	Теплота взрыва, кДж/кг	Кислородный баланс, %	Температура вспышки, град. С	Чувствительность		$P_{кр}$, МПа
				к удару ГОСТ 4545, %	к трению, кгс/см^2	
ПП	3352	–44	180–190	50	1089	4000
БАП	3350–3770	–30... –45	170–180	150–250	1089–2180	6000–8000
БРТ	4022–5800	–25... –44	170–180	50–150	1089–1815	4000–6000
Гранипор ПЗФ	3315–3650	–42... –45	180–190	40–45	2000–2500	4000
Дибазит	3350–3770	–30... –45	170–180	6–12	3000	4000–6000

Основные компоненты рассматриваемых ВВ - нитроцеллюлозные пороха - по своим электрическим свойствам относятся к классу молекулярных органических соединений, способных в течение длительного времени сохранять электрические заряды. При работе с ними (пересыпании, трении, деформации, разрушении и др. операциях) могут возникать высокие потенциалы статического электричества.

Таблица 4.9 - Бризантность Дибазита при различной влажности

ВВ	Диаметр трубы, мм	Толщина стенки, мм	Навеска ВВ, г	Влажность, %	Плотность, г/см^3	Обжатие столбика, мм
Дибазит	40	2,5	100	2–3	0,85	18
Дибазит	40	2,5	100	Полное заполнение пор	0,85	31
Дибазит	40	10		2–3	0,85	28
Дибазит	40	10		Полное заполнение пор	0,85	33

Например, при работе с пироксилиновым порохом могут возникать потенциалы до 10 кВ. Такие потенциалы не воспламеняют сам порох, но способны воспламенить пороховую пыль или пары летучих растворителей, пламя которых может зажечь порох. Содержащиеся в нитроцеллюлозных порохах компоненты могут как снизить степень электризации порохов (парафин, воск), так и повысить (дифениламин, камфора). Мероприятиями по снижению накопления зарядов статического электричества при работе с такими порохами являются: обеспечение повышенной относительной влажности окружающего воздуха и смачивание водой рабочих поверхностей оборудования и самих порохов.

Проведенные исследования показали, что наиболее близким по физико-механическим и взрывчатым свойствам к гранулотолу является Дибазит. Он был допущен для проведения промышленных испытаний с использованием механизированного заряжания. Для заряжания Дибазита были использованы машины МЗ-3Б и МЗ-8. Машина МЗ-3Б оборудована двумя продольными и подвижным поперечным шнеками. Из бункера ВВ подается продольными шнеками на подвижной поперечный шнек, с помощью которого происходит дальнейшая транспортировка ВВ к устью скважины и заряжание под действием собственного веса. Грузоподъемность машины 10 т. Машина МЗ-8 оборудована для разгрузки бункера герметичной диафрагмой, приводимой в действие пневмосистемой и подающей ВВ в дозатор и далее в скважину. Грузоподъемность машины 7т.

Испытания Дибазита при механизированном заряжании скважин производились в условиях карьеров Карагайский и Волчегорско-Степной ОАО «Комбинат Магнезит» [428]. Отбиваемые породы были представлены доломитами и магнезитами крепостью *f*=8–12. Высота уступа составляла 12 м, глубина скважин - 14,5 м, сетка скважин 6х6 м. Всего за период испытаний было израсходовано 54960 кг Дибазита. В процессе заряжания скважин производился контроль статического электричества. Величина напряженности электростатического поля в Дибазите не превышала 0,5 кВ/см при максимально допустивой величине 10 кВ/см. Пыления, повышения температуры Дибазита в процессе заряжания машиной МЗ-3Б не зафиксировано.

Механизированное заряжание скважин гранипором марки ПЗФ было применено на гранитном карьере ГП «Гранит» с использованием зарядной машины МЗ-8 разработки ОАО «Кривбассвзрывпром» [452]. Технология механизированного заряжания гранипоров, исключающая возможность их возгорания от трения или удара, реализована в конструкции зарядной машины МЗ-8, состоящей из шасси автомобиля, бункера для гранипора, дозатора и разгрузочной пневмосистемы. Разгрузка бункера осуществляется с помощью пневмодиафрагмы.

Испытания проводились на блоке 26 горизонта 58. Породы представлены гранитами, гранодиоритами III-IV категории с коэффициентом крепости по М.М. Протодъяконову *f*=16–20. Обводненность скважин 50–60% при столбе воды 2–12 м. Использовались заряды сплошной конструкции массой 320-3450 кг. Высота колонки заряда - 9 м, высота забойки 5–6 м. На испытаниях зарядной машины МЗ-8 израсходовано 54 т гранипора. Средняя скорость заряжания составила 200 кг/мин.

Проведенные исследования механизированного заряжания скважин конверсионными ВВ показали, что при выборе правильного метода кондиционировании свойств компонентов

боеприпасов, боевых частей и твердотопливных ракетных двигателей, техники для заряжания скважин обеспечивается повышение технологического уровня и безопасности взрывных работ.

4.3 Технические решения по созданию средств разрушения горных пород на основе бризантных конверсионных ВВ

Горнодобывающие предприятия имеют положительный опыт применения тротила-У на взрывных работах в породах крепостью до 14–16 по шкале профессора М.М. Протодьяконова. Однако применение тротила-У имеет следующие технологические недостатки:

-возможность только ручного заряжания приводит к необходимости соблюдения повышенных мер защиты органов дыхания и открытых частей тела значительного числа взрывников (лепестки, респираторы, перчатки, спецодежда и др.);

-транспортирование в мешках дробленого механическим способом продукта вызывает при перегрузках (сбрасывании мешков) образование мелких пылевых фракций и частые разрывы мешков с выбросами пыли в рабочей зоне. Показатели БВР при применении тротила-У на Афанасьевском карьере приведены в приложении Б5.

Промышленные испытания гексотала на ОАО «Ургалуголь» показали эффективность его применения по сравнению со штатным аммонитом № 6 ЖВ. При использовании гексотала снизился удельный расход ВВ на 10%, увеличился выход горной массы с погонного метра скважины на 21%. Применение гексотала позволило производить заряжание скважин любой обводненности. Надежное инициирование и полнота детонации гексотала осуществляется при подрыве от боевика из аммонита 6 ЖВ весом 2.5 кг. Заряжание скважин гексоталом осуществляется только ручным способом. Недостатком применения гексотала является неполное окисление продуктов взрыва, связанное с отрицательным кислородным балансом, что вызывает окисление продуктов взрыва кислородом воздуха. Это проявляется в горении ПВ во взорванном массиве в течение 5–10 минут. Показатели БВР при использовании гексотала показаны в приложении Б6.

Октоген используется при ведении взрывных работ в сложных горно-геологических и технологических условиях, когда требуется высокая термоустойчивость, а также высокая удельная мощность и детонационная способность ВВ.

Разработаны технические решения [324; 330], в которых для повышения эффективности взрывания в нижней части блока создают статическое нагружение горных пород. Для этого в массиве горных пород бурят скважины с перебуром. Взрыванием прострела с использованием кумулятивных зарядов линейной симметрии кольцевой формы на уровне подошвы уступа создают котловые полости, в которых размещают невзрывчатое разрушающее средство. В

донной части скважин ниже плоскости подошвы уступа размещают дополнительные заряды. Выше невзрывчатого средства размещают основные заряды ВВ. После отверждения невзрывчатого разрушающего вещества на уровне подошвы уступа создают статические распорные нагрузки. Первоначально одновременно взрывают дополнительные заряды, а затем последовательно - основные заряды ВВ.

4.3.1 Технология взрывания с использованием кумулятивных зарядов плоской симметрии кольцевой формы

Снижение расхода бурения при взрывной отбойке горных пород может быть достигнуто применением специальных зарядов, располагаемых в донной части скважины, при взрывании которых формируется перпендикулярная оси скважины полость [53]. Образование перпендикулярной оси скважины полости возможно с помощью кумулятивного заряда плоской симметрии кольцевой формы - кольцевого кумулятивного заряда (ККЗ), представляющего собой заряд взрывчатого вещества (ВВ) катушкообразной формы диаметром на (20…50) мм меньше диаметра скважины. На боковой поверхности ККЗ имеется кольцевая кумулятивная выемка, имеющая в сечении форму полукруга или угла.

Для усиления действия ПД на стенки скважины поверхность кумулятивной выемки должна быть облицована металлом. ККЗ помещают в нижнюю часть скважины и инициируют от детонирующего шнура. В результате взрыва ККЗ образуется кольцевая кумулятивная струя, которая создает в породе эллипсовидную в сечении камуфлетную полость. Эллипсовидная полость при одинаковом объеме имеет значительно больший диаметр и меньшую высоту по сравнению со сферической и переходит в кольцевую поперечную трещину, распространяющуюся по породе в плоскости основания скважины.

Заряд ККЗ в отличие от обычных кумулятивных зарядов, образующих высокоскоростную и тонкую кумулятивную струю из небольшой части облицовки, воздействует на горную породу всей облицовкой: он не «протыкает» породу, как это делает кумулятивная струя, а действует как колун - создает в ней большие напряжения, приводящие к образованию горизонтальных трещин. При этом кольцевой "ударный стержень", сформированный из облицовки, с высокой энергией метается в породу в плоскости кумулятивной выемки [135-138; 140; 154; 429].

При отработке конструкции заряда ККЗ устанавливали зависимости эффективности действия заряда по горной породе от соотношения его высоты и диаметра, от формы и размеров кумулятивной выемки, от наличия и материала облицовки кумулятивной выемки.

Исследовали заряды диаметром 80 мм залитые конверсионным составом ТГ-40. Кольцевые облицовки были двух типов, имеющие в сечении форму угла 90° и 120°, и один тип облицовок сечение в виде полукруга радиусом кривизны равным 1/2 высоты заряда. Материал для кумулятивной облицовки был выбиран сталь и чугун. На стальных облицовках отрабатывались заряды с высотой двух типов: равной 60% от *D* и 80% от *D*, где *D* - диаметр заряда. Высота облицовок бралась равной высоте заряда и на 20% меньше высоты заряда.

4.3.2 Аналитический метод расчета параметров зарядов плоской симметрии кольцевой формы

Теоретические исследования кумулятивного эффекта выявили влияние поверхностного слоя заряда на формирование «кумулятивного удара», определяемого формой и размерами кумулятивной поверхности. Исследования зарядов, различающихся формой и размерами выемки [113], показали имеющиеся различия в объемах разрушения, происходящие с возрастанием размеров выемки. Для максимальной глубины пробития используется треугольная форма кумулятивной выемки, для получения большого объема разрушения – в форме усеченного конуса. С целью определения эффективности кумулятивных зарядов проводятся исследования конструкций (величины активной части, формы поверхности выемки). Однако, в силу сложности процесса строгое математическое описание до настоящего времени отсутствует, поэтому основным методом изучения действия кумулятивных зарядов является экспериментальные исследования.

Рассмотрим теоретическое решение задачи по определению активной части кумулятивного заряда кольцевой формы. Введем допущение мгновенности детонации [53], при которой волны разрежения идут со всех сторон заряда с одинаковой скоростью. Форма поверхности схождения волн разрежения с внутренней и внешней стороны заряда произвольной формы определяется с учетом равенства скоростей волн разрежения. Поверхности могут быть заданы фигурами вращения или фигурами, у которых кумулятивная выемка образована на цилиндрической поверхности (рис. 4.10).

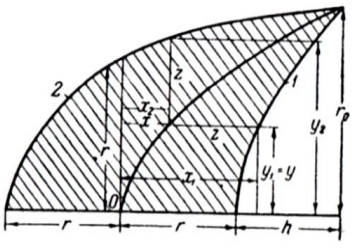


Рис.4.10 - Схема к определению активной части кумулятивного заряда

Для оценки активной части кумулятивного заряда используется допущение мгновенности детонации, при этом волны разрежения идут с внутренней и внешней стороны заряда с одинаковой скоростью. Пусть уравнение внешней поверхности 1 и уравнение внутренней поверхности 2 заряда соответственно:

$$y_1 = f_1(x_1) \quad (4.12),$$

$$y_2 = f_2(x_2) \quad (4.13).$$

Тогда уравнение поверхности схождения волн разрежения запишем в виде:

$$y = f(x) \quad (4.14).$$

Координаты точки 0 и точки z выводятся из построения, таким образом, получаем $x = x_1 - z$, $y = y_1$, $x = x_2$, $y = y_2 - z$. Проведя преобразования путем исключения *z*, **получаем** $y - y_2 = x - x_1$. Учитывая $x_1 = \varphi_1(y_1)$ и $y_1 = y$, а $y_2 = f_2(x_2)$ и $x = x_2$, соотношение приобретает вид искомого уравнения встречи двух волн разрежения:

$$y + \varphi_1(y) = x + f_2(x) \quad (4.15).$$

Рассматриваемая линия теоретически расположена на равном удалении от линий (4.12) и (4.13).

Рассмотрим конструкцию кольцевых кумулятивных зарядов (ККЗ), предназначенных для использования в шпурах и скважинах [53, 154]. Схематично такой заряд изображен на рис. 4.11. Определим расчетные характеристики заряда ККЗ, имеющего D=160 мм и H=50 мм. Кумулятивная выемка, расположенная на цилиндрической образующей поверхности заряда может иметь различную форму. В сечении это может быть треугольник (рис. 4.12-4.14) с общим уравнением:

$$y_1 = kx + b \quad (4.16).$$

Коэффициент *k,* зависящий от угла раствора кумулятивной выемки, при 2α =60º, 90º, 120º принимает значения $k_1 = 1/\sqrt{3}$, $k_2 = 1$, $k_3 = \sqrt{3}$ соответственно. Коэффициент *b* соответствует глубине кумулятивной выемки и определяется из условия пересечения боковой и конусной поверхностей заряда. Поверхность кумулятивной выемки может быть параболической формы (рис. 4.15) с уравнением:

$$f_1(x_1) = k\sqrt{x - b} \quad (4.17).$$

Для заряда ККЗ с треугольной выемкой уравнением кумулятивной выемки и уравнением внешней поверхности соответственно:

$$f_1(x_1) = kx_1 - b \quad (4.18),$$

$$f_2(x_2) = y_2 = t \quad (4.19)$$

(*t* равно половине высоты заряда, в рассматриваемом случае 25 мм) искомое решение состоит в определении вида обратной функции для x_1, имеющей вид:

$$\varphi_1(y_1) = \frac{y+b}{r} \qquad (4.20).$$

Тогда уравнение (4), определяющее поверхность встречи двух волн разрежения, в принятых символах будет иметь вид:

$$y + \frac{y+b}{k} = x + 25 \qquad (4.21),$$

после преобразований получаем функциональную зависимость в символьном виде:

$$y = \frac{-b + k(x+25)}{k+1} \qquad (4.22).$$

При параболической форме кумулятивной выемки обратная функция для *x* определяется как:

$$x = k^2 y^2 + b \qquad (4.23).$$

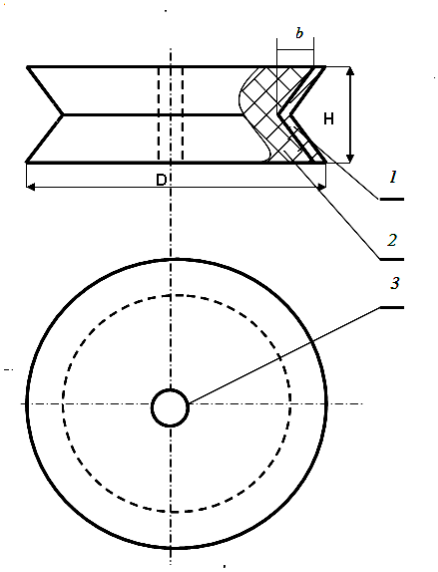


Рис. 4.11 - Схематичное изображение конструкции заряда ККЗ

1 - облицовка кумулятивной выемки; 2 - ВВ; 3 - отверстие; H - высота заряда; D - диаметр заряда; *b* - глубина кумулятивной выемки

Уравнение поверхности схождения волн разрежения при параболической форме кумулятивной выемки имеет вид:

$$y + k^2 y^2 + b = x + 25 \qquad (4.24).$$

Полученные зависимости для параболической формы кумулятивной выемки, решаются вычислением корней уравнения второй степени. Коэффициент *b* также определяет глубину

кумулятивной выемки и определяется из условия пересечения боковой и параболической поверхностей в заряде радиусом 80 мм. Коэффициент k характеризует положение ветви параболы.

Применим рассмотренный подход для оценки активной части зарядов с разной формой кумулятивной выемки. Определим численным методом объем активной части для зарядов с треугольной и параболической кумулятивной выемкой. На рис.4.12 показана часть заряда ККЗ, имеющего параметры - радиус цилиндрической поверхности заряда 80 мм, высоту 50 мм, кумулятивную выемку треугольной формы с углом 2α=90º. Уравнение внутренней поверхности заряда и уравнение поверхности схождения волн разрежения соответственно

$$y_1 = (x_1 - 55) \tag{4.25},$$

$$y = \frac{x - 30}{2} \tag{4.26}.$$

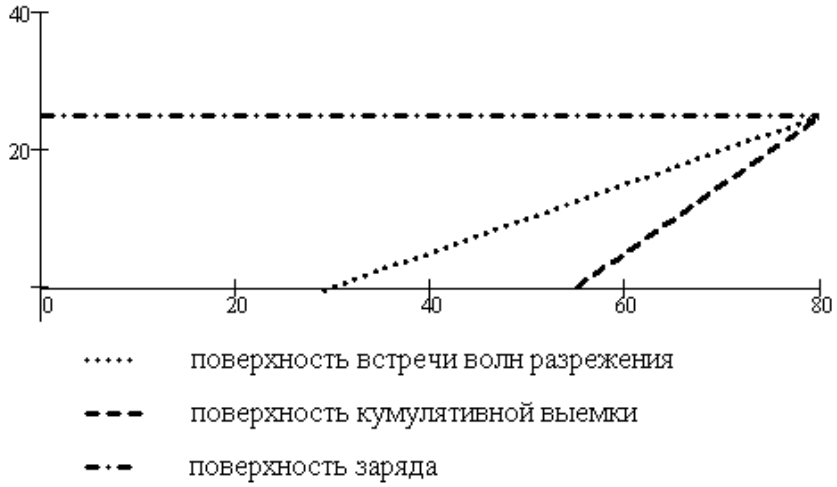


Рис. 4.12 - Параметры заряда ККЗ с треугольной выемкой и углом 2α = 90º

Определение объема заряда и его активной части производим в программной среде Matcad. В связи с тем, что заряд ККЗ образуется вращением относительно оси *0Y*, а в методе [53] рассмотрена симметрия относительно оси *0X*, преобразуем зависимости поверхности кумулятивной выемки и поверхности встречи волн разрежения в обратные и получим:

$$\varphi_1(x_1) = y + 55 \tag{4.27},$$

$$\varphi(x) = 2y + 30 \tag{4.28}.$$

Тогда объем заряда определяется интегралом:

$$\pi \int_0^{25} (y + 55)^2 \, dy = 3.619 \times 10^5 \text{ , мм}^3, \tag{4.29},$$

а объем активной части заряда разницей интегралов: объема заряда и объема, ограниченного поверхностью встречи волн разрежения,

$$\pi \int_0^{25} (y + 55)^2 dy - \pi \int_0^{25} (2y + 30)^2 dy = 1.08 \times 10^5 \text{ , мм}^3 \quad (4.30).$$

Алгоритм расчетов определения параметров зарядов ККЗ с углом 2α=60º и 2α=120º и параболической формы (при расчете выбран коэффициент *k*=5) сохраняется таким же. На рис.4.13–4.15 показаны характеристики зарядов с указанными конструктивными параметрами. Решение задачи [135] и результаты расчетов массы заряда и массы активной части сведены в табл.4.12.

Следует учитывать, что объем определяем только для половины заряда, следовательно, в окончательном виде он должен быть увеличен вдвое. При расчете использовано ВВ с плотностью ρ=1,7 г/см^3. Расчетные данные показывают, что конструктивные параметры заряда (форма кумулятивной поверхности) существенно влияют на характеристики заряда при сохранении внешних габаритов.

Таблица 4.12 - Расчетные характеристики заряда и его активной части

Вид кумулятивной поверхности	Объем заряда, см^3	Объем активной части, см^3	Масса заряда ($M_з$), г	Масса активной части (M_a), г	Ma/Mз
Угол 60°	564,8	169,2	962,2	287,6	0,299
Угол 90°	723,8	216	1230,4	367,2	0,298
Угол 120°	822	241,4	1397,4	410,4	0,294
Парабола	519,6	80,4	883,4	136,6	0,155

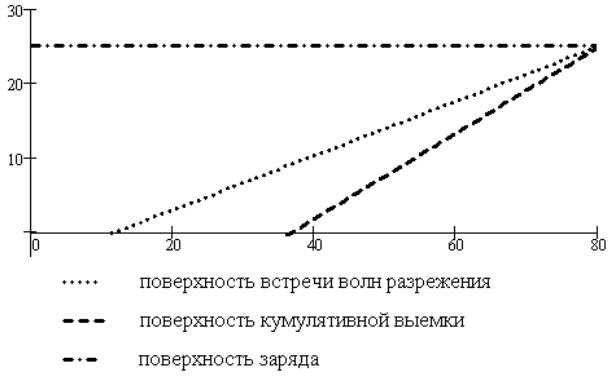


Рис. 4.13 - Параметры заряда ККЗ с треугольной выемкой и углом 2α = 60º

Масса заряда меняется в пределах 883,4–1397,4 г, масса активной части в пределах 136,6–410,4 г. При проведении расчетов использовались определенные выше функциональные зависимости (табл. 4.13).

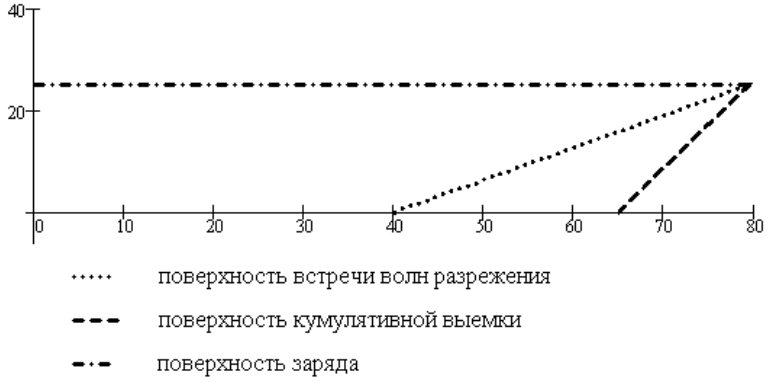


Рис. 4.14 - Параметры заряда ККЗ с треугольной выемкой и углом 2α = 120º

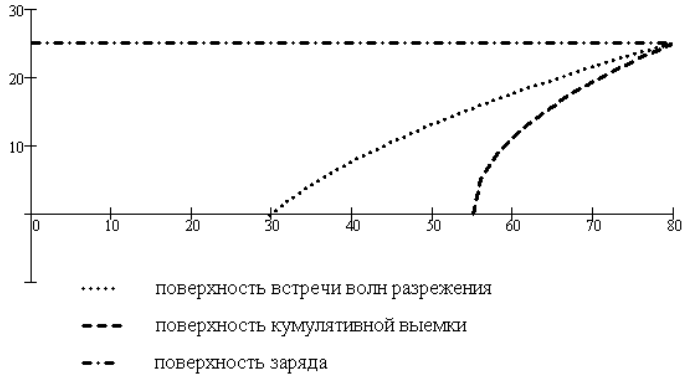


Рис. 4.15 - Параметры заряда ККЗ с параболической формой выемки

Таблица 4.13 - Вид функциональных зависимостей, определяющих внутреннюю поверхность заряда и поверхность схождения волн разрежения, исследуемых видов зарядов

Поверхность кумулятивной выемки	Вид функции		Вид обратной функции	
	Внутренней поверхности заряда	Поверхности схождения волн разрежения	Внутренней поверхности заряда	Поверхности схождения волн разрежения
Угол 60°	$y_1 = \frac{1}{\sqrt{3}}(x_1 - 37)$ (4.31)	$y = \frac{x-12}{1+\sqrt{3}}$ (4.32)	$\varphi_1(x_1) = 37 + \sqrt{3}y$ (4.33)	$\varphi(x) = \left(1+\sqrt{3}\right)y + 12$ (4.34)
Угол 90°	$y_1 = x_1 - 55$ (4.35)	$y = \frac{x-30}{2}$ (4.36)	$\varphi_1(x_1) = y + 55$ (4.37)	$\varphi(x) = 2y + 30$ (4.38)
Угол 120°	$y_1 = \sqrt{3}(x_1 - 65)$ (4.39)	$y = \frac{\sqrt{3}}{1+\sqrt{3}}(x - 40)$ (4.40)	$\varphi_1(x_1) = \frac{y}{\sqrt{3}} + 65$ (4.41)	$\varphi(x) = \frac{1+\sqrt{3}}{\sqrt{3}}y + 40$ (4.42)
Парабола	$y_1 = 5(x_1 - 55)$ (4.43)	$y = \frac{-25 + \sqrt{25^2 - 100(30-x)}}{2}$ (4.44)	$\varphi_1(x_1) = \frac{y}{2} + 55$ (4.45)	$\varphi(x) = \frac{(2y+25)^2 + 2375}{100}$ (4.46)

4.3.3 Испытания кумулятивных зарядов плоской симметрии кольцевой формы в условиях карьеров строительной индустрии

Заряды ККЗ-190 опытной партия имели параметры: диаметр заряда - 190 мм, высота - 140 мм, масса ВВ - 3,7 кг; параметры облицовки - форма - полукруг, высота 110 мм, толщина - 3 мм, масса - 1,5 кг. В качестве ВВ в зарядах использовался состав МС, выплавленный на установке утилизации РГБ, а также новый состав ТГА-50, полученный при выплавке комбинированного заряда ОФС. Поскольку этот состав не надежно детонирует от детонирующего шнура (ДШ), то для обеспечения надежной детонации в центральную часть заряда устанавливалась литая шашка дополнительного детонатора из состава ТГ-40 массой 30 граммов со сквозным каналом под 4 нитки ДШ.

Заряды ККЗ-190 были испытаны на карьерах ЗАО «Сокское карьероуправление» и ОАО «Жигулевский известковый завод». Взрывание зарядов ККЗ-190 проводились в породах (8–9) категории по шкале проф. Протодьяконова на уступах высотой 12 метров в скважинах диаметром 230 мм без перебура (при работах штатным способом перебур составляет 2 метра). В результате произведенных взрывов было показано, что основание уступа соответствует проектной отметке. Кроме того, улучшилась проработка верхней части уступа, уменьшился выход негабарита, уменьшилась нарушенность верхней части нижележащего уступа [136–138; 140; 429]. Было показано, что образовавшиеся магистральные трещины в плоскости перпендикулярной к оси скважины, при взаимодействии нескольких зарядов объединяются в плоскость подсечки.

По результатам испытаний зарядов ККЗ на карьерах ЗАО «Сокское карьероуправление» и ОАО «Жигулевский известковый завод» и обобщения опыта взрывных работ [136–138; 140; 429] разработаны методические указания по применению зарядов ККЗ в геотехнологиях. Для отбойки руд и пород при разработке твердых полезных ископаемых с использованием кумулятивных зарядов кольцевой формы разработан способ отбойки и получен патент [324].

4.4 Технология контурного взрывания с применением конверсионных ВВ

Контурное взрывание находит широкое применение в практике работ в различных отраслях промышленности. Контурное взрывание применяют при постановке бортов карьеров в предельное положение, обеспечения устойчивости бортов глубоких карьеров, безопасного состояния откосов уступов при крупномасштабной отбойке, при проведении горных выработок при добыче полезных ископаемых, в гидростроительстве, а также для решения других горнотехнических задач: создания преград по локализации взрывных и сейсмических воздействий, уменьшения проявлений горного давления при проходке выработок.

Выполнение работ проводилось в рамках основных направлений фундаментальных исследований Президиума РАН и Отделения наук о Земле: «Теория и методология

эффективного освоения недр» тема «Комплексное физико-техническое исследование технологии крупномасштабного взрывного разрушения массивов горных пород при разработке месторождений полезных ископаемых» (№ гос. регистрации 01.20.02.09755) и «Проблемы комплексного освоения недр Земли и новые технологии извлечения полезных ископаемых из минерального и техногенного сырья» тема «Геомеханические, гидродинамические и газодинамические процессы в техногенно изменяемых массивах горных пород» раздел «Развитие теории, методов исследования, прогноза опасных геомеханических процессов и физики разрушения массивов горных пород при освоении недр Земли» (№ гос. регистрации 01.02.007 04493), раздел «Физико-технические основы и новые технологии разрушения высоких уступов крупномасштабными взрывами при освоении месторождений полезных ископаемых» (№ гос. регистрации 01.02.0 503842).

Нарушенность горных пород в глубину массива, проявляющаяся при ведении взрывных работ, схематически показана на рис. 4.16. Зоны W′ , А и Б определяют общую зону трещиноватости, от которой зависят параметры технологии контурного взрывания. Размеры указанных зон для различных карьеров составляют:

-зона разрушения 0,5–1,5 м для карьеров ЮГОКа; 0,5–1,2 м для карьеров Норильского ГМК [215; 216].

-зоны заколов от 3–6 м до 9–15 м для Магнитогорского и Баженовского карьеров [215]; 5 м для Учалинского карьера [215], от 2–3 м до 9–15 м по данным [183; 215] и 6–13 м по данным [391; 392].

-зона сотрясений составляет для трещиноватых пород 15–40 м.

-зона трещиноватости по данным [293–295] по поверхности уступа до 100 диаметров заряда, по подошве уступа 20–40 диаметров заряда.

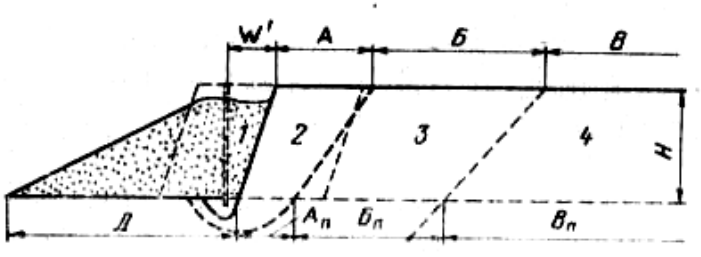


Рис. 4.16 - Схемы зон нарушений массива: 1 - зона разрушений (W′) вглубь забоя от последнего ряда скважин; 2 - зона заколов (А), 3 - зона сотрясений (Б), 4 - зона колебаний

В практике горных работ применяют два способа контурного взрывания: метод предварительного щелеобразования и последующее оконтуривание. В первом случае по

контуру выработки образуется экранирующая щель, во втором - производят взрывание после зарядов рыхления. В основе разделения методов на два вида лежат физические отличия работы зарядов, заключающееся в том, что при предварительном щелеобразовании заряды работают на одну свободную поверхность, а при последующем оконтуривании - на две свободные поверхности, что играет основную роль при отбойке.

Указанные методы контурного взрывания подразделяются на виды: метод предварительного щелеобразования с применением холостых скважин и без их использования, метод последующего оконтуривания с использованием нормального и уменьшенного диаметра скважин.

Схематически ход процесса разрушения при работе на одну свободную поверхность можно представить следующим образом. В начальной стадии процесса ведущую роль играют продукты детонации (ПД), находящиеся под высоким давлением в зарядной полости и расширяющиеся до уравнивания давления ПД с прочностным сопротивлением среды. Одновременно в горной породе возникает волна напряжений, в которую перекачивается существенная доля от общей энергии взрыва. Под действием этих факторов происходит интенсивное дробление непосредственно прилегающего к заряду материала, пластическое течение горных пород в радиальном направлении (зона смятия) и развитие радиальных трещин. Продукты детонации под большим давлением проникают в радиальные трещины и способствуют их дальнейшему росту. Происходит быстрое падение давления в газовом пузыре и возникновение волн разгрузки в горных породах, приводящее к образованию концентрических трещин.

Следует учитывать, что давление газообразных продуктов взрыва действует на протяжении всего процесса разрушения, пока трещины не достигнут свободной поверхности, в результате чего давление становится равным атмосферному. Давление газов взрыва способствует появлению радиальных трещин, направленных от заряда к свободной поверхности и эффективно разрушающих породу. Кроме того, действие газов завершает процесс разрушения отбрасыванием отбитой горной массы.

Действие заряда, имеющего две свободные поверхности, осуществляется несколько иным способом (рис. 4.17). В пределах зоны смятия 2 происходит интенсивное дробление под действием высокого давления ПД в зарядной полости 1 и расширяющихся до уравнивания давления ПД с прочностным сопротивлением среды. В горной породе возникает волна напряжений, в которую перекачивается существенная доля от общей энергии взрыва. Происходит пластическое течение горных пород в радиальном направлении (зона смятия 2) и развитие радиальных трещин 3. Продукты детонации под большим давлением проникают в радиальные трещины и способствуют их дальнейшему росту. Происходит быстрое падение

давления в газовом пузыре и возникновение волн разгрузки в горных породах, приводящее к образованию концентрических трещин 4.

Волна напряжений выходит на свободную поверхность и происходит образование отраженной волны, вызывающее рост радиальных 5 и концентрических трещин 6 и которая распространяется вглубь массива, вызывая разрушение среды под действием растягивающих напряжений.

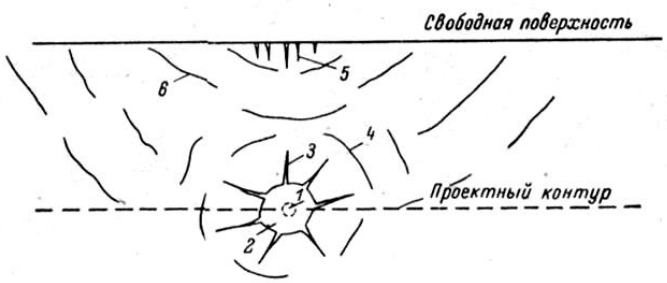


Рис. 4.17 - Схема образования трещин при взрыве заряда с двумя обнаженными поверхностями.

Механизм образования щели представляется следующим образом [388]. При встрече волн напряжений (рис. 4.18), распространяющихся от соседних зарядов, в плоскости нормальной к плоскости расположения зарядов происходит геометрическое сложение тангенциальных напряжений. При расположении зарядов на определенном расстоянии величина растягивающих напряжений будет превышать временное сопротивление пород на растяжение и произойдет образование щели между соседними зарядами.

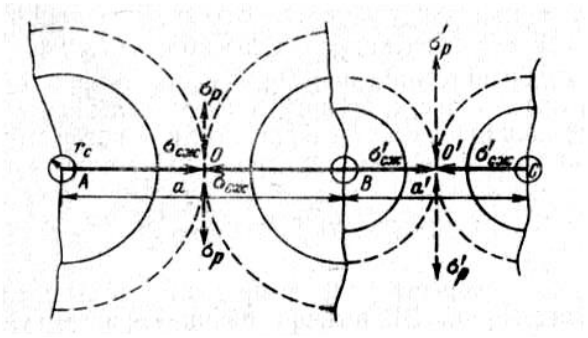


Рис. 4.18 - Взаимодействие смежных зарядов при образовании щели:

r_c - радиус скважинного заряда; а и a^1 - расстояние между зарядами А и В, В и С соответственно; $\sigma_{сж}$ и $\sigma_р$ - величина напряжений сжатия и растяжения при взаимодействии зарядов А и В; $\sigma^1_{сж}$ и σ^1_p - величина напряжений сжатия и растяжения при взаимодействии зарядов В и С

Расчет количества взрывчатого вещества ведут с учетом действующего давления в шпуре или скважине, определяемого на основании зависимостей [178; 220; 388]

устанавливающей связь между давлением в шпуре или скважине и давлением продуктов взрыва.

Давление во фронте ударной волны в воздухе (вокруг заряда в скважине) может быть рассчитано по зависимости [388]:

$$P = 0{,}598 Q \frac{\Delta_1}{\delta}, \tag{4.47}$$

где Δ_1 - объемная плотность заряжания, г/см^3; Q - теплота взрыва, МДж/кг; δ - плотность ВВ в патронах, г/см^3. При отражении ударной воздушной волны от стенок скважины происходит возрастание давления в

$$n = 2 + \frac{6P}{P+7} \tag{4.48}$$

раз [14; 191; 192] и при выполнении условия $n P \langle [\sigma]_{сж}$ в ближней зоне порода не подвергается смятию и интенсивному трещинообразованию. Таким образом проявляется демпфирование местного действия взрыва при контурном взрывании [357].

Таким образом, реализация методов контурного взрывания заключается в сокращении размеров зоны смятия 2 и трещинообразования 3,4,5 и 6 (рис. 4.17), а также образования экранирующей щели между зарядами, определяемой деформационными свойствами горных пород. Предпосылками к решению этих задач является правильный выбор параметров зарядов в оконтуривающих скважинах (плотность заряжания, величина удельного заряда оконтуривающих скважин, их диаметр, диаметр помещенных в них зарядов, конструкция заряда), схем расположения скважин (расстояние между оконтуривающими скважинами, величина ЛНС зарядов оконтуривающих скважин), а также особенностей их взрывания.

Критерием оценки качества контурного взрывания может служить величина отклонений h фактического контура горной выработки [178], возможное положение которого показано на рис. 4.19.

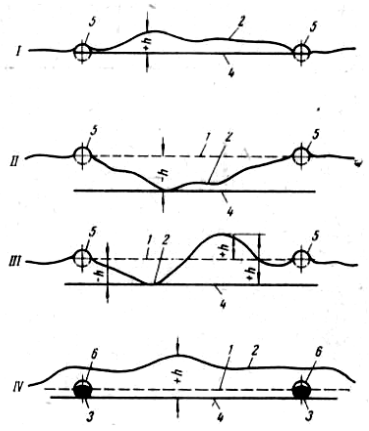


Рис. 4.19 - Отклонения контура выработки от проектного значения:

h - отклонение фактического контура выработки от проектного; I, II, III - при наличии полных следов шпуров; IV - при наличии только стаканов; 1 - проектный контур; 2 - фактический контур; 3 - стержни измерительные; 4 - рейка; 5 - следы шпуров; 6 - стаканы

Для открытых горных выработок это отклонение составляет ±15 см, критериями также могут служить сохранность следов скважин и отсутствие нарушений законтурного массива (трещинная нарушенность).

4.4.1 Выбор технологических параметров контурного взрывания

Оценка влияния удельного расхода ВВ на качество оконтуривания проводилась при параметрах взрывания *a/d*=17,5–20 и *w/d*=12,5–15. Удельный расход ВВ q_0 менялся в диапазоне 0,22–0,5 кг/м^3. При увеличении q_0 >0,45 кг/м^3 возрастал перебор породы. В диапазоне изменения q_0 от 0,22 до 0,45 кг/м^3 переборы породы оставались постоянными, однако, возрастал недобор породы [114; 178; 183].

В работе [388] на основе закономерностей действия заряда с радиальными воздушными промежутками предложен метод определения оптимальной плотности заряжания с использованием эмпирической зависимости:

$$\Delta = 4{,}18\frac{[\sigma]_{сж}\,\delta\left(2{,}5+\sqrt{6{,}25+\frac{1400}{[\sigma]_{сж}}}\right)}{100Q}, \text{ г/см}^3, \qquad (4.49)$$

где Δ - необходимая объемная плотность заряжания, г/см^3; $[\sigma]_{сж}$ - временное сопротивление сжатию, кгс/см^2; δ - плотность ВВ в патронах, г/см^3; Q - теплота взрыва, МДж/кг.

Сравнительная оценка разных типов ВВ (аммонита В-3 (бризантность 14–16 мм), детонита 10-А (бризантность18–20 мм) и скального аммонита №1 (бризантность 18–20 мм) с использованием параметров взрывания *a/d*=17,5–20 и *w/d*=12,5–15 и с различным удельным расходом ВВ проведена в [114]. При использовании ВВ с большей бризантностью возрастают переборы породы, однако при обеспечении оптимального удельного расхода для менее бризантного аммонита В-3 равного 0,45 кг/м^3, обеспечиваются практически одинаковые результаты по отклонениям от проектного контура, что и ВВ с бризантностью на 25–30 % выше, но при удельном расходе ВВ 0,3 кг/м^3.

В энергетическом строительстве [388] использовались ВВ с бризантностью от 10–12 мм (аммонит № 9) до 18–22 (тротил) и удельной энергией взрыва от 3580 МДж/кг (аммонит № 9) до 5600–5810 МДж/кг (детонит). При этом показано, что при использовании разных по

мощности ВВ могут быть достигнуты удовлетворительные показатели контурного взрывания для пород разных типов при оптимальном удельном расходе ВВ. Это подтверждает выводы испытаний на моделях [8; 50], где установлена пропорциональность плотности энергии взрыва его бризантному действию.

Влияние диаметра оконтуривающих шпуров исследовалось в диапазоне изменений относительной величины *a/d*=15–24 и *w/d*=11–18 [178; 183]. При взрывании с постоянным удельным расходом детонита 10А качество оконтуривания не зависит от диаметра шпуров. В диапазоне изменения *a/d*=15–24 и *w/d*=11–18 не подтверждена пропорциональность диаметра заряда радиусу зоны смятия. Проведенными исследованиями выявлен прямолинейный характер зависимости изменения линейной массы контурных зарядов от диаметра скважин [8].

Таким образом, технологические показатели рассматриваемых способов контурного взрывания (сохранность оконтуриваемой поверхности, снижение степени воздействия взрыва на законтурный массив) определяет объемная плотность заряжания скважин. Практика взрывных работ показывает, что оптимальная объемная плотность заряжания, соответствующая достижению качественных показателей контурного взрывания, в слабой мере зависит от типа ВВ и диаметра заряжаемого шпура или скважины [183; 191; 192; 350].

Расстояние между скважинами при предварительном щелеобразовании определяют из предположения превышения суммарных растягивающих напряжений, действующих по линии осей зарядов, пределу прочности породы на растяжение $\sigma_p \rangle [\sigma]_p$ [388] и определяется из выражения

$$a = 3{,}2\left(\frac{nP}{[\sigma]_p}\frac{\mu}{1-\mu}\right)^{\frac{2}{3}}, \qquad (4.50)$$

где n - коэффициент возрастания давления при отражении от жесткой стенки; P - давление на фронте ударной волны в воздухе, кгс/см^2; μ - коэффициент Пуассона; $[\sigma]_p$ - предел прочности породы на растяжение.

Для большой группы пород [50] расстояние между скважинами составляет *a/d*=10–20 радиусов скважин. При последующем оконтуривании [178; 191; 192] существует область значений расстояний между шпурами *a* (рис.4.20), расположенная ниже линии s-s, в которой линейные отклонения от проектного контура выработки не превышают установленного допустимого размера ± 15 см.

Эта область определяется значениями *a/d*=10–25. Графики 1, 2, 3, 4 и 5 соответствуют значения ЛНС от 40 до 100 см. При изменении *a/d* от 10 до 25 область минимальных отклонений смещается в сторону *m* от 1 до 2 и более. При этом на графиках 1, 2, 3, 4 и 5 существуют оптимальные области, соответствующие $m \sim 1$

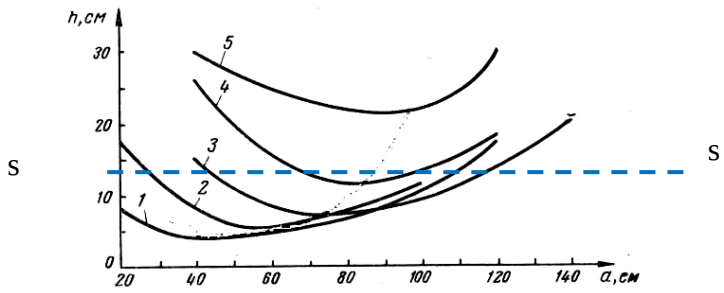


Рис. 4.20 - Линейные суммарные отклонения *h* в зависимости от расстояния *a*

При увеличении ЛНС (рис. 4.21) возрастает отклонение сечения от проектного контура (линия *k*-*k*). Эта область ограничена параметрами взрывания *W*/*d* = 10–22 при изменении *a* от 40 до 120 см (кривые 1-5). Область, в которой линейные отклонения от проектного контура выработки не превышают установленного допустимого размера ±15 см, определяется изменением *m* от 0,7 до 1 для расстояний между шпурами от 40 до 60 см, и *m*=1–1,25 при расстоянии между шпурами 80–120 см.

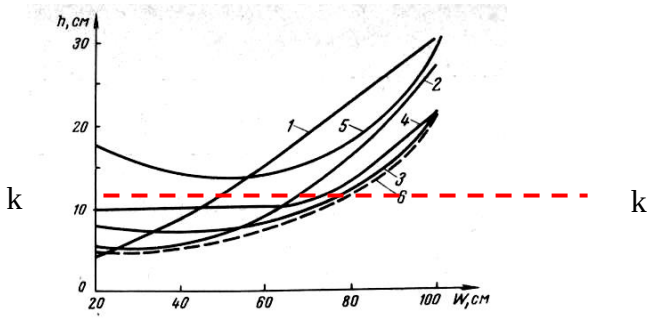


Рис. 4.21 - Линейные суммарные отклонения *h* в зависимости от *W*

С использованием рассмотренных методических подходов возможно провести отработку параметров контурного взрывания с использованием конверсионных ВВ, обеспечивающих безопасное состояние откосов уступов при крупномасштабной отбойке.

4.4.2 Исследование параметров контурного взрывания с использованием конверсионных ВВ для обеспечения безопасного состояния откосов уступов при крупномасштабной отбойке

Конверсионные ВВ - заряды УЗ-1, УЗ-2, УЗ-67 в качестве зарядов контурного взрывания при экспериментальных работах применяли на карьере ОАО «Михайловский ГОК» [72]. Наполнение зарядов осуществляется тротилом с массой 2,675 кг, 5350 кг и 4 кг для УЗ-1, УЗ-2, УЗ-67 соответственно. Заряды УЗ-1, УЗ-2 имеют металлическую оболочку, УЗ-67 - капроновую.

Параметры взрывания при контурной отбойке: диаметр скважин 250 мм, угол наклона 75°, перебур 2,5–3 м, расстояние между скважинами 2,5 м. При монтаже в скважине зарядов УЗ в металлической оболочке каждое звено длиной 2 м навинчивалось на размещенный ранее заряд. Заряды УЗ в капроновой оболочке, имеющие длину 10,4 м, опускали в скважину, соединив два заряда между собой. Экспериментальные работы с зарядами УЗ-1, УЗ-2 показали увеличение трудозатрат при проведении работ по заряжанию скважин. Формирование контурных зарядов из УЗ в капроновой оболочке отличается большей простотой и требует меньших трудозатрат в сравнении с использованием штатных ВВ.

Для обеспечения безопасного состояния откосов уступов при крупномасштабной отбойке технология контурного взрывания включает использование бурового оборудования как основного технологического цикла (станки СБШ-250МНА, 4СБШ-200-40 для бурения скважин диаметром 215–243 мм), так и вспомогательного (станки 1СБУ-125, СБУ-160, БТС-2, СБШ-160 для бурения скважин диаметром 105–160 мм). Оптимальными в технологическом плане для пород $\sigma_{сж}$=500–2000 кг/см^2 являются следующие диаметры скважин:

диаметр 105–125 для пород $\sigma_{сж}$ =500 кг/см^2

диаметр 125–160 для пород $\sigma_{сж}$ =1000 кг/см^2

диаметр 140–190 для пород $\sigma_{сж}$ =1500 кг/см^2

диаметр 160–215 для пород $\sigma_{сж}$ =2000 кг/см^2

В практике применяют различные конструкции контурных зарядов. Основным требованием является равномерность распределения ВВ по длине колонки заряда. Для заоткоски уступов [191; 192] применяются заряды (рис. 4.22) с патронами уменьшенного диаметра (а), заряды, сформированные из части патронов ВВ (б) и закрепленные на детонирующем шнуре, заряды с воздушными промежутками (в), заряды с осевыми и радиальными воздушными промежутками (г), рассредоточенные заряды из россыпных ВВ (д), заряды, сформированные на несущей рейке из патронов или полупатронов (е).

Мы рассматриваем использование в контурных зарядах конверсионных ВВ [399; 416], габаритно-массовые характеристики которых приведены в табл. 4.14. Диаметр зарядов от 38 мм до 54 мм. Длина зарядов изменяется от 300 мм до 600 мм. Масса взрывчатого вещества в заряде от 1 кг до 1,7 кг. Линейная плотность характеризует вес заряда при длине равной 1 м и определяется делением массы патрона на его длину. Для используемых баллиститных шашек линейная плотность заряжания меняется в диапазоне от 1,82 кг до 3,46 кг, что является важным технологическим преимуществом при выборе параметров контурного взрывания. Плотность $\rho_{вв}$ в патронах колеблется от 1,5 до 1,7 г/см^3. Теплота взрыва $Q_{ВВ}$ составляет 3760–5015 МДж/кг.

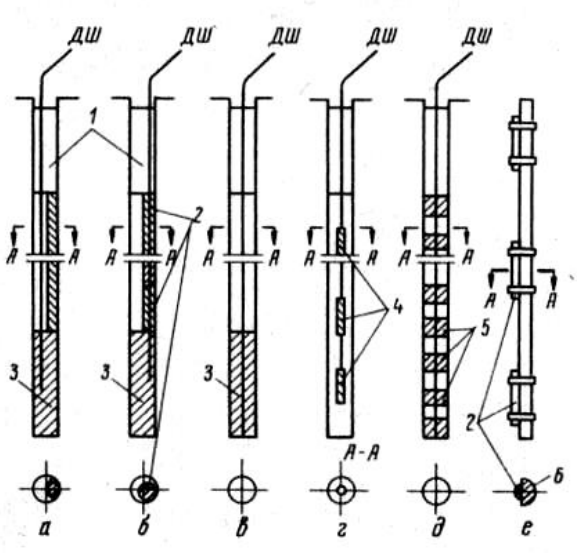


Рис. 4.22 - Конструкции зарядов контурного взрывания

Необходимая объемная плотность заряжания Δ при взрывании пород с временным сопротивлением сжатию $\sigma_{сж}$=500 кг/см^2, $\sigma_{сж}$=1000 кг/см^2, $\sigma_{сж}$=1500 кг/см^2 и $\sigma_{сж}$=2000 кг/см^2 при использовании баллиститных шашек изменяется от 0,046 г/см^3 до 0,16 г/см^3. Количественная оценка объемной плотности заряжания Δ и давления P на фронте ударной воздушной волны в скважине при использовании баллиститных шашек с $\rho_{вв}$ 1,5–1,7 г/см^3 и $Q_{ВВ}$ 3760–5015 МДж /кг приведена в приложении В.

Разброс изменения давления на фронте ударной воздушной волны в скважине для пород в выбранном диапазоне временного сопротивления сжатию составляет порядка 1–2,5% при использовании баллиститных шашек.

Таблица 4.14 - Габаритно-массовые характеристики баллиститных шашек для зарядов контурного взрывания

№№	Баллиститные шашки	Диаметр шашки, мм	Диаметр осевого канала, мм	Длина, мм	Масса, кг	Линейная плотность, кг/м
1	Н-13	40	8	550	1,0	1,82
2	НА-13	40	8	550	1,0	1,82
3	НМ$_2$-13	40	8	550	1,0	1,82
4	НМ$_2$А-13	40	8	550	1,0	1,82
5	НМ$_4$Ш-13	40	8	550	1,0	1,82
6	ФГ-14	43,3	15	515	1,1	2,14
7	ФСГ-2	43,3	15	515	1,1	2,14
8	ФСГ-14	43,3	10	515	1,1	2,14
9	ФСГ-2	43,3	10	515	1,1	2,14
10	КДСИ-14	43,3	15	515	1,1	2,14
11	КДСИ-14	43,3	10	515	1,1	2,14
12	РСИ-5	45	8,3	445	1,1	2,47
13	РСИ-60	54	13	300	1,0	3,33
14	РНДСИ-5К	54	14	490	1,7	3,46

Давление на стенку скважины при отражении ударной воздушной волны от взрыва баллиститных шашек в скважинах разного диаметра показано на рис. 4.23

Выполнение условия $n\,P \langle [\sigma]_{сж}$, при котором порода в ближней зоне не подвергается смятию и интенсивному трещинообразованию, основано на выборе параметров баллиститных шашек и размеров используемых скважин. Для пород с временным сопротивлением сжатию $\sigma_{сж}$=500 кг/см^2 рассматриваемое условие выполняется при использовании баллиститных шашек Н-13, НА-13, НМ2-13, НМ2А-13, НМ4Ш-13 (d=40 мм) в скважинах диаметром более 300 мм.

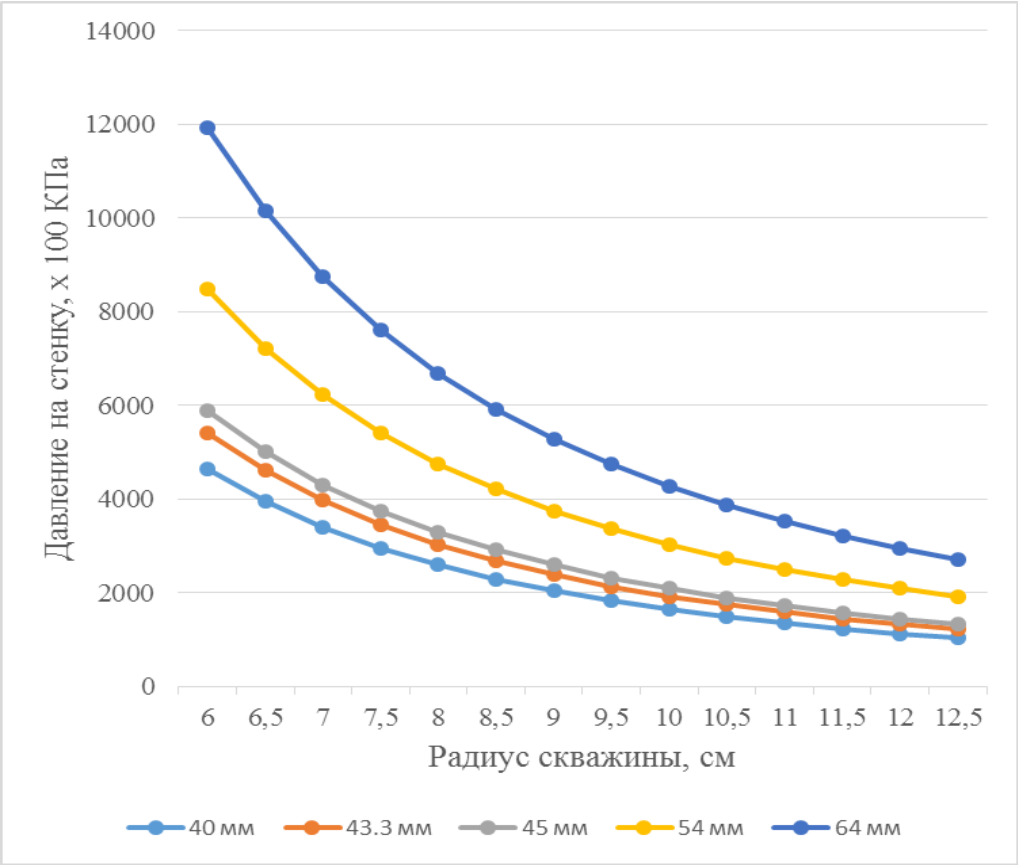


Рис. 4.23 - Давление P на стенку скважины при отражении воздушной ударной волны при разных диаметрах баллиститных шашек .

В породах с временным сопротивлением сжатию $\sigma_{сж}$=1000–1500 кг/см^2 при использовании баллиститных шашек Н-13, НА-13, НМ2-13, НМ2А-13, НМ4Ш-13 (d=40 мм), ФГ-14, ФСГ-2, ФСГ-14, ФСГ-2, КДСИ-14 (d=43,3 мм), РСИ-5 (d=45 мм) в скважинах диаметром 250–270 мм. В породах с временным сопротивлением сжатию $\sigma_{сж}$=2000 кг/см^2 при использовании баллиститных шашек Н-13, НА-13, НМ2-13, НМ2А-13, НМ4Ш-13 (d=40 мм),

ФГ-14, ФСГ-2, ФСГ-14, ФСГ-2, КДСИ-14 (d=43,3 мм), РСИ-5 (d=45 мм), РСИ-60 (d=54 мм) в скважинах диаметром 200–250 мм.

Представленный анализ показывает, что фактические габаритно-массовые характеристики баллиститных шашек не в полной мере отвечают требованиям технологии контурного взрывания и возникает необходимость изменения параметров баллиститных шашек. Для пород с различным временным сопротивлением сжатию определение оптимальной линейной плотности заряжания при использовании баллиститных шашек ведется с учетом необходимой объемной плотности заряжания Δ, рассчитываемой с учетом диаметра скважин.

При взрывании пород $\sigma_{сж}$=500–2000 кг/см^2 линейная плотность заряжания определяется по минимальному значению диаметра используемых скважин, выбираемому из технологических требований. Оптимальная линейная плотность заряжания при контурном взрывании пород с временным сопротивлением сжатию $\sigma_{сж}$=500 кг/см^2, $\sigma_{сж}$=1000 кг/см^2, $\sigma_{сж}$=1500 кг/см^2 и $\sigma_{сж}$=2000 кг/см^2 составляет 0,4 кг/м, 1,8 кг/м, 2 кг/м и 3 кг/м соответственно. При фактических габаритно-массовых характеристиках баллиститных шашек практически достижимая линейная плотность заряжания отличается от требуемой оптимальной линейной плотности заряжания.

Наиболее выраженные отличия характерны при взрывании для пород с временным сопротивлением сжатию $\sigma_{сж}$=500 кг/см^2. Получение оптимальной линейной плотности заряжания близкой к оптимальной получают рассредоточением заряда из баллиститных шашек по длине. Значительные отклонения от оптимальной линейной плотности заряжания наблюдаются при использовании баллиститных шашек РСИ-5, РСИ-60 (d=54 мм), РНДСИ-5К. Создание зарядов с воздушными промежутками, зарядов с осевыми и радиальными воздушными промежутками, сформированных на несущей рейке из патронов или полупатронов при использовании таких баллиститных шашек процесс является трудноосуществимым, требующим специализированного оборудования по резке баллиститных шашек.

Для пород с временным сопротивлением сжатию $\sigma_{сж}$=1000-1500 кг/см^2 при использовании баллиститных шашек РСИ-60, Н-13, НА-13, НМ2-13, НМ2А-13, НМ4Ш-13, ФГ-14, ФСГ-2, ФСГ-14, ФСГ-2, КДСИ-14 отклонения от оптимальной линейной плотности заряжания составляют ±10–15%.

Выраженные отличия характеризует взрывание пород с временным сопротивлением сжатию $\sigma_{сж}$=2000 кг/см^2, связанные с фактическими габаритами баллиститных шашек Н-13, НА-13, НМ2-13, НМ2А-13, НМ4Ш-13, ФГ-14, ФСГ-2, ФСГ-14, ФСГ-2, КДСИ-14. При использовании баллиститных шашек РСИ-5, РСИ-60, РНДСИ-5К отклонения составляют 10–20%. Расчетные показатели линейной плотность заряжания при контурном взрывании с использованием баллиститных шашек представлены в приложении Г.

Как показано в [183; 191; 192; 350], объемная плотность заряжания скважин является основным параметром контурного взрывания, определяющим его технологические показатели. Охарактеризуем факторы, оказывающие влияние на данный параметр. Зависимость оптимальной объемной плотности заряжания Δ для пород с различными физико-механическими свойствами представляет горизонтальную прямую, проходящую через точки на оси абсцисс (0,049 г/см^3; 0,094 г/см^3 и 0,138 г/см^3 для пород $\sigma_{сж}$=500, 1000 и 1500 кг/см^2 соответственно). Графики объемной плотности заряжания конверсионных ВВ $\Delta_{квм}$ для сплошных зарядов диаметром от 40 до 54 мм проходят через точки на оси абсцисс 0,232 г/см^3; 0,271 г/см^3; 0,294 г/см^3 и 0,422 г/см^3 (рис. 4.24). Достижение равенства $\Delta=\Delta_{квм}$ (точка пересечения постоянной и убывающей функции на графике) показывает соответствие характеристик заряда конверсионных ВВ условиям взрывания (диаметр заряда, тип пород). Из данных рис.4.24 следует, что при взрывании пород с пределом прочности на сжатие $\sigma_{сж}$=500 кг/см^2 и использовании зарядов конверсионных ВВ без осевой полости диаметром от 40 до 54 мм оптимальная объемная плотность заряжания в скважинах диаметром 105-190 мм не достигается.

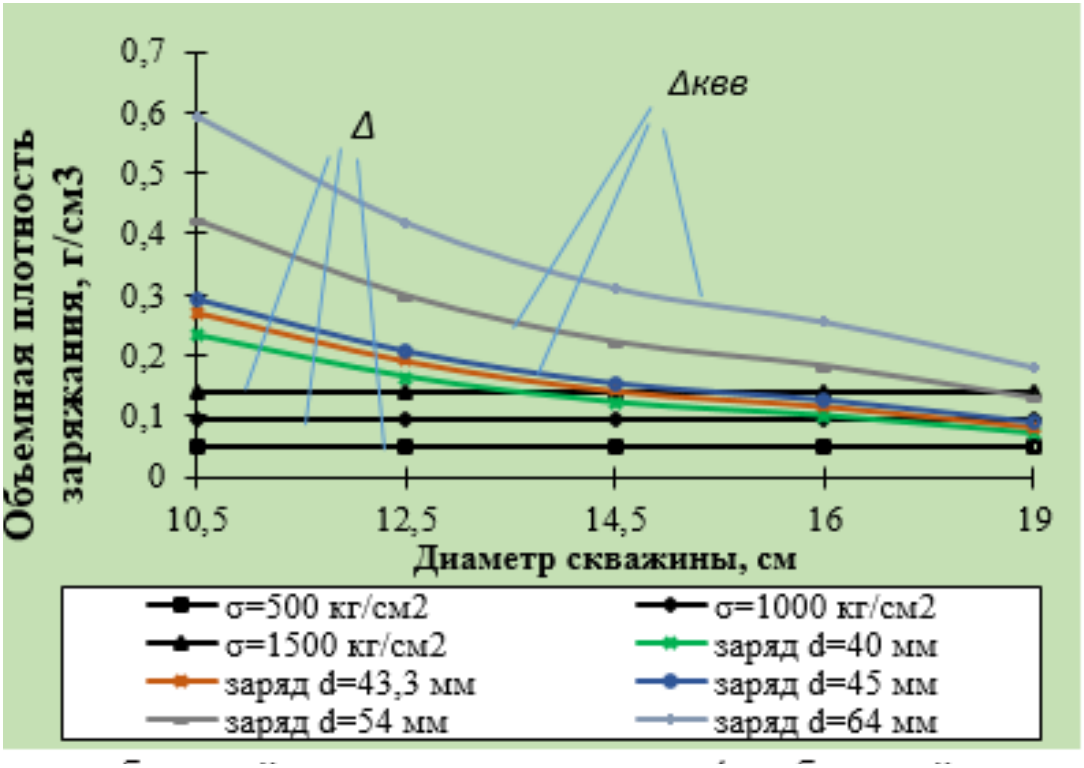


Рис. 4.24 - Изменение оптимальной объемной плотности заряжания и объемной плотности заряжания конверсионных ВВ в скважинах различного диаметра

Изменение $\Delta_{квм}$ в зарядах конверсионных ВВ возможно изменением параметров осевой полости. Влияние геометрических параметров заряда на оптимальную плотность заряжания определяется с учетом радиуса заряда $r_з$, радиуса полости $r_п$, радиуса скважины $r_с$ и выражается зависимостью

$$\Delta = \delta\left(\frac{r_з^2 - r_п^2}{r_с^2}\right) = \delta\left(\frac{r_з^2}{r_с^2}\right) - \delta\left(\frac{r_п^2}{r_с^2}\right), \text{ г/см}^3, \quad (4.51)$$

где: Δ - объемная плотность заряжания, г/см^3; δ - плотность конверсионных ВВ, г/см^3; $r_з$ - радиус заряда, см; $r_с$ - радиус скважины, см; $r_п$ - радиус осевой полости шашки конверсионных ВВ, см.

В зависимости (4.50) первый член характеризует объемную плотность заряжания сплошного заряда, второй - определяет уменьшение плотности заряжания в зарядах с осевой полостью [399]. На рис. 4.25 показано изменение объемной плотности заряжания при использовании заряда конверсионных d=45 мм сплошной конструкции и с осевой полостью. Точки пересечения графиков Δ (постоянная функция для конкретного типа горных пород) и $\Delta_{квм}$ (убывающая функция, зависящая от диаметра скважин) показывает на снижение объемной плотности заряжания при использовании шашек конверсионных ВВ с осевыми полостями.

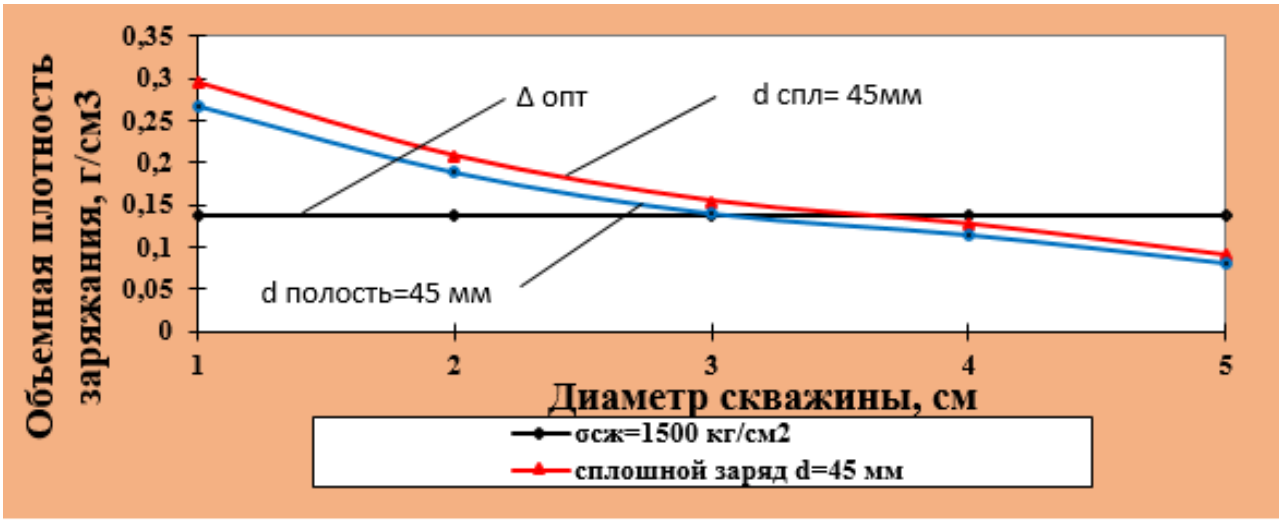


Рис. 4.25 - Изменение объемной плотности заряжания при использовании сплошных зарядов и зарядов с осевой полостью

Использование при контурном взрывании зарядов с осевой полостью вместо сплошных зарядов позволяет обеспечить необходимую объемную плотность заряжания Δ в диапазоне диаметров скважин от 145 до 190 мм для пород с $\sigma_{сж}$=1000–1500 кг/см^2. За счет уменьшения объемной плотности заряжания зарядов конверсионных ВВ с осевой полостью для более

прочных пород увеличивается на 10–15% диапазон используемых диаметров скважин и диаметров применяемых зарядов.

С использованием предлагаемой методики рассчитаем параметры контурного взрывания для некоторых горных предприятий. Характеристики горных пород этих предприятий приняты по данным [333]. Результаты расчета приведены в табл. 4.15.

Фактические параметры БВР на руднике «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК» и на карьере Тейского железорудного месторождения при использовании конверсионных ВВ приведены в приложении Д. Контурное взрывание с применением шашек БРТ использовалась на карьере Тейского месторождения [131] с параметрами практически аналогичными полученными в настоящей работе.

Таблица 4.15– Расчетные параметры контурного взрывания для месторождений

Месторождение	Породы	Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}$, *кг/см²*	Предел прочности на раст. $\sigma_р$, *кг/см²*	Коэфф. Пуассона μ	Давление на фронте уд. волны *P*, кгс/см²	Расстояние между скважинами, *a*	
						радиусов	см
Качканарское месторождение	Пироксенит	470–845	50–80	0,30–0,37	69	7,9	87
	Пироксенит диаллаговый	625–730	40–70	0,32–0,36	69	7,9	87
Ковдорское месторождение	Ийолит-мельтейгит	1000–2500	100	0,21	194	8,1	105
	Карбонатит доломитовый	1020	45	0,29	132	14,1	90
Оленегорское месторождеение	Гнейс биотитовый	1640–1700	110–145	0,18–0,21	194	6,56	42

На основе обобщения опыта взрывных работ при оконтуривании выработок и результатов проведенных исследований были разработаны научно-методические рекомендации «Контурное взрывание с использованием конверсионных взрывчатых материалов на карьере Тейского месторождения ОАО «Евразруда». В состав рекомендаций включено Введение; разделы Выбор рациональных параметров контурного взрывания; Параметры контурного взрывания с использованием конверсионных материалов, обеспечивающих щадящие режимы взрывания.

Рекомендации «Контурное взрывание с использованием конверсионных взрывчатых материалов на карьере Тейского месторождения ОАО «Евразруда» согласованы с ОАО «Евразруда» и предназначены для инженерно-технических работников горнорудной промышленности, проектно-конструкторских организаций, ведущих проектирование взрывных работ.

4.5 Технология вторичного дробления негабарита на карьерах с использованием конверсионных ВВ

Представленные материалы получены при проведении работ в рамках основных направлений фундаментальных исследований Президиума РАН и Отделения наук о Земле РАН: «Проблемы комплексного освоения недр Земли и новые технологии извлечения полезных ископаемых из минерального и техногенного сырья» тема «Геомеханические, гидродинамические и газодинамические процессы в техногенно изменяемых массивах горных пород» раздел «Развитие теории, методов исследования, прогноза опасных геомеханических процессов и физики разрушения массивов горных пород при освоении недр Земли» (№ гос. регистрации 01.02.007 04493), раздел «Физико-технические основы и новые технологии разрушения высоких уступов крупномасштабными взрывами при освоении месторождений полезных ископаемых» (№ гос. регистрации 01.02.0 503842), а также планам работ институтов Гипроцветмет, Росконверсвзрывцентр. Заряды для вторичного дробления горных пород прошли промышленную проверку на специализированных предприятиях по ведению взрывных работ: ОАО «Союзвзрывпром», ОАО «Гидроспецстрой», НПП «Самаравзрывтехнология», ООО «СтС-ВМ сервис», ОАО «НТЦ «Росвзрывбезопасность» и др. Результаты исследований включены в научно-методические рекомендации по вторичному дроблению с использованием компонентов обычных боеприпасов на предприятия черной и цветной металлургии, при добыче строительного сырья.

Как показывает практика, при отбойке горных пород скважинными и шпуровыми зарядами образуются негабаритные куски горной массы, выход которых обусловлен: физико-механическими свойствами горных пород, блочностью массивов слагаемых горных пород, параметрами буровзрывных работ и др. факторами [156]. Наличие негабаритных кусков горных пород на рабочих площадках карьеров усложняет технологические процессы экскавации и транспорта, снижает эффективность действия погрузочно-транспортного оборудования. В представленном материале рассмотрена эффективность зарядов ЗКП- 200, ЗКНКЗ, ДРС, ЗВБ, ЗДД с оценкой объема разрушаемого объекта. Конверсионные ВВ представляют более широкий выбор технологий вторичного дробления негабаритов.

4.5.1 Технические средства для вторичного дробления негабарита на основе конверсионных ВВ

Удельные затраты энергии на вторичное дробление при гидровзрывании, взрывании шпуровыми, кумулятивными и накладными зарядами, рассчитанными на основе удельных

расходов ВВ по практическим данным, могут на два и более порядка [156]. Для рассматриваемых способов взрывания такое различие, в первом приближении, определяется коэффициентом использования энергии взрыва на полезные формы работы при различных способах взрывания. Попытки построения аналитических зависимостей также дают существенные погрешности по сравнению с практическими данными. Зависимости удельной энергоемкости дробления взрывом от линейного размера куска для известняков разреза Ангренский (1), известняков карьера Гурьевского рудоуправления (2) и диабаза карьера «Каменный карьер» (3) представлены на рис. 4.26. Практические данные достаточно хорошо согласуются только для способа гидровзрывания, при использовании шпуровых зарядов различие составляет до 10 раз, кумулятивных зарядов - 25-30 раз, накладных зарядов – 40-70 раз. Для повышения эффективности взрывания при использовании осесимметричных кумулятивных зарядов используют специальные добавки, вводимые в ВВ [327].

Разрушение негабарита взрывными методами ведут накладными и шпуровыми зарядами. Разрушение накладными зарядами является более энергоемким способом разрушения, но обладает простотой исполнения и универсальностью применения. При использовании накладных зарядов по данным [470, 462] наибольший эффект достигается при равенстве акустического импеданса ВВ и акустической жесткости разрушаемой горной породы.

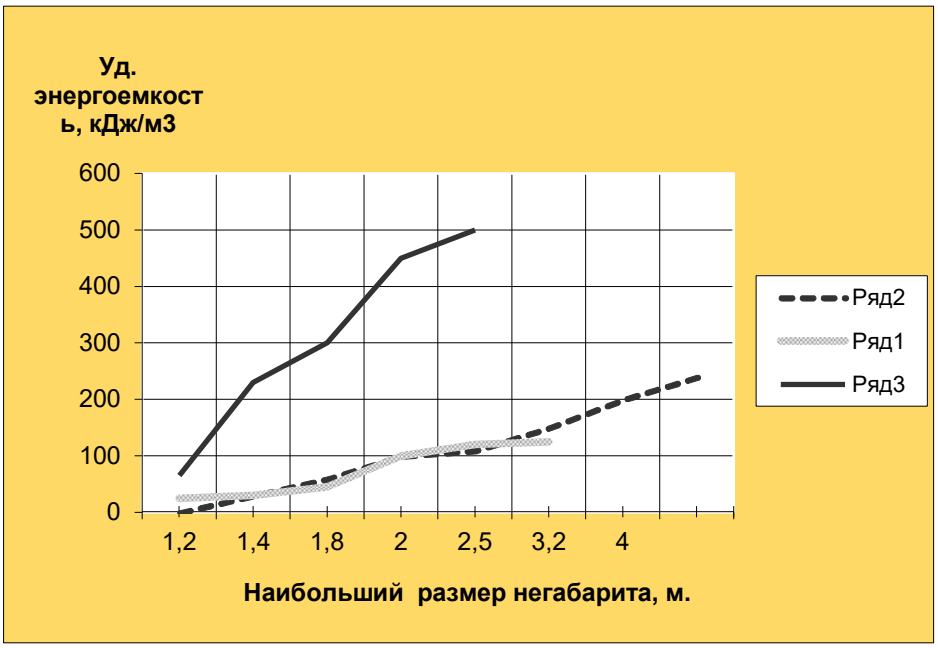


Рис. 4.26 - Зависимость удельной энергоемкости разрушения от размера негабарита

Помимо энергетических оценок эффективности дробления негабаритных кусков следует учитывать технологические факторы. При осуществлении шпурового способа дробления -

трудоемкость доставки бурового оборудования к месту производства работ и затраты времени на бурение.

При дроблении негабарита накладными зарядами выделяют следующие их группы:

– сосредоточенные заряды;

– кумулятивные заряды с осевой симметрией;

– кумулятивные заряды с плоской симметрией (ленточные, шнуровые, удлиненные, эластичные);

– заряды, основанные на принципе «ударного ядра».

Номенклатура конверсионных сосредоточенных зарядов (СЗ) для вторичного дробления составлена преимущественно боеприпасами инженерных войск (табл. 4.15). В качестве ВВ в них используется тротил, тротилогексогеновые смеси, пластичные составы.

Заряды ПМ представляют собой заряд взрывчатого вещества из тротила, размещенный в оболочке цилиндрической или прямоугольной формы. Оболочки могут быть изготовлены из листовой стали толщиной 0,8 мм, древесины хвойных пород, капроновой ткани, полиэтилена или высокопрочной пластмассы. Шашки тротиловые для взрывных работ используются для дробления негабарита небольших размеров с тем, чтобы была возможность компактного размещения заряда в наиболее оптимальном месте на негабарите.

Использование удлиненных подрывных зарядов СЗ-1, СЗ-3, СЗ-3А, СЗ-6 наиболее эффективно на негабаритах среднего и большого размера. Заряды СЗ-4П, СЗ-6М, обладающие пластичными свойствами, целесообразно использовать на негабаритах с неровной поверхностью.

Таблица 4.15 - Номенклатура сосредоточенных зарядов для дробления негабарита

Наименование зарядов	Тип ВВ	Масса ВВ, кг
Заряды сосредоточенные ПМ [151]	ТНТ	6,5–8,0
Заряды дробящие плоские комбинированные [148]	поротол	0,5–1,0
Шашки тротиловые для взрывных работ [443]	ТНТ	0,8
Заряды подрывные [152]	ТГ	
Удлиненные заряды СЗ [379]		
СЗ-1	ТНТ	1,0
СЗ-3	ТНТ	3,0
СЗ-3А	ТГ-50	2,8
СЗ-6	ТГ-50	5,9
СЗ-4П	ПВВ-5А	4,0
СЗ-6М	ПВВ-5А	6,0
Шашки баллиститного состава БРТ [441]	БРТ	2,0–4,0

Заряды ПМ использовались на карьере ГП «Гранит» для дробления негабаритных кусков объемом 3–5 м^3. Горные породы на предприятии представлены гранитами, гранодиоритами и

диоритами с крепостью *f*=18–20. Анализ работ по дроблению негабаритов показал, что все куски разрушены на 2–4 осколка, результаты вторичного дробления удовлетворительные.

При дроблении крупных кусков горной породы целесообразно использование баллиститных шашек. Конструкция заряда и схема его расположения на негабарите показаны на рис. 4.27. В качестве инициирующего заряда применяется баллиститная шашка РСИ-ТГ [440, 441], у которой сердцевина заполнена чувствительным к импульсу капсюля-детонатора взрывчатым веществом, например, конверсионным тротилогексогеновым составом.

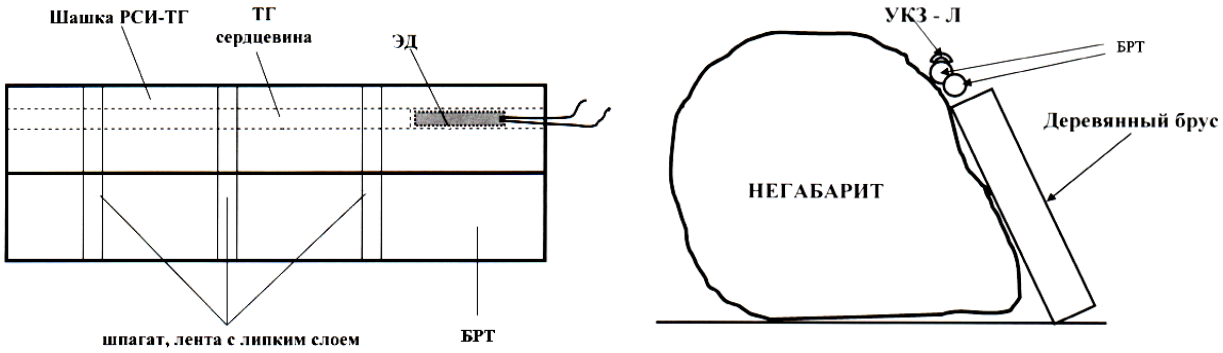


Рис. 4.27 - Конструкция заряда на основе баллиститных шашек и схема его крепления на негабарите

Использование сосредоточенных зарядов конверсионных ВВ соответствует характеру взрывания накладными зарядами с повышенной энергоемкостью разрушения, так как в энергетическом плане газообразные продукты взрыва используются не в полной мере. Разрушение негабарита происходит под действием ударной волны.

4.5.2 Кумулятивные заряды для дробления негабарита

Оптимальным с точки зрения затрат энергии и технологичности выполнения операций является использование кумулятивных зарядов. При взрывании кумулятивного заряда возникает эффект уплотнения потока энергии продуктов детонации вдоль оси выемки. Взрыв приобретает направленное действие. Кумулятивные заряды выпускаются разнообразного конструктивного исполнения - с конической, полусферической или биконической кумулятивной выемками, которые обладают различной взрывной эффективностью. Зарубежные производители выпускают более сложные конструкции кумулятивных зарядов, имеющих одну или две конические выемки (Плюраджет) или кумулятивный заряд, объединенный с электродетонатором.

Эффективность действия кумулятивного заряда с облицовкой зависит от материала, толщины и массы облицовки, активной массы заряда и его диаметра. Увеличение эффективности действия кумулятивных зарядов достигается, установкой на их торцевой поверхности металлической пластины, которая метается с высокой скоростью продуктами детонации. В этом случае мы имеем воздействие на разрушаемый объект нескольких факторов: кумулятивной струи, высокоскоростного удара металлической пластины и продуктов детонации. Исследования зарядов, с разной формой и размерами выемки [269], показали возрастание объемов разрушения с увеличением размеров выемки, происходящее до определенных пределов. Выбор поверхности кумулятивной выемки определяет характер действия заряда. Для максимальной глубины пробития используют треугольную форму кумулятивной выемки, для получения большого объема разрушения – в форме усеченного конуса [272].

Для дробления негабарита применяют конверсионные кумулятивные заряды с осевой симметрией, представленные в табл. 4.16. Снаряжение кумулятивных зарядов КЗ-2, КЗ-5, КЗ-7 и др. производится на основе смесевых тротилогексогеновых составов. Заряды представляют собой жесткий металлический корпус с полусферической или конической кумулятивной облицовкой. На корпусе расположено запальное гнездо для установки капсюля-детонатора типа КД-8. Удлиненные кумулятивные заряды КЗУ, КЗУ-2 снаряжаются тротилом или смесевым тротилогексогеновым составом и, как правило, имеют полуцилиндрическую стальную облицовку [206].

Для повышения эффективности действия кумулятивных зарядов осевой симметрии предложено технологическое решение, включающее введение в состав взрывчатого вещества металлических порошков. В частности, производят смешение ВВ с магнитным порошком, намагничивание которого производится после формирования заряда [327]. В данном предложении этим достигается стабильность распределения металлического порошка во взрывчатом веществе и увеличение разрушающей способности заряда.

Таблица 4.16 - Характеристики конверсионных инженерных кумулятивных зарядов осевой симметрии

Наименование	Тип ВВ	Масса ВВ, кг
КЗ-2 [149]	ТГ-70	9
КЗ-4 [149]	ТГ-50	49
КЗ-5 [149]	ТГ-50	8,5
КЗ-6 [149]	ТГ-40	1,8
КЗ-7 [149]	ТГ-40	4,0
ЗКН-Б [453]	БРТ	0,6–0,8

В ходе проведения опытных работ в условиях открытой физико-технической геотехнологии подтверждена эффективность применения кумулятивных зарядов типа КЗ и КЗК для разрушения негабаритных кусков горной породы. Конверсионные инженерные кумулятивные заряды осевой симметрии (КЗ-2, КЗ-4, КЗ-5) превосходят промышленные кумулятивные заряды (ЗКН, ЗКП) по массе ВВ и взрывчатым характеристикам используемого состава. Это позволяет их использовать для разрушения негабарита большого объема.

Институтом ИПКОН РАН совместно с ООО «СтС-ВМ сервис» осуществлялась отработка кумулятивных зарядов на основе БРТ и других компонентов. Результаты испытаний представлены в табл. 4.17. Были испытаны изделия из конверсионных ВВ, изготовленные по технической документации под маркой ДН.БВ [257]. В качестве взрывчатого вещества в зарядах использованы составы К-991 и А-IX-1. Конструктивно ДН.Б представляет собой шашку цилиндрической формы с бронировкой по внешней поверхности. Сверху шашки размещается промежуточный детонатор с крышкой. Инициирование испытываемых изделий производится детонирующим шнуром нормальной мощности (ДШЭ-12, ДША, ДШ-В и др.). Из представленных данных следует, что полную детонацию ПД обеспечивают практические виды взрывного импульса, соответствующие инициирующей способности 4 нитей детонирующего шнура ДШЭ-12.

На рис 4.28 показана эскизная проработка заряда ДН.Б, на рис. 4.29 вид заряда в подготовленном для испытаний состоянии. В испытательной серии в качестве промежуточного детонатора использовался заряд пластита.

Таблица 4.17 - Результаты испытаний при отработке зарядов ДН.Б

№№ опыта	Кол-во зарядов	Состав ПД (*D*=80 мм *H*=27 мм)	Кол-во нитей ДШЭ-12 / Габарит изделия (*H*x*D*)	Кол-во мишеней (плит стальных *H*=10 мм, (500x500 мм)	Результат испытаний
1	2	К-991	1/-	2	Отказ
2	2	А-IX-1	1/-	2	Отказ
3	2	К-991	4/50x188	На грунте	Детонация полная
4	2	А-IX-1	4/70x188	На грунте	Детонация полная
5	2	К-991	4/-	2	Детонация зарядов полная. Сквозное пробитие двух плит d=85 мм
6	2	А-IX-1	4/-	2	То же
7	2	К-991	4/30x188	5	Заряды установлены по углам плит. Верхние две плиты имеют сквозное отверстие d=190 мм. Нижние три плиты имеют сквозное отверстие d=60 мм
8	2	А-IX-1	4/30x188	5	Результат близок к испытанию п.7
9	2	К-991	4/50x188	5	Заряды установлены по углам плит. Верхние три плиты имеют сквозное отверстие d=190–200 мм. Нижние две плиты имеют вмятины d=60 мм

10	2	А-IX-1	4/50х188	5	Все плиты пробиты. Сквозное отверстие d=190–200 мм.

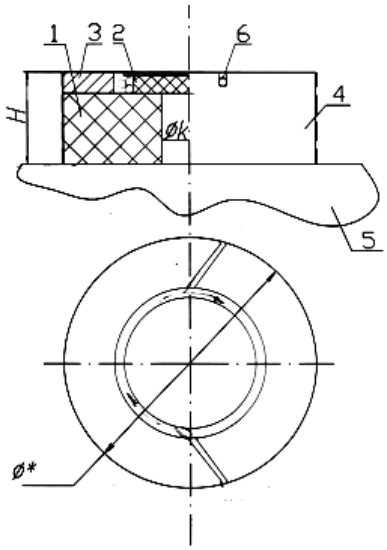
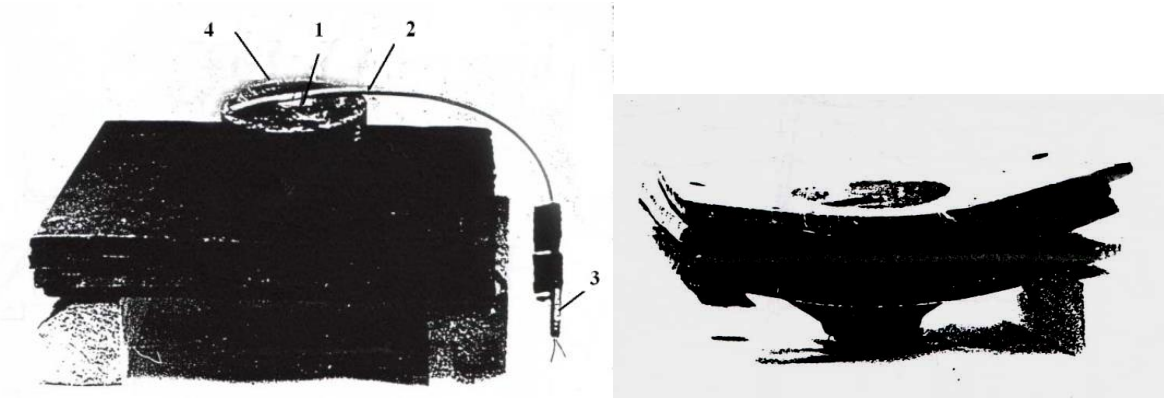


Рис. 4.28 - Конструкция заряда ДН.Б: 1 - шашка; 2-промежуточный детонатор; 3 - крышка; 4-бронировка; 5-разрушаемый объект; 6-детонирующий шнур

Рис. 4.29 - Вид заряда ДН.Б

Вид опытной сборки заряда ДН.Б на стальной плите показан на рис. 4.30а, на рис. 4.30б показано пробивное действие заряда.



а) б)

Рис. 4.30 - Вид сборки до и после испытаний
1 - усилитель из пластита; 2 - ДШ; 3 - ЭД; 4 - заряд конверсионного ВВ

Проведенные испытания показали, что для пробития стальных мишеней толщиной 10 мм необходим инициирующий импульс не менее 4 нитей ДШЭ-12. Таким образом была подтверждена эффективность зарядов с осевой полостью и отработаны параметры инициирования от практических видов взрывного импульса.

Предприятием ОАО «НТЦ «Росвзрывбезопасность» разработан заряд ЗКН-Б массой 0,6-0,8 кг, состоящий из двух баллиститных шашек [453]. В предлагаемом заряде инициирование основного заряда производится от промежуточного детонатора из баллиститного пороха.

Повышению эффективности действия кумулятивных зарядов плоской симметрии способствует эффект образования «кумулятивного ножа». Рассмотрим существующие модели действия кумулятивных зарядов плоской симметрии. Проникновение кумулятивного ножа в преграду [232; 283] представлено на рис. 4.31, из которого следует, что вектор скорости ножа образует с преградой угол 90º-θ, что следует учитывать при разрушении горных пород.

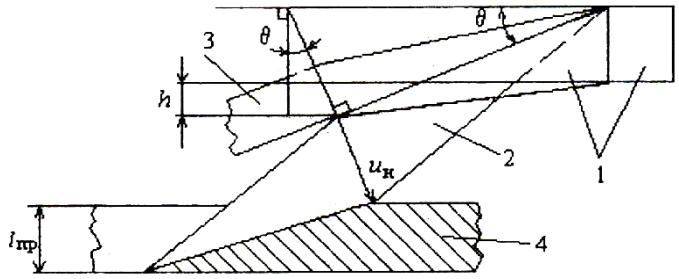


Рис. 4.31. Схема проникновения кумулятивного ножа в преграду:
1 - облицовка, 2 - нож, 3 - пест, 4 - преграда

На практике преимущественно используются линейные кумулятивные заряды без линейного инициатора, для которых выполняются условия: угол разворота детонационной волны φ =90º, углы установки генератора плоской волны соответственно равны ψ_n=0º, а ε_n углу поворота облицовки β, $\eta=\psi$, ω=90º-Δ, и тогда уравнение прямых ОМ и АМ принимает вид

$$\text{(ОМ)} \qquad z' = y' \cdot \mathrm{tg}\psi \,,$$

$$\text{(АМ)} \qquad z' \cdot \cos\psi = x \cdot tg\beta \,.$$

Для однородных плоских преград глубина проникания ножа определяется с учетом уточненной ширины ножа $l_{co} = l_o / \cos\Delta$:

$$l_{пр} = \frac{l_0}{\cos\Delta}\sqrt{\frac{\rho_н}{\rho_{пр}}} \,,$$

где $\rho_н$ и $\rho_{пр}$ – плотности материалов ножа и преграды; $l_{пр}$ – толщина преграды.

При оценке параметров газовой кумуляции правомерно говорить о скорости струи u, плотности ρ, давлении, оказываемом струей на преграду p, а также о времени ее существования $t_{эф}$ [44; 47; 48; 242]. Последняя характеристика является весьма важной, т.к. она определяет время приложения нагрузки и может служить характеристикой среды исходя из того, что при p_c <$\sigma_{ст}$ разрушений не происходит, т.к. струя распадается. Поэтому $t_{эф}$ определяется временем

падения давления от первоначального p_2, соответствующего началу истечения кумулятивной струи, до $\sigma_{ст}$.

Проникновение газовой кумулятивной струи в породу продолжается пока давление струи p_c превышает или равно динамическому пределу прочности породы на сжатие $p_c \geq \sigma_{дин}$. При значении $p_c \leq \sigma_{дин}$ внедрение струи прекращается. Во временном промежутке изменение p_c от $\sigma_{дин}$ до $\sigma_{ст}$ в среде будут происходить пластические деформации, при $p_c<\sigma_{ст}$ в среде наблюдаются упругие деформации. Данные [44–48; 242] показывают, что в различных породах (гранит, мрамор, доломит, каменная соль) скорость движения границы раздела сред u_x изменяется в диапазоне 58–973 м/с при изменении давления p_x в диапазоне (0,54–4,44) 10^{10} Па.

4.5.3 Аналитический метод расчета параметров кумулятивного заряда плоской симметрии линейной формы

Теоретические исследования кумулятивного эффекта выявили влияние поверхностного слоя заряда на формирование «кумулятивного удара», определяемого формой и размерами кумулятивной поверхности. Формами кумулятивной поверхности, применяемыми в практике взрывных работ, являются полусферическая, сферическая, треугольная, параболическая, в виде усеченного конуса и др.

Определение уравнения линии схождения волн разрежения с наружной и внутренней поверхности заряда показано в [53]. Для кумулятивных зарядов плоской симметрии кольцевой формы решение приведено в гл.4.3.2.

Рассмотрим кумулятивные заряды с плоской симметрией линейной формы [408], предназначенные для использования в шпурах и скважинах. Он имеет цилиндрическую форму, внешняя поверхность которого описывается уравнением в общем виде

$$(x-a)^2+(y-b)^2=R^2 \qquad (4.53).$$

Кумулятивная выемка заряда может иметь различную форму.

Поверхность выемки может принять вид треугольника, тогда линия на секущей поверхности описывается уравнением прямой

$$y_1=kx+b \qquad (4.54).$$

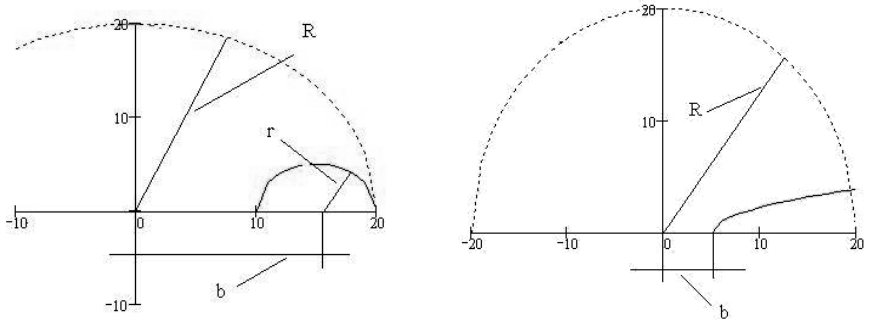
Коэффициент k зависит угла раствора выемки. При угле 2α равном 60º, 90º, 120º принимает значения $k_1=1/\sqrt{3}$, $k_2=1$, $k_3=\sqrt{3}$ соответственно. Коэффициент b определяется из соответствующей глубины выемки. Поверхность кумулятивной выемки может быть сферической с уравнением

$$f_1(x_1)=\sqrt{r^2-(x-b)^2} \quad (4.55),$$

параболической с уравнением

$$f_1(x_1)=k\sqrt{x-b} \quad (4.56).$$

На рис 4.32 представлены в символьном виде параметры кумулятивных зарядов плоской симметрии со сферической (а) и параболической (б) формой кумулятивной выемки.



а) б)

Рис. 4.32 - Символьные параметры кумулятивных зарядов с выемкой сферической (а) и параболической (б) формы

Аналитическое решение для зарядов диаметром *R* при треугольной выемке, уравнении кумулятивной поверхности

$$f_1(x_1)=x_1-b \quad (4.57),$$

уравнении внешней поверхности

$$f_2(x_2)=y_2=\sqrt{R^2-x^2} \quad (4.58)$$

состоит в определении вида обратной функции

$$x_1=\varphi_1(y_1) \quad (4.59),$$

имеющей в данном случае вид

$$\varphi_1(y_1)=\frac{y+b}{k} \quad (4.60).$$

Уравнение $y+\varphi_1(y)=x+f_2(x)$ определяет поверхность встречи двух волн разрежения или в принятых обозначениях получаем

$$y+\frac{y+b}{k}=x+\sqrt{R^2-x^2} \quad (4.61)$$

и после преобразований получаем зависимость для

$$y=\frac{-b+k\left(x+\sqrt{R^2-x^2}\right)}{k+1} \quad (4.62).$$

При сферической поверхности кумулятивной выемки вид обратной функции определяем с учетом выражения для поверхности выемки

$$y = \sqrt{r^2 - (x-b)^2} \tag{4.63}$$

Преобразуя данное уравнение в форму

$$y^2 = r^2 - (x-b)^2 \tag{4.64},$$

произведя перестановки, получаем

$$x^2 - 2bx + b^2 - r^2 + y^2 = 0 \tag{4.65}$$

Обозначив сумму слагаемых $\left(b^2 - r^2 + y^2\right)$ индексом *t* и решая квадратное уравнение

$$x^2 - 2bx + t = 0 \tag{4.66},$$

получаем

$$x = \frac{4b^2 \pm \sqrt{4b^2 - 4t}}{2} \tag{4.67}$$

После замены индекса *t* в уравнение имеет вид

$$x = \frac{4b^2 \pm \sqrt{4b^2 - 4\left(b^2 - r^2 + y^2\right)}}{2} \tag{4.68},$$

где после упрощения и замены функции получаем уравнение $\varphi_1(y)$

$$\varphi_1(y) = \frac{4b^2 \pm \sqrt{-4r^2 + 4y^2}}{2} \tag{4.69}$$

Уравнение поверхности схождения волн разрежения при сферической форме кумулятивной выемки имеет вид

$$y + \frac{4b^2 \pm \sqrt{-4r^2 + 4y^2}}{2} = x + \sqrt{R^2 - x^2} \tag{4.70}$$

Для параболической кумулятивной выемки обратная функция зависимости $y = k\sqrt{x-b}$ после преобразований определяется как

$$\varphi_1(y) = k^2 y^2 + b \tag{4.71}$$

Уравнение поверхности схождения волн разрежения при параболической форме кумулятивной выемки будет иметь вид

$$y + k^2 y^2 + b = x + \sqrt{R^2 - x^2} \tag{4.72}$$

Уравнения, содержащие *y* второй степени, решаются аналогично рассмотренному решению для треугольной формы.

Частное решение для зарядов с треугольной формой кумулятивной выемки проведено для зарядов, имеющих радиус цилиндрической поверхности заряда *R*, соответствующий размерам шпура или скважины и составляющий 40 мм. Массу заряда и его активную часть

определяет площадь сечения и длина заряда. В дальнейшем будем рассматривать заряды одинаковой длины, характеристики которых будут зависеть только от площади заряда и его активной части.

Численное решение проводим для заряда диаметром 40 мм с кумулятивной выемкой, имеющей угол раствора 2α=90º. Расстояние вершины воронки от центра заряда (b) равно 5 мм, что соответствует высоте кумулятивной выемки 11,4мм. Коэффициент k_2 при 2α=90º равен единице. Координаты точек пересечения с осями *x, y* внешней поверхности заряда, внутренней поверхности заряда, поверхности схождения волн разрежения определяем в программной среде Matcad:

$$x := 20 \quad y := 5 \quad Given \quad y = x - 5 \quad y = \sqrt{\left(20^2 - x^2\right)} \quad x \geq 5 \quad Find(x, y) = \begin{pmatrix} 16.419 \\ 11.419 \end{pmatrix} \tag{4.73}$$

$$Given \quad y = 0 \quad y = \frac{(x-5) + \sqrt{400 - x^2}}{2} \quad x \leq 0 \quad Find(x, y) = \begin{pmatrix} -11.419 \\ 0 \end{pmatrix} \tag{4.74}.$$

Определяем площадь сечения кумулятивного заряда и его активной части:

$$\int_{-20}^{20} \left(\sqrt{20^2 - x^2}\right) dx - \int_{5}^{16.419} (x-5)\,dx - \int_{16.419}^{20} \left(\sqrt{20^2 - x^2}\right) dx = 535.33 \tag{4.75}$$

Графически это решение отображено на рис. 4.33. Для аналогичных по форме зарядов проведено численное моделирование для зарядов диаметром от 40 до 100 мм.

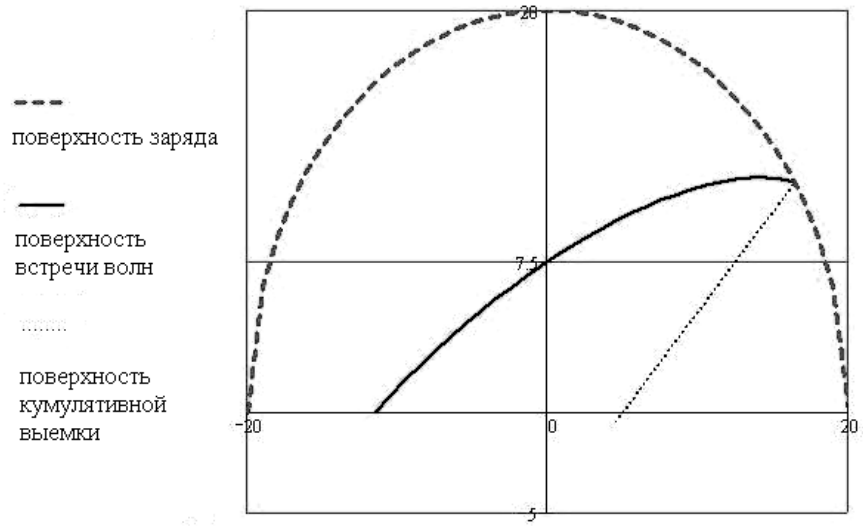


Рис. 4.33 - Графическое решение для заряда диаметром 40 и треугольной формой выемки с углом раствора 2α=90º

Параметры кумулятивных зарядов плоской симметрии с треугольной формой выемки (угол раствора 2α=90º) представлены в табл. 4.18.

Таблица 4.18 Параметры кумулятивных зарядов плоской симметрии с треугольной формой выемки

Диаметр заряда, мм	Высота выемки, мм	Площадь заряда, мм^2	Площадь активной части заряда, мм^2
40	11,4	1071	301,5
	9,9	1124	286
	8,2	1169,3	290,1
	6,4	1033,4	236
	4,5	1031,8	205,6
60 мм	15,6	2490	657
	14,1	2566	628,8
	12,3	2630	594,4
	10,6	2688	553,8
	8,7	2736	506,9
80	22,8	4282	1206,6
	19,8	4496	1144
	16,5	4678	1056,6
	12,9	4824	944
100	27	6830	1851
	23,9	7086	1763,5
	20,6	7308	1651
	17	7496	1513,5

Предположение о мгновенности детонации кумулятивного заряда, при которой волны разрежения идут с внутренней и внешней стороны заряда с одинаковой скоростью, позволяет определить размеры активной части кумулятивного заряда от геометрических параметров заряда. И, хотя предположение о мгновенности детонации физически обосновано, предлагаемое решение является приближенным математическим методом. Поэтому, учитывая изложенное, при определении параметров кумулятивных зарядов плоской симметрии большое место отводится экспериментальным методам исследований. Рассмотрим технологические вопросы, связанные с отработкой конструкции и экспериментальной оценкой параметров кумулятивных зарядов плоской симметрии линейной формы.

Эффективность действия зарядов с линейной симметрией в лабораторных экспериментах [357] оценивалась величиной разрушений и распределением напряжений по густоте силовых линий, в полигонных испытаниях - величиной и характером разрушения металла, в производственных экспериментах - глубиной пробоя (ЛНС) шпуров.

Таблица 4.18 - Расчетные параметры кумулятивных зарядов плоской симметрии с треугольной формой выемки (угол раствора $2\alpha=90^{\circ}$). Лабораторные исследования показали неравномерность разрушения материала модели. Воронка взрыва имеет эллиптическую форму с ориентированием большей оси по направлению кумулятивной струи. Распределение энергии в различных направлениях характеризуется следующим образом: в направлении кумулятивной выемки 56–60%, в противоположном 40–44%. Разрушение в перпендикулярном к большей оси эллипса направлении в 2,45–2,5 раза меньше, чем в направлении кумулятивной выемки.

Испытания зарядов диаметром 40мм длиной 300–400мм показали [357], что объем разрушения зависит от формы, размеров кумулятивной выемки и массы заряда. Наибольшая глубина пробития достигается при треугольной (60º) форме выемки, наибольший объем - при сферической форме. Параболическая форма обеспечивает минимальный удельный расход ВВ при достижении сравнимых результатов. Экспериментально определенные размеры активной части кумулятивного заряда с плоской симметрией диаметром 40мм при параболической, полусферической и треугольной (60º) форме выемок с оптимальным соотношением активной части заряда и заряжаемой площади патрона, показали достаточно хорошее совпадение расчетных и опытных данных.

Эксперименты, проведенные в промышленных условиях, по исследованию характера разрушения горных пород при различном расположении шпуров показали, что при увеличении коэффициента зажима шпуров образуется узкая щель с шириной пропорциональной диаметру кумулятивного заряда.

Исследования кумулятивных зарядов на основе баллиститных шашек [73; 277; 447] проводились с использованием стальных и алюминиевых «свидетелей». Исследовались шашки состава РСТ-4К и РСИ-12М диаметром 43,5 и 58,5 мм, в которых создавались продольные кумулятивные выемки с 2α=60º. Испытаниям подвергались заряды без армировки и с металлической облицовкой. Результаты испытаний позволили выявить влияние параметров зарядов (угла продольной кумулятивной выемки, диаметра заряда) на эффективность разрушения стальных и алюминиевых мишеней от расстояния при нахождении зарядов в воздушном и водяном окружении.

Результаты экспериментов показали высокую взрывную эффективность кумулятивных зарядов с 2α=60º. Аналитические исследования влияния параметров кумулятивных зарядов с плоской симметрией (массы зарядов и активной ее части, типа ВВ, формы кумулятивной выемки) определили опережающий рост массы кумулятивных зарядов по сравнению с ростом активной части. С использованием расчетной методики, результатов экспериментальных работ в лабораторных, полигонных и производственных условиях для зарядов диаметром 28-85 мм разработаны параметры кумулятивных зарядов плоской симметрии на основе баллиститных шашек. Параметры кумулятивных зарядов плоской симметрии на основе баллиститных шашек изменяются в части диаметра заряда (28–80 мм), формы кумулятивной выемки (полусферическая, параболическая, треугольная 2α=60º), массы заряда (816–7584 г/м), массы активной части заряда (281–2736 г/м). Количественные характеристики рассматриваемых зарядов представлены в приложении Е.

Рассмотрим существующие виды кумулятивных зарядов плоской симметрии на основе конверсионных ВВ. Заряды УКЗ-Л (литые) имеют цилиндрическую форму, снаряжены в

бумажную или полиэтиленовую оболочку с кумулятивной облицовкой в виде цилиндрического сегмента. Заряды комплектуются установочными фокусными ножками. Диаметр кумулятивной облицовки 10–100 мм, диаметр заряда 24–180 мм, длина 250–1000мм. Заряд изготавливается из штатной смеси ТГ-40 и конверсионных ВВ типа ТГА-50 и МС. Материал кумулятивной облицовки: медь, латунь, алюминий и низкоуглеродистые стали типа 08 КП, Ст 0 и т.д. Для модификации УКЗ-М малого диаметра (диаметр облицовки 10-30 мм) разработана и апробирована технология изготовления зарядов с центробежной заливкой. Осуществляется групповой способ изготовления УКЗ-Л и составов ТГА-50 и МС. Основные характеристики рассматриваемых типов зарядов приведены в табл. 4.19.

Технология изготовления УКЗ-Л (модификация прокатно-литые) из гранул конверсионных ВВ (ТГ-40, ТГА-50 и МС) включает предварительное заполнение медных или алюминиевых трубок диаметром 16-50 мм гранулами ВВ, а затем формирование заряда обычной прокаткой. Стоимость разработанных модификаций УКЗ-Л и УКЗ-ПЛ на основе конверсионных ВВ из утилизированных боеприпасов снижается в 3-4 раза. Опыт использования УКЗ-Л и УКЗ-ПЛ зарядами из конверсионных ВВ показал перспективность работ в данном направлении [17]. Анализ параметров кумулятивных зарядов плоской симметрии (состава ВВ, габаритно массовых характеристик) показывает, что они могут быть использованы для разрушения негабарита на карьерах. Использование таких изделий снижается энергоемкость разрушения за счет направленного действия взрыва.

Таблица 4.19 - Характеристики кумулятивных зарядов плоской симметрии

Заряды	Тип ВВ	Масса ВВ, кг	Масса изделия, кг
КЗУ [149]	ТНТ	10,6	18
КЗУ-2 [149]	ТГ-40	0,32	0,9
УКЗ – Л [380; 381]	ТГ, ТГА, МС	0,63–29,9*	0,68–35,1
ЗКЛБ [196]	Утилизируемый порох	0,74–2,63	0,108–3,86
ЗКЛ [195]	Эластичная пороховая масса	0,1–1,43	
ШКЗ (ШКЗ-М) [150; 283]	Эластит	0,08–1,84	4–25
ЗЛ [147]	БРТ	2,1–3,5*	

*) линейная плотность ВВ, кг/м

На основе баллиститных порохов созданы бескорпусные заряды. Возможна облицовка кумулятивной выемки с использованием металлополимеров [206]. Форма корпусных кумулятивных зарядов в сечении может быть: треугольной, сферической, трапецеидальной, с клиновидной или полуцилиндрической облицовкой. В горной промышленности прошли

промышленные испытания кумулятивные заряды типа ЗКЛБ, которые имеют следующие характеристики (табл. 4.20).

Таблица 4.20 - Характеристики кумулятивных зарядов линейной симметрии ЗКЛБ

Характеристика	Тип заряда		
	ЗКЛБ-30	ЗКЛБ-50	ЗКЛБ-60
Масса без облицовки, г/м	810±45	1827±80	2630±100
Масса с облицовкой, г/м	1117±50	2861±90	3860±110

При срабатывании зарядов процесс формирования кумулятивной струи состоит из двух этапов. На первом происходит схлопывание кумулятивной облицовки, а на втором – образование плоской кумулятивной струи («ножа»), которая бежит вдоль заряда. Скорость движения кумулятивной струи в плоскости симметрии составляет 2,5–3 км/с. Эффективность действия зарядов определяется качеством схлопывания облицовки, которая в первую очередь зависит от симметричности инициирования.

Сравнение характеристик конверсионных кумулятивных зарядов плоской симметрии с параметрами зарядов, полученных расчетными методами показывает достаточно хорошее совпадение.

Экспериментальные работы по дроблению негабарита зарядами ЗКЛБ проводились на карьере. Схемы установки, конструкции применяемых зарядов и характер разрушения показаны на рисунках 4.34 и 4.35.

Заряды ЗКЛБ 30, ЗКЛБ-50 и ЗКЛБ-60 использовались при проведении экспериментальных работ для дробления негабаритных кусков горных пород: куммингтонито-магнетитовых кварцитов, окварцованных магнетитовых кварцитов, щелочно-амфиболитовых кварцитов, талько-магнетитовых кварцитов и окисленных кварцитов [16; 17]. Объем негабаритных кусков менялся от 2 до 13 м^3. Заряды на поверхности негабаритных кусков располагались в зависимости от направления слоистости: вкрест, перпендикулярно и параллельно слоистости. Проведенные испытания зарядов ЗКЛБ на репрезентатитвной выборке (количество негабаритов 80 шт.) показали, что дробление происходит без разлета осколков, что оказывает благоприятное воздействие на сохранность горного оборудования.

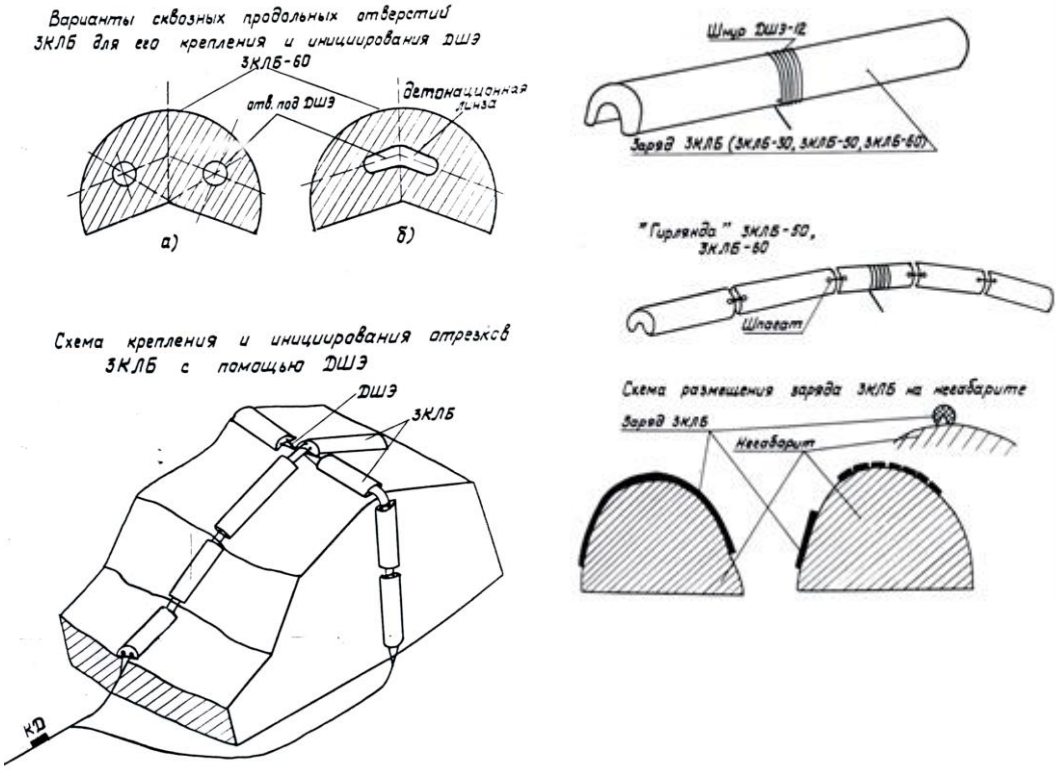


Рис. 4.34 - Схемы установки зарядов ЗКЛБ на негабарите

а) б)

Рис.4.35 - Характер разрушения негабаритных кусков зарядами ЗКЛБ:
а) до взрыва, б) после взрыва

4.5.4 Кумулятивные заряды, основанные на принципе «ударного ядра»

Представляют практический интерес кумулятивные заряды, основанные на принципе «ударного ядра». В основе указанного принципа лежит формирование компактного тела и его

метание со скоростью до 3 км/с [139; 173]. Заряды взрывного бурения и дистанционного действия разработаны в модификациях: ЗВБ [146] и ЗДД, разработаны различных типоразмеров: диаметром от 50 мм до 300 мм и массой от 0,5 кг до 20 кг. Заряд представляет собой цилиндрическое тело, на одной из торцевых поверхностей которого установлена толстостенная облицовка в форме шарового сегмента или конуса. Облицовка не профилированная, ее толщина находится в пределах 2-10 мм, а масса составляет 20-33% от массы заряда. В данном типе зарядов используется стальная и чугунная облицовки. При отработке конструкции зарядов ЗДД основное внимание было сосредоточено на подборе материала и конструктивных параметров облицовки. Наилучшими показателями обладает медная облицовка, в качестве заменителя которой с успехом может использоваться облицовка из стали марки Ст. 3. Основным критерием эффективности облицовки бралась ее сохранность в полете. По этому показателю наилучшими характеристиками обладают отожженные стальные облицовки. В качестве взрывчатого вещества для изготовления этих зарядов использовался конверсионный состав ТГА, получаемый при расснаряжении реактивных глубинных бомб.

Разработанные заряды прошли испытания в производственных условиях и показали высокую эффективность. Заряды ЗВБ-60 использовались при ликвидации аварии в чугунолитейном производстве ВАЗ. После аварийного сброса расплава чугуна в приямок раздаточной печи там образовалась монолитная смесь чугуна со шлаком и другими инородными включениями. Для удаления этой смеси необходимо было раздробить ее взрывом шпуровых зарядов. Однако бурение шпуров традиционными методами оказалось неэффективным, т.к. в приграничном слое алмазный и твердосплавный инструмент ломался, а кислородному копью мешал шлак. В этих условиях без остановки основного производства было пробурено около 150 шпуров указанными зарядами. Диаметр шпуров составил 30 мм и глубина – 300–400 мм. Последующим взрывом было раздроблено около 200 тонн материала.

Заряды ЗВБ-120, ЗВБ-180, ЗВБ-300, ЗВБ-500 использовались при ликвидации заколов и дроблении негабарита в карьере ОАО "Учалинский ГОК". При ликвидации заколов было получено обрушение 12–15 м^3 горных пород при срабатывании изделий с расстояния 150 м, в карьере произведено дробление кусков объемом от 2 до 5 м^3.

Заряды ЗДД использовались при дистанционном воздействии на объекты, при формировании откосов горных дорог, ликвидации заколов горных пород и обрушении неустойчивых или сильно трещиноватых массивов горных пород, которые могут обрушиться на полотно дороги. При этом заряды ЗДД устанавливаются в удобном месте на расстоянии до 100 м. Заряды ЗДД в производственных условиях испытаны при строительстве дороги на трассе Куляб-Хорог в республике Таджикистан и показали высокую эффективность [139; 173].

Для дистанционного воздействия на заколы, зависания использовались заряды ДРС -130

(К), ДРС- 260 (К), ДРС-160(Ф), ДРС-260 (Ф), которые в настоящее время не производятся промышленностью. Заряды ЗВБ и ЗДД обладают более высокими параметрами (диаметр от 50 мм до 300 мм и масса от 0,5 кг до 20 кг), что позволяет рекомендовать их для выполнения работ по разрушению негабарита и ликвидации зависаний в рудоспусках.

4.6 Технологические параметры вторичного дробления негабарита на карьерах с использованием конверсионных ВВ

Дробление негабарита на открытых горных работах взрывным способом с применением конверсионных ВВ производится с использованием накладных, кумулятивных зарядов и зарядов взрывного бурения. Кумулятивные заряды используются двух видов: осесимметричные кумулятивные заряды и линейные кумулятивные заряды с осевой симметрией. Осесимметричные кумулятивные заряды аналогичны по конструкции хорошо зарекомендовавшим себя кумулятивным зарядам типа ЗКП и ЗКН. Отличие состоит в использовании при их изготовлении конверсионных ВВ. Параметры кумулятивных зарядов отечественного и зарубежного производства (габариты, объем разрушаемого негабарита и расчетная энергия рабочего тела), применяемых для дробления негабарита, показаны в приложении Ж. Там же приведены параметры зарядов ЗВБ и ЗДД.

Опытными работами по дроблению негабарита [16; 17] показаны преимущества использования кумулятивных зарядов плоской симметрии, заключающиеся в снижении удельного расхода ВВ и возможности дробления без разлета осколков горных пород. Выполняются технологические операции при дроблении негабарита следующим образом. Негабаритные куски при экскавации раздробленной горной массы складывают на рабочей площадке. Взрывную сеть монтируют в соответствии со схемой рис. 4.36, при этом в зависимости от объема негабарита на нем размещается разное количество зарядов. Взрывание осуществляют в междусменные перерывы или при выполнении массового взрыва [19; 160; 161; 199; 271; 362].

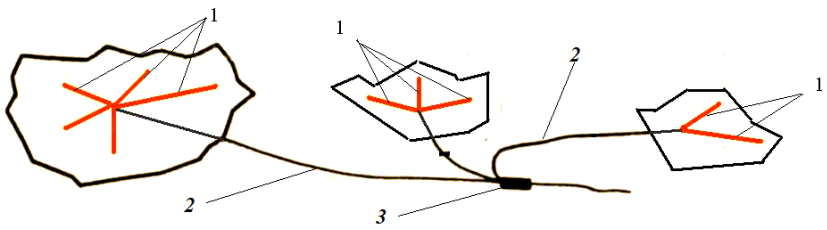


Рис. 4.36 - Схема размещения кумулятивных зарядов с плоской симметрией при дроблении негабарита: 1 - кумулятивные заряды с плоской симметрией;

2 - взрывная сеть из ДШ, ЭД или волноводов; 3 - инициирующее устройство

Схема взрывания с использованием сосредоточенных зарядов на основе конверсионных ВВ показана на рис. 4.37. В данном случае показано использование зарядов ПМ. Использование накладных зарядов наиболее эффективно для разрушения крепких хрупких пород.

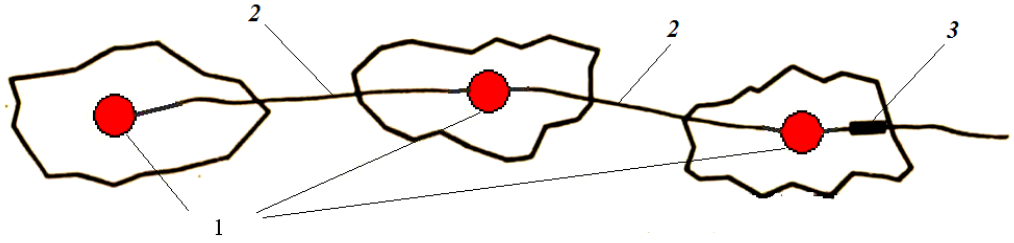


Рис. 4.37 - Схема размещения зарядов сосредоточенных зарядов ПМ при дроблении негабарита: 1 - сосредоточенные заряды ПМ; 2 - взрывная сеть из ДШ, ЭД или волноводов; 3 - инициирующее устройство

При использовании баллиститных шашек схемы размещения зарядов приведены на рис. 4.38. заряды могут размещаться сверху негабаритных кусков. В зависимости от объема негабарита заряды состоят из двух и более шашек. При невозможности размещения сверху негабаритного куска заряды размещаются сбоку на специальной подпорке.

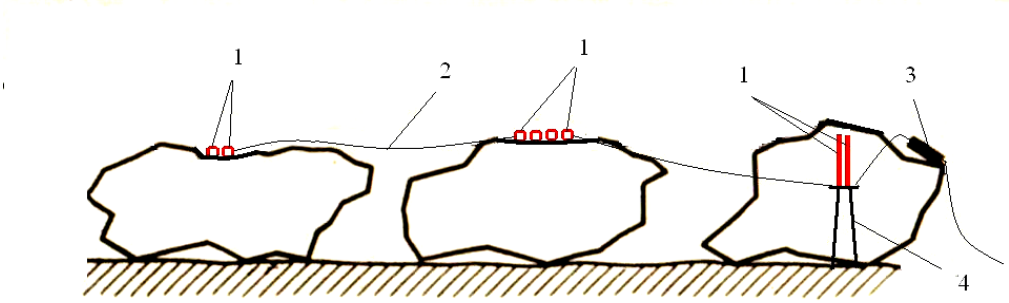


Рис. 4.38 - Схема размещения баллиститных шашек при дроблении негабарита: 1 – баллиститные шашки; 2 - взрывная сеть из ДШ, ЭД или волноводов; 3- инициирующее устройство; 4 - подпорки под шашки при их вертикальном расположении

С учетом использования конверсионных ВВ на ОАО «Лебединский ГОК», ГП «Гранит», ОАО «Учалинский ГОК», анализа взрывных работ при дроблении негабарита, рекомендаций [17; 19; 160; 161; 199; 219; 247; 268; 335; 357; 362] разработаны параметры вторичного

дробления негабарита на открытых горных работах с применением кумулятивных зарядов плоской симметрии и осесимметричных, сосредоточенных зарядов и зарядов, использующих принцип «ударного ядра» (табл. 4.21).

На основе обобщения опыта взрывного дробления негабарита на карьерах, анализа исследований и результатов работ, проведенных автором, разработаны научно-методические рекомендации «Использование конверсионных ВВ для вторичного дробления горных пород», включающие технологию взрывных способов вторичного дробления на карьерах.

Рекомендации содержат рассмотрение способов взрывного дробления негабаритов: сосредоточенными и кумулятивными зарядами. Рассмотрены конструкции кумулятивных зарядов плоской симметрии и дана оценка параметров. Приведены результаты отработки кумулятивных зарядов плоской симметрии на основе БРТ и их конструктивные параметры.

Показаны технологические схемы взрывных работ при дроблении негабарита на открытых горных работах, а также при вторичном дроблении руды и ликвидации заторов на подземных горных работах.

Разработанные рекомендации «Использование конверсионных ВВ для вторичного дробления горных пород» согласованы с ООО НПП «Самаравзрывтехнология» и предназначены для инженерно-технических работников различных отраслей горнорудной промышленности.

Таблица 4.21 - Рекомендуемые параметры взрывания при дроблении негабаритов горных пород на открытых горных работах с использованием конверсионных ВВ

Наименование зарядов	Тип ВВ	Масса ВВ, кг	Расход ВВ, кг/м^3	Объем негабарита, м^3
Кумулятивные заряды плоской симметрии				
КЗУ	ТНТ	10,6	0,2–0,3	3,5–5
КЗУ-2	ТГ-40	0,32	0,2–0,3	1–1,5
УКЗ –Л	ТГ, ТГА, МС	0,63–29,9	0,2–0,3	2 и более
ЗКЛБ	Утилизируемый порох	0,74–2,63	0,2–0,3	2–8
ЗЛ	БРТ	2,1–3,5	0,2–0,3	5–8
Кумулятивные заряды осесимметричные				
КЗ-2	ТГ-70	9	0,3–0,4	>10
КЗ-5	ТГ-50	8,5	0,3–0,4	>10
КЗ-6	ТГ-40	1,8	0,3–0,4	3–5
КЗ-7	ТГ-40	4,0	0,3–0,4	5–8
ЗКН-Б	БРТ	0,6–0,8	0,3–0,4	1,5–2
Сосредоточенные заряды				
Заряды сосредоточенные ПМ	ТНТ	6,5–8,0	1,5–2	3–5
СЗ-3	ТНТ	3,0	1,5–2	1,5–2

СЗ-3А	ТГ-50	2,8	1,5–2	1,5–2
СЗ-6	ТГ-50	5,9	1,5–2	3–4
СЗ-4П	ПВВ-5А	4,0	1,5–2	2–3
СЗ-6М	ПВВ-5А	6,0	1,5–2	3–4
Шашки БРТ	БРТ	2,0–4,0	1,5–2	1–1,5
Заряды, использующие принцип «ударного ядра»				
ЗВБ	ТГА	0,5–20	1,5–2	0,5–10
ЗДД	ТГА	0,5–20	0,6–2*	

*) ликвидации заколов горных пород и обрушении неустойчивых или сильно трещиноватых массивов горных пород

4.7 Выводы по главе

1 Одним из основных преимуществ технологии взрывания конверсионных ВВ является замена порохами дорогостоящих водоустойчивых промышленных ВВ. Однако, недостатками использования порохов является относительно высокая трудоемкость работ, связанная с ручным заряжанием, нетехнологичной тарой для погрузочно-разгрузочных работ и обязательным процессом флегматизации, токсичность продуктов взрыва. В комбинированных зарядах, в верхней части которых используется физически стабильное смесевое ВВ на основе поризованной АС, а в нижней обводненной части –флегматизируемые водой пороха, является хорошей технологической альтернативой водоустойчивым ВВ.

2 Обоснован метод расчета параметров БВР при разрушении высоких уступов крупномасштабными взрывами с использованием конверсионных ВВ, позволяющий определять необходимый запас энергии заряда в зависимости от высоты уступа, удельной энергоемкости взрывного разрушения пород и объемной концентрации энергии применяемого ВВ. Предложен методологический подход и обоснован расчет параметров, при котором изменение запаса энергии комбинированного заряда конверсионных ВВ задается кусочно-линейными функциями с учетом структурных особенностей горного массива - наличия включений горных пород с различными физико-механическими свойствами;

3 Разработан метод расчета технологических параметров при взрывании с сокращением длины перебура скважин при использовании баллиститных шашек с осевой полостью и определены параметры зарядов для проработки на уровне подошвы уступа в породах крепостью f=3-15;

4 Для взрывания со сниженным расходом бурения обоснован метод расчета активной части кумулятивного заряда плоской симметрии кольцевой формы и оценены пределы изменения массы и активной массы для зарядов одного габаритного размера с кумулятивной выемкой треугольной (2α=60°, 90° или 120°) и параболической формы;

5 Защищены авторскими свидетельствами и патентами методы и способы взрывания и отбойки горных пород (а.с. СССР 1520974, 1762614, 1764368), способы заряжания и формирования скважинных зарядов (а.с. СССР 1793789, 1805723), способ получения поризованной гранулированной аммиачной селитры (патент РФ 2600061), разработанные в рамках проведения диссертационной работы;

5 Разработана методика расчета при использовании конверсионных ВВ в технологии контурного взрывания, обеспечивающая в ближней зоне взрыва в горных породах сокращение зон смятия и интенсивного трещинообразования за счет создания контурных зарядов оптимальной объемной плотности заряжания. Установлена зависимость изменения оптимальной объемной плотности заряжания от параметров осевой полости заряда, задаваемая параболическими отношениями радиусов заряда, полости и скважины, и предложено при взрывании горных пород с различными физико-механическими свойствами регулирование осуществлять параметрами осевой полости;

6 Обоснован метод расчета активной части кумулятивного заряда плоской симметрии линейной формы с кумулятивной выемкой треугольной (2α=60°, 90° или 120°), сферической и параболической формы. Оценены параметры зарядов с треугольной формой кумулятивной выемки (2α=90º) в зависимости от высоты выемки при изменении диаметра от 40 до 100 мм. Рекомендованы параметры для дробления негабарита на открытых горных работах при использовании: зарядов бризантных ВВ и баллиститных шашек - удельный расход q=1,5–2 кг/м^3, максимальный объем негабарита $V_{нег}$=1–5 м^3, кумулятивных зарядов плоской симметрии - q=0,2–0,3 кг/м^3, $V_{нег}$=1–8 м^3, кумулятивных зарядов осесимметричных - q=0,3–0,4 кг/м^3, $V_{нег}$=1,5–10 м^3.

7 На основе работ, выполненных в рамках фундаментальных исследований Президиума РАН и Отделения наук о Земле по теме «Физико-техническоие основы и новые технологии разрушения высоких уступов крупномасштабными взрывами при освоении месторождений полезных ископаемых», с учетом опыта и анализа применения конверсионных ВВ на горных предприятиях черной и цветной металлургии, горно-химического и строительного сырья разработаны рекомендации: «Применение конверсионных взрывчатых веществ на открытых горных работах», «Применение конверсионных ВВ шашечного исполнения на открытых горных работах», «Контурное взрывание с использованием конверсионных взрывчатых материалов на карьере Тейского месторождения ОАО «Евразруда», «Использование конверсионных ВВ для вторичного дробления горных пород».

5 Взрывные технологии на подземных горных работах с использованием конверсионных ВВ

5.1 Обоснование параметров взрывания при использовании вертикальных концентрированных зарядов на очистных работах

Анализ горно-геологических условий и горнотехнических особенностей разрабатываемых месторождений показывает, что при добыче руд черных металлов требования взрывных технологий при подземном способе разработки сводятся к изменению технологических свойств массива горных пород, обеспечению безопасности объектов промышленной инфраструктуры и коммунальной структуры прилегающих территорий в отношении сейсмического действия взрыва, воздушной ударной волны.

Получившая распространение в России технология крупномасштабного взрывания с размещением больших масс ВВ в специально проходимых полостях - вертикальных концентрированных зарядах (ВКЗ) и пучках сближенных скважин показала возможность гибкого управления действием взрыва в рассматриваемой технологии взрывания. В вертикальных концентрированных зарядах диаметром 0,5-0,7 м при обеспечении соответствующего инициирования возникают условия детонации в идеальном режиме смесевых, простейших ВВ и смесевых составов на основе АС. Однако исследований в этом направлении применительно к условиям взрывания в геотехнологии проведено не было. Перспективным направлением для обеспечения управления действием взрыва в условиях взрывания зарядов ВКЗ является использование конверсионных ВВ.

Выполнение работ проводилось в рамках основных направлений фундаментальных исследований по приорететным направлениям Президиума РАН и Отделения наук о Земле РАН: «Теория и методология эффективного освоения недр» тема «Комплексное физико-техническое исследование технологии крупномасштабного взрывного разрушения массивов горных пород при разработке месторождений полезных ископаемых» (№ гос. регистрации 01.20.02.09755), в рамках Федеральной целевой программы "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 гг." (Соглашение № 14.607.21.0027 от 05 июня 2014 г.; уникальный идентификатор Соглашения: RFMEFI60714X0027).

5.1.1 Управление действием и работой взрыва вертикальных концентрированных зарядов

В железорудной промышленности основную роль играют месторождения железистых кварцитов и скарново-магнетитовые, которые характеризуются разнообразием морфологии

рудных тел и условий залегания, перемежаемостью различных типов руд между собой и вмещающими породами [218; 316].

При отработке месторождений железных руд Горной Шории и Хакасии системами с этажным принудительным обрушением применяют заряды ВКЗ, имеющие диаметр 0,7–0,9 м и длину равную высоте блока [263]. Площадь зарядной полости ВКЗ при проходке секционным способом превосходит проектное значение, вследствие чего заряд рассредоточивают воздушными или инертными промежутками. Наибольшее распространение получило заряжание промышленным взрывчатым веществом граммонитом 79/21. С технологической точки зрения взрывчатые вещества, используемые в зарядах ВКЗ, должны иметь низкую плотность, обеспечивающую заполнение всего объема зарядной полости. Мы рассматривали применение смесевых ВВ на основе: аммиачной селитра и полистирола - гранулит ПС, аммиачной селитры и древесных опилок - гранулит ОП, пористую аммиачную селитру – ПАС и поризованной АС (ПорАС), получаемой термической обработкой аммиачной селитры ГОСТ 2-2013 [89].

На характер распространения детонации влияет диаметр заряда. Максимальная скорость детонации достигается в заряде предельного диаметра, при детонации которого боковой разлет продуктов реакции не оказывает влияния на завершенность химических реакций в волне. Процесс детонации в зарядах большого диаметра, равных или больших предельного, например, для условий взрывания зарядов ВКЗ $d_{зар}$=0,7–0,9м характеризуется завершенностью процесса в зоне химических реакций детонационной волны. Для рассматриваемых условий могут быть определены характеристики идеальной детонации – скорость и другие параметры. Скорость идеальной детонации зарядов может быть определена расчетными методами с высокой точностью с помощью экспресс-методов [13; 34; 52; 466]. В качестве примера приводим расчет параметров детонации смеси селитры и полистирола, балансированной на нулевой кислородный баланс:

$$1{,}73\,NH_4NO_3 + 0{,}59\left(-C_8H_8-\right)_n = 4{,}7\,CO_2 + 25{,}8\,H_2O + 11{,}73\,N_2, \qquad (5.1)$$

Теплота взрыва $Q_{взр}$=950,79 ккал/кг, объем продуктов взрыва V_o=945,71 л/кг. Параметры детонации: D_u= 3958 м/с; U_u=1854 м/с; P_u=31,55 кбар; n =1,14. Плотность состава определяется из выражения:

$$\frac{1}{\rho_{см}} = \frac{\alpha_1}{\rho_1} + \frac{\alpha_2}{\rho_2} \qquad (5.2)$$

где α^1 и $^{\alpha_2}$ -массовая доля селитры и полистирола;

ρ_1, ρ_2 – насыпная плотность селитры и полистирола.

Для состава с нулевым кислородным балансом доли компонентов составляют:

$\alpha_{1АС}$=93,9%, $\alpha_{2Пол}$=6,1%, насыпная плотность, соответственно: ρ_1=850 кг/м^3; ρ_2=50 кг/м^3; $\rho_{см}$=430 кг/м^3.

Параметры идеальной детонации граммонита 79/21, гранулита ПС, гранулита ОП, пористой аммиачной селитры (ПАС), рассчитанные по методике [466], представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1. Параметры идеальной детонации промышленных и модельных ВВ в заряде ВКЗ

Наименование ВВ	ρ_o, г/см^3	D, м/с	$u_Н$, м/с	$P_Н$, кбар	n
Граммонит 79/21	0,85	5513	1922	90,1	1,87
Гранулит ПС	0,43	3958	1854	31,6	1,13
Гранулит ОП	0,99	5522	1651	90,5	2,34
Пористая аммиачная селитра (ПАС)	0,86	4269,5	1083	39,78	2,94

При заряжании зарядов ВКЗ, как показывает опыт ведения работ, при использовании Граммонита 79/21 создают 2-3 инертных промежутка [218; 263]. Длина инертного промежутка составляет 3,5–7,5 м, отдельной части рассредоточенного заряда - 4,5–6,5 м. При проходке секционным способом фактический диаметр зарядной полости доходит до 1,2м. При отношении длины заряда к диаметру $l_{зар}/d_{зар} \leq$3–5 отдельную часть рассредоточенного заряда ВКЗ можно рассматривать как сферический заряд, в котором наиболее целесообразным является размещение инициатора в центре. При инициировании рассредоточенных частей ВКЗ промежуточными детонаторами (сосредоточенными инициаторами) детонацию следует рассматривать как скользящую [34; 52].

При использовании линейного инициирования зарядов ВКЗ достигают изменения угла падения фронта детонационной волны на границу раздела «заряд ВВ-горная порода». При этом угол падения заключен в интервале $\alpha_c<\alpha<\alpha_н$ и зависит от соотношения скоростей детонации инициирующего и инициируемого ВВ $D_{ин}$ и $D_{зар}$.

5.1.2 Средства инициирования зарядов ВКЗ

Для инициирования зарядов ВКЗ могут быть использованы неэлектрические системы инициирования повышенной безопасности с ударно-волновой трубкой (УВТ). Они содержат навеску ВВ массой 20 мг/м и включают капсюли-детонаторы замедленного действия обеспечивающие прямое, обратное и многоточечное инициирование зарядов. Конструкция детонатора с использованием СИНВ–Ш [302] аналогична конструкции с использованием ДШНМ, представленной на рис.3.12а, где вместо ДШ используется волновод.

Для инициирования зарядов ВКЗ могут быть использованы детонирующие шнуры низкой энергии, нормальной и повышенной мощности, относящиеся к неэлектрическим средствам взрывания. На основе детонирующего шнура низкой энергии (ДШНЭ) создано устройство низкоэнергетическое системы инициирования (УНСИ). Основой устройства УНСИ [382] является ДШНЭ с соединительным элементом для магистрального ДШ и промежуточным детонатором на другом конце отрезка детонирующего шнура. Детонирующий шнур ДШНЭ состоит из непрерывной и равномерной нити эластичного взрывчатого состава в виде жгута круглого сечения с массой 1,4 г/м. Использование детонирующего шнура низкой энергии (ДШНЭ) позволяет обеспечить обратное инициирования зарядов ВКЗ (снизу вверх) или встречное инициирование рассредоточенных частей заряда, что усиливает эффект взаимодействия ударных волн от смежных зарядов или частей зарядов.

При использовании для инициирования зарядов ВКЗ детонирующего шнура нормальной мощности (ДШНМ), необходимо учитывать его способность вызывать в зарядах смесевых ВВ (например, граммонита 79/21) низкоскоростные режимы (НСР) взрывчатого превращения. По данным [234] скорость в сухом граммоните 79/21 при инициировании одной нитью ДШНМ составляет 1530 м/с, а четырьмя нитями ДШНМ - 1700м/с. В зарядах гранулита при инициировании одной нитью ДШНМ в радиальном направлении на расстоянии 30 мм скорость НСР составляет 730 м/с, на расстоянии 60 мм - 1500 м/с [89; 234].

При инициировании зарядов ВКЗ детонирующими шнурами повышенной мощности с навеской 30-50 г/м необходимо учитывать, что при использовании смесевых ВВ, содержащих взрывчатый компонент, ДШПМ возбуждает в зарядах детонацию.

Для инициирования зарядов ВКЗ могут быть использованы детонаторы неэлектрические для взрывных работ без ИВВ – СДБИ, передающие детонационный импульс от детонирующего шнура к промежуточному детонатору в зарядах ВВ. Отличие СДБИ от УНСИ состоит в том, что вместо инициирующего элемента мгновенного действия устройство содержит капсюль-детонатор без ИВВ с замедлением.

Использование детонирующих шнуров различной мощности в инициаторе на основе баллиститных шашек представлено в разделе 3. При использовании в конструкции ПД шашек Т-400Г рекомендуются детонирующие шнуры нормальной мощности с навеской ВВ 12–14 г/м (рис. 3.12а). Высокая инициирующая способность детонирующих шнуров повышенной мощности (навеска ВВ 20–50 г/м) обеспечивает эффективность их работы в конструкции ПД на основе баллиститных шашек. В аналогичной ПД могут использоваться шнуры нормальной мощности (навеска ВВ 12–14 г/м) при применении более чувствительных баллиститных шашек (РСИ, РНДСИ и др.) и навивке не менее 10 витков ДШ (рис. 3.12б).

Заряжание гранулированных ВВ в полость ВКЗ осуществляется пневматическим способом. Безопасное инициирование гранулированных ВВ, заряжаемых пневматическим способом, может осуществляться при использовании защищенных ЭД типа ЭД-24. Конструкция детонатора с использованием ЭД-24 может быть применена аналогично конструкции ПД на рис.3.12а. В этом случае ЭД-24 заменяет ДШ.

В качестве промежуточных детонаторов в зарядах ВКЗ для инициирования могут быть использованы шашки:

- тротиловые или сплава тротила с гексогеном.

- баллиститные.

Для совершенствования методов управления действием взрыва при крупномасштабной отбойке целесообразно при инициировании зарядов ВКЗ использование конверсионных ВВ.

Инициирование баллиститных шашек РСТ, РНДСИ, НДСИ, ФГ, ФСГ, КДСИ, Н, НМФ может быть произведено различными средствами инициирования [22; 67; 68; 337; 432]. На практике инициирование осуществляют: патронами-боевиками или промежуточными детонаторами (ПД), капсюлями-детонаторами (КД), электродетонаторами (ЭД), неэлектрическими детонаторами; детонирующими шнурами (ДШ) различной мощности (маломощными, нормальной мощности, повышенной мощности). Схемы боевиков и промежуточных детонаторов на основе баллиститных шашек с инициированием от ЭД, ПД и ДШ показаны на рис. 5.1. Изготовление боевиков из патронированных ВВ, прессованных или литых шашек бризантных ВВ осуществляется установкой КД, ЭД или ДШ в углубление (гнездо) патрона или сквозной канал шашки с заглублением. Боевик для взрывания от ДШ формируют при расположении ДШ снаружи и (или) внутри.

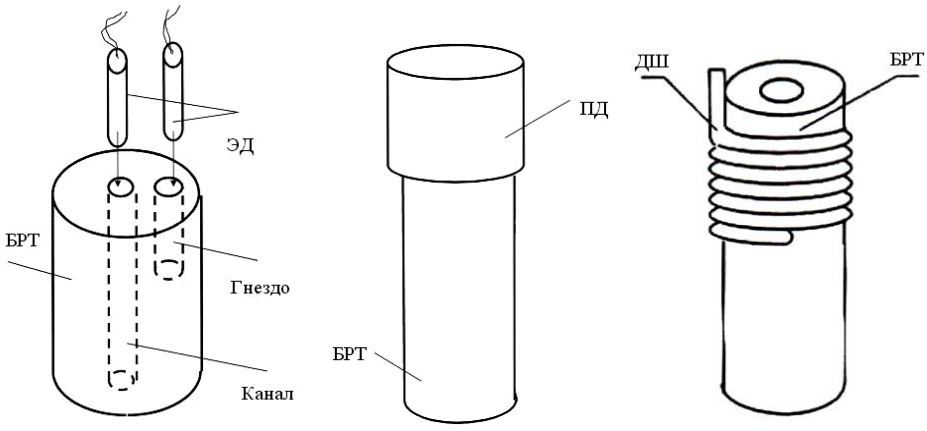


Рис.5.1 - Конструктивные схемы боевиков на основе БРТ

Минеральные добавки (углерод, металлы, окислы металлов или соли), имеющиеся в составе баллиститного ракетного топлива, играют роль дополнительных активных центров реакции и влияют на восприимчивость к инициирующему импульсу [23]. Наличие в баллиститном порохе минерала $CaCO_3$ (размер частиц $3 \cdot 10^{-4}$ см) меняет концентрацию активных центров, что ведет к снижению критического диаметра баллиститного пороха НБ с 8,5 мм до 3,2 мм, а баллиститного пороха Н с 28 мм до 5,6 мм.. В наибольшей степени влияют на снижение критического диаметра добавки *PbO, HgO* и Bi_2O_3 [21-23]. В перечисленных составах БРТ содержание технологических добавок от 0 до 6,4%, нитроцеллюлозы (НЦ) 54–59%, суммарного содержания труднолетучего растворителя - 35–42%. Размер частиц в технологических добавках баллиститных ракетных топливах (углерод, металлы, окислы металлов или соли) составляет порядка 10^{-5}–10^{-6} м. При прохождении по баллиститному ракетному топливу ударной волны технологические добавки играют роль дополнительных активных центров реакции [22].

Для возбуждения детонации в баллиститных шашках применяют промежуточные детонаторы, состоящие из двух шашек типа Т-400Г, ТГФ-850Э, БШД-800У, общей массой не менее 800 г, и детонирующего шнура типа ДШЭ-12 или ДША, или ДШВ. Инициирование ДШ производят с помощью электродетонаторов. Промежуточный детонатор крепится к шашке при помощи ленты с липким слоем (допускается крепление шнуром из хлопчатобумажных или синтетических нитей).

При использовании неэлектрических систем инициирования типа «Нонель», «СИНВ», «Эдилин» промежуточный детонатор должен состоять из шашки-детонатора типа ТГФ-850Э или БШД-800У, или другого типа общей массой не менее 800 г, и капсюля соответствующей системы инициирования.

Используемые в зарядах ВКЗ в качестве линейных инициаторов баллиститные шашки имеют массу от 1,7 до 3,5 кг на погонный метр, диаметр 38–65 мм и состоят из шашек длиной 350–600 мм.

5.1.3 Управление действием взрыва зарядов ВКЗ при использовании конверсионных ВВ

Управление действием взрыва зарядов ВКЗ возможно изменением угла падения фронта детонации на границу раздела «заряд ВВ-среда». Как показано в [32] в интервале для α от 0 до $\frac{\pi}{2}$ радиан характер изменения напряжений в отбиваемом массиве меняется более чем в 2 раза. Угол падения фронта детонационной волны на границу раздела «заряд ВВ-среда» зависит от

соотношения скоростей детонации инициирующего и инициируемого ВВ [62, 456]. Применение линейного инициирования зарядов ВКЗ позволяет осуществить режим инициирования в диапазоне от скользящей детонации (α_c=0 радиан) до нормального падения фронта ($\alpha_н$=π/2 радиан). В качестве линейных инициаторов используют конверсионные взрывчатые вещества: баллиститные шашки (порох Н), заряды из тротила или гексогена. Расчетные в соответствии [34] параметры детонации ВВ представлены в табл. 5.2. При инициировании зарядов сосредоточенным инициатором реализуется режим скользящей детонации.

Таблица 5.2 - Параметры детонации конверсионных ВВ, используемых в качестве линейных инициаторов

ВВ инициатора	ρ_o, г/см^3	D, м/с	$P_Н$, кбар
Баллистные шашки (порох Н)	1,58	7010	204
Тротил	1,59	6940	194
Гексоген	1,72	8500	310

При различных сочетаниях инициирующего (баллиститные шашки, тротил, гексоген) и инициируемого (гранулит ПС, гранулит ОП, пористая АС) ВВ угол падения фронта детонации на границу раздела «заряд ВВ-среда» α меняется от 0,488 до 0,924 радиан (табл. 5.3).

Таблица 5.3 - Угол падения фронта детонации α на границу раздела «заряд ВВ-среда» и параметры ударной волны

Инициатор	Угол падения фронта детонации α и давление на фронте ударной волны P					
	Гранулит ПС		Гранулит ОП		Пористая АС	
	α, рад	P, ГПа	α, рад	P, ГПа	α, рад	P, ГПа
Тротил	0,592	8,56	0,924	10,00	0,662	8,87
Баллиститный порох Н	0,592	8,56	0,906	9,92	0,646	8,80
Гексоген	0,488	8,11	0,696	9,01	0,524	8,27

Используя имеющиеся литературные данные [32], установим вид зависимости параметров волны напряжений при инициировании $P = f(\alpha)$. При взрыве в скальной горной породе (гранит или полевой шпат) расчетные параметры волны напряжений при нормальном падении составляют $P_\perp$ = 12,8 ГПа и при скользящей детонации - $\underline{\underline{P}}$=6,0 ГПа. Сделаем допущение, что изменение параметров происходит линейно, тогда можно записать

$$P = \frac{\left(P_\perp - \underline{\underline{P}}\right)}{\frac{\pi}{2} - 0}\alpha + \underline{\underline{P}} = \frac{2\left(P_\perp - \underline{\underline{P}}\right)}{\pi}\alpha + \underline{\underline{P}} = 2\left(P_\perp - \underline{\underline{P}}\right)\frac{\alpha}{\pi} + \underline{\underline{P}}$$

, ГПа, (5.3)

где $\overline{P}$ и $P_{\perp}$ - давление на фронте волны напряжений на границе раздела «заряд ВВ-среда» при скользящей детонации и нормальном падении, ГПа; α - угол падения фронта детонационной волны при линейном инициировании, радиан. Переходя к численным значениям параметров $\overline{P}$ и $P_{\perp}$, зависимость $P = f(\alpha)$ при отбойке в граните или полевом шпате имеет вид

$$P = 13{,}6\frac{\alpha}{\pi} + 6 \text{, ГПа} \qquad (5.4).$$

Рассчитанные в соответствии с предлагаемым подходом параметры волны напряжений представлены в табл. 5.3. В диапазоне изменения α от 0,488 до 0,924 радиан параметры волны напряжений изменяются от 8,11 до 10 ГПа.

Осуществим выбор параметров бинарных зарядов ВКЗ на основе пористой (ПАС) и поризованной (ПорАС) аммиачной селитры и конверсионных ВВ. В рассматриваемых зарядах ВКЗ линейный инициатор представляет собой гирлянду шашек соответствующего ВВ [87]. Используемые в качестве линейных инициаторов конверсионные ВВ (табл.5.4) имеют КБ от -22 до -74%. Полное окисление продуктов взрыва (в зоне вторичных реакций) и выделение максимальной энергии взрывчатого превращения заряда из ПАС и линейных инициаторов обеспечивается при нулевом кислородном балансе (КБ). Для получения нулевого КБ заряда ВКЗ отношение массы ПАС или ПорАС и инициатора будут при сочетании ПАС или ПорАС - баллиститный порох Н – 2,3/1; ПАС или ПорАС - тротил – 3,7/1; ПАС или ПорАС - гексоген – 1,1/1. Как видно из представленных данных сочетание ПАС или ПорАС - гексоген является технически нереализуемым.

Таблица 5.4 - Соотношение компонентов в бинарных зарядах: ПАС или ПорАС -конверсионные ВВ

Компонент заряда ВКЗ	КБ компонента, %	Соотношение компонентов в заряде ВКЗ		
		Баллиститная шашка	Тротил	Гексоген
Баллиститный порох Н	- 46	1	-	-
Тротил	- 74	-	1	-
Гексоген	- 22	-	-	1
ПАС или ПорАС	+ 20	2,3	3,7	1,1

При близких взрывчатых параметрах (скорости детонации) ПАС и ПорАС [89], имеющееся различие в насыпной плотности ПАС (ρ=0,86 г/см^3) и ПорАС (ρ=0,93 г/см^3), позволяет получать различную объемную концентрацию энергии заряда.

Возможность эффективного и безопасного применения конверсионных ВМ в зарядах ВКЗ определяет их чувствительность к ударно-волновым воздействиям, чувствительность к первичным средствам инициирования.

5.1.4 Конструкции зарядов ВКЗ с сосредоточенными инициаторами на основе конверсионных ВВ

Конструкция зарядов ВКЗ при применении ВВ, заряжаемых с созданием инертных промежутков в заряде (граммонит 79/21, граммотол, гранулит НК и др.), использует схему с 2–3 промежутками [397; 427]. Длина инертного промежутка составляет 3,5–7,5 м, отдельной части рассредоточенного заряда 4,5–6,5 м. Фактический средний диаметр зарядной полости составляет 1,2–1,5 м. В этом случае отдельную часть рассредоточенного заряда ВКЗ можно рассматривать как сферический заряд, т.к. отношение *l/d* не превышает 3–5. Инициирование каждой части заряда производят размещаемыми в центре сосредоточенными детонаторами (рис. 5.3).

Рис. 5.3 - Конструкция заряда ВКЗ при использовании граммонита 79/21 и сосредоточенных инициаторов

Рис. 5.4 - Конструкция заряда ВКЗ при использовании гранулита ПС и сосредоточенных инициаторов

В случае использования ВВ, заряжаемых на полный объем ВКЗ (гранулит ПС, гранулит ОП), размещение сосредоточенных инициаторов производится через 5-6 м по высоте заряда, причем верхний и нижний инициаторы располагаются не ближе 2,5–3 м соответственно от верха и низа заряда ВКЗ (рис. 5.4). При использовании гранулита ОП применяют усиленные промежуточные детонаторы из шашек БРТ (рис. 3.12а, 3.12б).

5.1.5 Конструкции зарядов ВКЗ с линейными инициаторами на основе конверсионных ВВ

При использовании ВВ, заряжаемых на полный объем ВКЗ (гранулит ПС, гранулит ОП), осуществляют линейное инициирование, обеспечивающее возможность изменения угла падения фронта детонационной волны на границу раздела «заряд ВВ-среда». В заряде ВКЗ размещают инициирующие элементы равномерно по всему сечению заряда, располагая их вдоль оси коммутационных скважин, остающихся в предохранительном целике при проходке ВКЗ секционным методом. В качестве линейных инициаторов в ВКЗ используют заряды из баллиститных шашек, шланговые заряды из тротила или гексогена, из которых формируют гирлянды (рис.5.5).

Анализ техники и технологии взрывных работ [33; 89] показывает, что при использовании пористой (ПАС) или поризованной (ПорАС) аммиачной селитры (рис. 5.6) в ВКЗ с линейным инициированием может существенно улучшиться качество дробления горных пород (выход негабарита снижается на 15-20%). При этом обеспечение нулевого кислородного баланса необходимого для полного окисления элементов (в зоне вторичных реакций) и выделения максимальной энергии взрывчатого превращения бинарных зарядов, состоящих из аммиачной селитры и конверсионных ВВ, производится с учетом кислородного баланса последних (табл.5.4).

Для отбойки пучками сближенных скважин малоустойчивых рудных тел разработан способ взрывания [323], обеспечивающий создание специальных конструкций зарядов с использованием конверсионных ВВ и специальным наполнителем. В заряжаемую скважину вводят патрубок с закрепленным на конце герметизирующим элементом, снабженным лепестковым клапаном, и подают ВВ, которое по мере наполнения скважины вытесняет патрубок в сторону устья. Когда герметизирующий элемент доходит до устья, подачу ВВ прекращают и патрубок извлекают; при этом запорный клапан перекрывает вводное отверстие. Затем в это отверстие вставляют анкер. После полимеризации ВВ конструкция выполняет функцию крепи. При ведении взрывных работ в трубчатый анкер вводят патрон-боевик, соединенный детонирующим шнуром с детонатором. Подготовленные таким образом скважины соединяют во взрывную сеть и производят их взрывание.

На основе обобщения опыта взрывания вертикальных концентрированных зарядов и результатов проведенных исследований составлены научно-методические рекомендации «Инициирование вертикальных концентрированных зарядов (ВКЗ) с использованием конверсионных взрывчатых материалов».

Рис. 5.5 - Конструкция заряда ВКЗ при заряжании гранулитом ПС с линейным инициированием

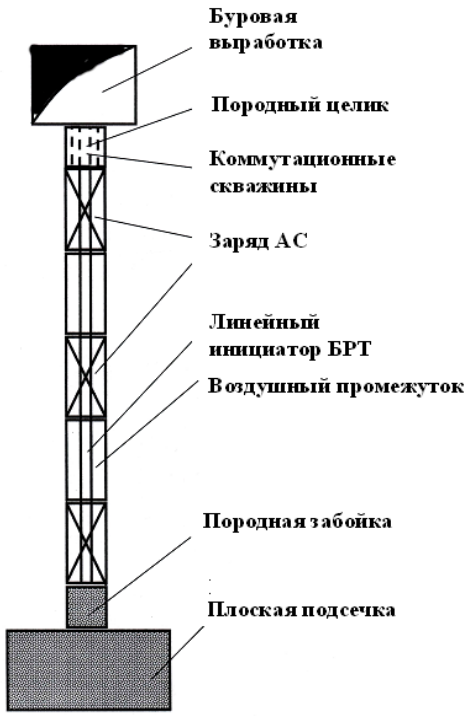


Рис. 5.6 - Конструкция заряда ВКЗ при заряжании ПАС или ПорАС с линейным инициированием БРТ

В рекомендациях рассмотрены методы управления энергией и действием взрыва зарядов ВКЗ в железорудной промышленности, вопросы чувствительности КВВ к практическим видам инициирующего импульса, управления параметрами нагружения горных пород при использовании КВВ. Приведены соотношения компонентов при применении инициаторов различного состава. Показана эффективность применения детонирующих шнуров различной мощности и средств взрывания для инициирования зарядов ВКЗ. Представлены конструкции зарядов ВКЗ при использовании сосредоточенных и линейных инициаторов.

Рекомендации «Инициирование вертикальных концентрированных зарядов (ВКЗ) с использованием конверсионных взрывчатых материалов» согласованы с ОАО «Евразруда» и предназначены для инженерно-технических работников, занимающихся вопросами использования взрыва в горнодобывающей промышленности.

5.2 Технология взрывных работ в условиях проходческого забоя

Подготовка запасов к выемке на подземных горных работах зависит от выполнения подготовительных и нарезных работ. Проведение горных выработок в крепких горных породах является трудоемким процессом подземной разработки полезных ископаемых. Технология проходки горных выработок основана на взрывном разрушении горных пород с применением шпуров и скважин [125]. Эффективность проходки зависит от коэффициента использования

шпуров и скважин и на большинстве предприятий не превышает 0,75–0,8. Одной из причин низкой эффективности проходки является неполное использование энергии взрывчатых веществ, в том числе при образовании врубовой полости.

Многочисленные работы по исследованию действия шпурового заряда в проходческом забое не дают четких и однозначных ответов на вопросы по выбору глубины шпуров, их диаметра и места расположения. Предложенные методы определения числа шпуров в забое, их глубины, метода инициирования зарядов не позволяют определять параметры, удовлетворительно совпадающие с практикой.

Выполнение работ проводилось в рамках фундаментальных исследований Президиума РАН и Отделения наук о Земле РАН:

«Теория и методология эффективного освоения недр» тема «Комплексное физико-техническое исследование технологии крупномасштабного взрывного разрушения массивов горных пород при разработке месторождений полезных ископаемых» (№ гос. регистрации 01.20.02.09755),

«Проблемы комплексного освоения недр Земли и новые технологии извлечения полезных ископаемых из минерального и техногенного сырья» тема «Геомеханические, гидродинамические и газодинамические процессы в техногенно изменяемых массивах горных пород» раздел «Развитие теории, методов исследования, прогноза опасных геомеханических процессов и физики разрушения массивов горных пород при освоении недр Земли» (№ гос. регистрации 01.02.007 04493), раздел «Физико-технические основы и новые технологии разрушения высоких уступов крупномасштабными взрывами при освоении месторождений полезных ископаемых» (№ гос. регистрации 01.02.0 503842),

«Комплексное освоение недр и подземного пространства Земли, разработка новых методов освоения природных и техногенных месторождений» тема «Теоретическое и экспериментальное изучение геомеханических процессов структурных преобразований массивов горных пород, обоснование новых способов их разрушения и развитие научных основ борьбы с опасными гео- и газодинамическими явлениями в шахтах и рудниках» (№ гос. регистрации 012000953085) раздел «Исследование геомеханических процессов структурных преобразований массивов горных пород и обоснование новых способов их взрывного разрушения», раздел «Геомеханические, гидродинамические и газодинамические процессы в техногенно изменяемых массивах горных пород»,

по планам работ института ИПКОН РАН, а также планам научно-исследовательских работ института «Росконверсвзрывцентр».

Заряды конверсионных взрывчатых веществ при проведении выработок проходили промышленную проверку на горных и специализированных предприятиях по ведению

взрывных работ: ОАО «Учалинский ГОК», ОАО «Лебединский ГОК», Научно-производственный центр «Экоресурсы» регионального отделения КМА академии естественных наук, ОАО «НТЦ «Росвзрывбезопасность» и др.

5.2.1 Особенности взрывной технологии при проведении подземных выработок

Из известных теоретических представлений о действии взрыва следует, что распространение волн напряжений от взрыва заряда вызывает нарушение сплошности пород в виде образования радиальных и концентрических трещин преимущественно в сторону свободной поверхности. В других направлениях волна напряжений рассеивается и частично трансформируется в сейсмическую волну. Поршневым действием продукты взрыва воздействует на стенки шпура и на поверхность вновь образованных трещин, получающих дальнейшее развитие в сторону свободной поверхности. Образовавшаяся призма разрушения под давлением продуктов взрыва смещается, что приводит к прорыву газов в атмосферу и ее дальнейшему ускоренному смещению. Как считает [113] в разрушении массива участвует энергия заряда ВВ, передаваемая боковой поверхностью заряда в пределах призмы разрушения. Данный подход позволяет сформулировать закономерности формирования воронки взрыва при проведении горных выработок и установить долю энергии шпурового заряда ВВ, участвующей в разрушении горного массива в пределах контура воронки взрыва [113]. Энергия активной части заряда пропорциональна площади сегмента заряда, заключенного между образующими воронки взрыва, продолженными до центра заряда. Остальная часть энергии заряда расходуется на разрушение стенок шпура и практического интереса не представляет. Соответствующая площади сегмента активная часть заряда может быть определена из выражения:

$$Q_a = \frac{\pi r^2}{360^\circ} \alpha \gamma l \quad , \tag{5.5}$$

где r - радиус заряда (шпура), см; α - угол раствора воронки взрыва, градус; γ - плотность ВВ, г/см^3; l - длина заряда, см.

Активная часть заряда ВВ в шпурах колеблется от 4 до 36% [113] при среднем значении 22%. Угол раствора воронки зависит от местоположения шпура и ширины плоскости обнажения. Совершенствование технологии взрывных работ при проведении горных выработок может быть достигнуто за счет изменения характера разрушения при использовании направленного действия взрыва. В кумулятивном заряде в локальном направлении - вдоль оси кумулятивной выемки - происходит рост давления и возрастание плотности энергии [78; 79; 113; 242]. Кумулятивные заряды с плоской симметрией обладают важным свойством - усиленное разрушающее действие заряда проявляется вдоль линии симметрии кумулятивной

выемки. В работах [73; 277; 447] показана локализация кумулятивного воздействия в зависимости от угла раствора кумулятивной выемки. При углах раствора кумулятивной выемки 45°–60° зона кумулятивного воздействия локализована в полосе 0,2–0,4 диаметра заряда. Рассматриваемая конструкция заряда способствует интенсификации разрушения горных пород при проведении горных выработок в крепких горных породах.

Таким образом, одним из направлений повышения эффективности проходки подземных горных выработок следует считать повышение доли энергии заряда, расходуемой на полезную работу разрушения горного массива, использования зарядов направленного действия. Дальнейшее совершенствование может быть достигнуто также за счет управления энергией заряда (повышения объемной концентрации энергии) во врубовых шпурах, надежного инициирования зарядов.

Шпуровые заряды при проведении горных выработок различаются по условиям взрывания, что следует из отличий в ЛНС шпуров и изменения конфигурации обнажения. При проведении выработок шпуры при обуривании забоя делят на три группы: врубовые, отбойные и оконтуривающие. Назначение каждой группы шпуров определяется условиями взрывания. Врубовые шпуры работают в наиболее неблагоприятных условиях при одной обнаженной поверхности и образуют воронку взрыва, форма которой зависит от типа вруба. Отбойные шпуры, производящие основную работу по отбойке породы, благодаря врубовой полости, имеют вторую дополнительную обнаженную поверхность. Оконтуривающие шпуры взрываются последними и придают выработке проектное сечение. В зависимости от свойств пород и особенностей забоев применяют различные виды врубов. При применении буровых кареток широкое применение получили клиновые и призматические врубы.

После взрыва шпуров клинового вруба образуется клиновая выемка. Число шпуров в клиновом врубе и угол их наклона определяются [184; 230], в основном, крепостью пород. При увеличении крепости пород уменьшают расстояние между парами шпуров и увеличивают их число. Прямые врубы имеют различные комбинации параллельных шпуров. Основным преимуществом прямых врубов является независимость глубины шпуров от сечения выработки, сокращение длины отбрасывания породы по сравнению с клиновыми врубами. На рис. 5.8 показано расположение шпуров вертикального клинового (а) и прямого призматического (б) врубов [359].

При шпуровом методе отбойки горных пород при проходке горных выработок условия взрывания характеризуются следующими параметрами:

диаметр шпуров от 30 до 65 мм;

глубина шпуров 1,8–3,0 м, реже глубина достигает 5,0 м;

направление шпуров - горизонтальное или слабонаклонное при проходке горизонтальных выработок, вертикальное при проходке вертикальных выработок.

взрывчатые характеристики ВВ:

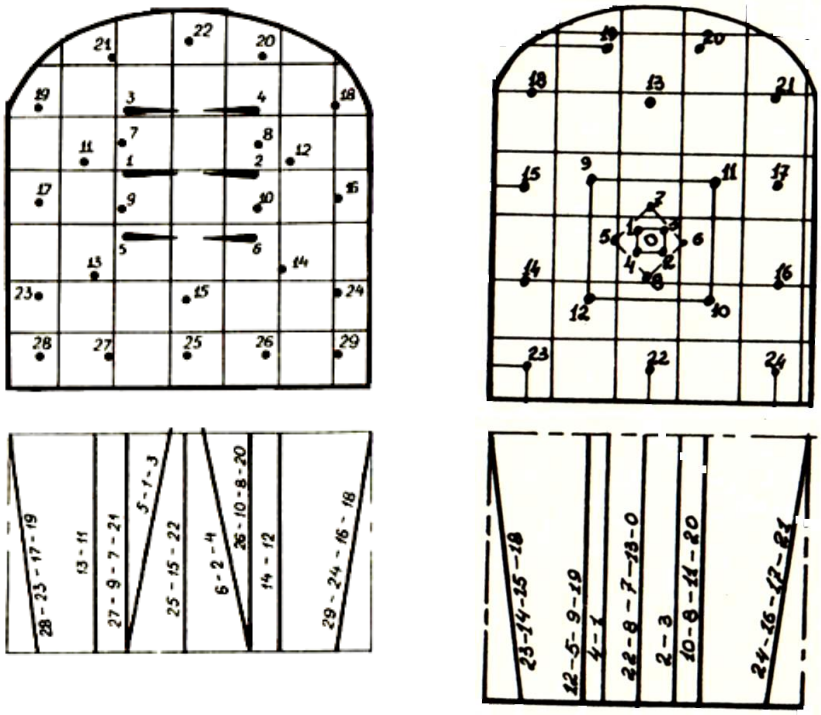
удельная энергия 3800–4500 кДж/кг;

критический диаметр детонации должен быть меньше диаметра шпура;

восприимчивость к детонации - инициирование от практических средств инициирования (ЭД, неэлектрические системы инициирования);

расстояние передачи детонации 20–30 мм;

плотность заряжания 1,0–1,4 г/см^3.



а) б)

Рис. 5.8 - Расположение шпуров в забое с вертикальным клиновым (а) и прямым призматическим (б) врубами

Рассматриваемым требованиям отвечает достаточно широкий ассортимент конверсионных ВВ [278]. К ним могут быть отнесены баллиститные шашки диаметром от 28 до 45 мм, гексогеносодержащие составы, а также смесевые ВВ на основе пироксилиновых зерненных порохов (ПП), аммиачной селитры (АС), ТНТ, гексогена.

5.2.2 Инициирование шпуровых и скважинных зарядов на проходческих работах

Исследование инициирования зарядов направлено на поиск путей увеличения степени использования энергии ВВ на полезные формы работы взрыва, исключение низкоскоростных

режимов взрывчатого превращения промышленных ВВ и повышение надежности взрывных работ. Воздействие ударно-волнового импульса на заряд ВВ приводит к образованию в соприкасающейся области зоны сжатия и разогреву в ней ВВ. Параметры очага разогрева [52] определяются природой и физическим состоянием инициируемого ВВ, характеристиками инициирующего устройства.

Исследования по определению влияния способа инициирования на степень использования энергии взрыва на полезные формы взрыва представлены в главе 3. Анализ результатов проведенных испытаний позволил установить следующее:

– объем разрушения горного массива при обратном инициировании гранулита АС-8 на 25–30 % больше объема разрушения граммонита 79/21;

– при линейном инициировании детонирующим шнуром ДША, ДШЭ-30 граммонита 79/21 разрушаемый объем составляет 0,55–0,6 от объема при обратном инициировании;

–изменение объема разрушения при инициировании ВВ одного типа (граммонита 79/21 или гранулита АС-8) детонируюшими шнурами существенно разной мощности (навеска ВВ 2-30 г/пм) находится в пределах ошибки измерений (КИШ 0,86–0,88 и 0,79–0,80 соответственно типам ВВ).

При моделировании инициирования в различных условиях взрывания (обводненность шпуров и скважин) исследовалась восприимчивость к детонации от импульса бризантного ВВ (А-IX-2) при использовании в промежуточном узле шашек с различными параметрами. Шашки первого типа имели длину l=40,5 мм, диаметр d=19,7 мм, массу m=14 г. Шашки второго типа инициировались от детонирующего шнура ДШЭ-12 и ДШВ-30 с навеской ВВ 12 и 30 г/пм соответственно. Гнездо в шашке имело диаметр d=9 мм и длину l=16 мм, шашки 2 типа имели длину l=50,5 мм, диаметр d=23,5 мм, массу m=37 г [432]. Анализ экспериментов показывает, что при массе шашки А-IX-2 более 14 г происходит надежное инициирование зарядов из баллиститных шашек РНДСИ, ФГ, ФСГ, НМФ. Величина минимального тротилового заряда при возбуждении баллиститных шашек [432] составляет: РНДСИ - 10 г, РСТ - 20 г, ФГ - 40 г.

Конструкция ПД с узлом инициирования для электродетонатора состояла из баллиститных шашек РНДСИ -5К, НМФ-2Д, ФСГ-2, ФГ-14, ФСГ-14, Н-13, НА-13, НМ2-13. В дополнительном узле использовались шашки массой от 3 до 37 г. Анализ проведенных исследований показал:

- инициирование баллиститных шашек РНДСИ-5К производится непосредственно от электродетонатора;

- инициирование баллиститных шашек ФГ-14, ФСГ-14, ФСГ-2 производится при наличии от дополнительного узла массой 6–8,6 г;

- инициирование баллиститных шашек Н-13, НА-13, НМ-13 производится при наличии дополнительного узла массой 16 г;

- инициирование баллиститных шашек НМФ-2Д производится при наличии дополнительного узла массой 37 г.

Конструкция ПД из баллиститных шашек с узлом инициирования для детонирующего шнура включала намотку детонирующего шнура виток к витку по образующей заряда. Инициирование производилось от 5, 6, 9 и 10 витков ДШ. При 5-9 витках ДШ наблюдались отказы, полное срабатывание зафиксировано от 10 витков (девять испытаний).

Детальные изложение результатов исследований по отработке элементов конструкции промежуточного детонатора на основе конверсионных ВВ для проходческих работ приведено в приложении И.

Штатные средства инициирования были представлены патронами аммонита № 6 ЖВ и аммонала, а также патронами БПА-Б ТУ 7508405-170-99. На восприимчивость к инициирующему импульсу штатных средств испытывались баллиститные шашки РНДСИ, КДСИ, ФГ, ФСГ с использованим патронов аммонала весом 200 г и патронов БПА-Б ТУ 7508405-170-99 весом 400 г, которые крепились встык к торцевой и в накладку к боковой поверхности баллиститных шашек РНДСИ. Баллиститные шашки КДСИ, ФГ, ФСГ диаметром 37-38 мм инициировались патроном аммонита 6 ЖВ массой 300 г закрепленного встык к торцевой поверхности.

5.2.3 Заряды направленного действия на проходческих работах

Анализ теоретических и экспериментальных исследований показывает, что при проходке горных выработок повышение коэффициента использования энергии взрыва возможно за счет использования зарядов направленного действия.

В работах [78; 79; 113] экспериментальными исследованиями показана возможность применения кумулятивных зарядов с плоской симметрией для взрывной отбойки горных пород. На основе испытаний кумулятивных зарядов с плоской симметрией диаметром 46 мм из промышленного ВВ (аммонит 6ЖВ и др.) определена глубина пробоя для врубовых, отбойных и оконтуривающих шпуров. Было установлено, что кумулятивные заряды с плоской симметрией при малых размерах обнажений имеют значительно большую пробивную способность, чем обычные заряды. С возрастанием размеров обнаженной поверхности разница в пробитии горного массива уменьшается. Экспериментально получена зависимость ЛНС от поперечных размеров полости обнажения для кумулятивных зарядов плоской симметрии и цилиндрических зарядов, позволяющая положить найденные значения ЛНС в основу

составления паспортов буровзрывных работ для кумулятивных зарядов плоской симметрии. В рассматриваемых работах недостаточно изучены вопросы влияния геометрических параметров заряда, энергетических характеристик ВВ, размеров обнаженной поверхности на изменение величины активной части шпурового заряда.

В главе 4 приведен детальный анализ исследований действия кумулятивных зарядов линейной формы, созданы основы определения параметров кумулятивных зарядов плоской симметрии, представлены материалы экспериментальной отработки параметров зарядов и параметров БВР. На основе аналитического определения параметров кумулятивных зарядов плоской симметрии, испытаний разработанных конструкций зарядов получены результаты, положенные в основу способов повышения эффективности проходки с применением конверсионных ВВ.

5.2.4 Технология взрывных работ при использовании конверсионных ВВ на проходке горных выработок

Параметры отбойки (тип вруба, число шпуров, глубина шпуров, расчетный КИШ) определяются на основании типовых методов расчета [113]. Увеличение значения ЛНС врубовых шпуров достигается увеличением активной части врубового заряда при применении конверсионных ВВ. Определение активной части заряда осуществляется на основании представленного ниже расчетного метода.

При проходке горных выработок изменяемыми параметрами взрывания является: форма вруба, расположение шпуров в забое, число шпуров, глубина шпуров, величина уходки на один взрыв (КИШ), величина зарядов. Высокий КИШ, характеризующий эффективность проведения выработок, определяет работа комплекта врубовых шпуров. Рассмотрим технологические вопросы с применением во врубовых шпурах зарядов с повышенной объемной концентрацией энергии. Проработка врубовой полости обеспечивает улучшение работы вспомогательных и оконтуривающих шпуров. Для увеличения объема разрушения во врубовой полости используют заряды с повышенной объемной концентрацией энергии.

Анализ исследований разрушения горных пород взрывом показывает, что при проведении горных выработок характер воздействия взрыва на массив определяется параметрами части заряда ВВ, называемой активной, энергия которой расходуется на полезные формы работы взрыва. В цилиндрических зарядах параметрами, влияющими на активную часть заряда, являются диаметр заряда, энергетические характеристики ВВ, ширина полости обнажения, линия наименьшего сопротивления, физико-механические свойства пород.

Построим модель взрывания шпуровых зарядов при проходке горных выработок. При использовании цилиндрических зарядов в первичном разрушении массива в пределах контура воронки взрыва [113] участвует активная часть заряда, энергия которой пропорциональна площади сегмента заряда, заключенного между образующими воронки взрыва, продолженными до центра заряда (рис. 5.9). Активная часть заряда может быть определена из выражения (5.5). При обнаженной поверхности b секторы S_1 и S_2 определяют активную часть заряда для различной величины линии наименьшего сопротивления шпурового заряда $W_1<W_2$. Изменение диаметра заряда ведет к изменению активной части заряда на величину

$$\Delta_1 Q_a = \frac{\pi \alpha \gamma l}{360^\circ}\left(r_2^2 - r_1^2\right) \qquad (5.6).$$

Для ВВ с плотностью γ_2 и теплотой взрыва q_2, отличающихся от использованных в [113], сосредоточенная в активной части заряда энергия составляет

$$\Delta A = \frac{\pi \alpha\ l r^2}{360^\circ}\gamma_2 q_2 \qquad (5.7).$$

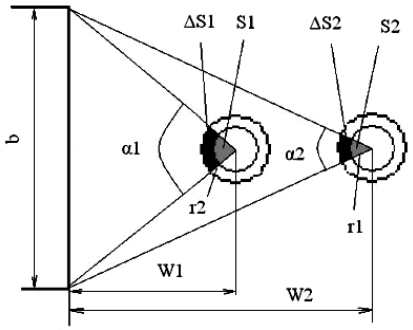


Рис. 5.9 - Величина активной части шпурового заряда

При проведении горных выработок шпуровые заряды различаются по условиям взрывания и работы, что следует из отличий в линии наименьшего сопротивления врубовых, вспомогательных и оконтуривающих шпуров, изменения конфигурации обнажения в процессе расширения врубовой полости. Врубовые шпуры работают в наиболее неблагоприятных условиях при одной обнаженной поверхности и образуют воронку взрыва, форма которой зависит от типа вруба. Отбойные шпуры, производящие основную работу по отбойке породы, благодаря образованной врубовой полости имеют вторую дополнительную обнаженную поверхность. В зависимости от свойств пород и особенностей забоев применяют различные типы врубов. При применении буровых кареток широкое применение имеют клиновые и призматические врубы.

Работа комплекта врубовых шпуров во многом определяет эффективность проведения выработок. Для увеличения объема разрушения при образовании врубовой полости использовались заряды с повышенной объемной концентрацией энергии. Заряды с повышенной

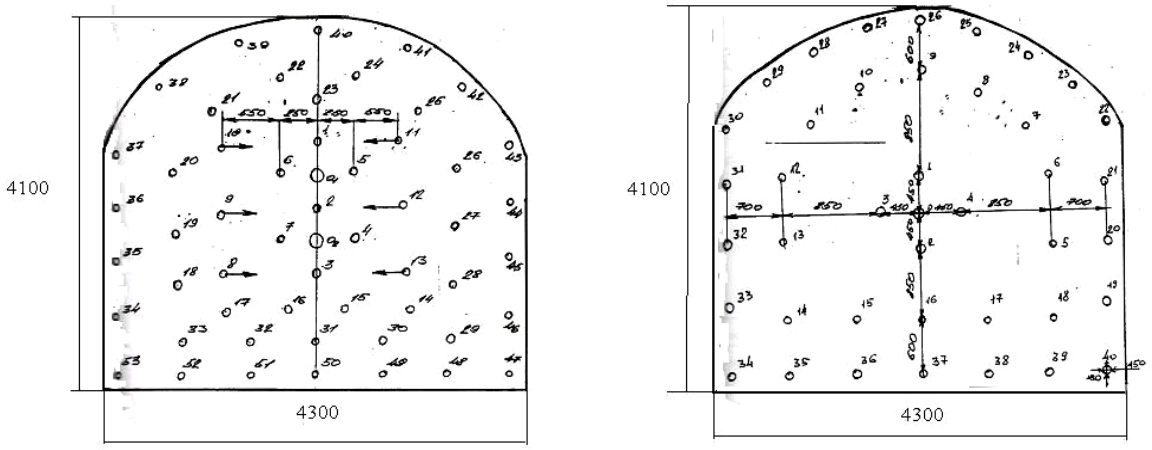
объемной концентрацией энергии могут быть созданы на основе конверсионных ВМ, имеющих теплоту взрыва 4–4,5 МДж/кг и плотность заряжания 1,58–1,6 г/см^3. Исследования на Учалинском ГОКе проводились в подземном руднике при проходке погрузочного штрека гор. 380 м и орта гор 350 м [397, 405]. Выработки имели ширину 4,3 м и высоту 4,1 м. Типовой паспорт БВР включал 53 шпура длиной 2,5 м (рис. 5.10). Конверсионные ВМ (баллиститные шашки РНДСИ-5К) использовали в качестве врубовых зарядов в призматическом врубе в опытном паспорте, который содержал 40 шпуров. Инициирование практическими видами взрывного импульса (от ПД, патрона аммонала, электродетонатора и детонирующего шнура) выявили высокую эффективность инициирования от ДШЭ-12 (10Э нитей) и ПД (марки БПА-Б).

При использовании баллиститных шашек РНДСИ-5К диаметром 46 мм в активной части заряда будет сосредоточена масса взрывчатого вещества, пропорциональная изменению диаметра и плотности заряда относительно штатного ВВ (аммонита 6ЖВ), что позволяет увеличить W врубовых шпуров в $\sqrt[3]{\frac{\rho_i^{кв} d_i^2}{\rho_{вв} d_{40}^2}} = \sqrt[3]{\frac{1{,}6 \cdot 46^2}{0{,}9 \cdot 40^2}}$ =1,325 раз. Энергия активной части врубового шпурового заряда увеличится на величину

$$\Delta A_1 = \frac{\pi \alpha l}{360^\circ}\left((\gamma_2 q_2 - \gamma_1 q_1) r_1^2 + \left(r_2^2 - r_1^2\right)\gamma_2 q_2\right) \qquad (5.8).$$

Врубовые заряды состояли из 3 баллиститных шашек РНДСИ-5К. Эксперименты показали хорошую проработку врубовой полости на всю глубину шпуров, что обеспечило улучшение условий работы вспомогательных, оконтуривающих и подошвенных шпуров, сокращение числа шпуров в комплекте. Применение баллиститных шашек РНДСИ-5К позволило снизить объем буровых работ на 25%, расход ВВ более чем на 20% без увеличения выхода негабарита.

Рассмотрим технологию проходки с применением кумулятивных зарядов плоской симметрии линейной формы. В зарядах направленного действия факторами, влияющими на активную часть заряда, являются область локализации действия заряда, форма и размеры кумулятивной поверхность. Совершенствование технологии взрывных работ при проведении горных выработок может быть достигнуто за счет изменения характера разрушения при использовании направленного действия взрыва. В кумулятивном заряде в направлении оси выемки происходит рост давления и возрастание плотности энергии.



а) б)

Рис. 5.10 - Типовой (а) и опытный (б) паспорта БВР при проведении погрузочного штрека на подземном руднике Учалинского ГОКа

Кумулятивные заряды плоской симметрии обладают важным свойством - усиленное разрушающее действие заряда проявляется вдоль линии симметрии кумулятивной выемки. Локализация кумулятивного воздействия будет зависеть от угла раствора кумулятивной выемки (рис. 5 11).

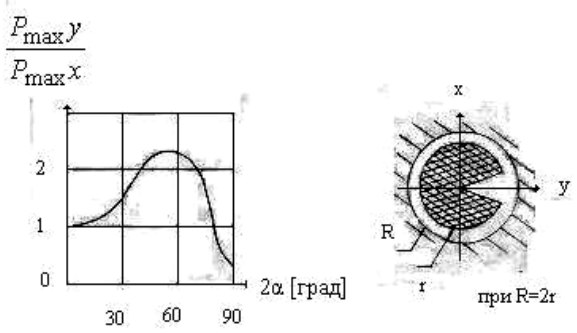


Рис. 5.11 - Действие кумулятивного заряда плоской симметрии

При углах раствора кумулятивной выемки 45°–60° зона кумулятивного воздействия локализована в полосе 0,2–0,4 от диаметра заряда [277]. Такая конструкция заряда способствует интенсификации разрушения горных пород при проведении горных выработок в крепких горных породах. Таким образом, увеличение эффективности проходки следует искать в повышении части энергии заряда, расходуемой на полезную работу разрушения горного массива и использовании зарядов направленного действия.

В технологии проведения горных выработок эффективность кумулятивных зарядов определяет полнота и рациональность использования кумулятивного эффекта. Теоретические исследования кумулятивного эффекта выявили влияние поверхностного слоя заряда на

формирование «кумулятивного удара», определяемого формой и размерами кумулятивной поверхности. Для эффективного применения кумулятивных зарядов плоской симметрии необходимо иметь инструмент оценки эффективности действия заряда на стадии разработки его конструкции. Таким инструментом является расчетный метод определения активной части зарядов в зависимости от формы и размера кумулятивной выемки [408].

Параметры отбойки (тип вруба, число шпуров, глубина шпуров, расчетный КИШ) при применении кумулятивных зарядов плоской симметрии определяются на основании типовых методов расчета [113]. Опытными работами установлено, что кумулятивные заряды плоской симметрии при малых размерах полости обнажения имеют *W* больше, чем обычные цилиндрические заряды. На основе анализа опубликованных данных [78; 79; 113; 125; 184; 230; 405], их статистической обработки, а также с учетом собственных экспериментальных и теоретических исследований получена зависимость *W(b)* для кумулятивных и цилиндрических зарядов штатного ВВ (аммонита 6ЖВ), которая может быть аппроксимирована полиномом третьей степени:

$$W_{кум}(b) = 2{,}2142442 \cdot 10^{-5} \cdot b^3 - 0{,}0075964 \cdot b^2 + 1{,}0039966 \cdot b + 18{,}0056739 \quad (5.9),$$

$$W_{цил}(b) = 4{,}1328757 \cdot 10^{-6} \cdot b^3 - 0{,}002454 \cdot b^2 + 0{,}670045 \cdot b + 9{,}1466474 \quad (5.10).$$

С использованием элементов теории подобия взрыва построим имитационную модель взрывного разрушения зарядов конверсионных ВВ и сделаем оценку эффективности взрывания. Зависимость *W(b)* для зарядов конверсионных ВВ может быть получена с использованием критерия подобия взрыва $\overline{R} = R / \sqrt[3]{Q}$, где *R* - радиус действия заряда, *Q* - величина заряда. Для определения зоны разрушения в пределах контура воронки взрыва преобразуем зависимость к виду

$$\frac{R_1}{\sqrt[3]{Q_1}} = \frac{R_2}{\sqrt[3]{Q_2}} \quad (5.11)$$

где R_1 и R_2- радиусы действия заряда; Q_1 и Q_2- массы зарядов.

Для конверсионных ВВ зависимость *W(b)* может быть получена с использованием (5.9) и (5.10), исходя из позиций подобия действия взрыва. Размеры зоны разрушений возрастают во столько раз, во сколько раз возрастает величина (масса) заряда. Конверсионные ВВ имеют плотность $\rho_i^{квв}$ =1,5–1,6 г/см^3 и диаметр заряда d_i =46–60 мм. Модельные заряды аммонита 6ЖВ имели плотность $\rho_{вв}$ =0,9 г/см^3 и диаметр заряда 40 мм. Массу заряда находим из соотношения

$$m = \frac{\pi d^2 l \rho}{4} \quad (5.12),$$

в котором переменными величинами являются диаметр заряда d и плотность ВВ ρ. Условие подобия определяем в виде

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\sqrt[3]{m_1}}{\sqrt[3]{m_2}} \qquad (5.13).$$

Переходя от R к W, можно записать

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{\sqrt[3]{m_1}}{\sqrt[3]{m_2}} \qquad (5.14)$$

и, проведя преобразования, получим

$$\frac{W_1}{W_2} = \sqrt[3]{\frac{\rho_i^{квв}\, d_i^2}{\rho_{вв}\, d_{40}^2}} \qquad (5.15)$$

С учетом зависимостей (5.9) и (5.10) рассчитывается W_i для кумулятивных зарядов по формуле

$$W_{кум}(b) = \sqrt[3]{\frac{\rho_i^{квв}\, d_i^2}{\rho_{вв}\, d_{40}^2}}\left(2{,}2142442\cdot 10^{-5}\cdot b^3 - 0{,}0075964\cdot b^2 + 1{,}0039966\cdot b + 18{,}0056739\right) \qquad (5.16),$$

для цилиндрических зарядов по формуле

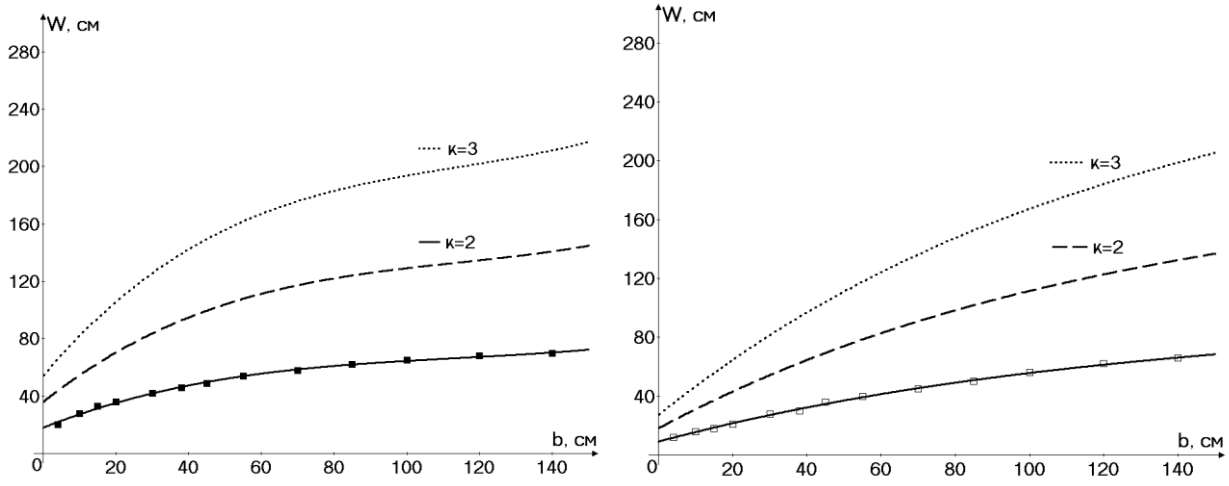
$$W_{цил}(b) = \sqrt[3]{\frac{\rho_i^{квв}\, d_i^2}{\rho_{вв}\, d_{40}^2}}\left(4{,}1328757\cdot 10^{-6}\cdot b^3 - 0{,}002454\cdot b^2 + 0{,}670045\cdot b + 9{,}1466474\right) \qquad (5.17).$$

Таким образом, при использовании вместо штатных ВВ конверсионные ВВ величину линии наименьшего сопротивления кумулятивных и цилиндрических зарядов определяют умножением полинома третьей степени (5.9) или (5.10) на сомножитель, выражаемый кубическим корнем из соотношения произведений плотности ВВ на квадрат диаметр заряда для конверсионных и штатных ВВ. Анализ представленных зависимостей $W_i\ (b)$ показывает, что при проектировании взрывных работ учет диаметра заряда и плотности конверсионных ВВ целесообразно осуществлять множителем

$$\sqrt[3]{\frac{\rho_i^{квв}\, d_i^2}{\rho_{вв}\, d_{40}^2}}, \qquad (5.18).$$

принимающим целые значения k_2=2; k_3=3; k_4=4, тогда зависимость $W_i\ (b)$ может быть представлена семейством кривых (рис.5.12).

Использование приведенной выше методологии определения линии наименьшего сопротивления Wi для кумулятивных зарядов конверсионных ВВ позволяет корректно вносить изменения в паспорта БВР и проводить инженерные расчеты. Полученные результаты позволяют использовать их при разработке паспортов буровзрывных работ с использованием цилиндрических и кумулятивных зарядов плоской симметрии из разных типов конверсионных ВВ.



а) б)

Рис. 5.12 - Зависимость *W* от *b* для кумулятивных (а) и цилиндрических (б) зарядов (экспериментальные данные [113]: ■ - кумулятивные, □ - цилиндрические; расчетные данные: к=2, к=3, к=4)

Использование кумулятивных зарядов плоской симметрии типа ЗКЛБ [196] возможно в качестве шпуровых зарядов при проведении горных выработок. Заряды ЗКЛБ-30 испытывались на проходке в дренажной шахте Лебединского месторождения в забое Южного штрека, имеющего сечение 10,6 м^2 в породах, представленных магнетитовыми, железнослюдно-магнетитовыми мелкозернистыми, тонко-среднеполосчатыми, слаботрещиноватыми крепкими (f=16-18) кварцитами [16; 17]. Паспорт буровзрывных работ при проходке штрека включал вруб, состоящий из трех пар наклонных к плоскости забоя шпуров. Для проходки могут быть использованы заряды следующих типоразмеров (табл. 5.12). Масса зарядов составляет 74–810 г/м, с облицовкой – 108-1117 г/м, что позволяет эффективно вести проходку в породах с различными физико-механическими свойствами.

Таблица 5.12. Характеристики зарядов ЗКЛБ для проходки горных выработок

Характеристика	Тип заряда			
	ЗКЛБ-10	ЗКЛБ-15	ЗКЛБ-20	ЗКЛБ-30
Масса без облицовки, г/м	74±10	190±20	358±30	810±45
Масса с облицовкой, г/м	108±15	268±20	495±30	1117±50
Толщина пробиваемой преграды (сталь 20), мм	6-7	9-11	13-15	20-22
Толщина металлополимерной облицовки	0,6±0,1	0,9±0,15	1,2±0,2	1,8±0,2

На рис. 5.13 и 5.14 показан опытный паспорт БВР. При клиновом расположении врубовых шпуров на отрыв горной массы большее влияние оказывает расстояние между устьями, чем

между концами шпуров. В центре забоя проходилась скважина диаметром 105 мм, на которую взрывалась первая пара врубовых шпуров. Расстояние между концами клинообразно расположенных шпуров и центральной скважиной составляло 25–30 см, между устьем скважины и шпурами 60–65 см. Расстояние между парами клинообразно расположенными шпурами 70–75 см.

Использованные в экспериментальных работах заряды ЗКЛБ-30 имели диаметр 40 мм. За счет использования высокоплотного ВВ это позволило увеличить расстояние между врубовыми шпурами в $\sqrt[3]{\frac{\rho_i^{кзв}}{\rho_{вв}}} = \sqrt[3]{\frac{1,6}{0,9}} = 1,21$ раз по сравнению с применяемым паспортом буровзрывных работ. В процессе испытаний была проведена оценка характера нарушенности массива при различном расположении кумулятивных зарядов.

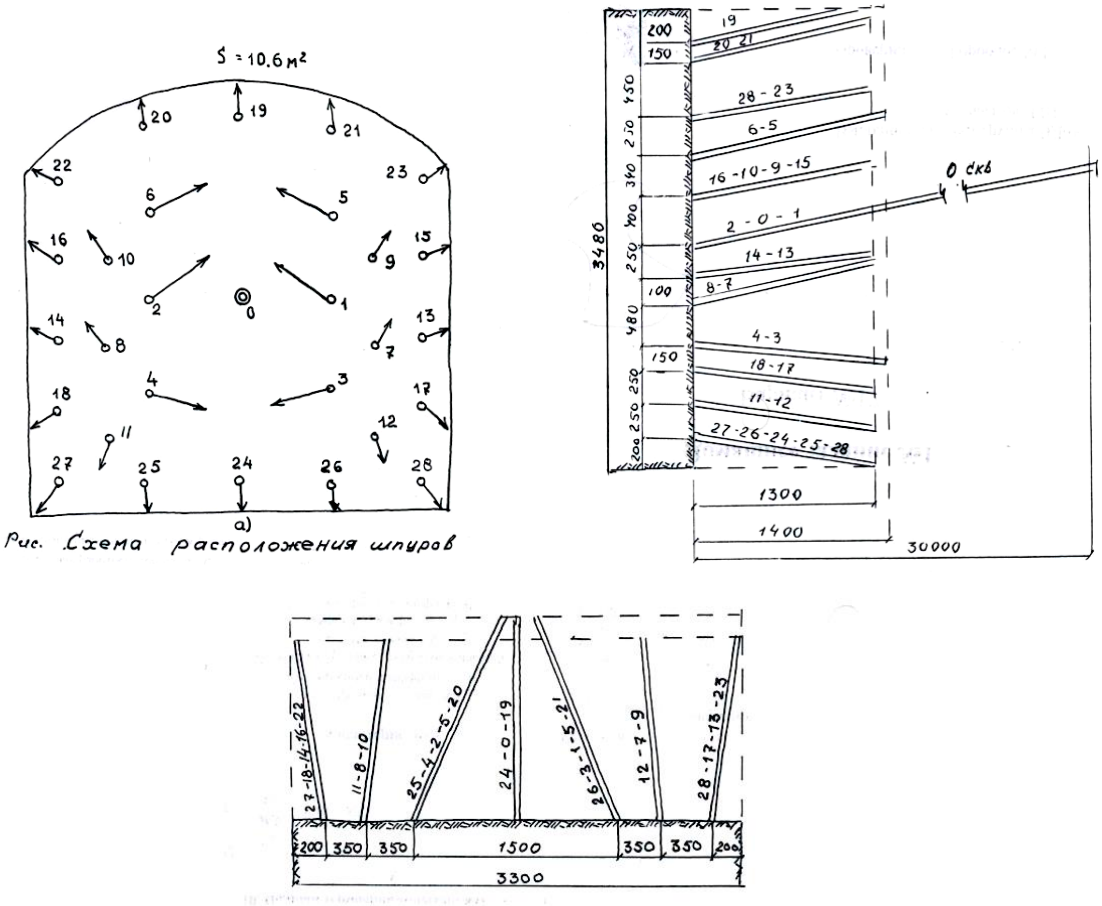


Рис. 5.13 - Схема расположения шпуров в опытном забое

Шпуры диаметром 42 мм и глубиной 0,8 м были заряжены зарядами ЗКЛБ-30 с продольной кумулятивной выемкой. Оценка характера нарушенности массива при различном расположении кумулятивных зарядов показала, что в смежных шпурах при расположении зарядов ЗКЛБ-30 навстречу кумулятивными выработками образовались воронка выброса

глубиной 350 мм, в оставшейся части шпура по линии расположения кумулятивных выемок образовались магистральные трещины.

Для образования отрезных щелей разработан способ [320], который включает обуривание забоя и заряжания шпуров. Инициирование шпуров производится в определенной последовательности, благодаря чему образуется отрезная щель. Во вторую очередь производится инициирование следующей группы шпуровых зарядов, способствующее делению разрушаемого массив на укрупненные блоки. Взрыванием парносближенных зарядов, действующих по принципу плоских зарядов, производится разделка укрупненных блоков на более мелкие блоки. За счет выбора угла наклона шпуров, близкого к 80º, дает значительную разницу в эффективности по сравнению со шпурами, расположенными параллельно оси выработки.

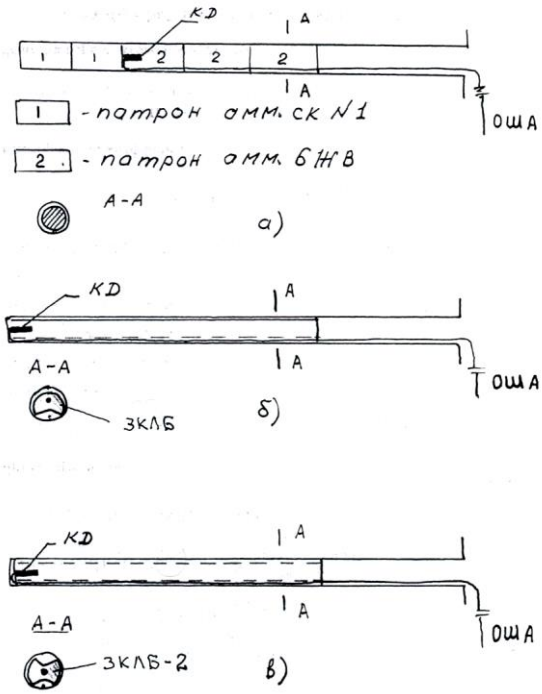


Рис. 5.14 - Конструкция зарядов при применении промышленных ВВ и зарядов ЗКБЛ

На основе анализа опыта взрывных работ при проведении выработок и результатов проведенных исследований составлены научно-методические рекомендации «Использование конверсионных ВВ при проходке горных выработок». В рекомендациях рассмотрены особенности технологии проходческих работ, требования к промышленным взрывчатым веществам, применяемым на подземных рудниках и в шахтах не опасных по взрыву газа и пыли, характеристики конверсионных ВМ, соответствующие требованиям применения на подземных горных работах.

Исследованы методы повышения эффективности проходки с учетом управления действием взрыва шпуровых и скважинных зарядов, на основе которых проведена разработка конструкции промежуточного детонатора для ВР при проходке горных выработок. Разработан метод применения на проходке зарядов направленного действия и проведена отработка их конструкции.

Рекомендации «Использование конверсионных ВВ при проходке горных выработок» согласованы с НПЦ «Экоресурсы» Регионального отделения КМА Академии горных наук и предназначены для инженерно-технических работников, занимающихся вопросами использования взрыва при проведении горных выработок в горнорудной промышленности, промышленном и гидростроительстве.

5.3 Технология вторичного дробления руды и ликвидации зависаний на подземных горных работах с использованием конверсионных ВВ

Выполнение работ проводилось в рамках фундаментальных исследований Президиума РАН и Отделения наук о Земле РАН:

«Теория и методология эффективного освоения недр» тема «Комплексное физико-техническое исследование технологии крупномасштабного взрывного разрушения массивов горных пород при разработке месторождений полезных ископаемых» (№ гос. регистрации 01.20.02.09755);

«Проблемы комплексного освоения недр Земли и новые технологии извлечения полезных ископаемых из минерального и техногенного сырья» тема «Геомеханические, гидродинамические и газодинамические процессы в техногенно изменяемых массивах горных пород» раздел «Развитие теории, методов исследования, прогноза опасных геомеханических процессов и физики разрушения массивов горных пород при освоении недр Земли» (№ гос. регистрации 01.02.007 04493), раздел «Физико-технические основы и новые технологии разрушения высоких уступов крупномасштабными взрывами при освоении месторождений полезных ископаемых» (№ гос. регистрации 01.02.0 503842);

«Комплексное освоение недр и подземного пространства Земли, разработка новых методов освоения природных и техногенных месторождений» тема «Теоретическое и экспериментальное изучение геомеханических процессов структурных преобразований массивов горных пород, обоснование новых способов их разрушения и развитие научных основ борьбы с опасными гео- и газодинамическими явлениями в шахтах и рудниках» (№ гос. регистрации 012000953085) раздел «Исследование геомеханических процессов структурных преобразований массивов горных пород и обоснование новых способов их взрывного

разрушения», раздел «Геомеханические, гидродинамические и газодинамические процессы в техногенно изменяемых массивах горных пород»;

по плану работ института ИПКОН РАН, а также планам научно-исследовательских работ институтов ВНИПИгорцветмет, Гипроцветмет, Росконверсвзрывцентр.

Качество дробления горной массы при очистной выемке в существенной мере определяет надежность и устойчивость работы по выпуску и доставке руды. При отработке трещиноватых и крепких руд, залежей большой мощности выход негабаритных кусков доходит до 15-20%. Наличие негабарита в выработках выемочного блока (дучках, выдачных выработках, рештаках рудоспусков) приводит к простоям основного технологического оборудования, при этом ликвидация зависаний руды в дучках, воронках и рудоспусках относится к наиболее опасным видам работ. Использование фугасных зарядов для ликвидации зависаний в труднодоступных местах трудоемко и малоэффективно, а применяемые ранее динамо-реактивные снаряды в настоящее время промышленностью не выпускаются.

Рассмотрим показатели взрывного дробления руды при скважинной отбойке на предприятиях, ведущих добычу руды в России подземным способом. На Абаканском руднике выход негабарита достигает 8-10 % [335], на шахте им. Губкина (КМА) - 5–10%. На рудниках «Таштагол», «Шерегеш» выход негабарита несколько меньше - 3–6%. В Казахстане аналогичный показатель составляет для Лениногорского рудника - 15%, Риддерского рудника - 12%, на Зыряновском комбинате - 10–15%. Размер куска на рудниках по добыче черных металлов изменяется от 800 до 1000 мм, цветных металлов - 400–600 мм. Степень дробления горной массы при очистной выемке определяет надежность и устойчивость работы по выпуску и доставке руды. Улучшение качества дробления руды позволяет снизить временные затраты на выполнение операций вторичного дробления пород, что оказывает положительное влияние на производительность и ритмичность работы доставочного оборудования. Вторичное дробление негабаритов и ликвидация зависаний на подземных рудниках осуществляется в очистном пространстве, выработках для доставки руды, специальных выработках для вторичного дробления, рудоспусках и др. местах.

На горнодобывающих предприятиях на выпуске руды находят широкое распространение виброустановки (ВДПУ-4ТМ, ПВРА-4,5/1,4, ПВУ и др.). Эффективная работа таких установок обеспечивается при хорошем качестве дробления и низком выходе негабарита. Негабаритные и расклинивающиеся куски образуют зависания в горловинах выпускных выработок и рудоспусков. Ликвидация зависаний может осуществляться зарядами мощных конверсионных ВВ или кумулятивными зарядами с осевой или плоской симметрией.

Удельный расход при применении накладных зарядов штатных ВВ по данным [160; 161; 219] составляет 1,5–2 кг/м^3, при применении мощных конверсионных ВВ он может быть

снижен до 1,2–1,5 кг/м^3. Для повышения эффективности работ при дроблении негабаритных кусков горных пород в труднодоступных местах (рудоспусках, дучках) нашли применение динамореактивные системы (ДРС), способные доставить кумулятивный или фугасный заряд непосредственно к месту зависания [450]. Типы зарядов и их характеристики представлены в табл.4.30. К недостаткам данных изделий следует отнести:

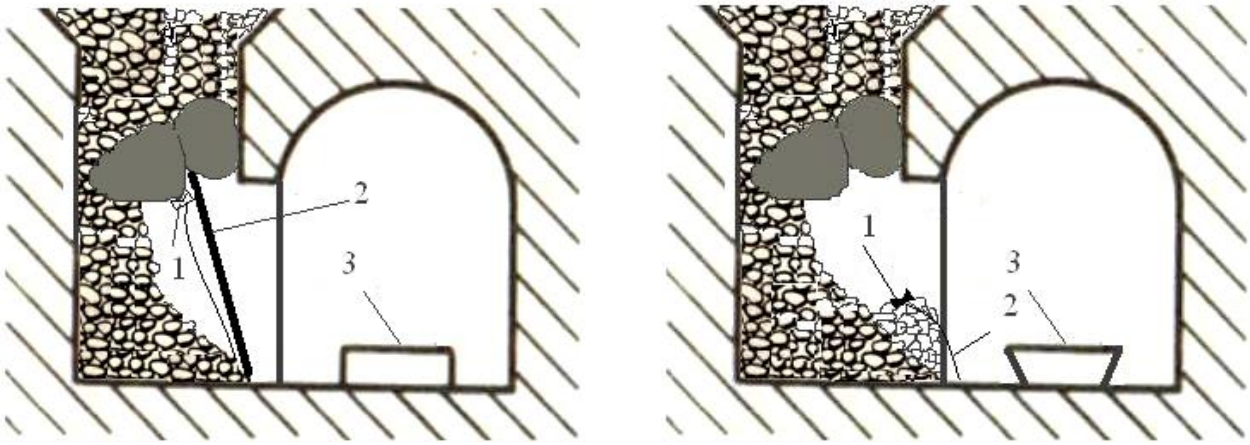
– сложность конструкции (наличие маршевого порохового двигателя, сложные инерционные системы взведения и самоликвидации зарядов, наличие направляющих стволов);

– недостаточная эффективность действия кумулятивного заряда для разрушения негабаритных кусков большого объема.

Для ликвидации зависаний применяют заряды, использующие принцип «ударного ядра», у которых при взрыве рабочим телом является толстостенная облицовка в форме шарового сегмента или конуса. Технологию ведения работ поясняют схемы установки зарядов. На рис. 5.15.а показано взрывание в дучке при скреперной доставке при ликвидации зависания двух расклинившихся кусков. На шесте устанавливается заряд взрывного бурения ЗВБ, который за счет метания кумулятивным зарядом толстостенной облицовки в форме шарового сегмента или конуса разрушает зависание. При ликвидации зависания с развала горных пород в конвейерной выпускной выработке производится установка заряда дистанционного действия ЗДД, который осуществляет дистанционное воздействие на зависание (рис. 5.15.б). Удельный расход составляет 2–10 кг/м^3 разрушаемого негабарита. Заряды ЗВБ-120, ЗВБ-180, ЗВБ-300, ЗВБ-500 использовались при обрушении зависания в рудоспуске подземного рудника ОАО "Учалинский ГОК".

При выходе большого количества негабаритных кусков их откладывают в сторону от оборудования и в конце смены разрушают с помощью зарядов ЗКЛ-Б или линейных кумулятивных зарядов плоской симметрии ЗКЛБ. Заряды на поверхности негабаритных кусков располагают вкрест слоистости, перпендикулярно и параллельно слоистости (рис. 5.16). Удельный расход зарядов ЗКЛБ 0,2–0,3 кг/м^3 [16; 17].

Ликвидация затора в выработке с вибропитателем осуществляется кумулятивными зарядами с осевой и плоской симметрией, например, ЗКН-Б, ЗКЛБ и др. Схема установки заряда ЗКН-Б показана на рис.5.17а. Технологические преимущества при дроблении негабарита в рассматриваемых условиях имеют кумулятивные заряды с плоской симметрией типа ЗКЛБ, ЗКЛ, ЗЛ и др. за счет уменьшенного расхода ВВ и дробления без разлета осколков, что благоприятно сказывается на сохранности оборудования.



а) б)

Рис.5.15 - Схема размещения зарядов ЗВБ и ЗДД при ликвидации зависания при скреперной (а) и конвейерной доставке (б):

а) 1 - заряды ЗВБ или ЗДД; 2 - опора; 3 - скрепер;

б) 1 - заряды ЗВБ или ЗДД; 2 - взрывная сеть; 3 - конвейер.

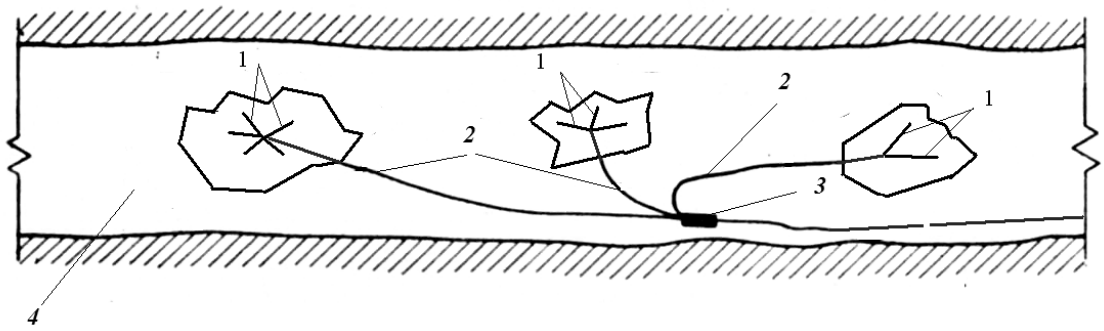


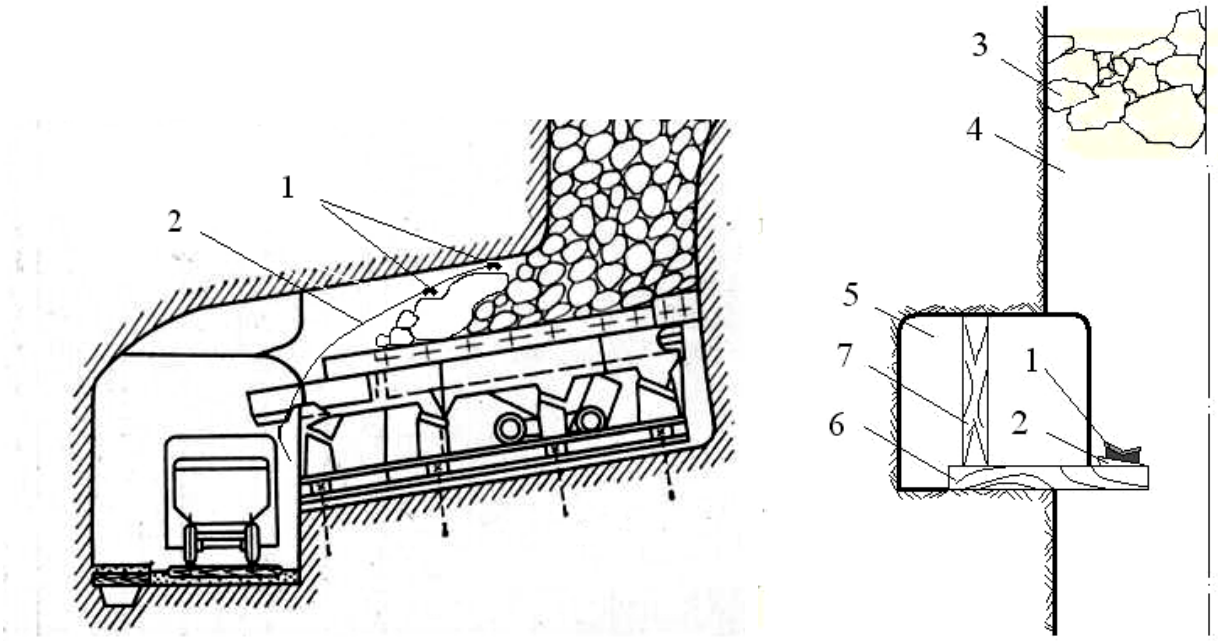
Рис. 5.16 - Схема размещения зарядов ЗКЛБ при дроблении негабарита в специальной выработке: 1 - заряды ЗКЛБ; 2 - взрывная сеть из ДШ, ЭД или волноводов; 3 - инициирующее устройство; 4 - подземная выработка

При образовании зависания в рудоспуске из расклинившихся кусков руды его ликвидацию производят зарядами ЗДД. Пусковое устройство, состоящее из деревянной опоры, распорки и прицельного приспособления, устанавливается в ходке и выдвигается в центр сечения рудоспуска при ликвидации зависания (рис.5.17б). При подрыве заряда ЗДД в направлении зависшей руды летит облицовка заряда со скоростью 2200-2500 м/с. Взрывное дробление зависшей руды производится метаемой облицовкой заряда, масса которой составляет 20-33 % от массы заряда. Кинетическая энергия облицовки заряда, например, ЗВБ - 300 составляет более 17 000 кДж [156]. Отклонение от точки прицеливания на расстоянии 100 м не превышает 1 м.

На основе обобщения опыта взрывного дробления негабарита на подземных рудниках, анализа исследований и результатов работ, проведенных автором, разработаны научно-

методические рекомендации «Использование конверсионных ВВ для вторичного дробления горных пород», включающие технологию взрывных способов вторичного дробления на подземных рудниках.

Разработанные рекомендации «Использование конверсионных ВВ для вторичного дробления горных пород» согласованы с ООО НПП «Самаравзрывтехнология» и предназначены для инженерно-технических работников различных отраслей горнорудной промышленности.



а) б)

Рис. 5.17 - Ликвидация затора зарядом ЗКЛ-Б (а) и зависания в рудоспуске зарядом ЗДД (б):

а) - 1 – заряд ЗКЛ-Б; 2 – взрывная сеть; б) 1 – заряд ЗДД; 2 – устройство прицеливания; 3 – зависание; 4 – рудоспуск; 5 - ходок; 6 - опора; 7 - распорка

На основе результатов использования конверсионных ВВ на горных предприятиях и обобщения производственного опыта вторичного дробления [75; 160; 161; 184; 199; 219; 230; 268; 271; 362; 405; 437; 450] разработаны параметры взрывания при вторичном дроблении и ликвидации зависаний на подземных горных работах с применением кумулятивных зарядов плоской симметрии и осесимметричных, сосредоточенных зарядов и зарядов, использующих принцип «ударного ядра» (табл. 5.14).

Таблица 5.14. Рекомендуемые параметры взрывания с использованием конверсионных ВВ при дроблении негабарита и ликвидации зависаний на подземных горных работах

Наименование заряда	Тип ВВ	Масса ВВ, кг	Расход ВВ, кг/м^3	Объем разрушаемого негабарита, м^3
Кумулятивные заряды с плоской симметрией				
КЗУ-2	ТГ-40	0,32	0,2–0,3	2
ЗКЛ	Эластичная пороховая масса	0,1–1,43	0,3–0,4	0,5–3,5
ЗКЛБ	Утилизируемый порох	0,74–2,63	0,3–0,4	2–5
ШКЗ (ШКЗ-М)	Эластит	0,08–1,84	0,3–0,4	0,5–3,5
Кумулятивные заряды осесимметричные				
ЗКН-Б	БРТ	0,6–0,8	0,3–0,4	1,5–2
Сосредоточенные заряды				
Заряды дробящие плоские комбинированные	поротол	0,5–1,0	1,2–1,5	0,3–1
Шашки тротиловые для взрывных работ	ТНТ	0,8	1,2–1,5	0,6–0,8
СЗ-1	ТНТ	1,0	1,2–1,5	0,6–0,8
СЗ-3	ТНТ	3,0	1,2–1,5	1,5–2
СЗ-3А	ТГ-50	2,8	1,2–1,5	1,5–2
СЗ-6	ТГ-50	5,9	1,2–1,5	3–4
СЗ-4П	ПВВ-5А	4,0	1,2–1,5	2–3
СЗ-6М	ПВВ-5А	6,0	1,2–1,5	3–4
Шашки БРТ	БРТ	2,0–4,0	1,2–1,5	1–1,5
Заряды, использующие принцип «ударного ядра»				
ЗДД	ТГА	0,5–20	2–10	
ЗВБ	ТГА	0,5–20	20–30*	
ЗДД	ТГА	0,5–20	20–30*	

*) ликвидация зависаний в рудоспусках

5.4 Выводы по главе

1 Проведенными исследованиями показано, что применение конверсионных ВВ с разными детонационными характеристиками для линейного инициирования простейших ВВ в вертикальных концентрированных зарядах обеспечивает изменение угла падения фронта детонационной волны на границу раздела «заряд ВВ-горная порода» в пределах от 0,488 до 0,924 радиан, что характеризует изменение параметров волны напряжений в прочных горных породах в диапазоне 8,1–10 ГПа;

2 Предложены конструкции сплошных зарядов с использованием низкоплотных составов и рассредоточенных воздушными промежутками зарядов низкочувствительных ВВ для вертикальных концентрированных зарядов при использовании сосредоточенных и линейных инициаторов на основе конверсионных ВВ;

3 Для бинарных зарядов, состоящих из пористой АС или поризованной АС (ПорАС) и конверсионных ВВ предназначенных для использования в вертикальных концентрированных зарядах, получено оптимальное по кислородному балансу соотношение компонентов:

баллиститный порох / ПАС (ПорАС) – 1 / 3; тротил / ПАС (ПорАС) – 1 / 3,7; гексоген / ПАС (ПорАс) – 1 / 1,1;

4 Проведены исследования эффективности инициирования баллиститных шашек НМ, Н, НДСИ, ФСГ, ФГ, НМФ, РСИ, РНДСИ, РСТ по величине минимального заряда, количества нитей детонирующего шнура, штатных средств инициирования (аммонита № 6 ЖВ, аммонала, патронов БПА-Б), на основе которых отработаны элементы конструкции промежуточного детонатора с узлом инициирования для электродетонатора на основе шашки А-IX-2. Полученные при отработке конструкции промежуточного детонатора для проходческих работ данные по восприимчивости к инициированию баллиститных шашек демонстрируют разумное соответствие с данными раздела 3.

5 Установлены закономерности изменения величины активной части и соответственно энергии заряда, идущей на полезные формы разрушения горного массива, в зависимости от места расположения шпура в проходческом забое и показаны возможности увеличения активной части заряда при использовании конверсионных ВВ. На основе обработки литературных данных для кумулятивных и цилиндрических зарядов получена зависимость линии наименьшего сопротивления, апроксимируемая произведением полинома третьей степени от величины обнаженной поверхности на сомножитель, выражаемый кубическим корнем из соотношения произведений плотности ВВ на квадрат диаметра заряда конверсионных и штатных ВВ;

6 Защищены авторскими свидетельствами и патентами методы и способы взрывания при отбойке горных пород (Пат. РФ 2089844) и проведении горных выработок (а.с. СССР 776130), способы безопасного заряжания зарядов (а.с. СССР 1820704), обоснованные и разработанные в рамках проведения диссертационной работы

7 Обобщены технологические схемы дроблении негабарита в процессе выпуска и доставки руды: в дучках, при вибровыпуске, в выработках скреперования, при ликвидации зависаний в рудоспусках с применением зарядов конверсионных ВВ. Рекомендованы параметры взрывания на подземных горных работах при использовании для дробления негабарита: зарядов бризантных ВВ и шашек баллиститного ракетного топлива - удельный расход q=1,2–1,5 кг/м^3, объем негабарита $V_{нег}$=0,3–4 м^3, кумулятивных зарядов плоской симметрии - q=0,2–0,4 кг/м^3, $V_{нег}$=0,5–5 м^3, зарядов, использующих принцип «ударного ядра», - q=20–30 кг/м^3 при ликвидации зависаний в рудоспусках.

8 На основе результатов работ в рамках выполнения фундаментальных исследований по приоритетным направлениям Президиума РАН по теме «Комплексное физико-техническое исследование технологии крупномасштабного взрывного разрушения массивов горных пород при разработке месторождений полезных ископаемых» разработаны рекомендации

«Инициирование вертикальных концентрированных зарядов (ВКЗ) с использованием конверсионных взрывчатых материалов» на примере разработки Шерегешского, Таштагольского и Абаканского рудоуправлений Горной Шории и Хакасии, для предприятий черной и цветной металлургии - рекомендации «Использование конверсионных ВВ при проходке горных выработок», для подземных рудников черной и цветной металлургии, горно-химического - рекомендации «Использование конверсионных ВВ для вторичного дробления горных пород».

6 Взрывные работы в процессах физико-химической геотехнологии с использованием конверсионных ВВ

6.1 Особенности технологических процессов при использовании физико-химических методов

Развитие технологических процессов в физико-химической и комбинированной геотехнологии в значительной мере базируется на создании способов взрывного воздействия на массив горных пород, обеспечивающих эффективность процесса выщелачивания. Выполнение проводилось в рамках основных направлений фундаментальных исследований Отделения наук о Земле РАН, Государственных заданий Федерального агентства научных организаций РФ:

«Комплексное освоение недр и подземного пространства Земли, разработка новых методов освоения природных и техногенных месторождений» тема «Теоретическое и экспериментальное изучение геомеханических процессов структурных преобразований массивов горных пород, обоснование новых способов их разрушения и развитие научных основ борьбы с опасными гео- и газодинамическими явлениями в шахтах и рудниках» (№ гос. регистрации 012000953085) раздел «Исследование геомеханических процессов структурных преобразований массивов горных пород и обоснование новых способов их взрывного разрушения», раздел «Геомеханические, гидродинамические и газодинамические процессы в техногенно изменяемых массивах горных пород»;

«Комплексное освоение и сохранение недр Земли, инновационные процессы разработки месторождений полезных ископаемых и глубокой переработки минерального сырья» тема «Развитие теории разрушения горного массива и геомеханического обоснования инновационных технологий ведения горных работ на глубоких карьерах и рудниках при комплексном освоении недр» (проект № 0138-2014-0003), тема «Создание фундаментального базиса геотехнологий добычи стратегического минерального сырья» (проект № 0138-2014-0004);

Анализ промышленного освоения минерально-сырьевого потенциала России показывает, что значительная часть действующих горных предприятий с открытым способом разработки имеет глубину разработки, приближающуюся к технологическому пределу. При достижении предельного контура в бортах и основаниях карьеров, например, медноколчеданных остается до 25–40% запасов балансовых руд. При отработке залежей подземными горными работами с увеличением глубины отработки усиливается влияние негативных факторов: обводненности массива, горного давления и др.

Одновременно с совершенствованием традиционных способов разработки месторождений происходит создание новых комбинированных, что актуально для крупных месторождений бедных руд и небольших, но богатых залежей. Разработка новых комбинаций геотехнологий - физико-технический способ разработки - подземное выщелачивание или скважинная гидродобыча прикарьерных запасов, скважинное подземное выщелачивание - скважинная гидродобыча, подземный способ разработки - скважинная гидродобыча глубокозалегающих месторождений и др. позволит вернуть к разработке разведанные запасы и неактивные ресурсы [174; 175; 364].

В разделе 2 представлена, составленная на анализе литературных источников, характеристика геологических типов месторождений руд, цветных и радиоактивных металлов, неметаллических природных ископаемых, показаны особенности горно-геологических условий месторождений руд цветных и редких металлов, оказывающие влияние на технологические процессы горных работ, рассмотрены инженерно-геологические и технологические свойства горных пород. Обоснование направлений совершенствования взрывных работ с применением конверсионных ВВ проведено с учетом анализа особенностей технологических процессов физико-технической, физико-химической геотехнологии и их комбинаций.

Под выщелачиванием понимают селективное растворение металлов (или других полезных компонентов, подлежащих выщелачиванию) химическим реагентом с последующим удалением вновь образованных химических соединений, направленную миграцию технологических растворов, содержащих полезный компонент, с последующим извлечением последнего из раствора [26; 54; 121; 158; 169; 170; 204; 236; 238; 266; 267; 361; 390].

Выщелачивание полезного компонента из раздробленной руды производят за счет его перевода в легко растворимую форму путем химического окисления. В зависимости от характера рудной минерализации применяют прямое или диффузионное выщелачивание. Форма нахождения металла в руде оказывает заметное влияние на процесс выщелачивания. Благоприятными являются формы меди: халькопирит, борнит, ковеллин, халькозин.

Формы нахождения полезного компонента в виде твердого раствора, изоморфной или тонкой механической примеси, сорбированного состояния на природном сорбенте в составе несамостоятельных минералов и минеральных веществ является неблагоприятным фактором при выщелачивании. При этом подбирается растворитель, способствующий извлечению металла во всех формах, если этого добиться трудно применяют растворители для каждой формы нахождения металла в руде [24; 169; 170]. В зависимости от состава минералов и руд, формы связи металла растворение полезного компонента можно осуществить при [121; 169; 170]:

растворении серной кислотой - биотита ($K(Mg,Fe)_3(OH,F)_2 \cdot AlSi_3O_{10}$), вольфрамита ($(Mn,Fe)WO_4$), шеелита ($CaWO_4$), браннерита ($(U,Ca,Th,,Y)(Ti,Fe)_2O_6$), ферпосонита ($(Y,Er)(Nb,Ta)O_4$), сподумена ($LiAl(SiO_3)_2$), борнита ($Cu_5FeS_4$), ковеллина (CuS), пирохлора ($(Na,Ca\ldots)_2(Nb,Ta\ldots)_2O_6(F,OH)$, целестина ($SrSO_4$), стронцианита ($SrCO_3$), уранинит ($UO_2$);

растворении азотной кислотой: биотита ($K(Mg,Fe)_3(OH,F)_2 \cdot AlSi_3O_{10}$), ванадинита $Pb_5(VO_4)_3Cl$, патронит (VS_2), висмутина (Bi_2S_3), тетрадимита (Bi_2Te_2S), карнолита (Co_2CuS_4), глаукодота ($(Co,Fe)\ AsS$), кобальтоирита ($(Fe,\ Co)S_9$), саффлорита ($CoAs_2$), монацита ($(Ce,La,Nd\ldots)\ [PO_4]$), халькозина (Cu_2S), халькопирита ($CuFeS_2$), арсенопирита (FeAsS), миллерита (NiS), мелонита ($NiTe_2$), аргентита (Ag_2S), стронцианита ($SrCO_3$), торианита (ThO_2), смитсонита ($ZnCO_3$);

растворении соляной кислотой: гельвина ($3(Mn,Fe)BeSiO_4 \cdot MnS$), карнотита ($K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$), гринокита (CdS), сфалерита (ZnS), сферокобальтита ($CoCO_3$), монацита ($(Ce,La,Nd\ldots)\ [PO_4]$), трифилита ($Li(Fe,Mn)PO_4$), алабандина (MnS), гаусманита (Mn_3O_4), джемсонита ($Pb_4FeSb_6S_{14}$), ферриторита ($(Fe_2O_3))Th(SiO_4)$);

растворении едким натром: алунита ($(KAl_3(SiO_4)_2 \cdot [OH]_6$), гиббсита ($Al(OH)_3$), гидраргилита ($H_2Al_2O_6$), диаспора (AlO(OH));

растворении едким кали: крокоита ($PbCrO_4$), цинкита (ZnO), аурипигмента (As_2S_3), миметизит ($3Pb_3(AsO_4)_2PbCl_2$).

Для выщелачивания кроме рассмотренных используются растворы сернистого натрия, хлористоого железа, цианистого калия, гипохлорит, карбонатные растворы (Na_2CO_3, $Mg(HCO_3)_2$, $Ca(OH)_2+CO_2$), и др. Для повышения эффективности процесса выщелачивания в растворы добавляются газообразные ускорители (O_2, CO_2, Cl_2 и др.), окислители в кислые растворы (например, в раствор H_2SO_4 добавки NO_3^-, $Fe_2(SO_4)_3$).

При подготовке рудного материала к выщелачиванию для обеспечения полноты извлечения металла должны учитываться минералогические и структурные особенности руды, форма рудных кусков, распределение полезного компонента по классам крупности. При выщелачивании из руд с искусственной проницаемостью важным параметром является скорость проникновения химического реагента в рудный монолит, зависящая от пористости и трещиноватости кусков взорванной руды.

В процессе выщелачивания может происходить образование канализированных протоков повышенного гидродинамического сечения при вымывании мелких минеральных частиц. Ухудшается проницаемость пласта за счет кольматации, обусловленной выделением CO_2 при взаимодействии кислот с карбонатами; образования сульфата гипса, выпадающего из рабочих и продуктивных растворов, за счет механической закупорки каналов в порах и трещинах частицами минерального вещества. Для восстановления фильтрационных свойств

рудного материала, повышения полноты извлечения металла - проводится интенсификация процесса выщелачивания взрывными методами. При этом остающиеся в замагазинированной руде активные химические агенты (кислоты, щелочи и их растворы) оказывают воздействие на ВВ, приводящее к изменению (ухудшению) его взрывчатых свойств (флегматизации, изменению бризантности и чувствительности к механическим воздействиям).

Для снижения негативного влияния осложняющих процесс выщелачивания факторов, связанных с состоянием горного массива, гидрогеологическими особенностями месторождения, такими как миграция продуктивных растворов через тектонические нарушения, зоны разломов и дробления, приток подземных вод внутрь рудного массива используют взрывные методы, обеспечивающие экранирование рудного тела, создание противофильтрационных завес. Это позволяет снизить утечки рабочих и продуктивных растворов и предупреждать загрязнение окружающей среды

При скважинном выщелачивании в скальных горных породах взрывные работы обеспечивают дробление руды для увеличения фильтрационных характеристик, проницаемости пород, в проницаемых пластах и рудных телах - экранирование по контуру залежи, повышение коллекторских свойств выщелачиваемых зон [24; 25; 238; 390]. При пологом залегании рудных тел формируют основания блока по контакту с подстилающими породами с использованием зарядов специальной конструкции. При скважинной гидродобыче возникает необходимость получения требуемой крупности транспортируемого материала, обеспечивающей проход в пульпоприемное отверстие, при наличии крепких включений [24; 25; 26].

С учетом выявленных особенностей технологических процессов физико-химической геотехнологии необходимы исследования основных влияющих факторов при определении параметров взрывания в зажатой среде, по интенсификации взрывного дробления (за счет выбора ВВ и средств инициирования, методов образования компенсационного пространства), взрывной интенсификации процесса выщелачивания, предотвращения потерь растворов.

6.1.1 Обоснование параметров взрывных работ с использованием конверсионных ВВ при подготовке блоков к подземному выщелачиванию

Расчетные методы определения гранулометрического состава отбитой горной массы, используемые при проектировании взрывных работ на карьерах, в строительстве, при подземной разработке месторождений, не учитывают особенностей технологического процесса (процесса выщелачивания), минералогического состава руд, структуры рудных кусков. Результаты теоретических и экспериментальных работ, проведенных при подготовке руд к

подземному выщелачиванию на различных месторождениях [238; 240; 390], показали эффективность отбойки скальных пород на зажатую среду глубокими скважинами. Полученный экспериментально гранулометрический состав отбитой горной массы при подготовке блоков к подземному выщелачиванию на золоторудном месторождениии приведен в работе [40].

Исследования возможности разрушения горных пород при подземном выщелачивании конверсионными ВВ проведены для условий месторождений медноколчеданных руд Урала. Запасы бедных руд вовлекаются в разработку технологией подземного выщелачивания с обеспечением заданной кусковатости отбитой горной массы при взрывании в условиях зажатой среды. Исследования стуктурно-текстурных особенностей и вещественного состава вкрапленных медноколчеданных руд Уральской формации, проведенные в ИПКОН РАН, показали, что оруденение проходит по поверхностям естественных трещин с размещением главных рудообразующих минералов (пирит, халькопирит, борнит, сфалерит). Выявленная структура распределения рудных минералов по трещинам определяет способ взрывной дезинтеграции до крупности, обеспечивающей эффективную скорость проникновения раствора в рудный монолит.

Для получения заданной степени дробления параметры зарядов для взрывания в зажатой среде определяется с учетом потенциальной энергии применяемого ВВ. Рекомендуемый удельный расход для дробления горных пород с разными физико-механическими свойствами при использовании промышленных ВВ получен из работ [235; 237; 238; 240]. При взрывании на одну свободную поверхность определение удельного расхода ВВ, линии наименьшего сопротивления (ЛНС) и расстояния между зарядами производится с учетом задаваемой степени дробления. Масса заряда в скважине определяется из соотношения

$$Q=q\cdot a\cdot W\cdot H, \qquad (6.1)$$

где q - удельный расход ВВ, кг/м^3; а - расстояние между зарядами, м; W - линия наименьшего сопротивления, м; H - длина скважин, м.

Параметры БВР для рудников, разрабатывающих медноколчеданные месторождения, при использовании для отбойки горных пород скважинных зарядов диаметром 89 мм - ЛНС и расстояние между зарядами составляют 1,6–1,8 м и 1,1–1,3 м соответственно.

При взрывной подготовке руды для подземного выщелачивания используются высокоэффективные ВВ: аммиачноселитренные ВВ - граммотол 15, граммотол 20, гранулит А6 и эмульсионные ВВ - порэмит 8А, гранэмит И-50. При заданной степени дробления (размер среднего куска d_c=20 см) расчетные параметры зарядов в веере приведены в [93]. Линия наименьшего сопротивления составляет W=1,6–1,8м при удельном расходе граммотола 20$q_{ВВ}$=1,5 кг/м^3. Длина скважинного заряда в веере составляет 15–30 м, при использовании

схемы отбойки вертикальными скважинами доходит до 50–60 м. При заряжании скважин эмульсионными ВВ - порэмитом 8А или гранэмитом И-50, технологический процесс изготовления которых предусматривает газовую сенсибилизацию, часть газовых пузырьков за счет гидростатического давления при большой длине заряда может схлопнуться. Это не обеспечивает безотказности детонации применяемого ВВ.

При взрывании в аналогичных условиях предложен метод сенсибилизации эмульсионных ВВ [321], обеспечивающий устойчивость детонации заряда эмульсионного ВВ. Для этого в заряжаемой скважине предварительно размещается дополнительный линейный заряд, например, массой 6г на погонный метр (детонирующий шнур ДШЭ-6) и промежуточный детонатор, размещаемый в нижней части скважины. При детонации линейного заряда образуется газообразные продукты, которые приводят эмульсионную матрицу в детонационноспособное состояние. Одновременно детонационный импульс от дополнительного линейного заряда передается на промежуточный детонатор, от которого непосредственно инициируется основной заряд эмульсионного ВВ.

При ведении работ в условиях агрессивных сред для повышения надежности взрывания предложена конструкция детонирующего шнура, состоящая из ведущих нитей из лавсановой пряжи, сердцевины из взрывчатого вещества, обмоток из лавсановой пряжи оболочки из модифицированного поливинилхлоридного пластиката повышенной эластичности с относительным удлинением 250–460%, пластифицированный диоксилсебацинатом [119].

Разработанные методы взрывной подготовки медноколчеданных руд позволяют получить необходимую для химической технологии выщелачивания кусковатость раздробленной горной массы или раскрытие трещин при взрывогидравлической подготовке массива [93]. Однако преимущества разработанных методов и их количественная оценка должны определяться при апробации в промышленных условиях.

6.2 Технологии взрывной интенсификации подземного выщелачивания и обоснование выбора конверсионных ВВ

В зависимости от вещественного и минералогического состава руд, формы нахождения металла в рудных минералах применяют различные методы и способы выщелачивания и обработки руд [169; 170; 238; 266; 390]. Для кислого выщелачивания дробление горной массы более крупное, продолжительность процесса менее длительна. Используются растворы: кислот (соляной, серной, азотной, углекислоты) и реагентов (сернокислых солей, тиокарбамидов, тиомочевины, азотнокислых щелочей). Щелочное выщелачивание обладает повышенной

селективностью воздействия на рудные минералы, лучшим растворением руд ванадия и молибдена. Используются растворы щелочей, цианидов и карбонатов щелочных металлов.

Зависимость содержания металла в продуктивных растворах от времени выщелачивания имеет два участка: на первом происходит возрастание содержания металла в продуктивных растворах до максимума, на втором наблюдается экспоненциальное снижение до минимального значения [238]. Извлечение из руды остаточного содержания металла сопряжено с существенным увеличением времени процесса. Поэтому разработка технических мероприятий, направленных на ускорение процесса выщелачивания и повышение полноты извлечения является актуальной при комплексном освоении месторождений.

При выщелачивании происходит химическое взаимодействие активных агентов растворов с минералами руд и пород, а также физический перенос тонких фракций (например, глинисто-алевролитовых) потоком раствора. В результате такого воздействия изменяется пористость отбитой горной массы, происходит образование канализированных протоков повышенного гидродинамического сечения. Для повышения однородности фильтрационных свойств и изменения распределения пор в выщелачиваемом блоке производится взрывное встряхивание или повторное дробление замагазинированных горных пород. После проведения технологических операций физико-химической технологии по обработке руд растворами реагентов и откачки продуктивных растворов в отбитой горной массе остается некоторое количество кислот, щелочей и солей. Их наличие является неблагоприятным фактором при применении ВВ.

Характер воздействия химических агентов на ВВ зависит в основном от его природы. Штатные промышленные ВВ представляют собой смеси окислителя (аммиачной селитры), горючего (нефтепродуктов, органических порошков и металлов) и сенсибилизаторов (бризантных ВВ). Основную часть смесевых ВВ составляет окислитель (до 94% по массе). Химическая активность аммиачной селитры при использовании в кислотных и щелочных средах проявляется различным образом [126; 127; 268; 307]. Взаимодействие аммиачной селитры с минеральными кислотами, сульфидами (железными и медноколчеданными рудами), нитритами, известью хлорной и негашеной, окисью и гидроокисью кальция вызывает ее химическое разложение. Серная кислота и ее кислые соли, фосфорная кислота разлагает аммиачную селитру с образованием азотной кислоты и окислов азота. Взаимодействие аммиачной селитры с хлорной известью образует хлор и другие активные окислители. Наличие окислов азота, паров азотной кислоты и нитритов катализируют процессы термического распада аммиачной селитры. Значительно снижает стойкость смесей аммиачной селитры в твердой (смесевые ВВ) и жидкой фазе (эмульсионные матрицы) наличие сульфидосодержащих минералов в руде [338].

Конверсионные ВВ различаются по химической природе, определяющей их химическую активность и стойкость. Тротил, гексоген, октоген, относятся к нитросоединениям и обладают достаточно высокой химической стойкостью. Нитроглицерин, динитрогликоль, тэн и ВВ на их основе являются веществами с ограниченной химической стойкостью. Стойкость нитроэфиров убывает с увеличением нитратных групп в их составе. Характер расположения нитратных групп ONO_2 в молекуле ВВ и кристаллическая структура вещества делают нитроэфиры более стойкими как, например, тэн, в сравнении с жидкими нитроэфирами. К группе ВВ, содержащих в своем составе нитратную группу ONO_2, относится пироксилин (коллоксилин), являющийся основой бездымных порохов и баллиститных ракетных твердых топлив. Азотная или азотистая кислота, воздействую на нитроклетчатку, разлагает порох.

В процессе выщелачивания активными химическими агентами выступают кислоты, щелочи и их растворы, под воздействием которых может происходить изменение взрывчатых свойств ВВ (флегматизация, изменение бризантности и чувствительности к механическим воздействиям). Таким образом, благоприятные физико-химические условия выщелачивания металлов являются неблагоприятными факторами при использовании ВВ для интенсификации подземного выщелачивания. При использовании для интенсификации подземного выщелачивания ВВ следует учитывать влияние физико-химических условий процесса подземного выщелачивания на изменение взрывчатых свойств.

Физико-химические и технологические свойства ВВ приведены в табл.2.6, а степень влияния на бризантность ВВ растворов кислот и щелочей с pH от 1 до 10 [166] - в табл. 6.1. Аббревиатура в табл. 6.1 означает: ТГ - тротил-гексогеновая смесь, цифры - процентное соотношение компонентов в смеси.

Таблица 6.1 - Влияние на взрывчатые свойства (бризантность) ВВ показателя pH среды

ВВ	Обжатие свинцовых столбиков (после выдержки в агрессивных средах, сут), мм			
	1	4	6	10
при pH=1				
Тетрил	18,9	18,1	отк.	отк.
ТГ-90/10	14,8	14,0	отк.	отк.
ТГ-80/20	15,0	14,8	отк.	отк.
Пентолит	16,3	16,1	15,8	15,8
при pH=2–4				
Тетрил	17,5	17,4	отк.	отк.
ТГ-90/10	15,4	14,6	отк.	отк.
ТГ-80/20	15,2	15,4	отк.	отк.
Пентолит	16,2	16,1	16,0	17,1
при pH=10–14				
Тетрил	18,1	17,9	отк.	отк.
ТГ-90/10	14,7	14,3	отк.	отк.
ТГ-80/20	17,3	18,0	отк.	отк.
Пентолит	16,4	16,1	15,9	15,8

Из данных по химической активности и стойкости компонентов промышленных ВВ (табл. 2.6 и 6.1) следует, что изменение взрывчатых и технологических свойств ВВ происходит в зависимости от природы активного выщелачивающего химического агента, его концентрации и времени воздействия. На основании рассмотрения представленных данных можно констатировать, что с учетом влияния на взрывчатые свойства ВВ показателя pH среды для применения в технологии подземного выщелачивания могут быть использованы бризантные ВВ: пентолит при нахождении в щелочно-кислотной среде с pH от 2 до 10 до 10 суток; тетрил и смеси ТГ90/10, ТГ80/20 при нахождении до 4 суток.

Использование конверсионных ВВ, обладающих высокими энергетическими, детонационными характеристиками, химической стойкостью к действию агрессивных технологических растворов позволяет проводить взрывную интенсификацию процесса подземного выщелачивания при воздействии на замагазинированную частично выщелоченную руду за счет нарушения равновесия действующих в массиве сил сцепления и ликвидации канализированных протоков повышенного гидродинамического сечения.

При выщелачивании предварительно раздробленных руд наибольшее распространение получила инфильтрационная схема. В ходе процесса выщелачивания концентрация химических реагентов в выщелачивающих растворах меняется в зависимости от стадии процесса. Например, при выщелачивании урана на стадии закисления [213] концентрация H_2SO_4 составляет 2-5%; в дальнейшем *pH* закачных растворов поддерживается в пределах от 1 до 2. В процессе технологической отработки запасов методом ПВ содержание металла в откачных растворах начинает экспоненциально снижаться ниже бортовых значений.

Благоприятной технологической обстановке при переходе металлов в сернокислотный раствор ($\alpha_{\Sigma SO4}$=0,1 М) соответствует показатель pH среды [266; 267]: цинк при pH<7,5; кадмий при pH<6,8; медь pH<6,4; свинец pH<5,3; ванадий pH<4,8; бериллий pH<4,5; индий pH<4,4; хром pH<3,3; галлий pH<2,9; торий pH<2,0. Минимальное значение содержания металла в откачном растворе, при котором осуществлялось повторное дробление замагазинированной руды составило 16–17% от первоначального [238].

Для проведения повторного дробления в замагазинированной руде бурят взрывные скважины. После завершения активной стадии выщелачивания в отрабатываемом блоке в замагазинированной руде остается некоторое количество химического реагента, химико-технологические свойства которого необходимо учитывать при выборе ВВ при проведении повторного дробления. Выше нами были рассмотрены физико-химические и технологические свойства конверсионных ВВ и основного компонента промышленных ВВ - аммиачной селитры. Совершенно очевидно, что конверсионные ВВ имеют значительные преимущества при использовании для повторного взрывания частично выщелоченной руды по сравнению с

аммиачно-селитренными ВВ, выражающимися в химической стойкости к действию агрессивных выщелачивающих агентов. Безопасное использование в химической обстановке при *pH* от 2 до 10 позволяют конверсионные ВВ. Аммиачно-селитренные ВВ имеют низкую химическую стойкость к действию щелочей и кислот, сульфидов. Для повышения стабильности аммиачно-селитренных ВВ используется карбамид, способствующий стабилизации самоускоряющегося процесса разложения аммиачной селитры. Защитой от воздействия агрессивной среды, приводящего к автокаталитическим реакциям разложения, является покрытие гранул аммиачной селитры непроницаемой для агрессивных агентов оболочкой. Для повышения детонационной способности аммиачно-селитренных ВВ используют низкоплавкие нефтепродукты (парафин и др.), полимеры, образующие водонепроницаемое покрытие гранул (полиэтилен и др.).

Конверсионные ВВ обладают отрицательным кислородным балансом: тетрил –47,4%; ТГ 90/10 –68,8%; ТГ 80/2 –63,6%; пентолит (ТНТ-ТЭН 50/50) –42,05%. Для полного окисления компонентов, входящих в состав рассматриваемых ВВ, необходимо введение компонентов с положительным кислородным балансом. В смесевых ВВ компонентом-окислителем с положительным кислородным балансом является аммиачная селитра. При химико-технологической обстановке процесса подземного выщелачивания аммиачная селитра в виду недостаточной химической стойкости не может использоваться как компонент смесевого ВВ без защиты гранул от действия агрессивных агентов. Материалом для защиты гранул аммиачной селитры при сернокислотном выщелачивании может выступать серийно выпускаемый, недефицитный, недорогой материал - полиэтилен, обладающий высокой устойчивостью к химическим реагентам процесса подземного выщелачивания. Технология получения высокостабильных смесевых ВВ, содержащих сенсибилизированную эмульсию типа «вода в масле» и гранулы аммиачной селитры, покрытые полиэтиленом представлена в техническом решении [82]. Содержание полиэтилена в смеси с аммиачной селитрой составляет 1,83%, что обеспечивает защитные свойства покрытия. Соотношение компонентов для стехиометрической смеси конверсионных ВВ с гранулами аммиачной селитры покрытых полиэтиленом составляет:

тетрил + (АС+ПЭ) - 22/78

ТГ90/10 + (АС+ПЭ) - 16,2/83,8

ТГ80/20 + (АС+ПЭ) - 17,3/82,7

пентолит + (АС+ПЭ) - 24,3/75,7.

Конверсионные ВВ используют в технологии создания горизонтальных распределительных щелей для выщелачивающих растворов, при изменении фильтрационных характеристик продуктивных пластов и других технологиях. Повысить полноту и

комплексность извлечения полезных ископаемых, возможно за счет применения комбинированных геотехнологических методов добычи полезных ископаемых [395]. При отработке сложноструктурных рудных тел в практике применяют различные варианты отработки богатых руд (например, камерно-целиковой системой с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями [213]), а рудные прослои с наличием структурных и гидрогеологических особенностей (например, $К_{ф\ верхн.} \geq 0{,}5$ м/сут, $К_{ф\ нижн.} < 0{,}1$ м/сут) ведут физико-химическими методами. Принципиальный вариант комбинированной отработки запасов блока представлен на рис. 6.1. Массив естественного залегания верхнего горизонта выщелачивают с помощью горизонтальной нагнетательной щели, образованной при взрывании горизонтальных скважин с помощью кумулятивных зарядов. Щелевая полость создается кумулятивными зарядами плоской симметрии линейной формы, действие которых характеризует нарушенность в виде магистральных трещин по направлению от кумулятивной выемки в массив горных пород. Для этих целей могут быть использованы конверсионные заряды КЗУ, КЗУ-2, УКЗ-Л, ЗКЛБ, ЗКЛ, ШКЗ и др. Расстояние *а* (см. область А на рис. 6.1, представленную в укрупненном масштабе) между зарядами выбирается в соответствии с пробивной способностью зарядов и рассчитываемой по методике, представленной в разделе 5. Устьевые части скважин не заряжаются с целью формирования устройств подачи рабочих растворов.

Нижний прослой руды отбивается взрывным способом с магазинированием. Проходка взрывных скважин производится из подготовительной выработки нижнего горизонта, из которой проходится вертикальная компенсационная щель. Орошение замагазинированной руды ведут из нагнетательного штрека с помощью скважин, пробуренных через заложенное выработанное пространство. Закачные скважины-оросители оборудуют полиэтиленовыми трубопроводами, соединенными с раствороподающим трубопроводом. В предлагаемой схеме выщелачивание верхней части блока осуществляется в фильтрационном режиме, нижней части - в инфильтрационном режиме.

Для оценки взрывной эффективности кумулятивных зарядов плоской симметрии линейной формы можно воспользоваться эмпирическими зависимостями [75]. В зарядах ЗКЛБ в качестве ВВ используется баллиститное ракетное топливо. Для кумулятивных зарядов плоской симметрии линейной формы, изготовленного из гексопласта и облицованного стальным профилем, глубина пробивания кумулятивной струей грунта определяется по формуле $H_{\max} = \mu\sqrt{C_{пог}}$, где $H_{\max}$ - глубина пробивания; μ - эмпирический коэффициент (для известняка μ=0,16); $C_{пог}$ - погонный расход ВВ.

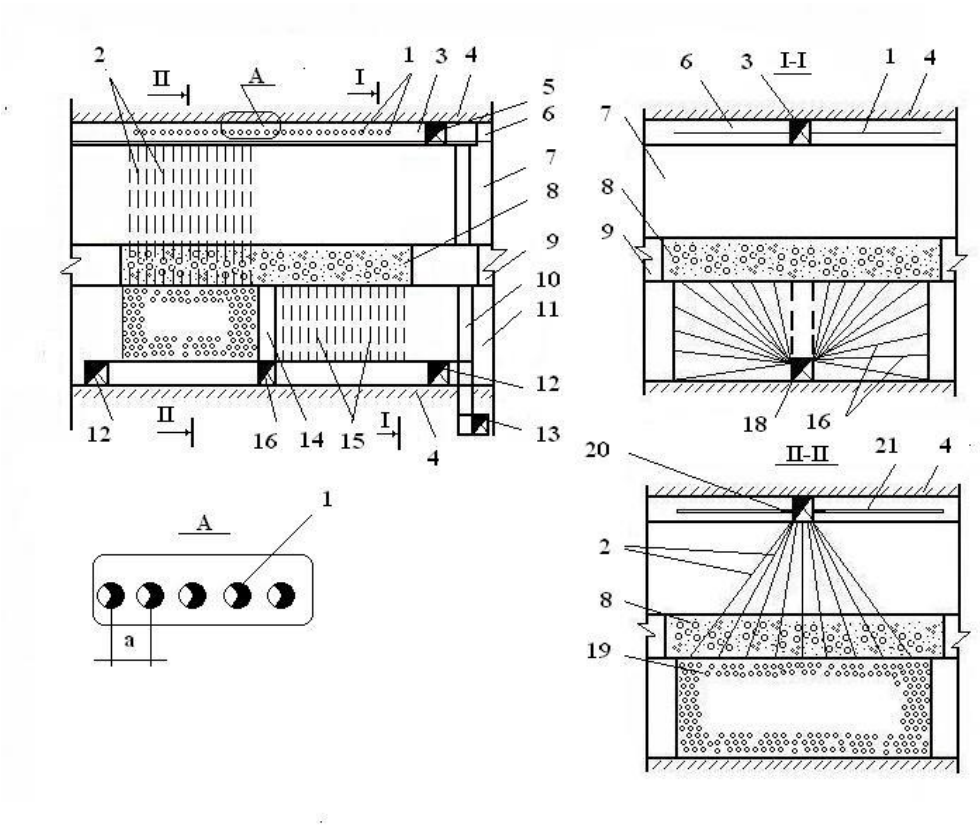


Рис. 6.1 - Схема взрывания при формировании горизонтальной нагнетательной щели с помощью кумулятивных зарядов плоской симметрии: 1 - горизонтальные скважины с кумулятивными зарядами; 2 - нисходящие скважины-оросители; 3 - орт; 4 - водоупорные породы; 5 - штрек; 6 - плохо проницаемая руда; 7 - водопроницаемая руда; 8 - заложенное выработанное пространство; 9 - богатая руда; 10 - восстающий; 11 - отбиваемая взрывом руда; 12 - дренажные штреки; 13 - полевой откаточный штрек; 14 - компенсационная щель; 15 – веер взрывных скважин; 16 - штрек для разделки компенсационной щели; 17 - отрезной восстающий; 18 - буровой штрек; 19 - замагазинированная руда; 20 - невзрываемая устьевая часть скважин; 21 - горизонтальная нагнетательная щель, образованная взрывом горизонтальных скважин

На основе разработанных в разделе 5 методических положений расчет параметров буровзрывных работ при создании горизонтальных распределительных щелей для выщелачивающих растворов осуществляют с учетом образуемой поверхности обнажения (диаметр холостой скважины) и преодолеваемых зарядом сопротивлений (расстояние между зарядами). В таблице 6.2 приведены указанные расчетные показатели. Для образования горизонтальных распределительных щелей рекомендуются к использованию кумулятивные

заряды плоской симметрии линейной формы ЗКЛБ, имеющие массу ВВ от 358 до 2630 г/м. Обнаженная поверхность является скважиной или шпуром диаметром 50-100 мм.

При скважинном выщелачивании для изменения фильтрационных характеристик, проницаемости горных пород в плохо проницаемых пластах и рудных телах проводят взрывные работы [395] с использованием кумулятивных зарядов плоской симметрии кольцевой формы (ККЗ).

Таблица 6.2 - Обнаженная поверхность и преодолеваемая линия наименьшего сопротивления при формировании горизонтальной нагнетательной щели

Обнаженная поверхность, см	Преодолеваемая линия наименьшего сопротивления, см
5	45
10	60

Экспериментальные исследования по изучению фугасного и кумулятивного действия зарядов ККЗ на открытых горных работах показали возможность получения магистральных трещин в плоскости перпендикулярной к оси скважины, которая при взаимодействии нескольких зарядов объединяется в плоскость подсечки, отрезную щель в кровле или подошве пласта (рис. 6.2). Внутрипластовый разрыв по предлагаемой схеме оуществляется следующим образом. Во взрывные скважины устанавливаются заряды ККЗ на проектной глубине.

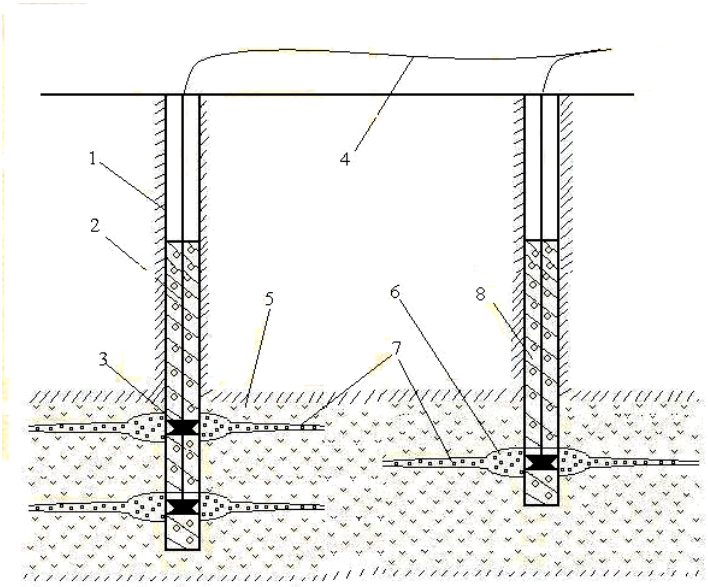


Рис. 6.2 - Схема расположения кумулятивных зарядов плоской симметрии кольцевой формы в плохо проницаемых пластах и рудных телах для образования трещин разрыва: 1 - скважина; 2 - скважинная взрывная сеть; 3 - кумулятивный заряд плоской симметрии кольцевой формы; 4 - поверхностная взрывная сеть; 5 - пласт руды; 6 - взрывная полость; 7 - трещины разрыва; 8 – забойка

Количество зарядов ККЗ в скважине зависит от мощности пласта, свойств пород и технологии выщелачивания. После установки зарядов монтируется скважинная взрывная сеть, производится забойка скважин и монтаж поверхностной взрывной сети. Для монтажа скважинной и поверхностной взрывной сети используют, детонирующий шнур, волноводы, электрические средства взрывания. После взрыва в зоне действия заряда образуется взрывная полость эллипсовидной формы и трещины разрыва. Сходным образом возможно формирование кровли или основания блока по контакту с вмещающими породами при пологом залегании рудных тел. В кумулятивных зарядах плоской симметрии кольцевой формы (ККЗ) используется взрывчатое вещество МС, ТГА-50. Параметры зарядов ККЗ, прошедших промышленные испытания и рекомендуемых для взрывания скважин 220-250 мм, приведены в табл. 6.4. Оценка взрывной эффективности зарядов плоской симметрии кольцевой формы вследствие ограниченного опыта применения осуществляется на основании сравнительных методов с учетом свойств разрушаемых горных пород.

Таблица 6.4 - Параметры кумулятивных зарядов ККЗ для использования в плохо проницаемых пластах и рудных телах для образования трещин

Тип	Размеры, мм		Масса ВВ, г	Масса облицовки, г
	диаметр	Высота		
ККЗ	190	140	3700	1500

При наличии выраженной трещиноватости в массиве и предполагаемого распространения утечек совершенствование технологии подземного выщелачивания предполагает меры локального улавливания продуктивных растворов. Для образования экранирующих щелей применяют скважинные заряды [238]. В предлагаемом техническом решении формирование вертикальной экранирующей щели осуществляют взрыванием кумулятивных зарядов плоской симметрии линейной формы в пробуренных из бурового орта параллельных скважин (рис. 6.3). Бурение вертикальных скважин осуществляется станками НКР-100М, ЛПС-3 и др.

Расположение зарядов (*d, W*) зависит от величины полости обнажения (*D*), в качестве которой выступает незаряжаемая скважина, и параметров конверсионных зарядов КЗУ, КЗУ-2, УКЗ-Л, ЗКЛБ, ЗКЛ, ШКЗ. Варианты расположения зарядов для образования вертикальной экранирующей щели показаны в области А. Подвариант 1 предполагает использование центральной незаряжаемой скважины увеличенного размера, взрывание на которую производят с двух сторон. В подварианте 2 незаряжаемые скважины чередуются в ряду с заряжаемыми скважинами. Подвариант 3 предусматривает одностороннее расположение незаряжаемой скважины [395].

Горизонтальную экранирующую щель формируют с использованием кумулятивных зарядов плоской симметрии кольцевой формы (ККЗ). Для этого из раствороприемного штрека бурят веера скважин, в которых размещают заряды ККЗ таким образом, чтобы кумулятивные выемки зарядов находились на уровне подошвы горизонтальной экранирующей щели. Для бурения вееров скважин используют станки ЛПС-3 и др. В зависимости от места расположения скважины в веере размещение зарядов производится под углом к горизонту соответственно с углами φ_1, φ_2, φ_3 (область Б).

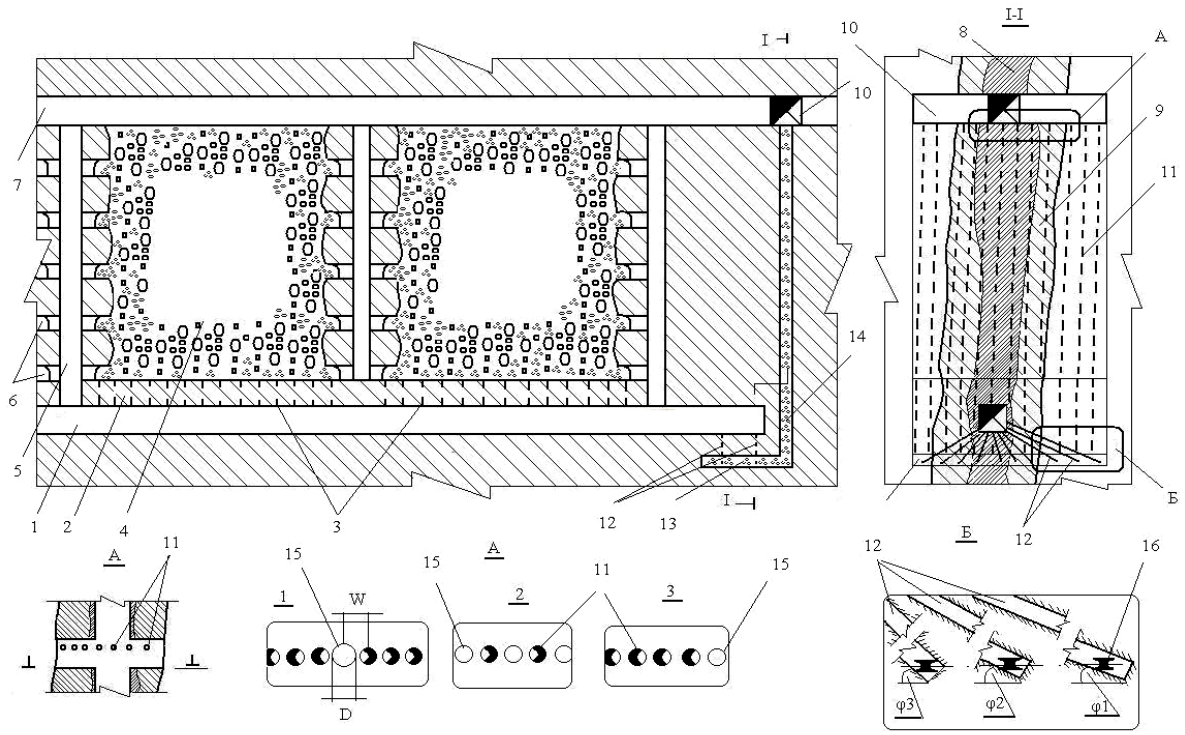


Рис. 6.3 - Схема взрывания при создании противофильтрационных экранов с использованием зарядов конверсионных ВВ: 1 - раствороприемный штрек; 2 - предохранительный целик; 3 - дренажные скважины; 4 - магазин отбитой руды; 5 - восстающий; 6 - подъэтажные рассечки из восстающих; 7 - рудный штрек; 8 - рудное тело одного сорта; 9 - рудное тело другого сорта; 10 - буровой орт; 11 - взрывные скважины с кумулятивными зарядами плоской симметрии линейной формы; 12 - веера скважин; 13 - горизонтальная часть щелевого экрана; 14 - вертикальная часть щелевого экрана; 15 - незаряжаемые скважины; 16 - кумулятивные заряды плоской симметрии кольцевой формы

Расчет параметров буровзрывных работ при создании противофильтрационных экранов осуществляют с учетом образуемой поверхности обнажения (диаметр холостой скважины) и преодолеваемых зарядом сопротивлений (расстояние между зарядами) на основе методических положений, разработанных в разделе 5.

6.3 Обоснование параметров БВР с использованием бризантных конверсионных ВВ при отработке запасов под дном карьера методом выщелачивания

При отработке запасов месторождения в зоне открыто-подземного яруса (ОПЯ) физико-химическими методами подготовку блоков осуществляют бурением непосредственно со дна карьера. При подготовке руды к выщелачиванию в зоне открыто-подземного яруса рудное тело под дном карьера разрабатывается одним высоким уступом [144; 395; 418]. Со дна карьера бурят взрывные скважины диаметром 200–300 мм длиной 30–100 м на полную высоту единого уступа. Для бурения глубоких скважин используют высокопроизводительное карьерное оборудование [356], обеспечивающее высокие технико-экономические показатели работ (табл. 6.5).

Таблица 6.5. Технические характеристики буровых станков

Наименование характеристики	Отечественные	Зарубежные		
	БШ-200С	РОК306	SM-305	Промекс М-188
Диаметр скважин, мм	243	152	305	165
Глубина бурения, м	80	До 100	150	100
Тип станка	шарошечный	пневмоударный		

При взрывной подготовке горных пород под дном карьера к подземному выщелачиванию образуют блок замагазинированной руды без нарушения структуры залегания. Важнейшими теоретическими и практическими вопросами является обеспечение требуемого коэффициента разрыхления руды и необходимого качества дробления при выбранном способе отбойки. Исследованиями взрывания на неубранную горную массу, имеющего технологическую аналогию с условиями взрывания при отработке запасов под дном карьера, показана возможность получения коэффициента разрыхления и качество дробления в условиях возрастания степени зажима за счет увеличения удельного расхода ВВ и уменьшения расстояния между одновременно детонирующими скважинами в ряду. Обобщение опыта взрывных работ показывает, что увеличение коэффициента сближения позволяет существенно улучшить дробление пород при некотором снижении показателей по качеству линии отрыва между рядами скважин и по подошве уступа. В рассматриваемом нами случае этим возможно пренебречь в виду того, что данные показатели взрывных работ не влияют на последующие производственные процессы при выщелачивании, как это происходит в процессах открытых горных работ. С учетом этого рассмотрена возможность осуществления промежуточного между камуфлетным и вспучивающим действием взрыва в условиях зажима с приемлемой для выщелачивания степенью дробления при взрывании.

Отработка запасов под дном карьера методом подземного выщелачивания имеет аналогию с взрыванием без нарушения структуры залегания, а также взрывания в глубоко зажатой среде в подземных условиях [240]. Для эффективного дробления руды необходимо создание достаточного компенсационного пространства, обеспечивающего получение требуемого коэффициента разрыхления. Для создания компенсационного пространства возможно использование объема заряжаемых и незаряжаемых скважин [120]. Проектный объем отбиваемого блока можно выразить через объем руды, подлежащей магазинированию, объем компенсирующих скважин и объем заряжаемых скважин $V_{бл} = V_{гм} + V_{копм} + V_{взр}$, где $V_{бл}$ - объем отбиваемого блока в массиве, м^3; $V_{гм}$ - объем руды, подлежащей магазинированию, м^3; $V_{комп}$ - объем компенсирующих скважин, м^3; $V_{взр}$ - объем заряжаемых скважин, м^3.

Объем компенсационного пространства в рассматриваемых условиях создают компенсирующие и взрывные скважины. Коэффициент разрыхления в границах отбиваемого блока с учетом компенсационного пространства определяется $k_р = \frac{V_{бл}}{V_{гм}}$, где $k_р$ - коэффициент разрыхления руды в блоке, единицы. Выразим объем руды, подлежащей магазинированию, через объем отбиваемого блока, объем компенсирующих скважин и объем заряжаемых скважин

$$V_{гм} = V_{бл} - \left(V_{копм} + V_{взр}\right) \qquad (6.2).$$

После преобразований коэффициент разрыхления принимает вид

$$k_р = \frac{V_{бл}}{V_{бл} - \left(V_{комп} + V_{взр}\right)} \qquad (6.3).$$

При отработке запасов под дном карьера [325] отрабатываемый блок в конструктивном оформлении имеет форму близкую к цилиндрической. В связи с этим, представляется возможным подход, предложенный в [120]. Для определения $K_р$ используют параметры: диаметры компенсирующих, взрывных скважин и приведенный диаметр дна карьера

$$k_р = \frac{D_{бл}^2}{D_{бл}^2 - \left(N_н\, d_{комп}^2 + N\, d_{взр}^2\right)}, \qquad (6.4)$$

где $d_{комп}$ - диаметр компенсирующих скважин, м; $d_{взр}$ - диаметр заряжаемых скважин, м; $D_{бл}$ - приведенный диаметр дна карьера, м; N - количество взрываемых скважин, шт.; $N_н$ - количество компенсирующих скважин, шт.

Коэффициент разрыхления определяется из выражения

$$k_р = \frac{D_{бл}^2}{D_{бл}^2 - \left(N_н\, d_{комп}^2 + N\, d_{взр}^2\right)} \qquad (6.5).$$

Проведем перестановки и получим количество компенсирующих скважин

$$N_н = \frac{\left(k_р - 1\right)D_{бл}^2 - k_р N d_{взр}^2}{k_р d_{комп}^2} \quad (6.6).$$

При взрывании в глубоко зажатой среде в подземных условиях [240] значение коэффициента разрыхления руды $K_р$=1,06. Принимая это значение, определим количество компенсирующих скважин из выражения

$$N_н = \frac{0{,}06 D_{бл}^2 - 1{,}06 N d_{взр}^2}{1{,}06 d_{комп}^2} \quad (6.7).$$

Если выбранный диаметр компенсирующих скважин $d_{комп}$ не позволяют обеспечить заданный коэффициент разрыхления, проводят проходку пучков скважин. Предлагаемый математический аппарат (6.2)–(6.7) служит основой расчета необходимого компенсационного пространства при отработке запасов под дном карьера методом выщелачивания.

Параметры отбойки определялись для пород по классификации [357] довольно крепких, средневзрываемых (*f=5–8*), крепких, трудновзрываемых (*f=9–12*), очень крепких, весьма трудновзрываемых (*f=13–16*) и в высшей степени крепких, трудновзрываемых (*f=17–20*) с удельной энергоемкостью взрывного разрушения $A_р$, которая для рассматриваемых пород составляет 4,6; 5,85; 7,1 и 7,95 МДж/м^3 соответственно. Для обоснования выбора ВВ было проведено сравнение взрывчатых характеристик промышленных и конверсионных ВВ (табл. 6.6).

Из анализа данных табл. 6.6 следует, что конверсионные ВВ существенно (на 20–30%) превосходят штатные ВВ по скорости детонации, объемной концентрации энергии, что использовано для создания повышенного запаса энергии скважинного заряда. Объемная концентрация энергии рассматриваемых штатных промышленных ВВ меняется в пределах 3754–5852 кДж/дм^3, конверсионных ВВ в пределах 4736–6264 кДж/дм^3. Компонентами рассматриваемых конверсионных ВВ являются гексоген, тротила, имеющих значительно меньшие критические диаметры, чем смесевые аммиачно-селитренные составы. Важным аспектом является устойчивость детонации в скважинах длиной до 100 м, которые применяются при отработке открыто-подземного яруса. Аналогия соответствует взрыванию детонирующих шнуров, у которых удлинение в относительных единицах $L_{зар}/D_{зар}$ составляет от 1000 и более. В рассматриваемых условиях взрывания удлинение в относительных единицах $L_{зар}/D_{зар}$ составляет 300-500, поэтому для обеспечения устойчивости детонации необходимо использовать сенсибилизированные конверсионные ВВ. При отработке запасов под дном карьера используются конверсионные ВВ: альгетол-15, альгетол-35, гельпор-2, эмульсен-Г, обладающие повышенной объемной концентрацией энергии 4,50; 4,74; 5,66 и 6,26 МДж/дм^3

соответственно. Объемная концентрация энергии характеризуется на основе усредненных показателей ВВ.

Технология взрывных работ при отработке запасов под дном карьера методом выщелачивания [144; 395] и схема расположения заряжаемых и незаряжаемых скважин представлена на рис. 6.5-6.7. Схема доработки запасов месторождения, представленного неустойчивыми горными породами представлена на рис. 6.5; расположение оконтуривающих, взрывных и незаряжаемых скважин на дне карьера показано на рис. 6.6; доработка запасов месторождения, представленного устойчивыми горными породами показана на рис. 6.7.

Таблица 6.6. Взрывчатые характеристики штатных промышленных и конверсионных ВВ

ВВ	Взрывчатые характеристики конверсионных и штатных ВВ				
	Теплота взрыва, кДж/кг	Объемная концентрация энергии, кДж/дм^3	Плотность, кг/м^3	Скорость детонации, м/с	$N_{уд}$, (кВт/м^2) 10^9
Конверсионные ВВ					
Альгетол-35	4986	4736	900–1000	5000	24,93
Альгетол-15	4735	4498	900–1000	4600	20, 69
Эмульсен-Г	4291	6264	1450–1480	5400–6000	36,08
Эмульсен-П	3200	4800	1500	5200–5600	26,88
Гельпор-2	4190	5656	1300–1400	4500–5300	26,42
Поротол	3875	5812	1500	6500	37,78
Штатные промышленные ВВ					
Гранулит АС-8	5225	4702	850–950	3000–3600	15,51
Граммонит 79/21	4291	3754	850–900	3200–3600	12,76
Порэмит 1	3030	3795	1250	4900–5200	19,12
Порэмит М	4347	5852	1400	4900–5200	30,73
Гранэмит -70	3636	4723	1130	3500–4000	15,40
Нитронит Э-20	3550–3600	3550–3600	900-1050	4500–4700	16,14

При доработке запасов месторождений полезных ископаемых с устойчивыми горными породами весь объем разрушаемого рудного массива, включая его внешний контур, обуривают замкнутыми параллельными рядами вертикальных скважин одинаковой глубины, равной глубине доработки запасов.

Определение параметров БВР для конкретных условий ведения работ (приведенный диаметр дна карьера, ширина рабочего уступа, угол наклона откоса рабочего уступа α) ведется с учетом рассчитанных значений W.

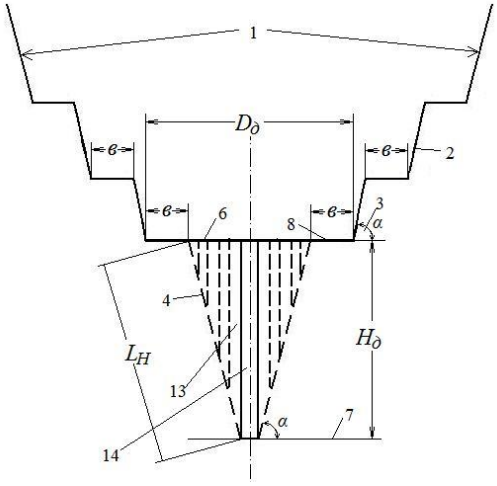


Рис. 6.5 - Схема доработки запасов под дном карьера неустойчивых горных пород методом выщелачивания: 1 - открытая горная выработка; 2 - борт карьера; 3 - угол α наклона откоса рабочего уступа; 4 - внешний контур разрушаемого объема рудного массива; 6 - дно карьера с приведенным радиусом $Д_д$; 7 - доработка запасов глубиной $H_д$; 8 - ширина рабочего уступа b; 13 - разрушенный объем рудного массива; 14 - выдающая скважина известной конструкции

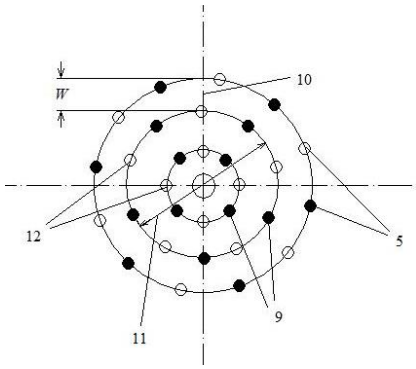


Рис. 6.6 - Схема расположения заряжаемых и незаряжаемых скважин: 5 - наклонные скважины внешнего контура разрушаемого объема рудного массива; 9 - заряжаемые скважины i–го ряда; 10 - линия наименьшего сопротивления вертикальных скважин (W) для конкретного типа горных пород; 11 - приведенный диаметр i-го единичного замкнутого ряда вертикальных или наклонных скважин $Д_{pi}$; 12 - равномерно распределенные между заряженными компенсирующие незаряжаемые скважины

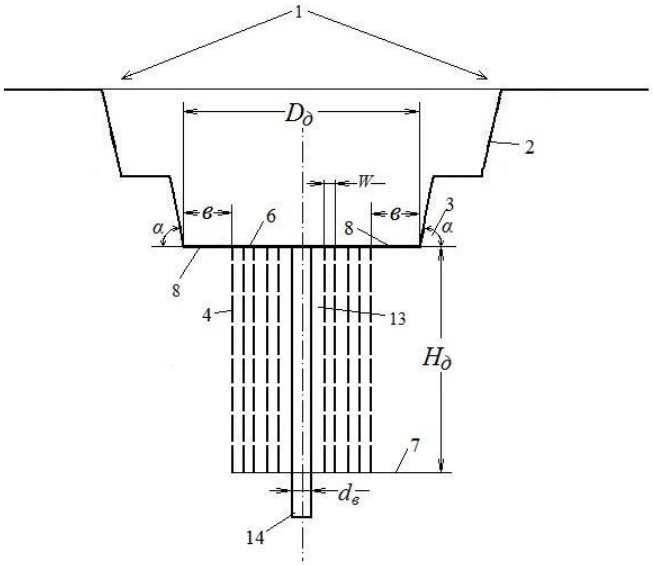
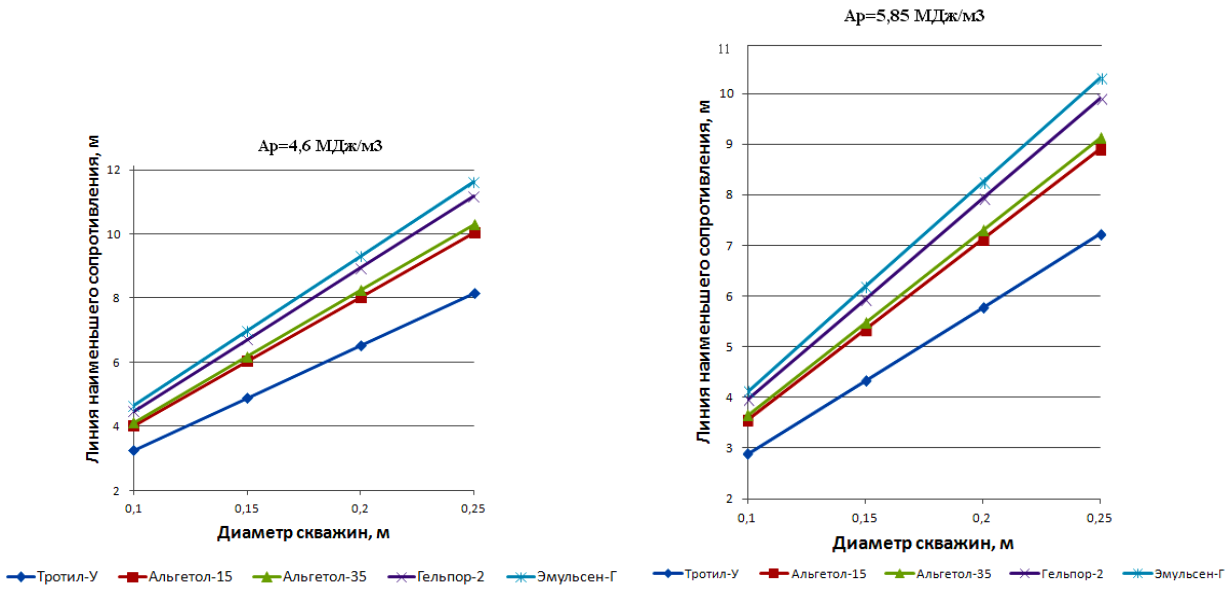


Рис. 6.7 - Схема доработки запасов под дном карьера устойчивых горных пород методом выщелачивания: 1 - открытая горная выработка; 2 - борт карьера; 3 - угол α наклона откоса рабочего уступа; 4 - внешний контур разрушаемого объема рудного массива; 6 - дно карьера с приведенным радиусом $Д_д$; 7 - доработка запасов глубиной $H_д$; 8 - ширина рабочего уступа b; 13 - разрушенный объем рудного массива; 14 - выдающая скважина известной конструкции

Величина линии наименьшего сопротивления (*W)* определяется зависимостью (4.2). При расчете зарядов используем показатель действия взрыва *f(n)*=0,5 для заряда дробления с увеличением объема породы за счет ее дробления (заряды вспучивающего действия - ЗВД). Расчетные значения *W* для скважинных зарядов диаметром от 100 до 250 мм представлены на рис. 6.8.



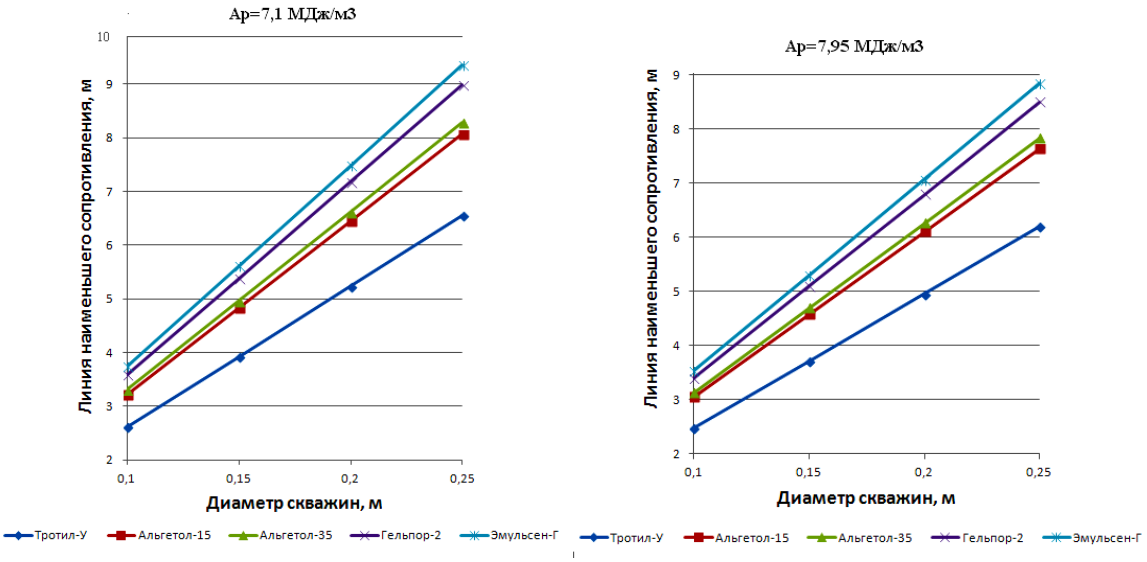


Рис. 6.8 - Величина ЛНС для пород с удельной энергоемкостью взрывного разрушения *Ар* = 4,6–7,95 МДж/м^3 при использовании конверсионных ВВ

Анализ данных, представленных на рис. 6.8, показывает, что использование мощных конверсионных ВВ позволяют увеличить ЛНС на 40%. Диапазон изменения ЛНС в различных горнотехнических условиях (диаметр взрывных скважин, тип ВВ, удельная энергоемкость взрывного разрушения *Ар*) составляет от 3 м до 11,5 м. С возрастанием *Ар* диапазон изменения ЛНС сужается [395].

6.4 Выводы по главе

1 Рассмотрены методы выщелачивания, применяемые для этого растворители и показатели благоприятной технологической обстановки с *pH* среды от 2 до 7,5 для перехода металлов (цинка, кадмия, меди, свинца, ванадия, бериллия, индия, хрома, галлия, тория) в раствор. Представлены показатели изменения взрывчатых свойств тетрила, смеси тротил-гексогена 90/10, смеси тротил-гексогена 80/20, пентолита при неблагоприятных факторах среды (*pH* от 1 до 10);

2 Показан характер изменения взрывчатых свойств в зависимости от природы активного химического агента, используемого при выщелачивании, и времени его воздействия. Для интенсификации процесса подземного выщелачивания представлены рекомендации по времени использования бризантных ВВ при повторном взрывании частично выщелоченной руды с учетом изменения взрывчатых свойств ВВ в щелочно-кислотной среде с *pH* от 2 до 10: для

пентолита - при нахождении до 10 суток; для тетрила, смесей тротил-гексогена 90/10 и 80/20 - при нахождении до 4 суток.

3 Разработаны технологические схемы взрывания для формирования горизонтальной нагнетательной щели с помощью кумулятивных зарядов плоской симметрии линейной формы, схемы взрывания для образования трещин в плохо проницаемых пластах и рудных телах с помощью кумулятивных зарядов плоской симметрии кольцевой формы, схемы взрывания для создания противофильтрационных экранов с использованием зарядов конверсионных ВВ;

4 Теоретически обоснован метод образования компенсационного пространства за счет компенсирующих и взрывных скважин при отбойке руды в глубоко зажатой среде при отработке запасов под дном карьера методом выщелачивания. Для пород с удельной энергоемкостью взрывного разрушения Ap=4,6–7,95 МДж/м^3 разработаны параметры взрывания, обеспечивающие увеличение ЛНС до 1,4 раза при использовании мощных конверсионных ВВ в сравнении с штатными промышленными ВВ. Предложенная методология расчета параметров буровзрывных работ позволяет реализовать отработку запасов под дном карьера в устойчивых и неустойчивых горных породах с использованием метода выщелачивания;

5 Защищены авторскими свидетельствами и патентами составы взрывчатых веществ и способы их получения (а.с. СССР 1785231), конструкции ДШ (а.с. СССР 1616059), способы взрывания взрывчатых веществ (а.с. СССР 1545712), способы доработки запасов месторождений (Пат. РФ 2453701), обоснованные и разработанные в рамках проведения диссертационной работы.

7 Оценка факторов воздействия на окружающую среду при применении конверсионных ВВ в геотехнологии

В процессах и операциях взрывных работ в геотехнологиях происходит выброс продуктов взрыва и пыли от разрушенных горных пород. Продукты взрыва ВВ содержат вредные для человека газообразные и конденсированные вещества: окись углерода, окислы азота, метан, аммиак, конденсированный углерод и др. Качественно-количественный состав продуктов взрыва зависит от природы ВВ, его физико-механических и взрывчатых свойств, условий взрывания, физико-механических свойств взрываемых горных пород, их химического состава. Вредность образуемой при разрушении горных пород пыли определяется химическим составом минералов, слагающих взрываемые горные породы. В процессе расширения газообразных продуктов взрыва происходит их проникновение в горную массу и частичное поглощение, которое также зависит от генезиса горных пород, их прочности и влажности.

Интенсификация добычи полезных ископаемых связана с увеличением единовременно взрываемой массы ВВ, что сопровождается подъемом больших масс пыли с образованием значительных по объему пылегазовых облаков (ПГО). Оценочные данные [3; 5; 18] показывают, что при отбойке 1 млн. $м^3$ скальных горных пород с использованием примерно 1000 т ВВ в атмосферу поступает по усредненным данным 80–300 т пыли. При взрыве такого количества ВВ образуется порядка 0,8–1,1·109 $м^3$ газообразных продуктов взрыва с содержанием примерно 10% ядовитых газов, которые распространяются вместе с пылегазовым облаком. Начальные размеры ПГО при рассматриваемом объеме массового взрыва: высота 400–1000 м, горизонтальный размер зависит от места расположения отрабатываемых блоков, их объема и количества. Начальная концентрация пыли составляет 0,6–2,3 $г/м^3$ с размером частиц 10–100 мкм.

Проведем оценку экологического воздействия на атмосферу, воду и почву продуктов взрыва конверсионных ВВ. В табл. 7.1 показан компонентный состав конверсионных ВВ [217; 446; 457] и взрывчатые характеристики промышленных ВВ на их основе: граммонита 30/70 (ТНТ+аммиачная селитра АС), гельпора (БРТ+эмульсия), эмульсионного ВВ (СРТТ+эмульсия), тротила-У - (ТНТ), альгетола (гексоген+*Al*), гранипора ППФ (ПП) и гранипора Б-2 (БАП). Вещественный состав рассматриваемых ВВ показан в скобках после названия. Аббревиатура в названиях соответствует: ТНТ - тротил; БРТ - баллиститное ракетное твердое топливо; СРТТ - смесевое ракетное твердое топливо; ПП - порох пироксилиновый; БАП - порох баллиститный артиллерийский. Представленные в табл. 7.1 данные свидетельствуют о качественных и количественных различиях в составе и свойствах конверсионных ВВ. Наиболее выраженные

отличия в составе и свойствах конверсионных ВВ присущи твердым ракетным топливам. В состав баллиститных ракетных топлив входят нитраты целлюлозы, высокоэнергетические пластификаторы, стабилизаторы химической стойкости, катализаторы и стабилизаторы горения, технологические добавки. В качестве стабилизаторов используют химически инертные неорганические соединения: оксиды, гидроксиды и соли металлов (*MgO, $Mg(OH)_2$, Al_2O_3, $CaCO_3$, CaO, TiO_2*). Неорганические соединения свинца (*PbO, Pb_3O_4, $PbCO_3$)*, фталаты и органические соединения (стеараты, салицилаты и др.) свинца, меди, кадмия, кобальта служат катализаторами горения.

Смесевые ракетные твердые топлива содержат окислитель (перхлорат аммония, АДНА и др.), связующее-горючее (пластифицированный органический полимер), металлическое горючее (*Al*), энергетические добавки (гексоген, октоген), технологические добавки различного назначения (ПАВ, сажа, графит, аэросил). В главе 2 табл. 2.3 приведен усредненный компонентный состав баллиститного ракетного топлива (типа НМФ) и смесевого ракетного твердого топлива (типа ПЭКА).

Таблица 7.1 - Взрывчатые и технологические характеристики конверсионных ВВ

Компонентный состав ВВ	Плотность, $\rho_{вв}$, г/см^3	Теплота взрыва, $Q_{вв}$, кДж/кг	Объемная концентрация энергии, $Q_{вв}\,\rho_{вв}$, кДж/см^3	Водо-стойкость, сут
ТНТ	0,75-0,8	3900	3020	водостойкое
ТНТ+АС	0,8-0,9	3768	3200	ограниченно водостойкое
Г+*Al*	0,9-1,0	4735-4986	4500-4735	водостойкое
ПАП	0,8-0,9	3436	2920	водостойкое
БАП	0,9	3350-3780	2850-3210	водостойкое
БРТ+эмульсия	1,3-1,4	3560-4190	4800-5660	водостойкое
СРТТ+эмульсия	1,2-1,4	3500-4600	4550-6210	водостойкое

Продукты детонации конверсионных ВВ содержит окислы углерода, углерод, азот, окислы азота, воду и ряд малых составляющих (*H_2, O_2, H, OH, O, N, NO*). Наличие в составе баллиститного ракетного топлива добавок приводит к образованию соединений в конденсированной фазе (соединений *Pb, Ca, Co, Cu, Ti*). Продукты взрыва смесевого ракетного твердого топлива содержат *Al_2O_3, HCl, $ZnCl_2$, CH_4.*

Величина нагрузки (W) на тот или иной компонент природной среды рассчитывается по формуле: $W=G\,\kappa_н$, где *G*- величина части ресурса, изменившего свои свойства, или внесенного в ресурс инородного вещества; $\kappa_н$ - коэффициент нагрузки. При этом $\kappa_н = \sum(M_i \cdot A_i \cdot T_i)/\sum M_i$, где: *M* - масса загрязняющего вещества, *A* - относительная агрессивность вещества, *T* - поправка на время существования вещества в окружающей среде. $A_i = ПДК_{норм}/ПДК_i$, где $ПДК_{норм}$ - предельно-допустимая концентрация нормирующего вещества, $ПДК_i$ - предельно-допустимая

концентрация загрязняющего вещества; $T_i=t_i/t_o$, где t_i - длительность существования загрязнителя в среде, t_o - длительность выбранного временного интервала оценки.

В работах [261; 276] показано воздействие на атмосферу продуктов взрыва при взрывании баллиститного ракетного топлива РСИ-12М, смесей РСИ-12 с аммиачной селитрой (соотношение 70/30) и гексогеном (соотношение 98/2), а также в воде. Традиционное сравнение ВВ продится по общей массе выброшенных в атмосферу загрязняющих веществ (оксид углерода, сажа и аммиак) или отдельно по массе основного загрязнителя – оксида углерода.

Традиционные методы оценки не учитывают выбросы в атмосферу нетоксичных веществ, хотя их появление в атмосфере также изменяет качество атмосферного воздуха, загрязняя его, не учитывают различий веществ по продолжительности их воздействия на атмосферу. На рис. 7.1 показана нагрузка на атмосферу с учетом всех перечисленных факторов для исследуемых конверсионных ВВ [261].

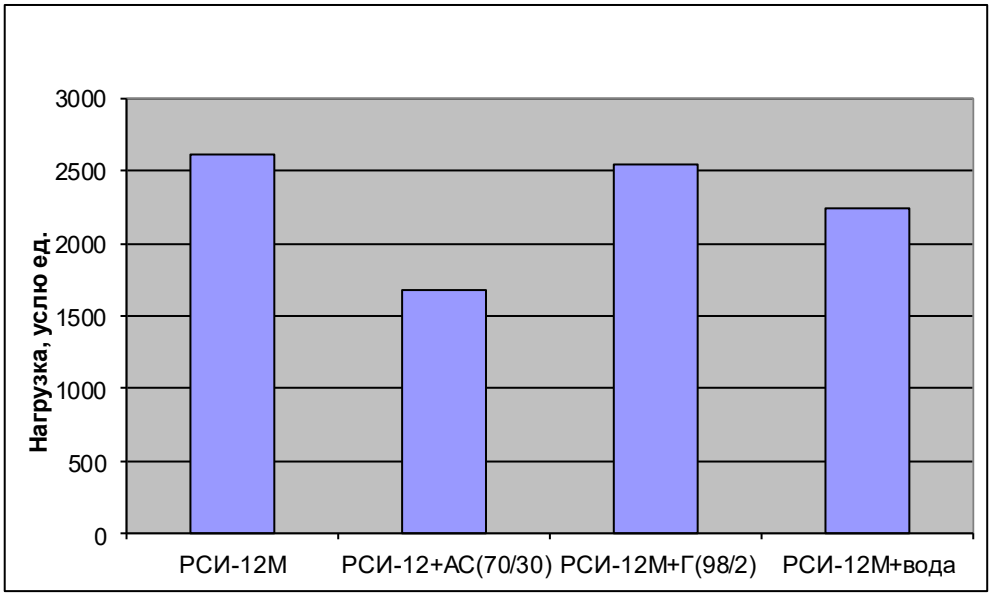


Рис.7.1 - Интегральная оценка воздействия на атмосферу по типам конверсионных ВВ

Представленные на рис. 7.1. данные показывают, что кондиционирование свойств конверсионных ВВ позволяет существенно снизить (порядка 1,6 раза) нагрузку на атмосферный воздух в данном случае за счет обеспечения кислородного баланса РСИ-12+АС (70/30) близкого к нулю.

Вместе с тем в работе [167] представлен состав продуктов взрыва ракетного топлива НМФ и ПЭКА, полученный на основании определения термодинамических параметров равновесных состояний и процессов в гетерогенных химически реагирующих смесях с учетом взаимодействия продуктов взрыва с частицами горных пород. Параметры протекания

межфазных реакций с пылевидными частицами размером до 150 мкм - температура (2500–800°С), с горной массой - температура (100–300°К). Модель учитывала возможность образования более 80 веществ в газовой и конденсированной фазах. Условия моделирования соответствовали взрыванию зарядов в воде (ПЭКА+10% воды), в среде природных силикатов (ПЭКА+10% флогопита - $K_2O{\cdot}6MgO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}6SiO_2{\cdot}2H_2O$) и карбонатных горных пород (НМФ+10 % мела, известняка - $CaCO_3$). При применении порохов и топлив предложен аналогичный подход для оценки нагрузки на воду и почву [261].

Для оценки нагрузки на атмосферу, воду, почву [260] определяется величина $к_н$ веществ, входящих в состав продуктов взрыва ракетных топлив НМФ и ПЭКА. В качестве нормирующего вещества при определении показателя относительной агрессивности (A_j), приняты: для атмосферы - диметилнитрозамин (ПДК $_{СС}$ =50 мг/м ^{3}), для воды - сухой остаток ($ПДК_{СО}$=1000 мг/л), для почвы - отходы флотации ($ПДК_{ОФ}$=3 г/кг). Количественные показатели нагрузки на атмосферу, воду, почву при взрывании ракетных топлив НМФ и ПЭКА представлены в приложении К.

Величина $к_н$ для продуктов взрыва изменяется в диапазоне от 0,003 до 135 для атмосферы, от 0,148 до 24900 для воды и от 1 до 288,462 для почвы. В одних случаях влияние на величину $к_н$ оказывает токсичность продуктов взрыва, как например, металлы *Co* и *Ni* в воздухе и $ZnCl_2$ в воде, в других случаях - длительность существования загрязнителя в среде, как например, окислы углерода в атмосфере.

Сравнение воздействия на атмосферу, воду и почву при взрывании в модельных условиях ПЭКА и НМФ проведено по относительному показателю, представляющему отношение нагрузки от ПЭКА к нагрузке от НМФ, принятому за единицу.

Относительные нагрузки для разных компонентов природной среды представлены на рис. 7.2. Результаты выполненных расчётов и данные рис. 7.2 свидетельствуют о том, что из рассматриваемых вариантов наименьшую воздействие на атмосферу, воду и почву оказывает вариант использования НМФ при отбойке карбонатных пород.

Нагрузка на атмосферу от действия продуктов взрыва НМФ при отбойке карбонатных пород приблизительно в два раза, а на воду почти на порядок меньше, чем нагрузка от ПЭКА. При воздействии на атмосферу продуктов взрыва ПЭКА при отбойке природных силикатов и взрывании зарядов в воде основным негативным фактором является хлористый водород, отсутствующий в выбросах от НМФ. Основная доля нагрузки на воду при взрывании ПЭКА при отбойке природных силикатов и взрывании зарядов в воде приходится на хлорид цинка, который также практически отсутствует при взрывании НМФ. Нагрузка на почвенный покров от осаждающихся из атмосферы выбросов при взрывании ПЭКА и НМФ практически не различается.

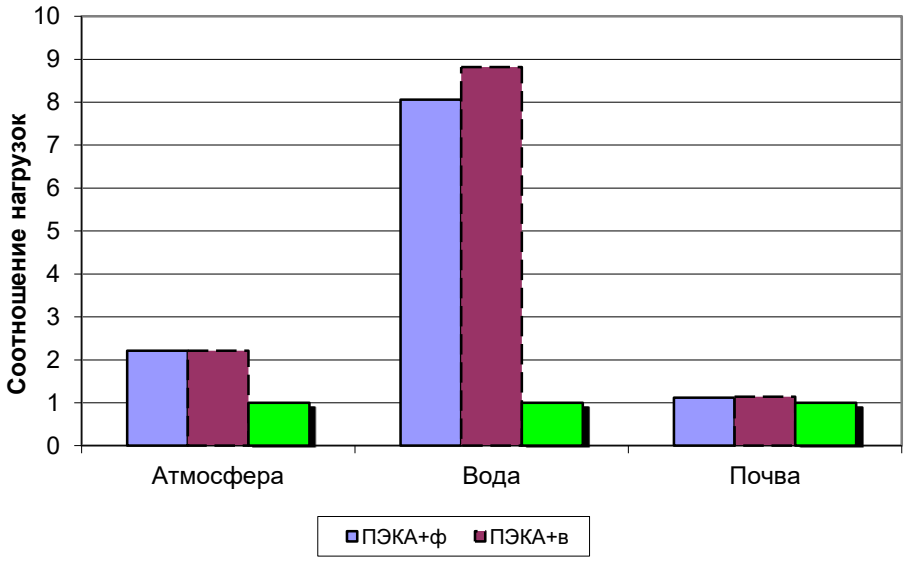


Рис.7.2 - Относительная нагрузка на атмосферу, воду и почву для НМФ и ПЭКА с учетом массы выбросов и коэффициента нагрузки

7.1 Выводы по главе

1 Показано, что при использовании в геотехнологии РСИ-12М, смесей РСИ-12 с аммиачной селитрой (соотношение 70/30) и гексогеном (соотношение 98/2), а также при взрывании в воде возможно снизить нагрузку на атмосферный воздух (порядка 1,6 раза) за счет обеспечения кислородного баланса смеси РСИ-12+АС (70/30) близкого к нулю.

2 Из рассмотренных конверсионных ВВ (смесевых и твердых ракетных топлив ПЭКА и НМФ) с позиции наименьшей нагрузки на атмосферу, воду и почву лучшим является НМФ.

3 Для снижения вредного воздействия продуктов взрыва на природную среду возможно использование технологических приемов. Например, содержащаяся в продуктах взрыва ПЭКА соляная кислота может выступать активным агентом в технологии подземного выщелачивания.

8 Методические положения по оценке экономической эффективности применения конверсионных ВВ в технологических процессах открытых, подземных горных работ и подземного выщелачивания руд

В рыночных отношениях возрастает роль экономической оценки выбора технологий разрушения горных пород с использованием новых видов взрывчатых веществ и изделий из них. К таким взрывчатым материалам относятся конверсионные взрывчатые вещества (конверсионные ВВ), получаемые при утилизации из компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов, боевых частей, твердотопливных ракетных двигателей. В литературных источниках [448] представлены подходы к определению технико-экономической эффективности конверсионных ВВ через безразмерный коэффициент эффективности, определяемый соотношением $K_{эф} = \frac{c_П^{КВВ}}{c_П^{ВВ}}$, где $c_П^{КВВ}$ и $c_П^{ВВ}$ - полная стоимость использования для выполнения определенного объема работы соответственно конверсионных ВВ и какого-либо распространенного ВВ. Предлагаемая методика содержит ряд дискуссионных моментов. Во-первых, в ней наиболее полно рассматриваются вопросы, связанные с утилизацией боеприпасов (определение остаточной стоимости БП, стоимости утилизации конверсионных ВВ, определения затрат на транспортирование конверсионных ВВ к потребителю и затрат на складирование и охрану складов, экологическая оценка применения и др.), даже включены дискуссионные вопросы учета стоимости уничтожения конверсируемых, но не используемых боеприпасов. Во-вторых, оценка экономической эффективности при выполнении основных операций взрывных работ с использованием конверсионных ВВ в физико-технической и физико-химической геотехнологии носит общий характер.

Для восполнения существующего пробела нами предлагается методика технико-экономической оценки использования конверсионных ВВ в производственных процессах взрывных работ в физико-технической и физико-химической геотехнологии на основе критериев, принятых при экономических расчетах в геологоразведочных [454] и геотехнологических процессах, включающих оценку коммерческой, технической и других составляющих. При внедрении конверсионных ВВ на горных предприятиях капитальные затраты отсутствуют. Расчет производится по эксплуатационным расходам в технологии взрывных работ, которые оказывает влияние на внедряемое мероприятие, или по снижению экономического ущерба при внедрении мероприятия.

Предлагаемая методика [402] содержит ряд инновационных подходов в определении технико-экономических результатов применения конверсионных взрывчатых материалов в процессах и операциях взрывных работ (отбойка руды и дробление негабарита, взрывание

кумулятивными зарядами линейной и кольцевой формы, контурное взрывание, взрывание зарядов ВКЗ, проходка горных выработок, ликвидация зависаний руды, отбойка руды в зоне открыто-подземного яруса, повторное разрушение руды при подземном выщелачивании и др.).

При расчете эксплуатационных расходов при взрывании производится учет факторов: увеличение объема взрывания и повышение выхода горной массы, снижение удельного расхода ВВ, сокращение перебура взрывных скважин, получение заданной ширины развала, снижение выхода негабарита, увеличение производительности при экскавации и транспортировании, снижение затрат на вторичное дробление, повышение КИШ, снижение ущерба от сокращения простоев и эксплуатации оборудования при понижении производительности оборудования, получение дополнительного металла на тонну выщелачиваемой руды, сокращение потерь металла и др.

Научно-методические положения по оценке экономической эффективности применения конверсионных ВВ в физико-технической, физико-химической и комбинированных геотехнологиях [402] приведены в приложении Л.

8.1 Выводы по главе

1 Разработанные методические положения учитывают основные факторы, оказывающие существенное влияние на технико-экономические показатели взрывных работ при использовании конверсионных ВВ, в физико-технической, физико-химической и комбинированной геотехнологии.

2 В физико-технической геотехнологии научно-методические положения базируются на показателях при отбойке руды на карьерах и подземных горных работах; вторичном дроблении негабарита; контурном взрывании на карьерах при отработке приконтурных лент, заоткоске уступов, постановке бортов в предельное состояние; контурном взрывании на подземных горных работах при проходке горных выработок; вторичном дроблении негабарита на карьерах; дроблении негабарита на выпуске и доставке руды, ликвидации зависаний руды в рудоспусках на подземных горных работах;

3 В физико-химической геотехнологии научно-методические положения базируются на показателях при повторном взрывании для интенсификации процесса подземного выщелачивания; повышении проницаемости и коллекторских свойств массива при подземном выщелачивании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработана совокупность технических и технологических решений по теоретическому обоснованию параметров взрывной технологии и управления взрывчатыми свойствами утилизируемых боеприпасов, обеспечивающих в физико-технической и физико-химической геотехнологии эффективность отбойки горных пород и безопасное ведение взрывных работ, внедрение которых содействует ускорению научно-технического прогресса в области взрывного разрушения пород при освоении месторождений твердых полезных ископаемых.

Основные результаты, полученные в работе, заключаются в следующем:

1. Дана систематизация особенностей взрывных работ, основанная на признаках, характеризующих вид геотехнологии, способ разработки месторождений, метод добычи, и позволяющая обосновать требования по кондиционированию свойств компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов в соответствии с видом выполняемых взрывных работ в физико-технической и физико-химической геотехнологии;

2. Впервые определено технологическое содержание понятия «кондиционирование свойств конверсионных ВВ», под которым понимается совокупность процессов механического или физического воздействия на компоненты разрывных и метательных зарядов боеприпасов с целью придания им свойств, обеспечивающих эффективное и безопасное применение в технологических процессах открытых, подземных горных работ и подземного выщелачивания руд;

3. На основе глобулярной модели пористой среды разработан метод оценки структуры гранипоров, отражающий влияние на пористость формы и размера пороховых зерен. Для характерного размера пороховых гранул 1–20 мм в гранипоре показано изменение размера пор смеси при пластинчатой 0,73–14,64 мм, цилиндрической 0,37–7,34 мм и сферической 0,25–4,92 мм форме гранул. Увеличение гравиметрической плотности гранипоров возможно усложнением смеси зерен порохов с преобладанием крупных над более мелкими фракциями. В процессе измельчения порохов зернам должна придаваться форма с более совершенной окатанностью и шероховатостью поверхности с отношением минимального размера зерна к максимальному 0,6–0,9;

4. Комплексом экспериментальных исследований определена инициирующая способность и восприимчивость к детонации практических видов взрывного импульса компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов, используемых в конверсионных взрывчатых веществах, предназначенных для использования в геотехнологии. Инициирующая способность

J детонирующих шнуров с навеской ВВ от 2 до 30 г изменяется от 0,2 до 13,9. Восприимчивость РНДСИ к импульсу детонирующего шнура составляет 9(-) отказ- 10(+) взрыв. Показано, что исключение низкоскоростных режимов взрывчатого превращения гранулированных ВВ при инициировании зарядов способствует уменьшению на 15–20% размера среднего куска, снижению на 5-10% удельного расхода ВВ, повышению на 10–12% производительности погрузочного оборудования;

5. Разработаны способы взрывания, обеспечивающие увеличение масштабности подготовки горной массы к выемке, основанные на создании необходимого запаса энергии для разных условий взрывания, на обеспечении требуемой объемной концентрации энергии взрывчатого вещества, соответствующей энергоемкости взрывного разрушения пород, на дифференцированном распределении с учетом условий залегания, на повышении эффективности взрывания на уровне подошвы уступа с учетом условий зажима.

6. Показано, что изменение запаса энергии заряда с увеличением высоты уступа для более крепких пород носит более сильный характер. При взрывании в разных условиях залегания требуемая объемная концентрация энергии взрывчатого вещества определяется энергоемкостью взрывного разрушения пород и величиной линии сопротивления действию взрыва (подошве, контакту). В зависимости от крепости пород масса заряда, обеспечивающего сокращение длины перебура на 50%, изменяется от 9,3 до 27,9 кг в скважинах 200 мм;

7. Обоснован метод контурного взрывания и предложены конструкции шпуровых и скважинных зарядов, в которых объемная плотность заряжания меняется в пределах 0,232–0,422 г/см^3 для баллиститных шашек диаметром от 40 до 54 мм. Показано, что для обеспечения щадящего режима образования трещин в горном массиве объемная плотность заряжания определяется с учетом радиальных зазоров и осевых полостей;

8. На основании физически обоснованных гипотез дано решение по определению величины активной части кумулятивного заряда плоской симметрии линейной и кольцевой формы. При изменении формы кумулятивной поверхности (парабола, треугольная $2\alpha=60°$, 90°, 120°) масса активной части увеличивается с 136,6 г до 410,4 г. Показано, что при взрывании горных пород кумулятивными зарядами плоской симметрии происходит трещинное разрушение без разлета осколков. Дробление негабарита конверсионными взрывчатыми веществами позволит обеспечить эффективную работу в дучках, в выработках скреперования, а также при ликвидации зависаний в рудоспусках;

9. Установлены особенности детонации смесевых гранулированных ВВ в вертикальных концентрированных зарядах. Показано, что при линейном инициировании угол наклона фронта детонационной волны на границе раздела «заряд - среда» при использовании конверсионных взрывчатых веществ изменяется от 0,488 до 0,924 радиан, обеспечивая изменение величины

давления в волне напряжений в пределах от 8,11 до 10 ГПа. Обоснован оптимальный по кислородному балансу компонентный состав зарядов ВКЗ на основе пористой и поризованной аммиачной селитры при использовании конверсионных ВВ с кислородным балансом от -22 до -74%;

10. Созданы методы определения параметров зарядов в зависимости от места расположения шпура в забое при проходке горных выработок. Особенность предлагаемых методик заключается в том, что в цилиндрических зарядах увеличение активной части и соответственно энергии, идущей на полезные формы разрушения горного массива, осуществляется за счет изменения диаметра заряда и плотности ВВ, а в зарядах направленного действия активная часть заряда сохраняется постоянной независимо от места расположения шпура в забое. Использование конверсионных ВВ позволяет увеличить нагрузку на шпур в 1,2–1,3 раза;

11. Разработаны технологические методы взрывных работ для интенсификации процесса выщелачивания. Получена расчетная зависимость определения компенсационного пространства, обеспечивающего получение требуемого коэффициента разрыхления, за счет объема заряжаемых и незаряжаемых скважин. В зоне открыто-подземного яруса использование мощных конверсионных взрывчатых веществ позволяет увеличить линию наименьшего сопротивления до 1,4 раза. Показано, что при подземном выщелачивании для улучшения условий миграции растворов, снижения потерь реагентов и продуктивных растворов целесообразно применять для образования щелевых полостей заряды направленного действия, обеспечивающие в 1,5–1,7 раза большую эффективность взрывания по сравнению со сплошными цилиндрическими зарядами;

12. Обоснована возможность проведения повторного разрушения частично выщелоченной руды, исходя из такого технологического фактора, влияющего на взрывчатые свойства ВВ, как щелочно-кислотные условия процесса выщелачивания,. Показано, что пентолит в щелочно-кислотной среде с pH от 2 до 10 не снижает взрывчатые свойства до 10 суток, а тетрил и смеси ТГ90/10, ТГ80/20 - до 4 суток;

13. Разработаны рекомендации по применению конверсионных взрывчатых веществ для контурного взрывания, инициирования шпуровых, скважинных и вертикальных концентрированных зарядов, вторичного дробления горных пород, проходки горных выработок. Для открытых горных работ рекомендации базируются на учете условий размещения зарядов, технологических свойств горных пород (крепости), удельной мощности используемого ВВ. Результаты исследований, методики расчета и рекомендации используются НПП «Самаравзрывтехнология», НПЦ «Экоресурсы», НИИ «Росконверсвзрывцентр», ОАО

«Евразруда», ОАО «Союзвзрывпром» при разработке безопасных методов взрывных работ и создании эффективных конструкций зарядов.

14. Подготовленные методические положения по оценке экономической эффективности применения конверсионных ВВ основываются на учете показателей взрывных работ, оказывающих влияние на параметры технологических процессов физико-технической и физико-химической геотехнологии.

Список литературы

1. Авдеев Ф.А., Барон В.Л., Блейман И.Л. Производство массовых взрывов. - М.: Недра, 1977. - 312 с.
2. Адушкин В.В. Модельные исследования разрушения горных пород взрывом // Сборник «Физические проблемы взрывного разрушения массивов горных пород». - М.: ИПКОН РАН, 1999. - С.18-29.
3. Адушкин В.В. Основные факторы воздействия открытых горных работ на окружающую среду // Горный журнал. - 1996. - №4. - С 49-55.
4. Адушкин В.В., Кощий С.А. О зависимости размеров котловой полости от удлинения цилиндрических зарядов // Сб. «Взрывное дело». - М., Недра 1979. - №83/38. - С.61-71.
5. Адушкин В.В., Спивак А.А., Соловьев С.П. и др. Геоэкологические последствия массовых химических взрывов на карьерах // Геоэкология. - 2000. - №6. - С. 554-563.
6. Азаркович А.Е. О связи между лабораторными характеристиками ВВ и их взрывной эффективностью. ФТПРПИ. – 1970. - №3. – 1970. - С. 64-69.
7. Азаркович А.Е., Тихомиров А.П. Современные промышленные взрывчатые вещества, их оценка и условия рационального применения на карьерах, Изд. ин-та «Цветметинформация», М., 1968. 98 с.
8. Азаркович А.Е., Шуйфер М.И., Тихомиров А.П. Взрывные работы вблизи охраняемых объектов. - М.: Недра, 1984. - 213 с.
9. Акимова Т.А., Хаскин В.В. Основы экоразвития: Учебное пособие. - М.: Изд-во Рос.экон. акад., 1994. – 312 с.
10. Акт КНИИМ по гранипорам ТУ 07511819-103-97 от 09.05.1997 г.
11. Акт-отчет ЛНПО «Союз» по договору №11 от 06.01.1994г. «Разработка и испытания в промышленных условиях новых водоустойчивых и ограниченно водоустойчивых ВВ на основе баллиститных пироксилиновых порохов и средств механизации заряжания скважин».
12. Аминов И.Х., Александров А.В., Сибишев Р.З. Литьевые композиционные составы на основе энергонасыщенных веществ. // Сб. Утилизация-98, III Международная конференция, Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов. - М.: "Вооружение. Политика. Конверсия", 1999. - С. 183-186.
13. Андреев К.К., Беляев А.Ф. Теория взрывчатых веществ. - М.: Госуд. НТИ Оборонгиз, 1960. - 595 с.
14. Андреев К.К., Термическое разложение и горение взрывчатых веществ. - М.: Наука, 1966.

15. Андреев С.Г., Пруденский Г.А., Соловьев В.С. Разработка и оценка методов "сухого" извлечения гексогеносодержащих ВВ из корпусов боеприпасов // Сб. Утилизация-95, Материалы I Российская научно-техническая конференция Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов. - М.: ЦНИИНТИКПК, 1995. - С. 25-33.
16. Анисимов В.Н., Франтов А.Е. Применение кумулятивных зарядов с плоской симметрией для разрушения горных пород и проходки горных выработок. Ч.1. // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.: изд. МГГУ, 2006. - №4. - С. 284-287.
17. Анисимов В.Н., Франтов А.Е. Применение кумулятивных зарядов с плоской симметрией для разрушения горных пород и проходки горных выработок. Ч.2. // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.: изд. МГГУ, 2006. - № 11. - с.100-102.
18. Анисимов В.Н., Франтов А.Е. Пылегазоподавление при крупномасштабном взрывании при применении конверсионных ВМ. // Сб. докдадов VII Международная научно-техническая конференция «Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов». - М.: Изд. Дом «Оружие и технологии. 2007. - С. 246-250.
19. Анистратов Ю.И. Технология открытой добычи руд редких и радиоактивных металлов: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1988. – 430 с.
20. Апин А.Я. Роль наполнителей при детонации взрывчатых веществ и порохов // Сб. «Физика взрыва». - АН СССР. - 1953. - №2. - С.150-166.
21. Апин А.Я., Костин И.Д., Стесик Л.Н. Детонация баллиститных порохов // Докл. АН СССР. - 1961. - Т.137. - №9. - С.652-653.
22. Апин А.Я., Стесик Д.Н. О механизме химической реакции при детонации сплошных взрывчатых веществ // Докл. АН СССР. – 1964. - т.137. - № 4. – С. 273-275.
23. Апин А.Я., Стесик Л.Н, Шведова Н.С. Ударная адиабата баллиститного пороха. // Докл. АН СССР. – 1961. - т.137. - №4. - С. 908-909.
24. Аренс В.Ж. Геотехнологические методы добычи полезных ископаемых. – М.: Недра, 1975. – 379 с.
25. Аренс В.Ж., Бабичев Н.И., Башкатов А.Д., Гридин О.М., Хрулев А.С., Хчеян Г.Х. Скажинная гидродобыча полезных ископаемых: Учеб. пособие. – М.: Изд. «Горная книга», 2007. – 295 с.
26. Аренс Ж.В., Гридин О.М., Крейнин Е.Б., Небера В.П., Фазлуллин М.И., Хрулев А.С. Чхеян Г.Х. Физико-химическая геотехнология: Учебник для вузов / Под общей редакцией В.Ж. Аренса. – М.: Изд. Московского государственного горного университета, изд. «Горная книга», 2010. – 575 с.

27. Архангельская В.В., Лагонский Н.Н., Усова Т.Ю., Чистов Л.Б. / Руды редкоземельных металлов России. «Минеральное сырье». Серия геолого-экономическая, № 19, М.: Изд. ВИМС, 2006, 72 с.
28. Атчисон Т.С., Портер С.Д., Дюваль В.И. Сравнение двух методов оценки свойств взрывчатых веществ // Сб. «Разрушение и механика горных пород». - М.: Госгортехнадзор, 1962. – С. 286-311.
29. Афанасенков А.Н., Богомолов В.М., Воскобойников И.М. Критические давления инициирования взрывчатых веществ // Сб. «Взрывное дело». - М., 1970. – №68/25. - С.68-93. Афанасенков А.Н., Воскобойников И.М., Гогуля М.Ф., Катков А.И. ФГВ, №3, 1974.
30. Афанасенков А.Н. Инициирование детонации баллиститных порохов ударными волнами //Физика горения и взрыва. - 2001. - Т.39. - № 5. - С.85-89.
31. Афанасенков А.Н. О работоспособности ВВ. Метод Трауцля // Сборник «Проблемы взрывного дела». - М.: Изд. Моск. гос. горный университет – АНО «НОИВ», 2002. - № 1 - С. 114-122.
32. Афанасенков А.Н., Богомолов В.М., Воскобойников И.М. Критические давления инициирования взрывчатых веществ // Сб. «Взрывное дело». – М.: Недра, 1970. - №68/25. - С. 68-92.
33. Афанасенков А.Н., Галкин В.В. Использование утилизируемых взрывчатых материалов для повышения эффективности действия взрыва. // Физика горения и взрыва. – 2001. - т. 37. - № 2. - С.131-134.
34. Афанасенков А.Н., Галкин В.В. Экспресс-метод расчета параметров детонации промышленных ВВ и порохов. // Сб. Разрушение горных пород. - М.: 1992. - С.30-33.
35. Афанасенков А.Н., Галкин В.В., Кукиб Б.Н. О работоспособности конверсируемого баллиститного пороха // Сб. «Взрывное дело». – М.: Недра, 1994. – С. 108-114.
36. Афанасенков А.Н., Котова Л.И., Кукиб Б.Н. О работоспособности промышленных ВВ // ФГВ. - 2001. - Т37, №3. - С.115-125.
37. Афонин В.Г., Гейман Л.М., Комир В.М. Взрывные работы в строительстве (Краткий справочник). – Киев: «Будівельник», 1971. - 175 с.
38. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. – М., 1973. - 319 с.
39. Базотов В.Я., С.А.Чевиков Физические основы процессов образования и накопления электрических зарядов на расснаряжаемых взрывчатых материалах при их переработке и утилизации // Материалы II Всероссийский научно-технической конференции «Утилизация-96». Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов. - М.: ЦНИИНТИКПК, 1997. – С. 135-136.

40. Байков Б.Н., Франтов А.Е., Долотов А.И. Подготовка эксплуатационных блоков на золоторудных месторождениях к подземному выщелачиванию // Сб. Проблемы геотехнологии. Материалы II-й всесоюзной конференции по геотехнологическим методам добычи полезных ископаемых, кн.2. - М., 1975. - С. 451-453.
41. Бакиров И.Т., Митрофанов В.В. Докл. АН СССР, 1976, 231, 3, 1315.
42. Баранов Е.Г. Исследование основных закономерностей разрушения горных пород взрывом при открытой разработке сложных месторождений: автореф. дис. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. - М.: МГИ, 1971. - 31 с.
43. Баранов Е.Г., Байков Б.Н., Березин А.И. Взрывание высоких уступов в зажатой среде // Сб. «Взрывное дело». - М.: Недра, 1967. - № 62/19. - С. 184-188.
44. Баранов Е.Г., Дурнев В.Ф., Семенюк Е.А. Интенсивность потока энергии и сравнительная оценка взрываемости горных пород // Изв. Вузов. Горный журнал. – 1984, №7, - С.1-3.
45. Баранов Е.Г., Клаповский В.Е. Оценка энергоемкости горных пород при взрыве. – ФТПРПИ, 1969, №5.
46. Баранов Е.Г., Клочко И.И, Петелин Э.А. Действие кумулятивного заряда в горной породе и расчет параметров нагружения // Горный журнал Известия Вузов. -1992. - № 3. - С. 88-92.
47. Баранов Е.Г., Клочко И.И., Петелин Э.А. Исследование эффективности нагружения горной породы кумулятивными зарядами // Сб. «Буровзрывные работы в строительстве». – М. Недра, 1992. - С. 133-138.
48. Баранов Е.Г., Клочко И.И., Петелин Э.А. О разлете продуктов взрыва в газокумулятивных зарядах. // ФГВ. -1991. -№6. -С.127-131.
49. Баранов Е.Г., Тангаев И.А., Додис Я.М. и др. Новая технология селективной разработки сложных блоков на примере Коунрадского карьера. - Фрунзе: КиргизИНТИ, 1971. - С.48.
50. Барон Л.И., Логунцов Б.М., Позин Е.З. Определение свойств горных пород. - М.: Госэнергоиздат, 1962.
51. Барон Л.И., Росси Б.Д., Левчик С.П. Дробящая и способность взрывчатых веществ для горных работ. - М.: Госгортехиздат, 1960.
52. Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П. и др. Физика взрыва. - М.: Наука, 1975. - 704 с.
53. Баум Ф.А., Станюкович К.П., Шехтер Б.И. Физика взрыва. – М.: Гос. изд-во физико-математической литературы, 1959. - 800 с.
54. Бахуров В.Г., Вечеркин С.Г., Луценко И.К. Подземное выщелачивание урановых руд. - М.: Атомиздат, 1969.

55. Белин В.А. Разрушение горных пород с применением утилизируемых взрывчатых материалов. Горный журнал, - №1, 1999. – С.51-53.
56. Белин В.А. Технология и безопасность применения утилизируемых взрывчатых веществ в промышленности. Учебное пособие. - М.: изд. МГГУ, 1999. - 97 с.
57. Белин В.А. Физико-техническое обоснование взрывного разрушения горных пород на карьерах с применением утилизируемых ВВ: автореф. дис. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. - М.: МГИ, 1996. – 27 с.
58. Беляев А.Ф. Горение, детонации и работа взрыва конденсированных систем. - Наука, М.: 1968.
59. Беляев А.Ф. К вопросу столкновения ударных волн // Сборник статей по теории взрывчатых веществ (под ред. проф. К.К. Андреева и проф. Ю.Б. Харитона). - М.: Оборонгиз, 1940. - С. 159-176.
60. Беляев А.Ф. О свойствах зарядов ВВ, определяющих разрушение значительных объемов породы // Сб. «Проблемы дробления горных пород взрывом». - М.: Углетехиздат, 1959. - С.52-55.
61. Беляев А.Ф., Азбукина Л.И. Влияние свойств заряда ВВ на разрушение блока цементного раствора // Сб. «Взрывные работы». - М.: Госстройиздат, 1960.
62. Беришвили Г.А., Элизбарашвили Т.Ш. Об эффективности низкочувствительных ВВ при инициировании их боевиками различной конструкции // Сб. «Взрывное дело». – М.: Недра. - № 76/33. - С 164-178.
63. Боболев В.К. Детонационная способность и чувствительность ВВ / В кн.: Детонация конденсированных и газовых систем. - М.: Наука, 1986. – 240 с.
64. Боголюбов Б.П., Грачев Ф.Г. Раздельная разработка месторождений сложного состава. М., 1964. 168 с.
65. Болховитинов Л.Г. О работоспособности ВВ // Сб. «Взрывное дело» – М.: Недра, 1974. - №74/31. - С. 92-96.
66. Болховитинов Л.Г., Викторов С.Д. Зависимость скорости детонации от диаметра заряда // Физика горения и взрыва. - 1976. - №5. - С. 799-801.
67. Боуден Ф., Иоффе А. Быстрые реакции в твердых веществах. – М.: ИЛ, 1962. – 359 с.
68. Боуден Ф., Иоффе А. Возбуждение и развитие взрыва в твердых и жидких веществах. – М.: ИЛ, 1955. – 340 с.
69. Броунс Г.А. Технология пороха (практическое пороходелие), ч. II Пироксилиновый бездымный порох. - М.: Изд. АУ РККА, 1927. – 320 с.
70. Брунсвиг Т. Бездымный порох. – М-Л.: Государственное химико-технологическое изд., 1933. – 280 с.

71. Будников М.А., Левкович Н.А., Быстров И.В. и др. Взрывчатые вещества и пороха. – М.: Гос изд. Оборонной промышленности, 1955. - 363 с.
72. Бутысин В.С. Применение удлиненных зарядов, передаваемых по конверсии, в качестве контурных зарядов- Сб. трудов Вопросы разрушения горных пород. – М.: ИПКОН РАН, 1994. – С.16-25.
73. Бутысин В.С., Щукин Ю.Г., Якубов И.Т. Исследование действия пороховых шашек с продольной кумулятивной выемкой на твердую среду // Сб. Развитие методов ведения взрывных работ на карьерах с учетом улучшения экологических условий. – М.: ИПКОН РАН, 1991. - С. 120-123.
74. Вайнштейн Б.И., Чернов К.С., Песоцкий М.К. Анализ методов определения работоспособности ВВ // Сб. «Взрывное дело». – М.: Недра, 1982. - 84/41. - С.75-83.
75. Вайншток С.М., Гумеров А.Г., Калинин В.В., Зубаиров А.Г., Будзуляк Б.В., Халлыев Н.Х. Взрывные работы на магистральных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2006. -574 с.
76. Васильев А.В., Альбов Л.И. О чувствительности вторичных ВВ к инициирующему импульсу детонации // Сб. «Взрывное дело». - М., 1976. – №76/33. - С. 128-137.
77. Васильев С.В. Актуальные проблемы безопасной утилизации ракет и боеприпасов // VIII Международная научно-техническая конференция «Актуалные проблемы утилизации ракет». Сб. докладов. – М.: «Типография ФКП «НИИ «Геодезия», 2012. – С. 8-14.
78. Ведутин В.Ф. Оценка эффективности шпуровых зарядов обычного и кумулятивного действия // Добыча и обогащение руд цветных металлов. – 1963. - №6. - С. 26-30.
79. Ведутин В.Ф., Вихорь А.Г., Легачев М.П., Хохлов С.А. К вопросу применения кумулятивных зарядов в горнорудной промышленности // Тр. ВОСТНИГРИ, вып. III, Новокузнецк, 1963. - С.20-25.
80. Веретенников В.А., Дремин, А.Н., Шведов К.К. Детонация пористых ВВ // Физика горения и взрыва. - 1969. - №3. - С.338-347.
81. Взрывное устройство. Авторское свидетельство 946321, СССР. / Ю.Г. Щукин, Н.Н. Мельников, А.Г. Гусев, М.А. Гайдамако, А.И. Шумский, Н.П. Сеинов, А.Е. Франтов, В.Н. Попов (08.01.1981).
82. Взрывчатое вещество. Авторское свидетельство 1785231, СССР. / И.К. Мультанов, А.Е. Франтов, П.А. Велькин, Л.Р. Хусаинов, В.А. Соснин, В.В. Степин, Р.И. Бахулиев (05.06.1987).
83. Викторов С.Д. Разработка и применение простейших взрывчатых веществ / Отв. редактор академик РАН К.Н. Трубецкой – М.: ИПКОН РАН, 1996. - 156 с.

84. Викторов С.Д. Технология крупномасштабной отбойки на удароопасных месторождениях Сибири // С.Д.Викторов, А.А. Еременко, В.М. Закалинский, И.В. Машуков. – Новосибирск: Наука, 2005. - 212 с.
85. Викторов С.Д., Бутысин В.С. Методика и программа расчета образования распространения пылегазового облака при массовом взрыве на карьере // Горный журнал. – 1996. - №5. – С.50-53.
86. Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Кочанов А.Н., Рубцов С.К. К вопросу о перебуре скважин. / Сб. Проблемы взрывного дела. - №1. – М.: МГГУ-АНО «НОИВ», 2002. – с.11-17.
87. Викторов С.Д., Машуков И.В., Франтов А.Е., Филиппов П.А., Фефелов С.В., Кудряшов А.А. Перспектива применения простейших ВВ и изделий из конверсионных ВВ в вертикальных концентрированных зарядах // Сб. Проблемы взрывного дела. – М.: МГГУ-НОИВ. – 2002. - №1. - С. 146-150.
88. Викторов С.Д., Франтов А.Е. Развитие научных основ применения в геотехнологиях конверсионных ВВ // VIII Международная научно-техническая конференция «Актуалные проблемы утилизации ракет». Сб. докладов. – М.: «Типография ФКП «НИИ «Геодезия», 2012. – С. 305-314.
89. Влияние микроструктуры гранул нитрата аммония на детонационную способность смесевых вв на его основе / Викторов С.Д., Франтов А.Е., Лапиков И.Н., Андреев В.В., Старшинов А.В. // ФГВ. – 2016. - Т52, №6. - С.119-124.
90. Волков Е.Б. Сокращение стратегических наступательных вооружений. – М.: 1993. – 188 с.
91. Воронов А.Ф., Харитонов В.Ф., Абрамов В.А. Производство промышленных взрывчатых веществ в ПО "Алексинскнй химкомбинат" // Сб. Утилизация-96 Комплексная утилизация боеприпасов. II Всероссийская научно-техническая конференция, М.: ЦНИИНТИКПК, 1997. - С.44-46.
92. Временная методика лабораторно-полигонных и промышленных испытаний новых детонирующих шнуров. - М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1973. -33 с.
93. Временный технологический регламент комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии комплексного освоения месторождений полиметаллических руд и сопутствующих им техногенных образований: отчет о НИР / УРАН ИПКОН РАН – М., 2008. -255 с.
94. Гальянов А.В., Яковлев В.Л. Сырьевая база промышленного комплекса черной металлургии. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 297 с.
95. Генералов М.Б. Основные процессы и аппараты технологии промышленных взрывчатых веществ: Учеб. пособие для вузов. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. -397 с.

96. Генерация электрических импульсов высокой мощности с помощью кумулятивного взрыва / И.А. Стадниченко, В.М. Титов, В.П. Чистяков К.К. Шведов. – Физика горения и взрыва, 1980, №5, с. 47-56.

97. Генкин. Ю.В. Взрывчатые вещества: учебное пособие / Ю.В.Генкин; Балт. гос. техн. Ун-т. – СПб: 2007. -112 с.

98. Геотехнологическая оценка минерально-сырьевой базы россии. Под ред. К.Н. Трубецкого, В.А. Чантурия, Д.Р. Каплунова. – М., 2008. - 586 с.

99. Гилик Г.Б. Проблемы использования мощных гексогенсодержащих ВВ, получаемых в процессе извлечения их из боевых частей при утилизации боеприпасов. // Сборник Утилизация-98, III Международная конференция, Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов. - М.: "Вооружение. Политика. Конверсия", 1999. - С. 204-207.

100. Гилик Г.Б. Состояние дел по утилизации боеприпасов на Брянском химическом заводе. Сб. Утилизация-96 Комплексная утилизация боеприпасов // Сборник Материалы II Всероссийская научно-техническая конференция. - М.: ЦНИИНТИКПК, 1997. - С. 70-73.

101. Гилик Г.Б., Иванов А.Н., Илларионов Г.В., Пыгин А.Ф. Опыт утилизации фугасных авиационных бомб ФАБ-9000 на БХЗ. // Сб. Утилизация-98, III Международная конференция, Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов. - М.: "Вооружение. Политика. Конверсия", 1999. – С. 207-210.

102. Глинский В.П., Шалыгин Н.К., Мардасов О.Ф., Савенков А.В., Бабинцева В.В. Опытвнедрения производств по утилизации гексогеносодержащих боеприпасов и проблемы его реализации // Сб. VIII Международная научно-техническая конференция «Актуалные проблемы утилизации ракет». – М.: «Типография ФКП «НИИ «Геодезия», 2012. – С. 162-165.

103. Глущак Б.П., Докутович И.Б., Постнов В.Н. Центр утилизации крупногабаритных боеприпасов традиционного снаряжения // Теория и практика взрывного дела. Материалы Международной конференции «Взрывное дело-99». - М.: МГГУ-НОИВ, 1999. - С. 107-113.

104. Горная энциклопедия. – М.: Сов. энциклопедия, Кентан – Орт. 1987. - Т4.

105. Горная энциклопедия. – М.: Сов. энциклопедия, Кентан – Орт. 1987. - Т3.

106. Горная энциклопедия. – М.: Сов. энциклопедия, Кентан – Орт. 1987. - Т2.

107. Горная энциклопедия. – М.: Сов. энциклопедия, Кентан – Орт. 1987. - Т5.

108. Горст А.Г. Пороха и взрывчатые вещества. - М.: Машиностроение, 1972. – 342 с.

109. Горст А.Г. Пороха и взрывчатые вещества. М.: Гос. издательство оборонной промышленности, 1957. – 330 с.

110. Горст А.Г. Разрядка и уничтожение огнеприпасов. – М.: Изд. АУ РККА, 1926. -123 с.

111.Горст А.Г. Сборник правил и инструкций по расснаряжению огнеприпасов. – М.: Изд. АУ РККА, 1924. – 325 с.

112.Давыдов Е.Г., Давыдов С.А. Свойства взрывчатых веществ и действие взрыва в грунте // Сб. «Действие взрыва в грунте и расчет зарядов». - М.: Промстройиздат, 1954.

113.Демидюк Г.П., Ведутин В.Ф. Эффективность взрыва при проведении выработок. - М.: Недра, 1973. - 152 с.

114.Демидюк Г.П., Иванов В.С. Влияние формы одиночного заряда на дробление твердой среды взрывом // Сб. «Взрывное дело». – М.: Недра, 1963. - № 53/10.

115.Демидюк Г.П., Коган В.Л., Меньшиков Б.А. Влияние энергетической характеристики заряда перебура на эффективность действия взрыва цилиндрического заряда. / Сб. Проблемы разрушения горных пород и совершенствования технологии разработки полезных ископаемых. – М.: Недра, 1969. – с.36-39.

116.Детистов И.Е. К вопросу оценки эффективности взрывчатых веществ // Уголь. – 1958. - №4. - С. 19-20.

117.Детонационная способность и динамическое уплотнение крупнозернистой нитроклетчатки. Кобылкин И.Ф., Носенко Н.И., Соловьев В.С. // Материалы IX Всесоюзного симпозиума по горению и взрыву «Химическая физика процессов горения и взрыва». Проблемы горения и взрыва. – Черноголовка: 1989. - С.93-97.

118.Детонация удлиненных зарядов с полостями / Загуменнов А.С., Титова Н.С., ФадеенкоЮ.И., Чистяков В.П. - ПМТФ, 1969, №2, с.79-83.

119.Детонирующий шнур. Авторское свидетельство 1616059, СССР. / В.Ю. Гололобов, В.Б. Гаврилов, Н.М. Савельев, А.Е. Франтов, Е.К. Овчинников, В.Н. Алексеев, Л.П. Ильвуткина, Г.Г. Лютиков, А.И. Кочеряев (12.05.1989).

120.Дмитриев В.А., Искужин С.М. Дробление твердых полезных ископаемых взрывами ВВ для разработки их способом СГД / 1-ый Советско-Югославский симпозиум по проблемам скважинной гидравлической технологии / Т.1. МГРИ, М.: 1991, с. 75 - 77.

121. Добыча металлов способом выщелачивания. Новик-Качан В.П., Губин Н.В., Десятников Д.Т., Чесноков Н.И. -М.: Цветметинформация, 1970. - 111 с.

122.Дремин А.Н., Колдунов С.А. Инициирование детонации ударными волнами в литом и прессованном тротиле // Сб. «Взрывное дело». - М., 1967. - № 63/20. - С.37-50.

123.Дремин А.Н., Колдунов С.А., Шведов К.К. Инициирование детонации в литом тротиле // Журнал прикладной механики и технической физики. – 1963. - №6. – С.131-134.

124.Дремин А.Н., Савров С.Д., Трофимов В.С., Шведов К.К. Детонационные волны в конденсированных средах. - М.: Наука, 1971. - 171 с.

125.Дубинин Н.Г., Коваленко В.А. Теоретические основы проведения горных выработок. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992 – 140 с.

126.Дубнов Л.В. О перспективах развития промышленных ВВ // Сб. «Взрывное дело». - М.: Недра. - 1974. - №73/30. – С. 193-210.

127.Дубнов Л.В. Предохранительные взрывчатые вещества в горной промышленности. М., Углетехиздат, 1953. – 280 с.

128.Дубнов Л.В., Бахаревич Н.С., Романов А.И. Промышленные взрывчатые вещества. - М.: Недра, 1973. – 320 с.

129.Дубнов Л.В., Колесниченко И.Т. Об энергетическом критерии эффективности ВВ и некоторых его следствиях //Горный журнал. – 1968. - №5. - С.56-59.

130.Единые нормы выработки (времени) на открытые горные работы. Бурение. М., 1971. 97 с. (НИИтруда для предприятий горнодобывающей промышленности).

131.Еременко А.А., Еременко В.А., Ермак Г.П., Эйсмонт С.Н., Терещенко А.А. Опыт ведения буровзрывных работ на карьере Тейского месторождения // Горная промышленность. – 2004 - № 5. - С. 59-61.

132.Жегров Е.Ф., Телепченков В.Е., Текунова Р.А. О некоторых особенностях переработки утилизируемых артиллерийских порохов и ракетных топлив в промышленные взрывчатые вещества // Материалы II Всероссийский научно-технической конференции «Утилизация-96». Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов. - М.: ЦНИИНТИКПК, 1997. - С.137-141.

133.Жегров Е.Ф., Телепченков В.Е., Текунова Р.А. Утилизация артиллерийских порохов и ракетных топлив в промышленные ВВ // Утилизация-95 Комплексная утилизация боеприпасов. Материалы I Всероссийская научно-техническая конференция. - М.: ЦНИИНТИКПК, 1997. - С.84-100.

134.Железорудная база России / Под ред. В.П. Орлова и др. М.: Геоинформмарк, 1988. 842 с.

135.Желуницин Ю.П., Франтов А.Е. К вопросу оценки активной части кольцевого кумулятивного заряда // Сб. «Взрывное дело» – М.: ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН», 2011. - № 106/63. – С. 33-42.

136.Желуницын Ю.П. Новые заряды для горной промышленности на основе утилизированных литьевых смесевых составов. – Горный журнал. - 2006. - №5. – С. 52-54.

137.Желуницын Ю.П., Зольников Ю.Г., Иванов А.В. Кольцевой кумулятивный заряд для повышения эффективности разрушения горных пород // Сб. «Современные проблемы технической химии». – Казань: КГТУ, 2004. - С. 684-688.

138.Желуницын Ю.П., Зольников Ю.Г., Иванов А.В., Драчев С.В. Способ уменьшения перебура при взрывных работах в карьерах // Сб. «XXIV Российская школа по проблемам науки и технологий, посвященная 80-летию со дня рождения академика В.П.Макеева. Краткие сообщения». - Екатеринбург: УрО РАН, 2004. - С. 336-338.

139.Желуницын Ю.П., Калашников В.В., Иванов А.В., Драчев С.В. Конверсионное использование принципа «ударного ядра» // Сб. докл. II Всероссийский научно-технической конференции «Утилизация-96». Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов. - М.: ЦНИИНТИКПК, 1997. - С.87-89.

140.Желуницын Ю.П., Хожайлов В.А., Тимофеева Н.В. Практика использования кольцевых кумулятивных зарядов в горном деле. В сб. «International Conference “Shock waves in condensed manner. Saint-Petersburg, Russia, September, 2006”. St. Peterburg, 2006. – p. 247-250.

141.Забелин Л.В. и др. Основы промышленной технологии утилизации.крупногабаритных твердотопливных зарядов. – М.: ООО «Недра-Бизнес-центр», 2004. - 226 с.

142.Загарских В.И. Жданов Д.Ф. Тарабара А.В. Ликвидация зарядов СРТТ подрывом // Сб. докладов. VIII Международная научно-техническая конференция «Актуалные проблемы утилизации ракет». – М.: «Типография ФКП «НИИ «Геодезия», 2012. – С. 389-394.

143.Закалинский В.М., Франтов А.Е. О принципе преемственности технологических решений в области взрывных работ // Сб. «Взрывное дело». - М.: ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН», 2011. - № 105/62. – С.83-92.

144.Закалинский В.М., Франтов А.Е. Совершенствование методов взрывных работ в геотехнологии // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.: изд. МГГУ, 2012. - № 12. - С. 170.

145.Занегин И.В., Карачинский С.И. Детонационные и физико-химические характеристики артиллерийских порохов // Физика горения и взрыва. - 2001. - Т. 37. - №5. - С.84.

146.Заряд взрывного бурения ТУ 11509793-25-99.

147.Заряд линейный ЗЛ ТУ 7276-028-56466532-2007.

148.Заряды дробящие плоские комбинированные (ЗДПК-000ТУ).

149.Заряды КЗУ, КЗУ-2 ТУ 7272-001-17393707-94 (БИКТ.77.1662.002.ТУ).

150.Заряды кумулятивные шнуровые ШКЗ ТУ 8-84-9884.

151.Заряды ПМ сосредоточенные (ТУ 11509793-04-93).

152.Заряды подрывные (ТУ 11509793-02-93).

153.Зельдович Я.Б. Теория ударных волн и введение в газодинамику. - М.-Л.: изд. АН СССР, 1946.

154.Зольников Ю.Г., Желуницин Ю.П., Иванов А.В., Драчев С.В., Гильманов Р.А., Франтов А.Е., Макаров А.В. Новые конструкции зарядов для горных работ // Сб. научных трудов Четвертой международной научной конференции «Физические проблемы разрушения горных пород». - М.: ИПКОН РАН, 2005. - С.359-362.

155.Зурков П.Э. Разработка рудных месторождений открытым способом. - М.: Металлургиздат, 1953. – 402 с.

156.Иванов А.В., Желуницин Ю.П., Сысоев Н.И., Щукин Ю.Г., Франтов А.Е. Энергетические показатели дробления негабаритных кусков с использованием штатной и конверсионной взрывной техники // Записки горного института. – 2001. - т. 148 (1). - С.189-192.

157.Иванов А.В., Лаптев Н.И., Пойлов В.В. и др. использование гранулированного смесевого ВВ ТГА-50, получаемого из конверсируемых боеприпасов, в технологии изготовления УКЗ-ПЛ // Сб. докл. III Всероссийский научно-технической конференции «Утилизация-98». Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов. - М.: ВПК, 1999. - С.201-202.

158.Иванов В.Г., Камнев Е.Н., Смагин А.П. Физико-химическая геотехнология урана на скальных месторождениях. – М.: Издательство «Горная книга», 2009. – 376 с.

159.Ильин В.П., Гороховцев А.Г., Кулакевич Я.С., Работинский Н.И., Марьясин В.А. Перспективные шашки-детонаторы для взрывания скважинных зарядов // Горный журнал. – 1998. - №6. - С.39.

160.Именитов В. Р. Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений. Учебное пособие для вузов, 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1984. - 504 с.

161.Именитов В. Р. Технология, механизация и организация производственных процессов при подземной разработке рудных месторождений. - М.: Недра, 1973. - 463 с.

162.Импульсный разрыв пород / Михалюк А.В., Войтенко Ю.И. АН Украины. Ин-т геофизики им. С.И. Субботина. – Киев: Наукова думка, 1991. – 204 с.

163.Исмаилов Т.Т. Организация взрывных работ при выемке мощных рудных залежей комбинированным способом. – М.: Издательство МГГУ, издательство «Горная книга», 2008. – 169 с.

164.Исследование возможности применения НГ порохов устаревших марок в качестве промышленных ВВ в народном хозяйстве: Отчет о НИР / ЦПЭССЛ, Союзвзрывпром, п/я А-7210 (№3 1735). - М.: 1975. – 92 с.

165.Исследование возможности применения шашек из баллиститных порохов в качестве моноблочных зарядов при взрывных работах: Отчет о НИР / НТО ЛНПО «Союз» и ПНО «Якуталмаз». - Дзержинский: 1989.

166.Исследование ПД, УВП, МДШ для горнорудной промышленности: Отчет о НИР / ВНИПИВЗРЫВгеофизика. - М.: 1970. -114 с.

167.Исследование экологически безопасной технологии уничтожения и утилизации компонентов боеприпасов к системам вооружения: Отчет о НИР / М.: ИПКОН РАН, 1991. - 45 с.

168.Казаков Н.Н., Бутысин В.С., Семунькин М.Б. О возможности использования взрывных устройств военного назначения в качестве мощных промежуточных детонаторов / Вопросы разрушения горных пород / Отв. Редактор чл.-корр. РАН Д.М. Бронников. – М.: ИПКОН РАН, 1994. – С.11-15.

169.Калабин А.И. Добыча полезных ископаемых подземным выщелачиванием и другими геотехнологическими методами. 2-е изд. – М.: Атомиздат, 1981. – 304 с.

170.Калабин А.И. Добыча полезных ископаемых подземным выщелачиванием. - М.: Атомиздат, 1969. - 369 с.

171.Калацей В.И., Мардасов О.Ф., Марков П.П., Мацеевич Б.В., Шалыгин Н.К. Универсальный промежуточный детонатор для инициирования скважинных зарядов // II Всесоюзная научно-техническая конференция «Утилизация, 96», Комплексная утилизация боеприпасов. Тезисы докладов. - М.: ЦНИИНТИКПК, 1997. - С. 99-102.

172.Калацей В.И., Мацеевич Б.В., Глинский В.П. и др. Взрывчатые материалы из утилизируемых боеприпасов: проблемы, решения, ассортимент // Безопасность труда в промышленности. - 1995. - № 12.

173.Калашников В.В., Лаптев Н.И., Иванов А.В., Желуницин Ю.П., Щукин Ю.Г., Франтов А.Е. Заряд для дробления негабарита // Сб. докладов. IV Международная научно-техническая конференция «Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов» - М.: Изд. «Вооружение. Политика. Конверсия», 2001. - С. 217-222.

174.Каплунов Д.Р., Юков В.А. Геотехнология перехода от открытых к подземным горным работам: Учебное пособие. – М.: Издательство «Горная книга», 2007. – 267 с.

175.Каплунов Д.Р., Калмыкова В.Н., Рыльникова М.В. Комбинированная геотехнология. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2003. – 560 с.

176.Карпенкко А.В. Российское ракетное оружие 1943 – 1993 гг. Справочник. – С.-П.: «Пика», 1993. – 246 с.

177.Каст Г. Взрывчатые вещества и средства воспламенения. - Москва-Ленинград: Гос. химико-техническое изд., 1932. - 448 с.

178.Ключников А.В. Исследование параметров контурного взрывания при проведении выработок. - Контурное взрывание. Материалы научно-технического совещания. – М.: Недра, 1967. – С. 10-21.

179.Комир В.М. и др. Моделирование разрушающего действия взрыва в горных породах. / В.М. Комир, Л.М. Гейман, В.С. Кравцов, Н.И. Мячина. - М.: Наука, 1972. - 214 с.

180.Комплексный глобальный мониторинг загрязнителей окружающей среды /Под ред. Ю.А. Израэля. – Ленинград: 1989.

181.Контейнер для боевика. Авторское свидетельство 1820704, СССР. / А.Е. Франтов, А.И. Ванюшкин, В.Н. Жило, Н.А. Свердленко, Г.Л. Рейнгард (14.08.1990).

182.Контроль химических и биологических параметров окружающей среды / Под ред. Исаева Л.К. – Санкт-Петербург: Эколого-аналитический информационный центр “Союз”, 1998. – 896 с.

183.Контурное взрывание. Материалы научно-технического совещания. - Москва: Недра, 1967. - 76 с.

184.Коробейников П.Г., Любимов Н.Г.Техника и технология буровзрывных работ. - М.: Недра, 1972. - 280 с.

185.Короткевич К.Н. Взрывное дело в мирном применении. – М.: Изд. Взрывсельпром, 1927.

186.Коул Р. Подводный взрыв. - М.: Изд. иностр. литературы, 1950. – 180 с.

187.Кубалов Б. Г. Пути развития взрывного дела в СССР // Сб. «Взрывное дело». – Промстройиздат. - 1948. – вып. 43.

188.Кузнецов В.М. Анализ гидродинамической теории разрушения горных пород взрывом //Сб. «Вопросы механики разрушения горных пород». - Новосибирск, 1978. - С.14-22.

189.Кузнецов В.М. Гидродинамические модели взрыва в грунте // Сб. «Некоторые проблемы математики и механики». - Л.: Наука, 1970.

190.Кузнецов В.М., Шацукевич А.Ф. О работоспособности взрывчатых веществ // ФГВ. – 1978. - №2. - С. 120-125.

191.Кузнецов Г.В., Улыбин В.П. Контурное взрывание на открытых горных работах. - М.: Цветметинформация, 1968. - 48 с.

192.Кузнецов Г.В., Улыбин В.П. Сейсмобезопасная технология ведения взрывных работ у предельного контура карьера. Сб. «Сейсмическое действие промышленных взрывов». Информационный выпуск № В-161, Москва, 1966.

193.Кук М.А. Наука о промышленных взрывчатых веществах. - М.: Недра, 1980. - 453 с.

194.Кукиб Б.Н., Афанасенков А.Н., Лавров В.В. и др. Метод оценки чувствительности промышленных взрывчатых веществ к практическим видам взрывного импульса. // Сб. «Методы испытания низкочувствительных ВВ». – Черноголовка: ОИХФ АН СССР, 1991. – 231 с.

195.Кумулятивный линейный заряд ЗКЛ ТУ 3-121-060-90.

196.Кумулятивный линейный заряд ЗКЛБ ТУ 3-402-50-96.

197.Курант Р., Фридрихс К. Сверхзвуковое течение и ударные волны. – М. ИЛ., 1950.

198.Кутузов Б.Н. Взрывное и механическое разрушение горных пород. - М.: Недра, 1973.

199.Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом (взрывные технологии в промышленности) ч. II. Учебник для вузов. 3-е издание. - М.: Изд-во Московского государственного горног университета, 1994. - 448 с.

200.Кутузов Б.Н., Лемеш Н.И., Плужников В.Ф. Классификация горных пород по взрываемости для карьеров //Горный журнал. – 1979. - №2. - С. 41-43.

201.Кутузов Б.Н., Нишпал Г.А Технология и безопасность изготовления и применения взрывчатых веществ на горных предприятиях: Учеб. пособие. - М.: Издательство Московского государственного университета, 2001. -248 с.

202.Кутузов Б.Н., Рубцов В.К. Физика взрывного разрушения горных пород. - М.: МГИ, 1970. - 177 с.

203.Кутузов Б.Н., Рубцов В.К. Физика взрывного разрушения горных пород взрывом - М.: МГИ, 1970. - 81 с.

204.Кучное и подземное выщелачивание металлов / Г.Д. Лисовский, Д.П. Лобанов, В.П. Назаркин и др. Под ред. С.Н.Волощука. - М.: Недра, 1982. - 113 с.

205.Лабораторно-стендовые испытание изделий, крошки, таблетки составов НМФ, РСИ, РНДСИ, РСТ: Отчет о НИР НТО ЛНПО «Союз». – Дзержинский: 1987, 96 с.

206.Ладов С.В., Кобылкин И.Ф. Использование кумулятивных зарядов во взрывных технологиях. Учебное пособие. - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э Баумана, 1995. – 46 с.

207.Лангефорс Е., Кильстрем Б. Современная техника взрывной отбойки горных пород. – М.: Недра, 1968. – 284 с.

208.Ларес Г. Уточненная формула расчета заряда при горных взрывных работах. - М.: ОНТИ, 1934. – 40 с.

209.Левчик С.П. Исследование бризантности по Гессу, как характеристики дробящих свойств ВВ при отбойке горных пород // Сб. «Проблемы дробления горных пород взрывом». - М., Углетехиздат, 1959. - С.60-69.

210.Лобанов В.Ф., Фадеенко Ю.И. Кумуляция продуктов детонации полого цилиндрического заряда // Физика горения и взрыва. - 1974. - № 1. – С.119-124.

211.Лойцянский Л.Г. Механика жидкостей и газа. М.: Наука, 1970, 904 с.

212.Ломтадзе В.Д. Особенности и природа свойств скальных и полускальных пород // Материалы научного симпозиума «Влияние геологических факторов на свойства и состояние массивов скальных пород. – Апатиты: 1975. - С. 39-46.

213.Лунев Л.И. Шахтные системы разработки месторождений урана подземным выщелачиванием / Под общ. ред. Н.И. Чеснокова. – М.: Энергоиздат, 1982. – 128 с.

214.Мазур И.И., Молдаванов О.И. Введение в инженерную экологию – М.: Наука, 1989. - 375 с.

215.Материлы первого научно- технического семинара по буровзрывным работам. - М.: НТО ЦМ, 1959. – 180 с.

216.Материалы к научно-техническому совещанию по контурному взрыванию. Информационный выпуск № В-148, В-149, Москва, 1965. – 120 с.

217.Мацеевич Б.В. Разработка техники и технологии утилизации боеприпасов и приготовления на основе извлеченных зарядов промышленных взрывчатых веществ // Сб. материалов Международной конференции «Взрывное дело – 99». - М.: МГГУ, 1999. - С. 96-106.

218.Машуков И.В., Ермак П.П., Фефелов С.В. Перспективы взрывной отбойки горного массива вертикальными концентрированными зарядами // Сб. Основные направления совершенствования разработки месторождений полезных ископаемых. - Новокузнецк: СибГИУ, 1999. - С.55-60.

219.Медведев И.Ф., Абрамов А.Ф., Нефедов А.П. Ликвидация зависаний и вторичное дробление руды. - М.: Недра, 1975. – 200 с.

220.Мельников Л.Л. Сооружение выработок большого сечения в крепких породах. - М.: Недра, 1974. - 176 с.

221.Мельников Н.В. и др. Регулирование объемной концентрации энергии ВВ как средство интенсификации дробления горных пород взрывом. – М.: Изд. Сектора физ.- техн проблем ИФЗ им. О.Ю Шмидта, АН СССР, 1970. – С. 9-23.

222.Мельников Н.В. К вопросу определения высоты уступа при открытых разработках // Сб. "Взрывное дело". - М.: 1939. – С. 35-52.

223.Мельников Н.В., Демидюк Г.П., Максимова Е.П. и др. Регулирование объемной концентрации энергии ВВ, как средство интенсификации дробления горных пород взрывом. -М.: Изд. ИФЗ АН СССР. - 1970. – С.8-24.

224.Мержиевский Л.А., Титов В.М., Фадеенко Ю.И., Швецов Г.А. Высокоскоростное метание твердых тел // Физика горения и взрыва. – 1987. - №5. - с. 77-91.

225.Мержиевский Л.А., Фадеенко Ю.И. и др., Физика горения и взрыва, №2, 233 (1976).

226.Методика сейсмического определения трещиноватости массивов горных пород на карьерах с целью оценки их взрываемости. /Авт.: В.В. Ржевский, Б.Н. Кутузов, О.П. Якобашвили и др. М., изд. СФТГП ИФЗ АН СССР, 1970. - 41 с.

227.Механический эффект подземного взрыва. Родионов В.Н., Адушкин В.В., Костюченко В.Н., Николаевский В.Н., Ромашов А.Н., Цветков В.М. - М.: Недра, 1971. - 224 с.

228.Механическое действие камуфлетного взрыва / А.Н. Бовт, Е.Е. Ловецкий, В.И. Селяков и др. – М.: Недра, 1990. – 184 с.

229.Милехин Ю.М., Жегров Е.Ф., Телепченков В.Е. Берковская Е.В. Разработка способов утилизации порохов и твердых ракетных топлив // Сб. докладов. VIII Международная научно-техническая конференция «Актуалные проблемы утилизации ракет». – М.: «Типография ФКП «НИИ «Геодезия», 2012. – С. 273-284.

230.Миндели Э.О. Буровзрывные работы при проведении горных выработок. - М., Госгортехиздат, 1962. – 430 с.

231.Михайлов Н.Н. Геолого-технологические свойства пластовых систем. - М.: МАКС Пресс, 2008. - 144 с.

232.Михайлов Н.П. Основы физики взрыва: Учебное пособие / Балт. гос. техн. ун-т. СПб, 2005. - 144 с.

233.Михалюк А.В. Горные породы при неравномерных динамических нагрузках. – Киев: Наукова думка, 1980. - 154 с.

234.Мишуткин В.В., Данчев П.С. О влиянии величины промежуточного детонатора на устойчивость детонации зарядов гранулированных ВВ // Сб. Отказы детонации ВВ на открытых разработках. – Киев, 1972. – С.97-100.

235.Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. - М.: 1976. - 271 с.

236.Мосинец В.Н. Перспективы подземного и кучного выщелачивания золота из гидротермальных месторождений. - М.: ОНТИ, 1990. -33 с.

237.Мосинец В.Н. Разрушение горных пород. - М.: Недра, 1976. - 271 с.

238.Мосинец В.Н. Строительство и эксплуатация рудников подземного выщелачивания /Мосинец В.Н., Лобанов Д.П., Тедеев М.Н. и др. - М.: Недра, 1987. - 304 с.

239.Мосинец В.Н., Абрамов А.В. Применение энергии взрыва для интенсификации выщелачивания руд // Горный журнал. – 1973. - № 10. - С.36-39.

240.Мосинец В.Н., Абрамов А.В. Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород. - М.: Недра, 1982. - 248 с.

241.Мультанов И.К., Франтов А.Е. Интенсификация дробления горных пород при бескапсюльном взрывании скважинных зарядов // Совершенствование буровзрывных работ в народном хозяйстве / АН СССР. – М., 1988. – С.151.

242.Мурахин А.Н., Карпунов Е.Г., Нефедов М.А., Пылинин В.Н. К вопросу разрушения горных пород удлиненными кумулятивными зарядами // Сб. Взрывная отбойка на рудниках Хибин. – Апатиты: 1983. - С. 33-40.

243.Назаров П.П. Производство буровзрывных работ на угольных разрезах. М.: Углетехиздат, 1949. – 380 с.

244.Назаров П.П., Бондаренко В.С. О единой классификации горных пород по буримости и взрываемости. – Горный журнал, 1966, №9, с.38-41.

245.Невский. Взрывные работы при добывании нефти // Сб. «Взрывное дело». – 1922. - №1-2. – С. 14–19.

246.Никкольс Г.Р., Дюваль В.И. Влияние акустической жесткости на волны напряжений, образованные взрывом в горной породе // Сб. «Механика горных пород». - М.: Недра, 1966. – С. 221–240.

247.Нормативный справочник по буровзрывным работам / Ф.А. Авдеев, В.Л, Барон, Н.В. Гуров, В.Х. Кантор. – 5-е изд. Перер. и доп. – М.: Недра, 1986. – 511 с.

248.Овсейчук В.А. Подземная разработка месторождений редкометальных и радиоактивных руд: учеб. пособие / В.А. Овсейчук, В.М. Лизункин, Г.Г. Пирогов. – Чита: ЧитГУ, 2008. – 327 с.

249.Одинцов В.В., Пепекин В.И., Кутузов Б.Н. Оценка термодинамической неидеальности детонации эмульсионного ВВ. //Химическая физика. - 1994. - Т.13, №11. - С.79-87.

250.Орлова Е.Ю. Химия и технология бризантных взрывчатых веществ. – М.: Оборонгиз, 1960. – 387 с.

251.Орлова Е.Ю., Орлова Н.А., Жилин В.Ф. и др. Октоген - термостойкое взрывчатое вещество. - М.: Недра, 1975. - 128 с.

252.Оружие Победы / Под ред. В.Н. Новикова. - М.: Машиностроение, 1987. – 316 с.

253.Освоение новых средств взрывания при скважинной отбойке руды на карьерах Соколовско-Сарбайского горно-обогатительного комбината: Отчет о НИР / ВНИПИгорцветмет. – М.: 1982. – 52 с.

254.Основы газовой динамики. Перевод с англ. III тома серия Аэродинамика больших скоростей и реактивная техника. – М.: ИЛ., 1963. – 410 с.

255.Отработка взрывобезопасной технологии производства промышленного ВВ типа «Гранипор» на ПО «Алексеевский химкомбинат»: Отчет о НИР / ФЦДТ «Союз», НТЦ «Взрывобезопасность». – Дзержинский: 1996, 103 с.

256.Оценка гранулометрического состава руды, отбитой взрывом для выщелачивания / М.Н. Тедеев. - Тезисы доклада на III-й всесоюзной конференции по проблемам геотехнологии. - М.: ГИГХС, 1983. –С. 97-108.

257.Павлов В.И., Нагибин Ю.П., Франтов А.Е. Техническое обеспечение работ при подготовке руды для геотехнологических методов // ГИБЛ. - 2010. - №3. - С.294-297.

258.Пак З.П., Нишпал Г.А., Лапшин В.Н., Степанов В.Н., Шарова Л.А Опыт применения шашек из баллиститных порохов в качестве моноблочных зарядов при взрывных работах. // Сборник «Взрывное дело-99» Материалы международной конференции. Теория и практика взрывного дела - М.: МГГУ, 1999. – С. 294-301.

259.Папичев В.И. Оценка воздействия горного производства на окружающую природную среду с использованием ресурсного подхода. – М., ИПКОН РАН, 2004. – 60 с.

260.Папичев В.И., Франтов А.Е. К вопросу оценки экологического воздействия на природную среду при применении конверсионных взрывчатых материалов. // Сб. «Взрывное дело». - 2010. - №103/60. - С. 283-293.

261.Папичев В.И., Франтов А.Е. Сравнительная оценка экологического воздействия на атмосферу при использовании конверсионных взрывчатых материалов. // Экологические системы и приборы. - 2008. - №2. - С. 55-58.

262.Паскаль П. Взрывчатые вещества, пороха, боевые газы. Л.: ГОСХИМТЕХИЗДАТ, Ленинградское отделение, 1932, - 224 с.

263.Перспективы взрывной отбойки горного массива вертикальными концентрированными зарядами. / И.В.Машуков, Г.П.Ермак, С.В.Фефелов // Основные направления совершенствования разработки месторождений полезных ископаемвых: Научно-технический сб. - Новокузнецк: СибГИУ, 1999 - 285 с.

264.Петровский И.Я. О целесообразности применения кумулятивных зарядов в горной промышленности. – В кн.: Теория и практика буровзрывных работ в горной промышленности. М., Углетехиздат, 1953, с. 47-65.

265.Подземная разработка железистых кварцитов / Г.М. Бабаянц, Л.К. Вертлейб, Н.Я. Журин и др. – М.: Недра, 1988. – 168 с.

266.Подземное выщелачивание полиэлиментных руд / Н.П. Лаверов, И.Г. Абдульманов, К.Г. Бровин и др.; Под ред. Н.П. Лаверова. – М.: издательство Академии горных наук. – 1998. – 446 с.

267.Подземное выщелачивание урана, золота и других металлов. Т.1: Уран. – 2005. – 407 с.

268.Поздняков З.Г., Росси Б.Д. Справочник по промышленным взрывчатым веществам и средствам взрывания. – М.: Недра, 1977. – 253 с.

269.Покровский Г.И. Взрыв. - М.: Недра,1964. - 167 с.

270.Поярков Б.В., Поярков В.Б. Основы природопользования: Курс лекций. 2-е изд., доп. – Ярославль: Ярославский гос. ун-т, 2002. – 332 с.

271.Просочкин В.М. Технология буровзрывных работ в сложных забоях на железорудных карьерах. // Сб. «Взрывное дело». – М.: Недра. – 1966. - № 59/16. - С.117- 125.

272.Проспект фирмы DYNAMIT NOBEL WIEN GESELLSCHAFT M.B.H.

273.Протодъяконов М.М. Материалы для урочного приложения горных работ. ч.I. - М.: 1926, 274 с.

274.Птичкин С. Взрывная волна. Российская газета 2 июня 2011 № 118.

275.Разработка поточно-механизированной технологии строительства мелиоративных каналов взрывным способом с использованием списанных мелиоративных каналов взрывным способом с использованием списанных баллиститных порохов: Отчет о НИР / ПТО ВНИИГиМ и ЛНПО «Союз». - М.: 1987, 86 с.

276.Разработка принципов интенсификации взрывного дробления горных пород за счет повышения энергии взрыва на основе использования новых окислителей и сенсибилизаторов, получаемых из отходов горного производства: Отчет о НИР / ИПКОН РАН. –М.: 1986. - 80 с.

277.Разработка способов применения боеприпасов и их элементов, подлежащих уничтожению и утилизации, в горнодобывающей, дорожно-строительнойи других областяхнародного хозяйства: Отчет о НИР/ НКПФ «Вита-В» - М.: 1992. – 31 с.

278.Разработка шпуровых зарядов из утилизируемых взрывчатых материалов и технологий их применения на подземных горных работах: Отчет о НИР / НИИ «РОСКОНВЕРСВЗРЫВЦЕНТР». - М.: 1999, 34 с.

279.Ракишев Б.Р. Исследование основных факторов, влияющих на ширину развала и выход негабарита при массовой отбойке вертикальными скважинами // Сб. "Взрывное дело". - М., 1969, № 67/24. - С. 208-223.

280.Ракишев Б.Р. О моделировании процесса образования навала взорванной породы // Сб. «Взрывное дело». - М., 1976. - №77/34. - С. 252-260.

281.Ракишев Б.Р. Прогнозирование технологических параметров взорванных горных пород на карьерах. – Алма- Ата: Наука, 1983. – 240 с.

282.Ракишев Б.Р. Современные технологии и технические средства направленного разрушения горных пород. – Алма-Ата. – 1970.

283.Резка металлов взрывом / А.В. Аттенков, А.М. Гнускин, В.А. Пырьев, Г.Г. Сагидуллин. - М.: СИП РИА, 2000. - 260 с.

284.Репин Н.Я. Подготовка и экскавация вскрышных пород угольных разрезов / под ред. чл.-корр. АН СССР В.В. Ржевского. – М.: Недра, 1975. – 256 с.

285.Репин Н.Я., Бирюкова А.В., Ташкинов А.С. Технологические свойства пород угольных разрезов. – Кемерово: изд. Кузбасского политех. ин-та, 1975. - 146 с.

286.Ржевский В.В. Процессы открытых горных работ. – М.: Недра, 1978.

287.Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. - М.: 1973. - 285 с.

288.Ричард Л.Эш. Проектирование взрыва // В кн.: Открытые горные работы. – М.: Недра, 1971. - С. 146-165.

289.Родионов В.Н. О подобии процесса дробления при взрывных работах разного масштаба // Сб. «Механизм разрушения горных пород взрывом». – Киев: 1971. – С. 76-98.

290.Рубцов В.К. Гранулометрический состав массивов горных пород при взрывной отбойке // Сб. «Взрывное дело. – М.: Недра, 1965. - № 57/14. – С.351-356.

291.Рубцов В.К. Исследование дробимости горных пород взрывом на карьерах: Дис. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. - М.: МГИ, 1971. – 267 с.

292.Рубцов В.К. Метод определения относительной работоспособности ВВ в горных породах взрыве // Сб. «Взрывное дело. – М.: Недра, 1965. - № 57/14. – С.356-361.

293.Рубцов В.К. О методике определения нарушений массива при взрыве // Сб. «Взрывное дело». – 1966. - № 59/16. – 31-39.

294.Рубцов В.К. О некоторых закономерностях гранулометрического состава участков трещиноватых массивов горных пород // Труды ЦНИГРИ, вып. 69. – Недра, 1967. – С.82-94.

295.Рубцов В.К. Опыт оценки степени нарушения скального основания при взрывах //Гидротехническое строительство. – 1963. - № 7. – С.47-51.

296.Рубцов В.К. Особенности разрушения трещиноватых массивов действием взрыва // Сб. «Взрывное дело». – 1962. - № 50/7. – С. 62-71.

297.Садовский М.А., Мельников Н.В., Демидюк Г.П. Основные направления совершенствования взрывных работ в горной промышленности // ФТРПИ. – 1973. - №3.

298.Салганик В.А., Железняк С.С., Воротеляк Г.А. Метод повышения полезной работы взрыва на горнорудных предприятиях. – Горный журнал, 1977, №2. – с.54-57.

299.Светлов Б.Я. О прогнозировании технико-экономической эффективности промышленных ВВ с учетом их динамических характеристик // Сб. «Взрывное дело». – М.: Недра, 1974. - № 73/31. - С. 228-241.

300.Свойства горных пород и методы их определения / Ильиницкая Е.И., Тедер Р.И., Ватолин Е.С., Кунтыш М.Ф. - М.: Недра, 1969. - 392 с.

301.Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет. – М.: Оборонгиз, 1962. - 703 с.

302.СИНВ-Ш ДИШВ 773979.010 ТУ.

303.Систематизация опытных данных о детонационной способности бездымных порохов: Отчет о НИР / Союзвзрывпром. – М.: 1955. - 78 с.

304.Системный метод анализа эффективности промышленных взрывов / В.И. Терентьев, Л.В. Сафонов, А.Г. Гончаров. – Науч.-исслед. ин-т по проблемам Кур. магнитной аномалии им. Л.Д. Шевякова. – М.: Наука, 1975. – 70 с.

305.Скважинная отбойка руды с использованием зарядов с осевой полостью: Обзор. информ. /Г.М. Бабаянц, В.П. Мартыненко, А.Р. Черненко и др. – М.: Черметинформация, 1984. 22 с.

306.Скважинные заряды взрывчатых веществ с осевой воздушной полостью / В.А. Салганик, Г.А. Воротеляк, В.В. Митрофанов, Н.Ф. Филиппов. – К.: Техніка, 1986. – 88 с.

307.Смирнов И.В. Пожарная безопасность при хранении аммиачной селитры. – М.: Росссельмаш, 1984. – 62 с.

308.Смирнов И.М., Попов В.А., Хомутский В.Е., Манекин А.Г. Основные направления утилизации инженерных боеприпасов // Сб. докладов. VIII Международная научно-техническая конференция «Актуалные проблемы утилизации ракет». – М.: «Типография ФКП «НИИ «Геодезия», 2012. – С. 369-376.

309.Смирнов Л.А., Калабухов Г.В. Создание смесевых твердых топлив. Ч.1. – М. МГХМ, 1997.

310.Смирнов Л.А., Силин В.С. Конверсия. Часть I, Учебное пособие. - М.: ЦНИИНТИКПК, 1992. – 135 с.

311.Смирнов Л.А., Силин В.С. Конверсия. Часть II. - М.: ЦНИИНТИКПК, 1994. – 184 с.

312.Смирнов Л.А., Силин В.С., Казакова Е.Е Конверсия. Часть III. - М.: ЦНИИНТИКПК, 1994. -89 с.

313.Смирнов Л.А., Тиньков О.В. Конверсия часть IV. - М.: ЦНИИНТИКПК, 1996. – 131 с.

314.Смирнов Л.А., Тиньков О.В. Конверсия. Часть V, Конверсионные промышленные взрывчатые вещества. - М.: ЦНИИНТИКПК, 1998. – 112 с.

315.Снитко К.К. Теория взрывчатых веществ, ч. 1, ч. 2. М.: Изд. Арт. Академии, 1934 и 1936.

316.Совершенствование скважинной отбойки / А.В. Будько, В.М Закалинский, С.К. Рубцов, А.А. Блинов. - М.: Недра, 1981. - 199 с.

317.Современные способы и средства интенсификации выщелачивания скальных руд / А.В. Абрамов, А.В. Перевалов, В.В. Петрищев, Е.Л. Крючкова // Изв. вузов «Геология и разведка». – 1977. - №6. - С.188.

318.Соколов Н.А. Курс теории взрывчатых веществ. – Москва- Ленинград: ОНТИ НКТП СССР, 1937. – 384 с.

319.Состояние и особенности развития горнодобывающего комплекса России. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. - 278с.

320.Способ ведения взрывных работ. Авторское свидетельство 776130, СССР. / Ю.Г. Щукин, М.З. Иналов, А.О. Бозиев, А.И. Пустовалов, В.А. Ярмизин, Г.М. Лезгинцев, А. Е. Франтов (31.07.1978).

321.Способ взрывания эмульсионного вещества. Авторское свидетельство 1545712, СССР. / А.Е. Франтов, И.К. Мультанов, А.И. Ванюшкин, П.А. Велькин, В.Ю. Потулов, Н.Т. Селезнев, Н.А. Свердленко (09.11.1987).

322.Способ взрывной отбойки блочного камня. Авторское свидетельство 1762614, СССР. / А.Е. Франтов, А.И. Ванюшкин, Р.А. Гильманов, А.А. Мирзоян, В.В. Пугачев, Н.А. Свердленко (14.08.1990).

323.Способ взрывной отбойки малоустойчивых рудных тел. Патент 2089844, Российская Федерация. / Ю.Д. Шварц Ю.Д., А.Е. Франтов, Ю.Г. Щукин, А.В. Крохин (22.05.1992).

324.Способ взрывной отбойки руд и пород при разработке месторождений твердых полезных ископаемых. Патент 2449240, Российская Федерация. / С.Д. Викторов, Ю.П. Галченко, Г.В. Сабянин, А.Е. Франтов (18.11.2010).

325.Способ доработки запасов рудных месторождений под дном карьера. Патент 2453701, Российская Федерация. / С.Д. Викторов, А.Е. Франтов, В.М. Закалинский, Ю.П. Галченко (25.10.2010).

326.Способ заряжания нисходящих скважин и устройство для его осуществления. Авторское свидетельство 1805723, СССР. /А.Е. Франтов, А.И. Ванюшкин, И.К. Мультанов, А.А. Мирзоян, С. Гангаржал, Н.А. Свердленко, В.Ю. Потулов (20.11.1990).

327.Способ изготовления зарядов. Авторское свидетельство 978549, СССР. / Ю.Г. Щукин, А.А. Степин, В.А. Ликин, А.Е. Франтов, Э.П. Безруков, А.Н. Ермилов (03.08.1982).

328.Способ крупномасштабного взрывного разрушения горных массивов сложной структуры для селективной выемки полезного ископаемого на открытых работах. Патент 2511330, Российская Федерация. / С.Д. Викторов, А.Е. Франтов, В.М. Закалинский, Ю.П. Галченко (16.07.2012).

329.Способ обрушения неустойчивых горных массивов. Патент РФ № 2047761. Желуницин Ю.П., Зиганшин Р.З., Иванов А.В., Драчев С.В.

330.Способ отбойки горных пород на уступе. Авторское свидетельство 1764368, СССР. / В.Н. Фатеев, А.Е. Франтов, А.И. Ванюшкин, В.Н. Чубаков, В.А. Скворцов (20.12.1990).

331.Способ отбойки горных пород. Авторское свидетельство 1520974, СССР. / А.Е. Франтов, А.И. Панов, А.А. Мирзоян, И.К. Мультанов, Г.Ф. Каган, Л.В. Бахарев, Г. И. Земляной (19.02.1988).

332. Способ получения поризованной гранулированной аммиачной селитры и устройство для его реализации. Патент Российской Федерации № 2600061 / Викторов С.Д., Франтов

А.Е., Закалинский В.М., Жариков И.Ф., Каинов А.И., Красиков В.Д., Яковлев Д.С., Старшинов А.В., Куприянов И.Ю (14.11.2014).

333.Справочник (кадастр) физических свойств горных пород. Под ред. Н.В.Мельникова, В.В.Ржевского, М.М.Протодъяконова. - М.: Недра, 1975. - 279 с.

334.Справочник артиллерийских боеприпасов, подлежащих утилизацции и уничтожению. / Под ред. А.А. Каллистова. – М.: Фирма «Нова», 1992. – 234 с.

335.Справочник по горнорудному делу / Под ред. В.А. Гребенюка, Я.С. Пыжьянова, И.Е. Ерофеева. - М.: Недра, 1983. - 816 с.

336.Станюкович К.П. Неустановившиеся движения сплошной среды. - М.: Гостехиздат, 1955. – 430 с.

337.Стесик Л.Н., Акимова Л.Н., Апин А.Я. Определение ширины зоны реакции и параметров детонационной волны сплошного ВВ // Докл. АН СССР. - 1961. - Т.137. - № 2. - С. 369-371.

338.Столяров П.Н., Феодоритов М.И., Шеменев В.Г., Лохни Х. Исследование термической стойкости эмульсионных взрывчатых веществ Фортис Еклипс в контакте с сульфидосодержащими рудами // Сб. Технология и безопасность взрывных работ. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. – с. 133-142.

339.Сурошников Я.М., Селезнев Н.П., Плеханов Н.И., Винников В.П., Бабинцева В.В., Салеева А.И., Орлов В.К., Свиридов Е.М., Глинский В.П. О некоторых свойствах аммотолов, извлеченных из боеприпасов длительного хранения. // Сб. Утилизация-98, III Международная конференция, Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов. - М.: "Вооружение. Политика. Конверсия", 1999. - С. 172-175.

340.Суханов А.Ф. К вопросу о единой классификации горных пород. - М.: 1947. - 93 с.

341.Суханов А.Ф. Разрушение горных пород действием взрыва // Сб. «Вопросы теории разрушения горных пород действием взрыва». - М.: Изд-во АН СССР. - 1958. – 342 с.

342.Сухаревский М.Я. Основы «взрывной культуры» (применение взрывчатых веществ в лесном и сельском хозяйстве и мелиорации) по данным современной зарубежной литературы // Сб. «Взрывное дело». - 1922. - №1-2. – С.7-15.

343.Сухаревский М.Я. Взрывные работы в лесном и сельском хозяйстве и некоторых отраслях промышленности. Краткое руководство. – М.: Изд. Штабвзрывгиу, 1921. – С.9-26.

344.Сухаревский М.Я. Взрывчатые вещества и взрывные работы. Т.I и II. – М.: Гостехиздат, 1923. – 381 с.

345.Сытый Н.М. Отходы пироксилиноых порохов как бризантное взрывчатое вещество. Сб. Опыт использования пироксилиновых порохов на инженерных работах // Изд. Академии наук украинской ССР. - Киев: 1952. – С. 3-16.

346.Сытый Н.М. Разработка эффективных методов возбуждения детонации бездымных винтовочных пироксилиновых порохов и их отходов // Изв. Киргизского филиала АН СССР. - 1945. - № 2-3. – С. 48-57.

347.Сытый Н.М., Константинов М.Н., Петров С.П. Использование пороховых отходов на земляных работах. – Киев: АН УССР. - 1949. - 27 с.

348.Тангаев И.А. Буримость и взрываемость горных пород. - М.: Недра, 1978. - 184 с.

349.Тангаев И.А. Технологические свойства горного массива и методы их определения / И.А. Тангаев. – АН Кирг. ССР, ин-т физики и механики горных пород. – Фрунзе: Илим, 1975. – 137 с.

350.Таранов П.Я., Гарцуев Е.М., Гудзь А.Г. и др. Контурное взрывание угольных шахтах. – Донецк: «Донбасс», 1972. - 89 с.

351.Тарасенко В.П. Обоснование и расчет параметров скважинных зарядов при открытых горных работах. – М.: МГИ, 1982. – 92 с.

352.Тарасенко В.П. Физико-технические основы расчета зарядов на карьерах. – М.: МГИ, 1985. – 81 с.

353.Тарасенко В.П., Сивенков В.И. Взрываемость массивов горных пород и выбор рационального ассортимента ВВ. – М.: МГИ, 1989. – 68 с.

354.Теория и практика открытых разработок. [Под ред. акад. Н.В. Мельникова]. - М.: 1973. - 635 с.

355.Терентьев В.И. Управление кусковатостью при поточной технологии добычи руд подземным способом. - М.: Наука, 1972. - 200 с.

356.Терентьев В.И., Черных А.Д. Комплексная открыто-подземная разработка прибортовых и подкарьерных запасов рудных месторождений. /Отв. редактор М.И.Агошков. – М.: ротапринт ИПКОН АН СССР, 1988. – 244 с.

357.Техника и технология взрывных работ на рудниках / Г.П. Демидюк, Л.В.Дубнов, В.В. Стоянов и др. - М.: Недра, 1978. - 238 с.

358.Технология буровзрывных работ на карьерах цветной металлургии / Юматов Б.П., Байков Б.Н. - М.: Недра, 1969. - 100 с.

359.Типовые паспорта буровзрывных работ при проведении горных выработок с применением самоходного оборудования на рудниках цветной металлургии. (Утверждены и введены в действие протоколом Минцветмета СССР № 239 от 25 декабря 1987г). – ВНИИцветмет: Усть-Каменогорск, 1989. - 102 с.

360.Титов В.М., Фадеенков Ю.И., Титова Н.С. Докл. АН СССР, 1968, 180, 5, 1051.

361.Ткач С.М. Методические и геотехнологические аспекты повышения эффективности освоения рудных и россыпных месторождений Якутии. – Якутск: изд. Института мерзлотоведения СО РАН, 2006. – 284 с.

362.Ткачук К.Н., Федоренко П.И. Взрывные работы в горно-рудной промышленности: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Выща шк., 1990. – 296 с.

363.Третьяков Г.М. Боеприпасы артиллерии. - М.: Воениздат, 1947. – 185 с.

364.Трубецкой К.Н. Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья /К.Н. Трубецкой, В.А. Чантурия, Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова. - М.: Наука, 2010. – 437 с.

365.ТУ 07511819-103-97 Гранипоры.

366.ТУ 07511819-109-98 Эмульсен-Г.

367.ТУ 17131060-03-97 Гранипор ППС.

368.ТУ 36 1403062-03-95 Гидропор.

369.ТУ 36 1403062-07-96 Нитропор.

370.ТУ 3-7509103.325-93 Дибазит.

371.ТУ 7276-001-075.107.09-95 Гекфол.

372.ТУ 7276-008-11962478-97 Алюмопор.

373.ТУ 7276-011-17131060-99 Алюмогексит.

374.ТУ 7276-021-07509505-2001 Гранипоры БП.

375.ТУ 75 11819-89-94 Альгетолы.

376.ТУ 7509009-66-93 Гельпор.

377.ТУ 7511819 -98-95 Эмульсен –П.

378.ТУ 84-7511201-002-95 Гексотал.

379.Удлиненные заряды СЗ ТУ 11509793-03-93.

380.Удлиненные кумулятивные заряды литые УКЗ-Л ТУ 7288-001-21142193-96.

381.Универсальные кумулятивные заряды УКЗ ТУ 3-7509103.293-92.

382.УНСИ Проспект продукции ГУП «Муромский приборостроительный завод». Промышленные средства взрывания. Муром: Аркаим, 2000.

383.Устименко Е.Б. и др. Некоторые подходы в области обеспечения безопасности при использовании конверсионных ВМ, полученных от утилизации БП и ракет. Сб. докладов VII Международной НТК «Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов». – М.: Изд. дом «оружие и технологии», 2007, с. 203-211.

384.Устименко Е.Б., Шиман Л.Н., Дудко В.С. Процесс утилизации боеприпасов как составная часть производства промышленных ВВ // Сб. Утилизация-98, III

Международная конференция, Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов. - М.: "Вооружение. Политика. Конверсия", 1999. - С.153-155.

385. Устройство для инициирования взрывчатого вещества во взрывной выработке. Авторское свидетельство 948218, СССР. / Ю.Г. Щукин, А.И. Шумский, Н.Н. Мельников, А.Е. Франтов, В.В. Кортин, Г.И. Каргин, В.В. Степин (18.08.1980).

386. Федеральная целевая программа промышленной утилизации вооружения и военной техники на период 2000-2005 годов. Книга 3, М.: 2000.

387. Феодоритов М.И., Листопад Г.Г., Фундератов Ю.В. Разработка перспективных промежуточных детонаторов с использованием утилизируемых взрывчатых материалов // Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов: Сб. докладов. – М.: ВПК, 2001. – С.201–207.

388. Фещенко А.А., Эристов В.С. Контурное взрывание в гидротехническом строительстве. – М.: Энергия, 1972. - 119 с.

389. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко - Изд.3-е, переработанное. В 2 т. – Т.1. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. - 832 с.

390. Физико-химическая геотехнология золота / Воробьев А.Е., Каргинов К.Г., Козырев Е.Н., Ашихмин А.А.; Под ред. Д.т.н., проф. А.Е.Воробьева. – Владикавказ: Ремарко, 2001. – 568 с.

391. Фисенко Г.Л. О методах расчета устойчивости бортов глубоких карьеров. Статья в сб. «Математические методы в горном деле». Ч. II, СО АН СССР, Новосибирск, 1963.

392. Фисенко Г.Л. Об углах наклона бортов карьеров в скальных породах // Горный журнал, 1961, №3.

393. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. - М.- Госгортехиздат, 1956.

394. Формирование призабойных зон скважин взрывом /А.В. Михайлюк, И.А. Храмов, Н.А. Лисюк. – К.: Техніка, 1986. - 144 с.

395. Франтов А.Е. Взрывные работы в комбинированной физико-химической геотехнологии с использованием конверсионных взрывчатых веществ. // Маркшейдерия и недропользование, 2014. № 3, с. 35-39.

396. Франтов А.Е. Взрывные работы в открытой физико-технической геотехнологии с использованием конверсионных взрывчатых веществ // Маркшейдерия и недропользование - 2012. - №4. - С. 15-20.

397. Франтов А.Е. Взрывные работы в подземной физико-технической геотехнологии с использованием конверсионных взрывчатых веществ // Маркшейдерия и недропользование. - 2012. - № 5. - С. 15-21.

398.Франтов А.Е. Геотехнологические критерии выбора конверсионных ВВ // Записки горного института, С-Пб. - 2009. – т. 180. - С. 204-208.

399.Франтов А.Е. Геотехнологические параметры контурного взрывания с использованием конверсионных ВМ. // Маркшейдерия и недропользование. - 2007. - №5. - С. 32-35.

400.Франтов А.Е. Гравиметрическая плотность и структура заряда гранипора // Труды XIX Международной научной школы им. академика С.А. Христиановича «Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках». – Симферополь: ТНУ им. В.И. Вернадского, 2009. - С.315-319.

401.Франтов А.Е. Использование зарядов конверсионных ВМ при взрывании высоких уступов // Маркшейдерия и недропользование. - 2008. - №1. - С.18-20.

402.Франтов А.Е. К вопросу оценки экономической эффективности применения конверсионных ВВ в процессах взрывных работ // ГИБЛ. - 2012. - №6. - С.172.

403.Франтов А.Е. К вопросу определения параметров кондиционирования конверсионных ВВ для использования в геотехнологии // Взрывное дело. - 2015. – № 114/71. - С. 252-270.

404.Франтов А. Е. Конверсионные взрывчатые вещества - условия рационального применения в геотехнологиях. - LAP Lambert Academic Publishing, Германия, 2014. – 136 с.

405.Франтов А.Е. О взрывной эффективности конверсионных ВВ // Труды XXII Международной научной школы им. академика С.А. Христиановича «Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках». – Симферополь: ТНУ им. В.И. Вернадского, 2012. - С.352-364.

406.Франтов А.Е., Бригадин И.В., Тучков Е.Н., Дорошенко С.И. О связи энергетических и взрывчатых характеристик при оценке действия взрыва в сложных горнотехнических условиях// Взрывное дело. - 2015. №113/70. - С. 204-216.

407.Франтов А.Е. Обоснование рациональной величины инициирующего импульса ДШ. // Сборник научных трудов / ИПКОН АН СССР. Исследование взрывного метода дробления горных пород с применением простейших ВВ. – М., 1988. – С.74-81.

408.Франтов А.Е. Определение активной части кумулятивного заряда плоской симметрии аналитическим методом // Труды XXI Международной научной школы им. академика С.А. Христиановича «Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках». – Симферополь: ТНУ им. В.И. Вернадского, 2011. - с.361-367.

409.Франтов А.Е. Особенности ведения взрывных работ с применением конверсионных ВВ в физико-химических и комбинированных геотехнологиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М., изд. МГГУ, 2012. - №12. - с. 234.

410.Франтов А.Е. Особенности действия зарядов с осевой полостью в скважинах // Записки горного института. - С-Пб, 2007. - т.171. - С. 226-228.

411.Франтов А.Е. Оценка факторов, определяющих возможность применения конверсионных взрывчатых материалов в физико-химических геотехнологиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.: изд. МГГУ, 2010. - №7. - С.157-162.

412.Франтов А.Е. Перспективы нетрадиционных ВВ в комбинированных геотехнологиях // Труды Международной конференции «Минерально-сырьевая база черных, легирующих и цветных металлов России и стран СНГ: проблемы и пути развития». – М.: ВИМС, 2007. - С.230-231.

413.Франтов А.Е. Перспективы применения конверсионных взрывчатых материалов в комбинированной геотехнологии // Труды XX Международной научной школы им. академика С.А. Христиановича «Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках». – Симферополь: ТНУ им. В.И. Вернадского, 2010. - С.341-343.

414.Франтов А.Е. Повышение эффективности взрывной отбойки горных пород на карьерах путем оптимизации величины инициирующего импульса: Дисс… канд. техн. наук. - М.: ИПКОН РАН. - 1989. – 137с.

415.Франтов А.Е. Применение конверсионных ВМ в перспективных геотехнологиях // VII Международная научно-техническая конференция «Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов». - М.: Изд. Дом «Оружие и технологии, 2007. - С. 250-257.

416.Франтов А.Е. Применение конверсионных материалов в горнодобывающей промышленности // VI Международная научно-техническая конференция «Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов». - М.: Изд. Дом «Оружие и технологии, 2005. - С. 243-247.

417.Франтов А.Е. Развитие систем инициирования на основе детонирующего шнура // Сборник «Взрывное дело». – М.: ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН», 2008г, №100/57. - С. 124-133.

418.Франтов А.Е. Совершенствование методов и средств разрушения горных пород при разработке месторождений //Сб. «Взрывное дело». - 2014. – № 111/68. - С. 117-131.

419.Франтов А.Е. Рациональные параметры зарядов конверсионных ВМ. Труды XVIII Международной научной школы им. академика С.А. Христиановича «Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках». Симферополь, ТНУ им. В.И. Вернадского, 2008. - с.322-326.

420.Франтов А.Е. Совершенствование методов инициирования при добывании полезных ископаемых // Сб. «Взрывное дело». – М.: ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН», 2009. - №101/58. - С. 73-79.

421.Франтов А.Е. Технологии взрывных работ для промышленности строительных материалов // Труды XIII Международной конференции «Технология, оборудование и сырьевая база горных предприятий промышленности строительных материалов». – М.: МГГУ, 2008. - С.170-176.

422.Франтов А.Е. Управление действием взрыва шпуровых и скважинных зарядов конверсионных ВМ // Маркшейдерия и недропользование. - 2008. - № 6. - С. 34-36.

423.Франтов А.Е. Эффективность применения конверсионных взрывчатых материалов при добыче строительных горных пород // Строительные материалы. - 2011. – №1. - С. 6-9.

424.Франтов А.Е., Велькин П.А. Об эффективности применения детонирующих шнуров различной мощности // Сб. научных трудов/ ИПКОН АН СССР. Исследование взрывного метода дробления горных пород с применением простейших ВВ. – М.: 1988. – С.81-92.

425.Франтов А.Е., Демченко Н.Г. Методы кондиционирования конверсионных энергетических материалов для горной промышленности // Сб. научных трудов Четвертой международной научной конференции «Физические проблемы разрушения горных пород». - М.: ИПКОН РАН, 2005. - С.409-415.

426.Франтов А.Е., Демченко Н.Г. Проблемы инициирования составов БРТТ штатными средствами взрывания. Сб. научных трудов Четвертой международной научной конференции «Физические проблемы разрушения горных пород», М., ИПКОН РАН, 2005. - с.376-380. + [410]

427.Франтов А.Е., Демченко Н.Г., Вахотин А.А. Инициирование зарядов ВКЗ // ГИАБ. – 2007. - ОВ №5. - С.150-153.

428.Франтов А.Е., Демченко Н.Г., Ибрагимов Н.Г., Аффиатулов Э.Х., Юков Ю.М. Составы промышленных ВВ из утилизируемых порохов и топлив на основе нитроцеллюлозы и возможность их использования при механизированном заряжании // Сборник «Взрывное дело. - М.: ГИАБ, 2007. - ОВ №5. - С.309-315.

429.Франтов А.Е., Желуницин Ю.П. Новые решения в технологии и технике взрывных работ // Труды Научно-технической конференции «Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр». – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2008. - С.267-270.

430.Франтов А.Е., Закалинский В.М. Способ взрывной подготовки руды в зоне открыто-подземного яруса // Сб. «Взрывное дело». - 2009г.- №102/59. - С. 121-128.

431.Франтов А.Е., Мардасов О.Ф., Шалыгин Н.К., Северов А.Н. Соответствие номенклатуры конверсионных ВМ требованиям взрывных технологий в промышленности. // Сб. Проблемы взрывного дела. – М.: МГГУ-НОИВ, 1999. - №1. - С. 150-158.

432.Франтов А.Е., Соловьев Б.А., Северов А.Н., Комаров Д.В. Результаты испытаний баллиститных ракетных твердых топлив // Сб. научных трудов Третьей международной научной конференции «Физические проблемы разрушения горных пород». – Новосибирск: Наука, 2003. - С. 173-177.

433.Франтов А.Е., Щукин Ю.Г. Изыскание оптимальных средств передачи инициирующего импульса зарядам промышленных ВВ // Сб. научных трудов ИПКОН АН СССР. Напряженное состояние массивов горных пород и процесс взрывного разрушения. – М., 1985. – С.144-155.

434.Ханукаев А.Н. Физические процессы при отбойке горных пород взрывом. – М.: Недра, 1974. – 224 с.

435.Ханукаев А.Н. Энергия волн напряжений при разрушении пород взрывом. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 200 с.

436.Харитонов Н.Н., Ерушин А.Е. Комплексная утилизация боеприпасов и производство промышленных взрывчатых веществ на основе конверсионных материалов на государственном унитарном предприятии "Завод пластмасс". снаряжения // Теория и практика взрывного дела. Материалы Международной конференции «Взрывное дело-99». - М.: МГГУ-НОИВ, 1999. - С. 153-162.

437.Чирков Ю.И., Черненко А.Р. Подземная разработка мощных железорудных месторождений. – М.: Недра, 1985. – 239 с.

438.Чистяков В.П. Расчет параметров газокумулятивной струи // ФГВ. – 1988. - т.24 - №5. - С. 128-135.

439.Шагов Ю.В. Взрывчатые вещества и пороха. - М.: Воениздат, 1976. - 120 с.

440.Шашка-детонатор РСИ-ТГ ТУ НИИПКВТ.

441.Шашки баллиститного состава ТУ 727600-001-04683349-02.

442.Шашки прессованные для дробления негабарита ДН.Б ТУ 727600256870612-2006.

443.Шашки тротиловые для взрывных работ (ТУ 11509793-03-93).

444.Шехтер Б.И. Взаимодействие пластичных и разрывных элементов с преградой при больших скоростях встречи и возбуждение детонации ударом: дисс. д-ра техн. наук. - М., 1961. – 295 с.

445.Шешко Е.Ф. Открытая разработка месторождений полезных ископаемых. – М.: Углетехиздат, 1957. - 495 с.

446.Шиман Л.Н., Устименко Е.Б, Дудко В.С., Швыдко П.В. Промышленные ВВ содержащие продукты утилизации СРТТ МБР SS-24. // Сб. «Взрывное дело-99». - М.: Изд. МГГУ, 1999. - С.170-172.

447.Щукин Ю.Г., Бутысин В.С. Нагружение среды зарядами с продольной кумулятивной выемкой. «Деформируемые среды при импульсных нагрузках»: Сб. науч. тр. / АН Украины. Отд-ние геодинамики взрыва ин-та геофизики им. С.И. Субботина. – Киев: Наук. Думка, 1992. – С.122-125.

448.Щукин Ю.Г., Кутузов Б.Н., Мацеевич Б.В., Татищев Ю.А. Промышленные взрывчатые вещества на основе утилизируемых боеприпасов. – М.: Недра, 1998. – 319 с.

449.Щукин Ю.Г., Нагибин Ю.П., Кутузов Б.Н. Проблема использования утилизируемых боеприпасов в промышленности и ее обеспечение // Сб. Утилизация-96 Комплексная утилизация боеприпасов. Материалы II Всероссийской научно-технической конференции. - М.: ЦНИИНТИКПК, 1997. - С.34-35.

450.Щукин Ю.Г., Онищенко А.Е., Зябрев Е.Т., Франтов А.Е., Совершенствование процессов отбойки, дробления и выпуска руды // Черная металлургия. - 1980. - №10. - С.38-39.

451.Щукин Ю.Г., Софронов А.В. Интенсификация отбойки и выпуска зависшей руды. – М.: Недра. – 1982. – 116 с.

452.Щукин Ю.Г., Франтов А.Е., Боев В.В., Телков В.И. Применение конверсионных ВМ на гранитном карьере «Микашевичи» и опыт использования механизированного заряжания гранипора // Материалы. международной конференции «Взрывное дело-99». - М.: Изд. МГГУ, 1999. - С.334-338.

453.Щукин Ю.Г., Чернышов С.Н., Коломинов И.А., Тогунов М.Б., Шеменев В.Г. Перспективные взрывчатые материалы для горной промышленности // Сб. докладов всероссийской научной конференции «Развитие ресурсосберегающих технологий во взрывном деле». – Екатеринбург: УрО РАН. – 2009. - С.108-118.

454.Экономика геологоразведочных работ: Учебное пособие / Е.Л. Гольдман, З.М. Назарова, А.А. Маутина и др. – М.: Изд. дом «Руда и металлы», 2000. – 400 с.

455.Экспериментальное определение влияния конструктивных элементов системы «Инициатор – промежуточный детонатор»: Отчет о НИР / ВНИПИгорцветмет. – М.: 1983. - 65 с.

456.Элизбарашвили Т.Ш., Шарашенидзе Т.В., Лобжанидзе Б.И. Новый способ инициирования удлиненных зарядов ВВ // Сб. Свойства и разрушение горных пород. - Тбилиси: Мецниереба, 1978. - С 159-163.

457.Энергетические конденсированные системы. Краткий энциклопедический словарь – М.: Янус-К, 1999. - 596 с.

458.Юматов Б.П., Байков Б.Н., Смирнов В.П. Открытая разработка сложноструктурных месторождений цветных металлов. - М.: Недра, 1973. - 192 с.

459.Юхансон К., Персон П. Детонация взрывчатых веществ. – М.: Недра, 1973. – 243 с.

460.Яременко Н.Е., Светлов Б.Я. Теория и технология промышленных взрывчатых веществ. - М.: Гос. издательство литературы по строительным материалам, 1957. - 237 с.

461.Bichel, Z.f. Berg- Hütten- u. Salinenw, 50, 669, 1902.

462.Brown F.W. Determination of basic performance propreties of blasting explosives. Quarterly of the Colorado School of Mines, Vol.51, №3, july, 1956.

463.Eyring H., Howell R.E. Chem. Rev. 45, 69 (1969).

464.Frantov A.E., Zhelunitsyn Yu.P. Blasting operations in combined geotechnologies. - Proceedings of the 6 th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction. Beijing, 2009, P.R. China – p.265-267.

465.Hess, Mitt. Art.-u/Gen.-Wes., 29, 235, 1898.

466.Houheng Z., Shenshan Z. A study of the application of the characteristic value of explosives as the energy output index. Vingun Sjnebao, Acta armamentarii, 1984, n1.

467.Jones H. Proc. Roy. Soc. A189, 415 (1947).

468.Kennedy I.E., Nunsiato I.W. Mech. Phys.Solids, 1976, 24.

469.S.D. Viktorov, V.M. Zakalinsky, A.E. Frantov, A.N. Koshanov. Classification of blasting process characteristics in combined and conventional geotechnologies. 7th world conference on explosives & blasting. - Moscow. - Russia. -2013. Part 1, p. 27-30.

470.U. Langefors/ Model scale tests in rock blasting. Quarterly of the Colorado School of Mines, v. 54, №3.

471.Walker F.E., Wasley R.I., Green L.G. Proc. 8-th. Symp. Expl. and Pyrotechn., USA, 1974.

472.Woodhed D.W. Velocity of detonation of a tubular charge of explosive. Nature. 1947. Vol. 160, No. 4071, p. 644.

Приложения

Приложение А

Анализ методов оценки взрываемости горных пород

Основополагающей работой, положившей начало изучению сопротивляемости горных пород при разрушении взрывом (взрываемости), является работа проф. М.М. Протодъяконова, в которой взрываемость горных пород определяется характеристическим параметром - коэффициентом крепости (*f*). Предлагаемая классификация использует фактический материал, полученый при проходке горных выработок. Классификации присущ недостаточный учет блочности пород.

В работах проф. А.Ф. Суханова определен методологический подход в классификации горных пород по взрываемости, как показателю эффективности производственного процесса и предложен выбор классификационного показателя как «средства для правильного определения производительности труда, составления норм … и правильного выбора и применения машин». Предлагаемая шкала взрываемости горных пород включает разделение на четырнадцать категорий. Рассматриваемая шкала взрываемости получена при проходке горных выработок с соблюдением стандартных условий взрывания (ВВ 62%-ный динамит, плотность ВВ в патроне 1,5 г/см^3, объемная концентрация энергии 1 г/см^3, площадь забоя 5 м^2, одна обнаженная поверхность, глубина шпуров 1 м, диаметр шпуров 38 мм, направление шпуров к напластованию пород в среднем 45°, глиняная забойка) и при получении заданной кусковатости отбитой горной массы (для трудновзрываемых пород отбитая горная масса содержала отдельные куски размером до 50 см, содержание кусков размером 30 см составляло 30-35%, размер остальных кусков менее 30 см; для легковзрываемых пород кусковатость снижалась). При отклонении от принятых стандартных условий (применении другого ВВ, изменении площади забоя, глубины шпуров, количества обнаженных плоскостей, диаметра и формы заряда) в величину коэффициента взрываемости вводятся поправочные коэффициенты. Предлагаемая классификация использует фактический материал, полученный при проходке горных выработок. Отсутствие методики определения поправочных коэффициентов при изменении условий взрывания ограничило область применения классификации.

Формула В.К. Рубцова характеризует взрываемость величиной эталонного расхода ВВ $q_э$, определяемого из выражения: $q_э = q\frac{V_e}{V_e - V_н}$, где $q_э$ – эталонный расход ВВ; q - удельный расход ВВ; V_e – содержание в массиве кусков фракции + 0,5 м; $V_н$ – выход кусков фракции + 0,5 м при взрыве с удельным расходом ВВ q; зависимость эталонного $q_э$ от крепости, степени трещиноватости и других свойств пород им предложена в виде

$$q_э = 0{,}47\left(\frac{1}{\lambda}+0{,}2\right) f^{\alpha}\left(\frac{0{,}5}{d_н}\right)^{\frac{2}{5}} e\,\varphi_0\left(\rho_0, E, \nu\right)$$

, где $q_э$ – эталонный расход ВВ; λ – удельная трещиноватость массива пород; f – коэффициент крепости пород по шкале проф. М.М. Протодьяконова; α =0,2-0,25; $d_н$ – размер кондиционного куска; e – переводной коэффициент ВВ; $\varphi_0\ (\rho_0, \nu, E)$ – функция , зависящая от плотности, модуля упругости, коэффициента Пуассона породы. В рассматриваемую зависимость входит функция φ_0; и коэффициенты α; 0,47; 0,2, обоснование которых требует проведения трудоемких экспериментальных работ, что ограничивает применение методики.

В работах академика В.В. Ржевского показателем трудности дробления горных пород взрывом принята величина эталонного удельного расхода эталонного ВВ. При определении $q_э$ приняты допущения, что энергия ВВ затрачивается на создание новых поверхностей с преодолением пределов прочности на сжатие, сдвиг и растяжение. Расход энергии ВВ на дробление породы пропорционален площади вновь образованных поверхностей. Затраты энергии ВВ на преодоление силы тяжести пропорциональны плотности породы. Определение $q_э$ проводится в стандартных (эталонных) условиях взрывания: заряд ВВ располагается в центре 1м^3 монолитной горной породы с шестью свободными поверхностями и производится дробление этого объема с обеспечением степени дробления равной 2. Аналитически рассчитанный эталонный расход ВВ колеблется в пределах от 5 до 50 г/м^3. В классификации породы делятся на пять классов, каждый из которых включает пять категорий. При переходе к проектному удельному расходу ВВ водят коэффициенты на тип ВВ, степень дробления, трещиноватость породного массива, степень сосредоточенности заряда ВВ, высоту уступа, число свободных поверхностей. В формуле академика В.В. Ржевского величину эталонного удельного расхода эталонного ВВ, определяют из выражения $q_э=2(\sigma_{сж}+\sigma_{сдв}+\sigma_{раст})\cdot 10^{-7}+2\gamma\cdot 10^{-4}$, где $q_э$ - удельный расход эталонного ВВ; $\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие; $\sigma_{сд}$ – предел прочности на сдвиг; $\sigma_р$ - предел прочности на растяжение; γ – объемный вес породы. Определение переходных коэффициентов от эталонного к проектному расходу ВВ для конкретных горнотехнических условий требует проведения трудноемких экспериментов на предприятии, связанных с соблюдением условий определения $q_э$ (конфигурация, монолитность горных пород, наличие шести свободных плоскостей).

Для оценки взрываемости горных пород с учетом различных форм работы взрыва при подготовке и добыче горных пород Союзвзрывпромом разработана шкала взрываемости для зарядов рыхления и выброса. Классификация включает десять групп грунтов и пород. Использование разработанной классификации для оценки взрываемости пород при других формах работы взрыва связано с обоснованием и уточнением затрат энергии на данные формы

работы. При большом разнообразии горно-геологических условий месторождений и физико-механических свойств пород такое определение весьма затруднительно.

Оценка взрываемости пород по скорости распространения продольных волн обусловлена тесной корреляционной связью взрываемости с плотностью пород, трещиноватостью массива, анизотропией свойств и т.д. На основании акустического метода проф. В.Н. Мосинец разделил породы Кальмакырского карьера на три категории: легковзрываемые, средневзрываемые, трудновзрываемые. Трещиноватость пород оценивают скоростью прохождения продольных волн. Критерием является акустический показатель трещиноватости $A=\left(\frac{C_{рм}}{C_{ро}}\right)^2$ Показатель A позволяют проводить изучение физического состояния массива горных пород – взрывного блока по глубине и в плане. Определение трещиноватости пород на основании скорости распространения продольных волн сложно при проведении измерений на добычных блоках, а также из-за сложности интерпретации данных, полученных для обводненных пород, при наличии трещин с различным характером заполнения.

Проф. Н.Я. Репин предложил классификацию по взрываемости для пород, покрывающих угольные месторождения, представленных почти повсеместно песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Классификация построена с учетом структурных свойств массива вскрышных пород угольных разрезов (диаметр средней отдельности -$d_{ср}$, содержание фракций +1000 мм - N), физико-механических и упругих свойств пород (объемный вес - γ, временное сопротивление сжатию - $\sigma_{сж}$, модуль упругости - Е), акустических характеристик пород массива (акустическая жесткость - Z) и коэффициента анизотропии (K). Классификация включает пять категорий горных пород по взрываемости. Для пород, выходящих за рамки рассматриваемой классификации, оценка взрываемости существенно усложняется для мелкоблочных массивов и рудных тел со сложными элементами залегания.

Проф. Г.П. Демидюк предложил критерий оценки сопротивляемости пород при взрывном разрушении на основе коэффициента крепости и экспериментально установленной величины энергоемкости взрывного разрушения, выражаемой в Мкал/м^3 или МДж/м^3. В классификации выделено пять групп пород по взрываемости: легковзрываемые, средневзрываемые, трудновзрываемые, весьма трудновзрываемые и в высшей степени трудновзрываемые. Корректировка взрываемости пород по другим факторам производится отнесением вязкой породы в группу более высокой энергоемкости, сильная трещиноватость и мелкоблочность крепкой породы – отнесением в группу меньшей энергоемкости. В стандартной постановке энергоемкость разрушения включает затраты энергии на различные

формы работы взрыва (отрыв, дробление, отброс, образование воздушной и сейсмической волны).

Проф. И.А. Тангаев для оценки взрываемости горных пород выделяет критерии, основанные на выполнении следующих условий: допускают применение приборов для измерения; достаточно оперативны и позволяют предварительно рассчитать параметры буровзрывных работ или скорректировать их до взрыва; просты и пригодны для постоянного применения в производстве. Перечисленным требованиям удовлетворяет критерий определения взрываемости по величине удельной энергоемкости бурения взрывных скважин. Однако, при использовании этого критерия следует учитывать различие механизмов разрушения пород при бурении и взрывании. На сопротивляемость разрушению при бурении оказывают трещины первого и второго порядков, эффективность взрывного разрушения определяют трещины третьего порядка.

Академик Казахской АН Б.Н. Ракишев взрываемость горных пород определяет на основе взаимоувязки основных базовых свойств пород и массива. Характеристикой взрываемости является критическая скорость разрушения массива пород. Первое слагаемое определяет результат действия разрушающих сил, направленных на расчленение массива на естественные отдельности, второе слагаемое, как результат разрушения самих отдельностей при сложном объемном нагружении в данной среде: $\mathrm{v_{кр}} = k\sqrt{g\,d_e} + \dfrac{\sigma_{раз}}{\rho_0\, c}$, где $V_{кр}$ - критическая скорость разрушения массива пород; k – безразмерный коэффициент; g – ускорение свободного падения; d_e – средний линейный размер отдельности в массиве; c – скорость звука в отдельности; ρ_0 – плотность пород; $\sigma_{раз}$ – эквивалентное разрушающее напряжение. Использование этого метода предеусматривает установление связи безразмерного коэффициента k с параметрами взрывных работ, т.к. от расположения скважин, конструкции заряда, способов взрывания зависит разрушающее действие взрыва.

Формула В.И. Терентьева предполагает определение q в виде суммы расходов ВВ на отрыв и дробление: $\mathrm{q} = \dfrac{\pi\,\tau_{сд}}{\mathrm{W}\,\varepsilon\,\eta\cos\alpha\,\mathrm{Sin}^2\alpha} + \dfrac{\sigma_p\, W}{\varepsilon\,\mathrm{R_a^2}}\left(tg\alpha + Sin\alpha\right)$, где q - удельный расход ВВ; $\tau_{сд}$ – предел прочности на сдвиг; W – л.н.с; ε – коэффициент, характеризующий развиваемое ВВ усилие; η – коэффициент использования энергии взрыва; E – энергия ВВ; $\mathrm{R_a}$ - крупность кусков взорванной массы; σ_p – предел прочности на растяжение. В зависимости для определения q величины ε, η, $\mathrm{R_a}$ трудно определимы и не поддаются расчету. Это затрудняет использование предлагаемой методики.

В работах проф. Б.Н. Кутузова предложена классификация горных пород по взрываемости с учетом технологических свойств пород (трещиноватости массива), которая широко применяется на карьерах черной и цветной металлургии. Классификация разработана при стандартных условиях: высота уступа 12-15 м, угол откоса 65-70°, диаметр скважин 243 – 269 мм, ВВ –граммонит 79/21, схема взрывания многорядная КЗВ с замедлением по диагоналям, величина перебура 2 м, величина забойки 6 м. Рассматриваемая классификация затрагивает многообразие горных пород, встречающихся на рудных карьерах с учетом степени влияния на категорию взрываемости значимых (трещиноватость пород в массиве) и менее значимых факторов (прочностные характеристики, плотность горных пород). Классификация включает десять категорий горных пород по взрываемости. Зависимость для эталонного расхода ВВ от крепости, плотности и степени трещиноватости горных пород обобщена в виде: $q = 0{,}13\rho\sqrt[4]{f}\left(0{,}6 + 3{,}3\cdot 10^{-3} d_з\, d_0\right)\left(\frac{0{,}5}{d_к}\right)^{2/5} k_{ВВ}$, где q - удельный расход ВВ; f– коэффициент крепости пород по шкале проф. М.М. Протодьяконова; $d_з$ – диаметр заряда; d_0 – средний размер отдельности в массиве; $d_к$ – размер кондиционного куска; $k_{ВВ}$ – коэффициент, зависящий от типа ВВ; ρ – плотность пород. В предлагаемой классификации для конкретных горнотехнических условий необходимо уточнение коэффициентов ($0{,}13; \sqrt[4]{f}; 0{,}6; 2/5$) при определении $q_э$.

Классификации пород по взрываемости на основе удельного расхода ВВ на первичное взрывание на предприятиях черной и цветной металлургии имеет большое разнообразие подходов по отнесению пород к той или иной категории. На основе обобщения параметров и показателей взрывов, проводившихся в одинаковых горнотехнических условиях, с использованием положений теории распознавания образов получено аналитическое решение для двух выборок со средними значениями q и q_x. Существенность отличия между средними значениями в выборках и за пределами этой области определялась с использованием нулевой гипотезы, на основании которой получена зависимость для определения границ между категориями имеет вид: $q_{кр} = q \pm 0{,}117\, q^{2/3}$ Все многообразие взрываемых на карьерах горных пород классифицируют 10 категориями. Применение статистических методов определения взрываемости на основе удельного расхода ВВ требует проверки согласованности теоретического и экспериментального распределения значений q и q_x.

Приложение Б1

Параметры и показатели взрывных работ с использованием баллиститных шашек на предприятиях черной и цветной металлургии, горно-химического и строительного сырья

Предприятие	Породы	Крепость f, (категория СНиП)	Диаметр скважин, мм	Сетка скважин, м х м	Запас энергии заряда, МДж/м	Удельная энерго-емкость взрывного разрушения, МДж/м^3	Расчетная сетка скважин, м х м	Масса заряда
Баллиститные шашки РСИ-5 и ТНТ								
АООТ «Высокогорский ГОК» Гальяновский к-р	авгитовые порфиры рассланцованные известняки сильнотрещиноватые	f=6-7 f=5-6	250 250	6 х 6	125	5,85	6,5 х 6,5	БРТ-345 кг ТНТ-80 кг
	скальные туфы порфировые, брекчевидные известняки, известняки	f=5-6 f=6-7 f =5-6	250	6,5 х 6,4	131,7	5,85	6,7 х 6,7	БРТ-128,3 кг ТНТ-140,5 кг
	брекчевидные известняки, известняки серого цвета	f=6-7 f =5-6	250	6,9 х 7,1	139,5	5,85	6,9 х 6,9	БРТ -191,3 кг ТНТ-131,4 кг
	мраморизованные известняки,	f =5-6	250	6,4 х 7,1	137,5	5,85	6,8 х 6,8	БРТ-127,5 кг ТНТ-134,8 кг
	скальные туфы порфировые, брекчевидные известняки, светлосерые известняки, авгитовые порфиры	f=6 f=6-7 f =5-6 f =6	250	6,6 х 6,9	131,5	5,85	6,7 х 6,7	БРТ-264,4 кг
	авгитовые порфиры	f=6-7	250	6,7 х 7,2	143,6	5,85	7,0 х 7,0	БРТ-106,6 кг ТНТ-172 кг
	известняк	f =5-6	250	6,9 х 6	141,2	5,85	6,9 х 6,9	БРТ-116,8 кг ТНТ-114,1 кг
	известняк	f =5-6	250	6,8 х 7	133,8	5,85	6,75 х 6,75	БРТ-218,5 кг ТНТ-29,3 кг
Баллиститные шашки РСИ-12К и гранипор ПЗФ								
ГП «Гранит» карьер «Микашевичи»	граниты, гранодиориты, диориты	f =18-20	250	6 х 6	143	7,95	6,0 х 6,0	ПЗФ-324 кг БРТ-23 кг
Баллиститные шашки НМФ и гранипор ПЗФ								
ГП «Гранит» карьер «Микашевичи»	граниты, гранодиориты, диориты	f =18-20	250	6 х 6	143	7,1	6,3 х 6,3	ПЗФ-324 кг БРТ-23 кг
Афанасьевский карьер	известняк	f=9-10	160	4,5-5 х 5	57,6	5,85	4,4 х 4,4	ПЗФ-53 кг

								БРТ-7,2 кг ВВ-4 кг
	доломит	f=4-6	160	4,5-5 х 5	58	5,85	4,45 х 4,45	ПЗФ-35 кг БРТ-1,8 кг ВВ-5 кг
Баллиститные шашки РСИ-12, КДСИ-24 и граммонит 79/21								
ОАО «СОБР»	базальты	f =10-11	110	2,5 х 2,5	36,8	7,95	3,0 х 3,0	БРТ-35 кг ВВ - 109 кг

Приложение Б2

Параметры и показатели взрывных работ при применении пироксилиновых порохов на предприятиях черной и цветной металлургии и строительного сырья

Предприятие	Породы	Крепость f, (категория СНиП)	Диаметр скважин, мм	Сетка скважин, м х м	Запас энергии заряда, МДж/м	Удельная энерго-емкость взрывного разрушения, МДж/м^3	Расчетная сетка скважин, м х м	Масса заряда
Бакальское РУ	кварциты	f =16-18	216 240	4,5 х 4,5 5 х 5	108,1 128,2	7,95	5,2 х 5,2 5,6 х 5,6	ПП-143 кг
Златоустовское РУ Ахтенский карьер	сидериты, амфиболиты	f =14-16	250	5,5 х 6	131,5	7,95	5,75 х 5,75	ПП-201 кг
НПО «Сибруда» Тейское месторождение	магнетит, магнезиоферрит, гематит	f =8-10	215 250	6 х 6	108,1 131,5	7,1	5,5 х 5,5 6,1 х 6,1	ПП-400-450 кг
ОАО «Стагдок» Ситовский карьер	известняк	f =4-6	160	5 х 5-5,5	60	4,6	5,1 х 5,1	ПП-100-150 кг
ОАО Ачинский ГК	известняк темный плотный с дайками диабаза	f =10-12	250	6,5 х 6,5	131,5	5,85	6,7 х 6,7	ПП-160-320 кг
ОАО «Гранит Кузнечное»	гнейсы, гранито-гнейсы	f =15-17	250	6 х 6	131.5	7,1	6,1 х 6,1	ПП-340-440 кг

Приложение Б3

Параметры и показатели взрывных работ при применении гранипоров №6, ППС, БП и ПЗФ на предприятиях цветной металлургии, горно-химического и строительного сырья

Предприятие	Породы	Крепость f, (категория СНиП)	Диаметр скважин, мм	Сетка скважин, м х м	Запас энергии заряда, МДж/м	Удельная энергоемкость взрывного разрушения, МДж/м^3	Расчетная сетка скважин, м х м	Масса заряда
гранипор №6								
ОАО «Сода»	известняки	f=4-6	220-250	6-7 х 6-7	107,3-124,2	4,6	6,8 х 6,8 7,3 х 7,3	319-440 кг
ГУП «Уфимское УБВР» к-р «Кан-Тукан»	известняки доломитизированные	f=4-6	110	2,5 х 2,5	21,8	4,6	3,0 х 3,0	11,6-40 кг
гранипор ППС								
Щебзавод «Глушкевичи» к-р «Крестьянская нива»	граниты	f=9	215,9	5 х 5	100,1	5,85	5,8 х 5,8	240 кг
гранипор БП								
ГП «Гранит» к-р «Микашевичи»	граниты, гранодиориты, диориты	f=18-20	250	6 х 6	131,5	7,95	5,75 х 5,75	320-360 кг
гранипор ПЗФ								
ОАО Ачинский ГК Мазульский рудник	известняк трещиноватый, дайки разложившиеся до глины	f=4-6	250	6,5 х 6,5-7	122,4	4,6	7,2 х 7,2	202-322 кг
ГП «Гранит» к-р «Микашевичи»	граниты, гранодиориты, диориты	f=18-20	250	6 х 6	122,4	7,95	5, 55 х 5,55	320-360 кг

Приложение Б4

Параметры и показатели взрывных работ при применении гранипора ФМ на месторождениях строительного сырья

Месторождение	Породы	Крепость f или категория по СНиП	Диаметр скважин, мм	Сетка скважин, м х м	Глубина скважин, м	Удельный расход ВВ, кг/м^3	Выход г.м. с 1 п. м скважины, м^3/п.м	Расположение скважин на уступе
Шедокское месторождение	гипсовый камень	V-VI	90-160	от 3,3 х 3,4 до 6 х 6	11,2-11,9	0,41- 0,43	10,4-30,26	вертикальные
Шушукское месторождение	гипсовый камень	V-VI	110-150	от 3,5 х 3 до 4,5 х 4,5	9,5-10	0,67	8,8-16,2	вертикальные
Адербиевское месторождение	мергель	f=6-8 VI-VII	130	4 х 4	10-12	0.6	11,6–12, 8	вертикальные
Новороссийское 1 месторождение	мергель, глина, песчанник	f=8 VII	110-250	от 3,5 х 3 до 11 х 11	17-22,5	0,45	9-53,8	вертикальные, наклонные и парносближенные
Верхнебаканское месторождениае	мергелистый известняк	VII	130-150	4 х 4-5 х 5	12-17	0, 4-0,45	13,9–18,8	вертикальные, парносближенные
Богогоевское месторождение	известняк	VII	130-150	4 х 4-4,5 х 4,5	10	0,55	12,8-16,2	вертикальные
Новороссийское месторождение	мергель	VII	100-150	4 х 4-5 х 5	12	0,45-0.56	11,6–18,8	вертикальные, парносближенные
Новороссийское месторождение IV	мергель	f=8 VII	110-250	от 3,5 х 3 до7,8 х 7,8	17–17,5	0,45	9-53,7	вертикальные, наклонные и парносближенные
Мезыбское месторождение	известняк	VII	130	4 х 4	10	0.6	12,8	вертикальные
Неберджаевское месторождение	известняк	f=8 VIII	150	4 х 4-5 х 6	13.5	0,4	23,8	вертикальные, парносближенные
Хаджохское месторождение	известняк	VII	110-130	3,5 х 3–4.2 х 3,8	17.5	0,65	9–13,7	наклонные

Приложение Б5

Параметры и показатели взрывных работ при применении тротила-У на предприятиях строительной промышленности

Предприятие	Породы	Крепость f, (категория СНиП)	Диаметр скважин, мм	Сетка скважин, м х м	Глубина скважин, м	Масса заряда , кг
Афанасьевский карьер	известняк	f = 3-4	160	4,5-5х5	5,5-7	43-54
	доломит	f = 6-8	160	4,5-5х5	3,5-5	10-40
	мергель	VII	160	5-8х5-8	6-9	39-74

Приложение Б6

Параметры и показатели взрывных работ при использовании гексотала на угольных разрезах

Предприятие	Породы	Крепость f, (категория СниП)	Диаметр скважин, мм	Сетка скважин, м х м	Глубина скважин, м	Удельный расход ВВ, кг/пм	Обводнен-ность скважин, м	Масса заряда, кг
ОАО «Ургалуголь»	мергель	8	250	6х6	10-13	40	До 8 м	255-355

Приложение В

Объемная плотность заряжания Δ при взрывании контурных зарядов

Свойства пород (предел прочности на сжатие), $\sigma_{сж}$, кг/см^2	Плотность баллиститных шашек, $\rho_{ВВ}$, г/см^3	Теплота взрыва, $Q_{ВВ}$, МДж/кг	Объемная плотность заряжания контурных зарядов,Δ, г/см^3	Давление на фронте ударной воздушной волны в скважине, Р, кбар
500	1,5	3760	0,046	69
500	1,6	3760	0,049	68,9
500	1,7	3760	0,052	68,8
500	1,5	4600	0,038	69,6
500	1,6	4600	0,040	68,75
500	1,7	4600	0,043	69,6
500	1,5	5015	0,034	68
500	1,6	5015	0,037	69,4
500	1,7	5015	0,039	68,8
1000	1,5	3760	0,088	132
1000	1,6	3760	0,094	132,2
1000	1,7	3760	0,1	132,4
1000	1,5	4600	0,072	132
1000	1,6	4600	0,077	132,3
1000	1,7	4600	0,081	131
1000	1,5	5015	0,066	132
1000	1,6	5015	0,07	131,3
1000	1,7	5015	0,075	132,4
1500	1,5	3760	0,13	195
1500	1,6	3760	0,138	194,1
1500	1,7	3760	0,147	194,6
1500	1,5	4600	0,11	201,7
1500	1,6	4600	0,113	194,2
1500	1,7	4600	0,12	194,1
1500	1,5	5015	0,097	194
1500	1,6	5015	0,104	195
1500	1,7	5015	0,11	194,1
2000	1,5	3760	0,17	255
2000	1,6	3760	0,183	257,3
2000	1,7	3760	0,194	256,8
2000	1,5	4600	0,14	256,7
2000	1,6	4600	0,15	257,8
2000	1,7	4600	0,16	275
2000	1,5	5015	0,13	260
2000	1,6	5015	0,14	262,5
2000	1,7	5015	0,145	255,9

Приложение Г

Оптимальная линейная плотность заряжания при использовании баллиститных шашек

№ №	Баллиститные шашки	Предел прочности, $\sigma_{сж}$, кг/см^2	Диаметр скважины, мм	Оптимальная линейная плотность заряжания, кг/м	Фактическая линейная плотность заряжания, кг/м
1.1	РСИ-60	500	105	0,4	1,67
1.2		1000	125	1,8	1,67
1.3		1500	140	2	1,67
1.4		2000	160	3	1,67 х 2
2.1	Н-13, НА-13, $НМ_2$-13, $НМ_2$А-13, $НМ_4$Ш-13	500	105	0,4	1,82
2.2		1000	125	1,8	1,82
2.3		1500	140	2	1,82
2.4		2000	160	3	1,82
3.1	ФГ-14, ФСГ-2, ФСГ-14, ФСГ-2, КДСИ-14	500	105	0,4	2,14
3.2		1000	125	1,8	2,14
3.3		1500	140	2	2,14
3.4		2000	160	3	2,14
4.1	РСИ-5	500	105	0,4	2,47
4.2		1000	125	1,8	2,47
4.3		1500	140	2	2,47
4.4		2000	160	3	2,47
5.1	РСИ-60	500	105	0,4	3,33
5.2		1000	125	1,8	3,33
5.3		1500	140	2	3,33
5.4		2000	160	3	3,33
6.1	РНДСИ-5К	500	105	0,4	3,46
6.2		1000	125	1,8	3,46
6.3		1500	140	2	3,46
6.4		2000	160	3	3,46

Приложение Д

Параметры контурного взрывания на предприятиях железорудной промышленности при использовании конверсионных ВВ

Предприятие	Породы	Крепость f, (категория СНиП)	Диаметр скважин, мм	Расстояние между скважинами, м	Глубина скважин, м	Удельный расход ВВ, кг/м	Инициатор	Примечание
ШЗ-4								
АО «Ковдорский ГОК» р-к «Железный»	Пироксениты с прожилками карбонатита	f =10-14	244,5	3	18,0-20,17	Масса ШЗ на 1 м - 3,9 кг; Масса ЗКВК на 1 м –3,9-4,0 кг	ДШЭ-12 - восемь нитей вокруг заряда	Длина контурного заряда 15-17 м
ШБТ-1,0/54								
Карьер Тейского железорудного месторождения	Магнетитовые, магнезиоферитовые и гематитовые руды	f =12-14	146	3	32	3,1	ДШ	Угол наклона скважин 75º

Приложение Е

Характеристики кумулятивных заряды плоской симметрии диаметром 28–85 мм на основе баллиститных шашек

Диаметр заряд, мм	Форма кумулятивной выемки	Масса заряда, г/м	Масса активной части заряда, г/м
28	полусферическая	816	281
28	параболическая	824	272
28	треугольная 60º	824	298
40	полусферическая	1664	576
40	параболическая	1680	560
40	треугольная 60º	1680	608
46	полусферическая	2192	760
46	параболическая	2224	736
46	треугольная 60º	2224	800
52	полусферическая	2816	976
52	параболическая	2840	944
52	треугольная 60º	2840	1024
85	полусферическая	7504	2592
85	параболическая	7584	2528
85	треугольная 60º	7584	2736

Приложение Ж

Кумулятивные заряды для дробления негабарита и ликвидации зависаний и заколов

№ № п/п	Заряд	Энергия рабочего тела, кДж.	Область применения	Объем разрушаемого объекта	Размеры устройства	
					Габариты, мм	Масса заряда, кг
1.	ЗКП- 200	730	Дробление негабарита	0,35-0,8	106х58	0,245
2.	ЗКП-1000	3640	-//-	1,3-4,0		1.0
3.	ЗКНКЗ-400	1460	-//-			0,4
4.	ЗКНКЗ-2000	7300	-//-			2,0
5.	ЗКНКЗ-4000	14600	-//-			4,0
6.	Плюраджет (США)	860	-//-	0,3-0,65		0,215
7.	ДРС -130 (К)	7300	Ликвидация зависаний	1,4-3,2	калибр 132, длина 680	1,4
8.	ДРС- 260 (К)	60100	-//-	7-20	калибр 263, длина 990	11,5
9.	ДРС-160(Ф)	17200	-//-	2-4,5	калибр 162, длина	3,3
10.	ДРС-260 (Ф)	63050	-//-	7-18	калибр 263, длина	12.1
11.	ЗВБ-60	xx)2060/567	Дробление негабарита,	x)400 х 25	60 х 60	0.6
12.	ЗВБ-120	xx)8710/3372	-//-	x)700 х 45	120 х 120	2.6
13.	ЗВБ-180	xx)22170/6730	-//-	x)1300 х 65	180 х 180	7.1
14.	ЗВБ-240	xx)36432/11404	-//-	x)1500 х 75	240 х 240	12.8
15.	ЗВБ-300	xx)57420/17704	-//-	x)1700 х 80	300 х 300	19.2

х) размеры образуемой полости: первая цифра – длина, вторая – диаметр заряда
хх) числитель – энергия заряда ВВ, знаменатель – кинетическая энергия ядра

Приложение И

Отработка конструкции промежуточного детонатора на основе конверсионных ВВ для проходческих работ

1. Моделирование условий эксплуатации инициирующих устройств

При разработке промежуточного детонатора для работ в подземных условиях отрабатывались детонаторы на основе баллиститных шашек (БРТ). Большинство составов БРТ обладают недостаточной чувствительностью к инициирующему импульсу первичных средств инициирования, поэтому для создания режима стационарной детонации требуется применение промежуточного узла из бризантных ВВ. Этот узел должен обеспечивать восприимчивость к инициирующему импульсу детонирующего шнура, электродетонатора, капсюлю СИНВ или ЭДИЛИН и в свою очередь надежно инициировать баллиститную шашку. В качестве такого промежуточного узла могут быть использованы высокочувствительные шашки бризантных ВВ (А-IX-I, А-IX-2, пластита и др.), имеющие соответствующие габаритно-массовые характеристики.

Для моделирования инициирования при различных условиях эксплуатации (обводненность шпуров и скважин) на первом этапе исследовалась восприимчивость к детонации от практических видов взрывного импульса шашки бризантных ВВ двух типов из состава А-IX-2, используемые в промежуточном узле:

шашки 1 типа имели длину l=40,5 мм, диаметр d=19,7 мм, массу m=14 г. Гнездо в шашке имело диаметр d=9 мм и длину l=16 мм,

шашки 2 типа имели длину l=50,5 мм, диаметр d=23,5 мм, массу m=37 г.

При проведении испытаний шашки бризантных ВВ устанавливались на пластину из стали толщиной 8 мм. На торец шашки первого типа или в гнездо устанавливался электродетонатор на различном расстоянии от дна гнезда. Зазор между электродетонатором и дном был заполнен воздухом или водой. Результат инициирования определяли по пробитию стальной пластины. Результаты сведены в табл. 1.

Шашки второго типа инициировались от детонирующего шнура ДШЭ -12 и ДШВ-30 с навеской ВВ 12 и 30 г/м соответственно. Детонирующий шнур монтировался вдоль оси шашки по внешней образующей в одну, две или три нитки. Сборка устанавливалась на стальную пластину толщиной 8 мм. Результат опыта определяли по пробитию стальной пластины. Результаты сведены в табл. 2.

Таблица 1. Влияние расположения электродетонатора при инициировании шашек состава А-IX-2

Расстояние от торца шашки ВВ или дна гнезда	Заполнение зазора	Результат
Зазор 0 мм (торец шашки)	воздух	Углубление на пластине
Зазор 0 мм (дно)	воздух	Пробитие пластин
Зазор 8 мм (дно)	воздух	Несплошное пробитие пластин
Зазор 16 мм (дно)	воздух	Несплошное пробитие 1 пластины, непробитие 2 пластин
Зазор 0 мм (дно)	вода	Углубление без пробития пластин
Зазор 8 мм (дно)	вода	Углубление без пробития пластин
Зазор 16 мм (дно)	вода	Углубление без пробития пластин

Таблица 2. Влияние типа и расположения детонирующего шнура при инициировании шашек состава А-IX-2

Схема монтажа ДШ	ВВ	Результат
1 нить ДШЭ-12	А-IX-2	Пробития пластины нет
2 нити ДШЭ-12	А-IX-2	Пробития пластины нет
3 нити ДШЭ-12	А-IX-2	Пробития пластины нет
1 нить ДШВ -30	А-IX-2	Пробития пластины нет
2нити ДШВ-30	А-IX-2	Пробитие пластины частичное
3 нити ДШВ-30	А-IX-2	Сквозное пробитие пластины

На основании проведенных исследований установлено:

- инициирование шашки А-IX-2 производится только при плотном прилегании торца электродетонатора в гнезде шашки при заполнении зазора воздухом;

- при заполнении водой зазора в гнезде между шашкой А-IX-2 и электродетонатором инициирование шашки не происходит;

- от 3-х ниток детонирующего шнура с навеской 12 г/пм инициирование шашки А-IX-2 не производится, от 3-х ниток детонирующего шнура с навеской 30 г/пм инициируемая шашка А-IX-2 детонирует.

1.1 Оценка восприимчивости баллиститных шашек к импульсу практических видов взрывного импульса для условий проходческого забоя

Определение восприимчивости баллиститных шашек к импульсу ПД производилось путем определения с одной стороны величины инициирующего заряда, надежно инициирующего баллиститную шашку, с другой стороны установления безотказности взрывания от патронов штатных промышленных ВВ (аммонит 6ЖВ, аммонал и др.) в приближенных к практике ведения взрывных работ условиях. Результаты исследований по

определению величины инициирующего заряда, надежно инициирующего баллиститные шашки, представлены в разделе 3.1.

Штатные средства были представлены патронами аммонита № 6 ЖВ и аммонала, а также патронами БПА-Б ТУ 7508405-170-99. На восприимчивость к инициирующему импульсу штатных средств испытывались баллиститные шашки РНДСИ, КДСИ, ФГ, ФСГ с использованим патронов аммонала весом 200 г и патронов БПА-Б ТУ 7508405-170-99 весом 400 г, которые крепились встык к торцевой и в накладку к боковой поверхности баллиститных шашек РНДСИ. Баллиститные шашки КДСИ, ФГ, ФСГ диаметром 37-38 мм инициировались патроном аммонита 6 ЖВ массой 300 г закрепленного встык к торцевой поверхности. Зафиксированы следующие результаты: баллиститные шашки РНДСИ безотказно срабатывают от патронов БПА-Б как при совпадении направления детонации, так и при встречном направлении. При инициировании баллиститных шашек РНДСИ, КДСИ, ФГ, ФСГ от патронов аммонала и аммонита 6 ЖВ во всех случаях получены отказы.

2. Отработка конструкции промежуточного детонатора на основе баллиститных шашек с узлом инициирования для электродетонатора

Конструкция промежуточного детонатора предусматривала использование баллиститных шашек РНДСИ -5К, НМФ-2Д, ФСГ-2, ФГ-14, ФГ-24, ФСГ-14, Н-13, НА-13, $НМ_2$-13, $НМ_2$А-13. Геометрические характеристики баллиститных шашек приведены в табл. 3.

Таблица 3. Габаритно-массовые характеристики баллиститных шашек

№ п/п	Тип баллиститной шашки	Параметры баллиститных шашек			
		Диаметр, мм	Масса, кг	Длина, мм	Диаметр канала, мм
1.	Н-13	40	1,0	550	8
2.	НА-13	40	1,0	550	8
3.	$НМ_2$-13	40	1,0	550	8
4.	$НМ_2$А-13	40	1,0	550	8
5.	ФГ-14	43,3	1,1	515	15
6.	ФСГ-2	43,3	1,1	515	15
7.	ФСГ-14	43,3	1,1	515	10
8.	РНДСИ-5К	54	1,7	490	14
9.	НМФ-2Д	145	5,2	200	32

В узле промежуточного детонатора использовались шашки бризантного ВВ (А-IX-2, из продукта ОСТ 84-636-81 и ОСТ В 36610-91). Масса шашек составляла 3 г, 4 г, 8, 6 г, 13 г, 16 г,26 г, 37 г. Инициирование производилось от электродетонатора. Регистрация факта достижения детонационного процесса осуществлялась визуальными методами: по пробитию стальной пластины толщиной от 8 до 12 мм и величине образовавшейся воронки в грунте. Баллиститная шашка располагалась вертикально торцом на металлической пластине. Дополнительно фиксировалось наличие или отсутствие не прореагировавших остатков ВВ. Каждое испытание повторялось 3-5 раз.

При отработке конструкции промежуточного детонатора определялись детонационные параметры в зависимости от конструктивных параметров баллиститных шашек и узла промежуточного детонатора (табл. 4).

Таблица 4. Инициирование баллиститных шашек промежуточными детонаторами разной конструкции

№№	Тип баллиститной шашки	Масса, тип ВВ шашки в узле промежуточного детонатора	Результат
1	Н-13, НА-13, НМ-13 Ø 40 мм	продукт ОСТ 84-636-81 массой 3 г продукт ОСТ 84-636-81 массой 4 г	отказ отказ
2	НА-13 Ø 40 мм	продукт ОСТ 84-636-81 массой 16 г	отказ
3	Н-13, НА-13, НМ-13 Ø 40 мм	продукт ОСТ 84-636-81 массой 16 г	срабатывание
4	ФГ-14, ФСГ-14 Ø 43,3 мм	продукт ОСТ 84-636-81 массой 3 г	отказ
5	ФГ-14, ФСГ-14 Ø 43,3 мм	продукт ОСТ 84-636-81 массой 6 г (2 шт. по 3 г)	срабатывание
6	ФГ-14, ФСГ-14 Ø 43,3 мм	продукт ОСТ 84-636-81 массой 9 г (3 шт. по 3 г)	срабатывание
7	ФСГ-2, ФГ-14 Ø 45 мм	состав А-IX-2 массой 8,6 г	срабатывание
8	РНДСИ -5К Ø 54 мм	ЭД в канале баллиститной шашки	отказ
9	РНДСИ -5К Ø 54 мм	2 шт ЭД в канале баллиститной шашки	срабатывание
10	РНДСИ -5К Ø 54 мм	ЭД установлен в торец баллиститной шашки	срабатывание
11	РНДСИ -5К Ø 54 мм	продукт ОСТ В-36610-91 массой 6 г	срабатывание
12	РНДСИ -5К Ø 54 мм	состав А-IX-2 массой 13 г	срабатывание
13	РНДСИ -5К Ø 54 мм	состав А-IX-2 массой 26 г	срабатывание
14	НМФ-2Д	состав А-IX-2 массой 37 г	срабатывание

Результаты проведенных исследований показали:

- инициирование баллиститной шашки РНДСИ-5К может производится непосредственно от электродетонатора. Для безотказного инициирования от элетродетонатора при различных условиях эксплуатации (обводненность, агрессивность сред, высокая рабочая температура) необходим промежуточный узел из более чувствительного ВВ, например, продукта ОСТ 84-636-81 (масса 6 г);

- инициирование баллиститных шашек ФГ-14, ФСГ-14, ФСГ-2 производится от промежуточного узла на основе продукта ОСТ 84-636-81 (масса 6 г) или состава А-IX-2 (масса 8,6 г);

- инициирование баллиститных шашек Н-13, НА-13, НМ-13 производится от промежуточного узла на основе продукта ОСТ 84-636-81 (масса 16 г);

- инициирование баллиститных шашек НМФ-2Д производится от промежуточного узла на основе состава А-IX-2 (масса 37 г).

3. Отработка элементов конструкции промежуточного детонатора на основе баллиститных шашек с узлом инициирования для детонирующего шнура

Определение восприимчивости баллиститного шашек к детонирующему шнуру с расположением последнего внутри заряда производилось с использованием ДШЭ-12 и взрывного кабеля ДКР, имеющих навески ВВ соответственно 12 и 260 г/п.м. С использованием ДШЭ-12 испытывались баллиститные шашки РНДСИ, при этом 3 и 4 нити ДШ длиной 490 мм размещались в осевом канале. В трех проведенных испытаниях зафиксирован отказ. С использованием взрывного кабеля ДКР проводились исследования чувствительности к инициирующему импульсу баллиститной шашки НМФ. В пяти проведенных испытаниях (от одной нити - 2 испытания, от двух нитей – 3 испытания, длина нити взрывного кабеля ДКР во всех испытаниях составляла 200 мм) срабатывания баллиститных шашек НМФ не зафиксировано.

С использованием баллиститных шашек РНДСИ проведены испытания при расположении детонирующего шнура снаружи зарядов. Монтаж производился намоткой детонирующего шнура виток к витку по образующей заряда, длина витка составляла 190 мм. Инициирование производилось от 5, 6, 9 и 10 витков ДШ. При 5-9 витках ДШ наблюдались отказы, полное срабатывание зафиксировано от 10 витков (девять испытаний). Результаты испытаний представлены в табл. 5.

Детонирующий шнур представляет собой цилиндрический заряд в оболочке, у которого $l >> d$. Минимальный инициирующий импульс (масса промежуточного детонатора (ПД) из

продукта ОСТ В3-6610-91) при инициировании баллиститной шашки РНДСИ составляет 6 г, или с учетом размеров ПД линейная масса - 2 г/см. При размещении 4 нитей ДШ в осевом канале баллиститной шашки РНДСИ линейная масса составляет 0,48 г/см, что явно недостаточно для безотказного инициирования. Баллиститные шашки НМФ инициировались ПД массой 37 г состава А-1Х-2 или с учетом размеров ПД линейная масса – 7,3 г/см. При размещении 2 нитей ДКР в осевом канале баллиститной шашки НМФ линейная масса составляет 5,2 г/см, что также не достаточно для безотказного инициирования. В этих рассуждениях не рассматривается роль оболочки ДШ, которая в свою очередь уменьшает инициирующую способность ДШ.

Таблица 5. Восприимчивость баллиститных шашек к инициирующему импульсу

№№ п/п	Инициатор	Масса инициатора, г	Результат испытаний	Примечание
Баллиститная шашка РНДСИ				
1	Продукт ОСТ В3-6610-91	6	+	Пробитие пластины 8 мм
2	А-1Х-2	13	+	Пробитие пластины 10 мм
3	А-1Х-1	26	+	Пробитие пластины 10 мм
Баллиститная шашка ФГ, ФСГ				
4	Продукт ОСТ В84-636-81	3 3х2	– +	Пробития пластины нет Пробитие пластины 10 мм
Баллиститная шашка НМФ				
5	А-1Х-2	37 в отверстии	+	Воронка, h=40-45см, d=1,6-1,8 м
6	А-1Х-2	37 на торце	+	Воронка, h=30-35см, d=1,5м
7	А-1Х-2	37х2 на торце	+	Воронка, h=40-50см, d=1,5-1,7м

Представляет интерес сочетание расположения ДШ внутри и снаружи зарядов. Испытания проводились с баллиститными шашками КДСИ, ФГ, ФСГ. В осевом канале зарядов размещались две нити ДШЭ-12 длиной 550 мм, а по образующей заряда производилась намотка 2-5 витков ДШЭ-12 длиной 160 мм каждого. Результаты экспериментов приведены в табл.6.

Намотка ДШ по цилиндрической образующей поверхности баллиститной шашки рассматривалась, с одной стороны, как радиальная кумуляция ударной волны (УВ), с другой стороны – как линейная кумуляция УВ между витками ДШ. Мы говорим о кумуляции ударных волн, т.к. оболочка ДШ препятствует кумуляции продуктов детонации. Радиальная кумуляция УВ возможна при одновременном инициировании с наружной стороны линейного заряда, имеющего форму кольца.

Таблица 6. Восприимчивость баллиститных шашек к инициирущему импульсу детонирующего шнура при различном его расположении

№№ п/п	Инициатор	Результаты испытаний				Примечание
		2 витка ДШ	3 витка ДШ	4 витка ДШ	5 витков ДШ	
Баллиститная шашка ФГ, ФСГ						
1	Шнур ДШЭ-12	– /+	+	+	+	2 нити ДШ в канале
Баллиститная шашка КДСИ						
2	Шнур ДШЭ-12	–	–	–	+	2 нити ДШ в канале

Одновременность инициирования может быть обеспечена, в частности, с помощью плотной кольцевой намотки ДШ, когда детонация передается от витка к витку и на 2-3 витке кольцевой заряд инициируется одновременно с наружной стороны. Кумулятивный эффект от радиальной кумуляции сосредоточивается в центральной зоне кольцевого заряда. Параметры в этой зоне значительно превосходят исходные параметры УВ. Другим важным моментом является линейная кумуляция УВ между витками ДШ. Для ее осуществления необходимо такое расположение линейных зарядов (витки ДШ можно рассматривать как линейные заряды), когда инициирование взрыва в одном из них приведет к детонации другого и образованию областей повышенной плотности энергии между ними. В проведенных экспериментах инициирование баллиститных шашек РНДСИ производилось от 10 витков ДШЭ-12. При использовании другой марки ДШ этот параметр может отличаться.

Рассмотренный кумулятивный эффект должен обеспечивать инициирование более чувствительных ВВ с меньшим количеством витков ДШ, что нашло подтверждение при размещении ДШ внутри канала баллиститной шашки (в канале размещались 2 нити ДШ). В этих условиях баллиститные шашки ФГ, ФСГ надежно детонировали от 3 витков ДШ, а баллиститные шашки КДСИ – от 5 витков. Аналогичные результаты получены с баллиститными шашками КДСИ, в канал которых засыпался и подпрессовывался тротил на полную высоту заряда.

Проведенные полигонные и промышленные испытания по отработке конструкции промежуточного детонатора показали, что рациональная конструкция промежуточного детонатора зависит от применяемых методов ведения проходческих работ, чувствительности к инициирующему импульсу используемых баллиститных шашек и чувствительности к практическим видам инициирующего импульса ВВ, используемых в промежуточном узле детонатора.

Выводы

Исследование восприимчивости баллиститных шашек НМ, Н, НДСИ, ФСГ, ФГ, НМФ, РСИ, РНДСИ, РСТ к инициирующему импульсу по величине минимального заряда и количеству нитей детонирующего шнура показывает разумное соответствие экспериментальных данных с данными по чувствительности баллиститных порохов, основанными на содержании в их составе минеральных добавок (3 глава).

На основе обработки экспериментальных данных разработаны предложена конструкция промежуточного детонатора, объединяющего качества усиленных промежуточных детонаторов на основе баллиститной шашки и детонаторов, содержащих усилитель детонационного импульса маломощного детонирующего шнура. Новая конструкция промежуточного детонатора позволяет получить в одной конструкции усиленный промежуточный детонатор, исключающий выгорание низкочувствительных ВВ.

Приложение К

Коэффициент нагрузки на природную среду веществ, входящих в состав продуктов взрыва НМФ и ПЭКА

Вещество	Коэффициент нагрузки $К_н$		
	на атмосферу	на воду	на почву
CO_2	0,875	1	1
HCl	13,7	3,333	1
CO	2,973	-	-
H_2	0,93	-	-
N_2	0,99	-	-
CH_4	0,861	-	-
H_2O	0,014	1	1
H_2SO	15	2	18,75
OH	1	1	1
$ZnCl_2$	1,35	24900	-
NH_3	8,5	-	-
HS	16,875	1	288,462
HCN	13,5	4980	1
C_2H_4	16,7	-	-
HCOOH	1	0,146	1
H_2CO	1	1	1
Zn	2,7	4980	130,435
CH_3OH	1	-	-
SO_2	4,1	2	1
H	0,93	-	-
Cl	91,34	1	1
S	1,929	0,249	18,75
C_2H_5OH	1	-	-
KOH	0,068	0,148	1
NaOH	0,27	1,233	1
Al_2O_3	0,9	0,249	1
C	2,7	0,249	1
SiO_2	2,7	4,98	1
MgO	2,7	6,225	1
KCl	1,35	0,83	5,357
TiO_2	0,9	0,249	1
NaCl	0,003	12,45	1
Fe	3,375	4980	1
Ni	135	24900	750
Co	135	2490	600

Приложение Л

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР

Утверждаю

Заместитель директора
по научной работе
УРАН ИПКОН РАН
проф., д.т.н.
С.Д. Викторов

Методические положения

по оценке экономической эффективности применения конверсионных ВВ с учетом особенностей производства взрывных работ в технологических процессах открытых, подземных горных работ и подземного выщелачивания руд

Разработчик:

**Старший научный сотрудник
отдела №5,
к.т.н.** **А.Е. Франтов**

Москва 2012

Общие положения

Работа по данному направлению проводилась в рамках основных направлений фундаментальных исследований Президиума РАН и Отделения наук о Земле: «Проблемы комплексного освоения недр Земли и новые технологии извлечения полезных ископаемых из минерального и техногенного сырья» тема «Геомеханические, гидродинамические и газодинамические процессы в техногенно изменяемых массивах горных пород» раздел «Развитие теории, методов исследования, прогноза опасных геомеханических процессов и физики разрушения массивов горных пород при освоении недр Земли» (№ гос. регистрации 01.02.007 04493).

В рыночных отношениях возрастает роль экономической оценки выбора технологий разрушения горных пород с использованием новых видов взрывчатых веществ и изделий из них. К таким взрывчатым материалам относятся конверсионные ВВ, получаемые при утилизации из компонентов разрывных и метательных зарядов боеприпасов. В литературных источниках [4] представлены подходы к определению технико-экономической эффективности конверсионных ВВ через безразмерный коэффициент эффективности, определяемый соотношением $K_{эф} = \frac{c_П^{КВВ}}{c_П^{ВВ}}$, где $c_П^{КВВ}$ и $c_П^{ВВ}$ - полная стоимость использования для выполнения определенного объема работы соответственно конверсионных ВВ и какого-либо распространенного ВВ. Предлагаемая методика содержит ряд дискуссионных моментов. Во-первых, в ней наиболее полно рассматриваются вопросы, связанные с утилизацией боеприпасов (определение остаточной стоимости БП, стоимости утилизации конверсионных ВВ, определения затрат на транспортирование конверсионных ВВ к потребителю и затрат на складирование и охрану складов, экологическая оценка применения и др.), даже включены дискуссионные вопросы учета стоимости уничтожения конверсируемых, но не используемых боеприпасов. Во-вторых, оценка экономической эффективности при выполнении основных операций взрывных работ с использованием конверсионных ВВ в физико-технической и физико-химической геотехнологии носит общий характер.

Для восполнения существующего пробела нами предлагается методика сравнительной экономической оценки использования конверсионных ВВ в производственных процессах взрывных работ в физико-технической и физико-химической геотехнологии на основе критериев, принятых при экономических расчетах в геологоразведочных [5] и геотехнологических процессах, включающих оценку коммерческой, технической и других составляющих. При внедрении конверсионных ВВ на горных предприятиях капитальные

затраты отсутствуют. Расчет производится по эксплуатационным расходам технологических процессов, на которые оказывает влияние внедряемое мероприятие, или по снижению экономического ущерба при внедрении мероприятия. Для определения затрат используются зависимости, полученные на основе обобщения экспериментальных данных.

Предлагаемая методика [2] содержит ряд инновационных подходов в определении технико-экономических результатов применения конверсионных ВВ в процессах и операциях взрывных работ в физико-технической и физико-химической геотехнологии - отбойке руды и дроблении негабарита, взрывании кумулятивными зарядами линейной и кольцевой формы, контурном взрывании, взрывании зарядов ВКЗ, проходке горных выработок, ликвидации зависаний руды, отбойке руды в зоне открыто-подземного яруса, повторном разрушении руды при подземном выщелачивании и др.

Определение эксплуатационных затрат по процессам

При отбойке руды с использованием крупномасштабного взрывания в открытой физико-технической геотехнологии экономический эффект образуется за счет увеличения объема взрывания и повышения выхода горной массы с 1 м скважины, снижения удельного расхода ВВ, получения заданной ширины развала, отсутствия завышений подошвы, снижения выхода негабарита, увеличения сменной производительности при экскавации и транспортировании при изменении среднего размера куска. Суммарные эксплуатационные расходы на взрывание, экскавацию и транспортирование определяются из следующих соотношений:

$$C_{\Sigma} = \left(C_{ВВ}^{П} - C_{ВВ}^{К}\right) + \left(C_{экс}^{П} - C_{экс}^{К}\right) + \left(C_{тр}^{П} - C_{тр}^{К}\right), \text{ руб/м}^3 \quad (1),$$

где C_{Σ} - суммарные эксплуатационные расходы на взрывание, экскавацию и транспортирование;

$C_{ВВ}^{П}$ и $C_{ВВ}^{К}$, $C_{экс}^{П}$ и $C_{экс}^{К}$, $C_{тр}^{П}$ и $C_{тр}^{К}$ - удельные эксплуатационные расходы соответственно на взрывные работы, экскавацию и транспортирование горной массы при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ.

Удельные эксплуатационные расходы на взрывные работы:

$$C_{ВВ}^{П} = q_{П} Ц_{П} + \frac{C_{нег} П_{П}}{100}, \text{ руб/м}^3 \quad (2),$$

$$C_{ВВ}^{К} = q_{К} Ц_{К} + \frac{C_{нег} П_{К}}{100}, \text{ руб/м}^3 \quad (3),$$

где $q_П$ и $q_К$, $П_П$ и $П_К$, $Ц_П$ и $Ц_К$ - удельный расход, кг/м^3; выход негабарита, %; стоимость взрывчатых материалов, руб/кг, при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ;

$C_{нег}$ - стоимость дробления негабарита, руб/м^3.

Удельные эксплуатационные расходы на экскавацию горной массы:

$$C_{экс}^{П} = (1-\varphi_э)\frac{C_{мсэ}}{P_1}, \text{ руб/м}^3 \quad (4);$$

$$C_{экс}^{К} = (1-\varphi_э)\frac{C_{мсэ}}{P_2}, \text{ руб/м}^3 \quad (5),$$

где $C_{мсэ}$ - стоимость машиносмены экскаватора, руб/см;

$\varphi_э$ - коэффициент, определяющий долю условно-постоянных затрат в себестоимости экскавации;

P_1 и P_2 - производительность экскаватора при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ.

Удельные эксплуатационные расходы на транспортирование горной массы:

$$C_{тр}^{П} = (1-\varphi_т)\gamma L_{тр} C_{тр}^{П}, \text{ руб/м}^3 \quad (6);$$

$$C_{тр}^{К} = (1-\varphi_т)\gamma L_{тр} C_{тр}^{К}, \text{ руб/м}^3 \quad (7),$$

где $\varphi_т$ - коэффициент, определяющий долю условно-постоянных затрат в себестоимости транспортирования горной массы;

γ - плотность руды, т/м^3;

$L_{тр}$ - длина транспортирования горной массы, км;

$C_{тр}^{П}$ и $C_{тр}^{К}$ - стоимость транспортирования горной массы при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ.

При отбойке с применением кольцевых кумулятивных зарядов эффективность работ определяется за счет уменьшения объема бурения (отсутствует перебур взрывных скважин), снижения завышений подошвы уступа, снижения выхода негабарита, увеличения сменной производительности экскаватора за счет снижения времени на откладывание негабарита, разборку подошвы и подготовку забоя. Суммарные удельные эксплуатационные расходы на взрывание и экскавацию определяются из следующих соотношений:

$$C_{\Sigma} = \left(C_{бур}^{П} - C_{бур}^{К}\right) + \left(C_{ВВ}^{П} - C_{ВВ}^{К}\right) + \left(C_{экс}^{П} - C_{экс}^{К}\right), \text{ руб/м}^3 \quad (8),$$

где C_{Σ} - суммарные эксплуатационные расходы на бурение, взрывание и экскавацию, руб/м^3;

$C^{П}_{бур} - C^{К}_{бур}$, $C^{П}_{ВВ}$ и $C^{К}_{ВВ}$, $C^{П}_{экс}$ и $C^{К}_{экс}$, - удельные эксплуатационные расходы соответственно на бурение, руб/м^3; взрывные работы, руб/м^3; и экскавацию горной массы, руб/м^3 ; при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ (кольцевых кумулятивных зарядов).

Эксплуатационные расходы на буровые работы всего блока объемом Q м^3 могут быть определены из следующих соотношений:

$$C^{П}_{бур} - C^{К}_{бур} = \frac{C_{бур}\left(N^{П}_{бур}\,T^{П}_{бур} - N^{К}_{бур}\,T^{К}_{бур}\right)}{T_{см}Q}\text{, руб/м}^3 \quad (9),$$

где $C_{бур}$ - сменная ставка бурильщика, руб;

$T_{см}$ - продолжительность смены, ч;

$T^{П}_{бур}$ и $T^{К}_{бур}$.- продолжительность работ по бурению скважин при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ (кольцевых кумулятивных зарядов), ч;

$N^{П}_{бур}$ и $N^{К}_{бур}$ - число рабочих, занятых на бурении скважин при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ (кольцевых кумулятивных зарядов), чел;

Q - объем руды в блоке, м^3.

Удельные эксплуатационные расходы на взрывные работы могут быть определены из следующих соотношений:

$$C^{П}_{ВВ} = q_{П}Ц_{П} + \frac{C_{нег}П_{П}}{100}\text{, руб/м}^3 \quad (10);$$

$$C^{К}_{ВВ} = q_{К}Ц_{К} + \frac{C_{нег}П_{К}}{100}\text{, руб/м}^3 \quad (11),$$

где $C^{П}_{ВВ}$ и $C^{К}_{ВВ}$ - удельные эксплуатационные расходы на взрывные работы при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ (кольцевых кумулятивных зарядов).;

$q_{П}$ и $q_{К}$, $П_{П}$ и $П_{К}$, $Ц_{П}$ и $Ц_{К}$, удельный расход, кг/м^3; выход негабарита, %; стоимость взрывчатых материалов, руб/кг, при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ (кольцевых кумулятивных зарядов);

$C_{нег}$ - стоимость дробления негабарита, руб/м^3.

Удельные эксплуатационные расходы на экскавацию горной массы могут быть определены из следующих соотношений:

$$C^{П}_{экс} = (1-\varphi_{э})\frac{C_{мсэ}}{P_1}\text{, руб/м}^3 \quad (12);$$

$$C_{экс}^{К} = (1-\varphi_{э})\frac{C_{мсэ}}{P_2}, \text{ руб/м}^3 \quad (13),$$

где $C_{экс}^{П}$ и $C_{экс}^{К}$ - удельные эксплуатационные расходы на экскавацию горной массы при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ (кольцевых кумулятивных зарядов);

$C_{мсэ}$ - стоимость машиносмены экскаватора, руб/см;

$\varphi_{э}$ - коэффициент, определяющий долю условно-постоянных затрат в себестоимости экскавации;

P_1 и P_2 - производительность экскаватора при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ (кольцевых кумулятивных зарядов).

При отбойке с применением зарядов с осевой полостью экономический эффект образуется за счет снижения объема бурения (отсутствует перебур взрывных скважин), снижения выхода негабарита, увеличения сменной производительности экскаватора за счет снижения времени на откладывание негабарита, разборку подошвы и подготовку забоя, увеличения производительности транспортирования при изменении среднего размера куска. Суммарные эксплуатационные расходы на взрывание и экскавацию определяются из следующих соотношений:

$$C_{\Sigma} = \left(C_{бур}^{П} - C_{бур}^{К}\right) + \left(C_{ВВ}^{П} - C_{ВВ}^{К}\right) + \left(C_{экс}^{П} - C_{экс}^{К}\right) + \left(C_{тр}^{П} - C_{тр}^{К}\right), \text{ руб/м}^3 \quad (14),$$

где C_{Σ} - суммарные эксплуатационные расходы на бурение, взрывание, экскавацию и транспортирование горной массы, руб/м^3;

$C_{бур}^{П}$ и $C_{бур}^{К}$, $C_{ВВ}^{П}$ и $C_{ВВ}^{К}$, $C_{экс}^{П}$ и $C_{экс}^{К}$, $C_{тр}^{П}$ и $C_{тр}^{К}$ - удельные эксплуатационные расходы соответственно на бурение, руб/м^3; взрывные работы, руб/м^3; экскавацию горной массы, руб/м^3; транспортирование, руб/м^3 при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ (зарядов с осевой полостью).

Эксплуатационные расходы на буровые работы всего блока объемом Q м^3 могут быть определены из следующих соотношений:

$$C_{бур} = \frac{C_{бур}\left(N_{бур}^{П}\, T_{бур}^{П} - N_{бур}^{К}\, T_{бур}^{К}\right)}{T_{см} Q}, \text{ руб/м}^3 \quad (15),$$

где $C_{бур}$ - часовая ставка бурильщика, руб;

$T_{см}$ - продолжительность смены, ч;

$T_{бур}^{П}$ и $T_{бур}^{К}$ - продолжительность работ по бурению скважин при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ (зарядов с осевой полостью), ч;

$N_{бур}^{П}$ и $N_{бур}^{К}$ - число рабочих, занятых на бурении скважин при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ (зарядов с осевой полостью), чел;

Q - объем руды в блоке, м^3.

Удельные эксплуатационные расходы на взрывные работы могут быть определены из следующих соотношений:

$$C_{ВВ}^{П} = q_{П} Ц_{П} + C^{П}{}_{нег}, \text{ руб/м}^3 \quad (16);$$

$$C_{ВВ}^{К} = q_{К} Ц_{К} + C^{К}{}_{нег}, \text{ руб/м}^3 \quad (17),$$

где $C_{ВВ}^{П}$ и $C_{ВВ}^{К}$ - удельные эксплуатационные расходы на взрывные работы при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ (зарядов с осевой полостью);

$q_{П}$ и $q_{К}$, $Ц_{П}$ и $Ц_{К}$ - удельный расход, кг/м^3; стоимость взрывчатых материалов, руб/кг, при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ (зарядов с осевой полостью) ;

$C^{П}{}_{нег}$, $C^{К}{}_{нег}$ - стоимость дробления негабарита при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ, руб/м^3.

Удельные эксплуатационные расходы на экскавацию горной массы могут быть определены из следующих соотношений:

$$C_{экс}^{П} = (1-\varphi_{э})\frac{C_{мсэ}}{P_1}, \text{ руб/м}^3 \quad (18);$$

$$C_{экс}^{К} = (1-\varphi_{э})\frac{C_{мсэ}}{P_2}, \text{ руб/м}^3 \quad (19),$$

где $C_{экс}^{П}$ и $C_{экс}^{К}$ - удельные эксплуатационные расходы на экскавацию горной массы при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ (зарядов с осевой полостью);

$C_{мсэ}$ - стоимость машино-смены экскаватора, руб/см;

$\varphi_{э}$ - коэффициент, определяющий долю условно-постоянных затрат в себестоимости экскавации;

P_1 и P_2 - производительность экскаватора при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ (зарядов с осевой полостью).

Удельные эксплуатационные расходы на транспортирование горной массы могут быть определены из следующих соотношений:

$$C_{тр}^{П} = (1-\varphi_{т})\gamma L_{тр} C_{тр}^{П}, \text{ руб/м}^3 \quad (20);$$

$$C_{тр}^{К} = (1-\varphi_{т})\gamma L_{тр} C_{тр}^{К}, \text{ руб/м}^3 \quad (21),$$

где $C_{тр}^{П}$ и $C_{тр}^{К}$ - удельные эксплуатационные расходы на транспортирование горной массы при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ (зарядов с осевой полостью);

$\varphi_{т}$ - коэффициент, определяющий долю условно-постоянных затрат в себестоимости транспортирования горной массы;

γ - плотность руды, т/м^3;

$L_{тр}$ - длина транспортирования горной массы, км;

$C_{тр}^{П}$ и $C_{тр}^{К}$ - стоимость транспортирования горной массы при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ (зарядов с осевой полостью).

При контурном взрывании экономический эффект при использовании конверсионных ВВ складывается из снижения трудоемкости монтажа заряда, повышения производительности взрывперсонала. Методически затраты при контурном взрывании могут быть определены из следующих соотношений:

$$C_{КВ} = \frac{C_{взр.}\left(N_{зар}^{П} T_{зар}^{П} - N_{зар}^{К} T_{зар}^{К}\right)}{V_{бл}}, \text{ руб/м}^3 \quad (22),$$

где $C_{КВ}$- суммарные эксплуатационные расходы при контурном взрывании, руб/м^3;

$C_{взр.}$ - часовая ставка взрывника, руб/час;

$N_{зар}^{П}$ и $N_{зар}^{К}$ - продолжительность работ по заряжанию контурных скважин при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ, ч;

$T_{зар}^{П}$ и $T_{зар}^{К}$ - число рабочих, занятых на заряжании контурных скважин при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ, чел. ;

$V_{бл}$ - объем руды в блоке при выполнении контурного взрывания, м^3 .

При вторичном дроблении негабаритов эффективность складывается из разницы в удельном расходе ВВ на вторичное дробление, цен на ВВ при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ. Удельные эксплуатационные расходы на вторичное дробление руды:

$$C_{нег} = C_{нег}^{П} - C_{нег}^{К} \cdot = q_{нег.п}\ Ц_{п} - q_{нег.к}\ Ц_{к}, \text{ руб/м}^3 \quad (23),$$

где $C_{нег}^{П}$ и $C_{нег}^{К}$ - удельные эксплуатационные расходы на дробление негабарита при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ, руб/м^3;

$q_{нег.п}$ и $q_{нег.к}$ $Ц_п$ и $Ц_к$, - удельный расход, кг/м^3; стоимость взрывчатых материалов, руб/кг; при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ;

$C_{нег}$ - стоимость дробления негабарита, руб/м^3.

При подготовке взрыва с отбойкой вертикальными концентрированными зарядами (ВКЗ) в подземной физико-технической геотехнологии эффективность работ складывается за счет снижения затрат на вторичное дробление, снижения ущерба от сокращения простоев доставочного оборудования [3], снижения ущерба от увеличения затрат по эксплуатации оборудования при понижении производительности. Методически удельные эксплуатационные расходы на вторичное дробление могут быть определены из следующих соотношений:

$$C_{\Sigma} = \left(C_{ВВ}^{П} + C_{ВВ}^{К}\right), \text{ руб/м}^3 \quad (24);$$

где $C_{ВВ}^{П}$ и $C_{ВВ}^{К}$ - удельные эксплуатационные расходы на вторичное дробление при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ (зарядов ВКЗ);

От повышения степени дробления горной массы при применении конверсионных взрывчатых материалов зависят затраты, связанные с надежностью работы выпуска и доставки руды, изменение затрат по эксплуатации оборудования вследствие понижения производительности [3]. Прибыль предприятия в связи с увеличением выпуска продукции может быть выражена соотношением:

$$П_{у.в} = E_н к\left(T_{др}^{П} - T_{др}^{К}\right) \Big/ T_{см}, \text{ руб /час} \quad (25),$$

где $П_{у.в}$ - прибыль предприятия за час смены в связи с увеличением выпуска продукции при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ, руб;

$E_н$ - нормативый коэффициент экономической эффективности капитальных вложений;

$к$ - капитальные вложения, отнесенные к единице времени работы доставочной установки, руб/час;

$T_{др}^{П}$ - число рабочих занятых на вторичном дроблении при применении промышленных взрывчатых веществ, чел;

$T_{др}^{К}$ - число рабочих занятых на вторичном дроблении при применении конверсионных взрывчатых веществ;

$T_{см}$ - продолжительность смены, час.

Прибыль предприятия из-за снижения затрат по эксплуатации оборудования вследствие увеличения производительности может быть выражена соотношением:

$$П_р = \left(C_з - C_{об}\right) E_н \Big/ П_с^{К} - П_{.с}^{П}, \text{ руб/т} \quad (26),$$

где $П_р$ - прибыль, отнесенная к одной тонне горной массы, руб/т;

$С_з$ - основная и дополнительная зарплата, руб;

$С_{об}$ - расходы на содержание оборудования, руб;

$Е_н$ - нормативый коэффициент экономической эффективности капитальных вложений;

$П_{.с}^{П}$ - производительность системы разработки при применении промышленных взрывчатых веществ, т;

$П_с^К$ - производительность системы разработки при применении конверсионных взрывчатых веществ, т.

При проходке горных выработок эффективность работ определяется себестоимостью проходки 1м^3 горной выработки и складывается из снижения объема бурения, повышения коэффициента использования шпуров (КИШ), сокращения времени выполнения циклограммы проходки. Методически себестоимость проходки может быть определена из следующих соотношений:

$$C_{\Sigma} = \left(C_{бур}^{П} - C_{бур}^{К}\right) + \left(C_{вр}^{П} - C_{вр}^{К}\right), \text{ руб/м}^3 \quad (27),$$

где C_{Σ} - приведенные суммарные эксплуатационные расходы при проходке горных выработок при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ, руб/м^3;

$C_{бур}^{П}$ и $C_{бур}^{К}$ - приведенные эксплуатационные затраты на бурение при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ, руб/м^3;

$C_{вр}^{П}$ и $C_{вр}^{К}$ - приведенные эксплуатационные затраты на взрывные работы при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ, руб/м^3;

Приведенные эксплуатационные расходы на бурение при проходке 1м выработки определяются снижением количества шпуров и увеличением коэффициента использования шпуров (КИШ) при использовании конверсионных взрывчатых веществ и могут быть определены из следующих соотношений:

$$\left(C_{бур}^{П} - C_{бур}^{К}\right) = \frac{C_б}{S}\left(\frac{N^{П}}{КИШ^{П}} - \frac{N^{К}}{КИШ^{к}}\right), \text{ руб/м}^3 \quad (28),$$

где $\left(C_{бур}^{П} - C_{бур}^{К}\right)$ - приведенные эксплуатационные затраты на бурение при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ;

$С_б$ - себестоимость бурения шпура, руб/м;

S – площадь сечения выработки, м^2;

$КИШ^{П}$ - коэффициент использования шпура при применении промышленных взрывчатых веществ;

$КИШ^{к}$ - коэффициент использования шпура при применении конверсионных взрывчатых веществ;

$N^{П}$ - количество шпуров на забой при применении промышленных взрывчатых веществ, шт.;

$N^{К}$ - количество шпуров на забой при применении конверсионных взрывчатых веществ, шт.;

Приведенные эксплуатационные расходы на взрывание при проходке 1 м^3 выработки могут быть определены из следующих соотношений:

$$C_{вв}^{П} = \frac{\left(q_{П}^{вв}Ц_{П}^{вв} + q_{П}^{св}Ц_{П}^{св} + З_{П}^{в} + М_{П}^{в} + П_{П}^{в} + А_{П}^{в}\right)}{КИШ^{П}}, \text{ руб/м}^3 \quad (29);$$

$$C_{вв}^{К} = \frac{\left(q_{К}^{вв}Ц_{К}^{вв} + q_{К}^{св}Ц_{К}^{св} + З_{К}^{в} + М_{К}^{в} + П_{К}^{в} + А_{К}^{в}\right)}{КИШ^{К}}, \text{ руб/м}^3 \quad (30),$$

где $C_{вв}^{П}$ и $C_{вв}^{К}$ - приведенные эксплуатационные расходы на взрывание при проходке 1 м^3 выработки при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ;

$q_{П}^{вв}$ и $q_{К}^{вв}$; $Ц_{П}^{вв}$ и $Ц_{К}^{вв}$; $q_{П}^{св}$ и $q_{К}^{св}$; $Ц_{П}^{св}$ и $Ц_{К}^{св}$; $З_{П}^{в}$ и $З_{К}^{в}$; $М_{П}^{в}$ и $М_{К}^{в}$; $П_{П}^{в}$ и $П_{К}^{в}$; $А_{П}^{в}$ и $А_{К}^{в}$ - удельный расход ВВ, кг/м^3; цена ВВ, руб/кг; удельный расход СВ, шт/м^3; цена СВ, руб/шт; заработная плата проходчиков, руб/м^3; материалы (без ВВ и СВ), руб/м^3; прочие расходы, руб/м^3; амортизация, руб/м^3 соответственно при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ при проходке 1 м^3 выработки;

$КИШ^{П}$ и $КИШ^{К}$ - коэффициент использования шпуров соответственно при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ.

В комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии при отработке подкарьерных запасов подземным выщелачиванием рассматривается возможность сохранения массива пород в устойчивом состоянии без оставления целиков, применения закладки пустот твердеющими или сыпучими смесями или другими способами. При отработке запасов в зоне открыто-подземного яруса удельная стоимость подготовки к взрыву определяется расходом промышленных и конверсионных ВВ при отработке всего объема блока. Суммарные эксплуатационные расходы на взрывание определяются из следующих соотношений:

$$C_{\Sigma} = \left(C_{ВВ}^{П} - C_{ВВ}^{К}\right) = q_{П}Ц_{П} - q_{К}Ц_{К}, \text{ руб/м}^3 \quad (31),$$

где C_{Σ} - суммарные эксплуатационные расходы на взрывание, руб/м^3;

$C_{ВВ}^{П}$ и $C_{ВВ}^{К}$ - удельные эксплуатационные расходы соответственно на взрывные работы при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ.

Удельные эксплуатационные расходы на взрывные работы:

$C_{ВВ}^{П} = q_{П} Ц_{П}$, руб/м^3,

$C_{ВВ}^{К} = q_{К} Ц_{К}$, руб/м^3

где $C_{ВВ}^{П}$ и $C_{ВВ}^{К}$ - удельные эксплуатационные расходы на взрывные работы при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ;

$q_{П}$ и $q_{К}$; $Ц_{П}$ и $Ц_{К}$ - удельный расход, кг/м^3 и стоимость взрывчатых материалов, руб/кг; при применении промышленных и конверсионных взрывчатых веществ.

В физико-химической геотехнологии с элементами подземных работ для интенсификации процесса подземного выщелачивания применяют повторное разрушение ранее взорванных пород. Это способствует ликвидации канализированных протоков повышенного гидродинамического сечения во взорванной рудной массе крепких пород, нарушению равновесия действующих в массиве сил сцепления за счет встряхивания замагазинированной руды. Экономический эффект определяется разницей в стоимости дополнительно полученного металла на тонну выщелачиваемой руды [1] и стоимостью работ по повторному разрушению руды:

$$\Delta Э = \frac{\gamma a_c}{100}(\xi_1 - \xi_0) Ц \eta_1 - P_{бвр}$$

или

$$\Delta Э = \frac{\gamma a_c}{100}(\xi_1 - \xi_0) Ц \eta_1 - \left(C_б \frac{V_{бур}}{В} + \frac{Q_К^{вв} Ц_К^{вв} + Q_К^{св} Ц_К^{св} + З_К^{в} + М_К^{в} + П_К^{в} + А_К^{в}}{В} \right), \text{руб/т} \quad (32),$$

где $\Delta Э$ - экономический эффект на 1 т руды, отрабатываемой подземным выщелачиванием, руб/т;

γ - выход металла, %;

a_c - содержание металла в руде, кг/т;

$\xi_1 и \xi_0$ - доля выщелоченного металла после повторного разрушения и после первичной отбойки руды соответственно;

$Ц$ - стоимость металла, руб/т;

η_1 - коэффициент стоимости взрывных работ в общей стоимости добычи металла

(η_1=0,25);

$P_{бвр}$ - затраты на повторное разрушенеие1 т руды, руб/т.

Затраты на повторное разрушение 1 т руды складываются из приведенных эксплуатационных затрат на бурение и приведенных эксплуатационных затрат на взрывные работы при повторном разрушении ранее взорванных пород. Приведенные эксплуатационные расходы на бурение могут быть определены из следующих соотношений:

$$P_{бвр} = C_{бур} + C^{К}_{вв} = C_{б}\frac{V_{бур}}{В} + \frac{Q^{в}_{К}Ц^{в}_{К} + Q^{св}_{К}Ц^{св}_{К} + З^{в}_{К} + М^{в}_{К} + П^{в}_{К} + А^{в}_{К}}{В}, \text{ руб/т} \qquad (33),$$

$$C_{бур} = C_{б}\,N = C_{б}\frac{V_{бур}}{В}, \text{ руб/т,}$$

где $C_{бур}$ - приведенные эксплуатационные затраты на повторное разрушение 1 т руды;

$C_{б}$ - себестоимость бурения 1 м шпура или скважины, руб;

N - расход бурения на повторное разрушение 1 т руды, м/т;

$$N = \frac{V_{бур}}{В},$$

где $V_{бур}$ - объем всех буровых работ на повторное разрушение в блоке, м;

В - запасы руды в блоке, т;

Приведенные эксплуатационные затраты на повторное взрывание 1 т руды могут быть определены из следующих соотношений:

$$C^{К}_{вв} = \frac{Q^{в}_{К}Ц^{в}_{К} + Q^{св}_{К}Ц^{св}_{К} + З^{в}_{К} + М^{в}_{К} + П^{в}_{К} + А^{в}_{К}}{В}, \text{ руб/т} \qquad (34)$$

где $C^{К}_{вв}$ - приведенные эксплуатационные расходы на повторное разрушение 1 т руды;

В - запасы руды в блоке, т;

$Q^{в}_{К}$; $Ц^{в}_{К}$; $Q^{св}_{К}$; $Ц^{св}_{П}$ $Ц^{св}_{К}$; $З^{в}_{К}$; $М^{в}_{К}$; $П^{в}_{К}$; $А^{в}_{К}$ - расход ВВ, кг; цена ВВ, руб/кг; расход СВ, шт; цена СВ, руб/шт; заработная плата проходчиков, руб; материалы (без ВВ и СВ), руб;прочие расходы, руб; амортизация, руб на повторное разрушение руды в отрабатываемом блоке.

Сокращение потерь металла за счет утечек может быть осуществлено при создании на пути движения растворов щелевидных экранирующих полостей, имеющих вертикальную и горизонтальную часть и располагаемую по простиранию перпендикулярно к генеральному направлению движения продуктивных растворов. Экономическая эффективность определяется за счет сокращения потерь металла с учетом стоимости буровзрывных работ из следующих соотношений.

$$\Delta Э = \frac{\gamma\, a_{с}}{100}(\chi_{1} - \chi_{0})Ц - C_{бвр} = \frac{\gamma\, a_{с}}{100}(\chi_{1} - \chi_{0})Ц - \frac{C_{взр}к^{К}_{КВ}N^{К}_{зар}T^{К}_{зар}}{T_{см}Q}, \text{ руб/т} \qquad (35),$$

где $\Delta Э$ - экономический эффект;

γ - выход металла, %;

a_c - содержание металла в руде, кг/т;

$\chi_1 и\ \chi_0$ - доля потерь выщелоченного металла при наличии экранирующих полостей и без экранирующих полостей соответственно;

$Ц$ - стоимость металла, руб/т;

$C_{бвр}$ - удельные эксплуатационные расходы на взрывные расходы при создании экранирующих полостей в пересчете на 1 т руды в блоке, руб/т.

Удельные эксплуатационные расходы на взрывные работы при создании экранирующих полостей могут быть определены из следующих соотношений:

$$C_{бвр.} = C_б \frac{V_{бур}}{Q} + \frac{C_{взр.} \kappa_{КВ}^{К} N_{зар}^{К} T_{зар}^{К}}{T_{см} Q}, \text{ руб/т} \quad (36),$$

где $C_б$ - себестоимость бурения 1 м шпура или скважины, руб;

$V_{бур}$ - объем всех буровых при создании экранирующих полостей, м;

Q - запасы руды в блоке, т;

$C_{взр.}$ - часовая ставка взрывника, руб;

$N_{зар}^{К}$ - продолжительность работ по заряжанию скважин при создании экранирующих полостей, ч;

$T_{зар}^{К}$ - число рабочих, занятых на заряжании скважин при создании экранирующих полостей, чел.

В - запасы руды в блоке, т;

Список литературы

1. Мосинец В.Н., Абрамов А.В. Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород. - М.: Недра, 1982. - 248 с.
2. Франтов А.Е. К вопросу оценки экономической эффективности применения конверсионных ВВ в процессах взрывных работ // ГИБЛ. - 2012.- №6. - С.172.
3. Чирков Ю.И., Черненко А.Р. Подземная разработка мощных железорудных месторождений. – М.: Недра, 1985. – 239 с.
4. Щукин Ю.Г., Кутузов Б.Н., Мацеевич Б.В., Татищев Ю.А. Промышленные взрывчатые вещества на основе утилизируемых боеприпасов. – М.: Недра, 1998. – 319 с.
5. Экономика геологоразведочных работ: Учебное пособие / Е.Л. Гольдман, З.М. Назарова, А.А. Маутина и др. – М.: Изд. дом «Руда и металлы», 2000. – 400 с.