



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

Е. В. Кирюшина, В. Н. Вокин, М. Ю. Кадеров ТЕХНОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



**ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА,
ГЕОЛОГИИ И ГЕОТЕХНОЛОГИЙ**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Сибирский федеральный университет

Е. В. Кирюшина, В. Н. Вокин, М. Ю. Кадеров

ТЕХНОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Учебное пособие

Красноярск
СФУ
2018

УДК 622.233(075.8)
ББК 33.133я73
К438

Р е ц е н з е н т ы:

А. Г. Михайлов, доктор технических наук, заведующий лабораторией проблем освоения недр Института химии и химической технологии СО РАН;
Г. Д. Першин, доктор технических наук, профессор Магнитогорского государственного технического университета имени Г. И. Носова

Кирюшина, Е. В.
К438 Технология и безопасность взрывных работ : учеб. пособие /
Е. В. Кирюшина, В. Н. Вокин, М. Ю. Кадеров. – Красноярск : Сиб.
федер. ун-т, 2018. – 236 с.

ISBN 978-5-7638-3822-0

Дана историческая справка о взрывных работах, теории детонации, приведены ассортимент промышленных взрывчатых веществ (ВВ) для использования в различных горнотехнических условиях, современные средства и способы взрывания. Рассмотрены основы теории действия взрыва в среде, особенности химического взрыва, кислородный баланс ВВ, формы процессов их превращения, принципы расчета и расположения зарядов. Изложены методики выбора рациональных параметров отбойки, включающие выбор типов ВВ, составление проекта (паспорта) буровзрывных работ (БВР), монтаж взрывных сетей и производство взрыва. Описаны факторы регулирования степени дробления горных пород взрывом и направления механизации взрывных работ.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности 21.05.04.09 «Горные машины и оборудование».

Электронный вариант издания см.:
<http://catalog.sfu-kras.ru>

УДК 622.233(075.8)
ББК 33.133я73

ISBN 978-5-7638-3822-0

© Сибирский федеральный
университет, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	7
Г л а в а 1. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ВЗРЫВА.....	9
1.1. История изобретения, совершенствования и применения взрывчатых веществ.....	9
1.2. Формы химического превращения взрывчатых веществ.....	11
1.3. Взрывчатые материалы.....	15
1.3.1. Компоненты взрывчатых веществ.....	16
1.3.2. Принципы построения предохранительных взрывчатых веществ.....	21
1.3.3. Технологические свойства взрывчатых веществ.....	24
1.3.4. Кислородный баланс.....	26
1.3.5. Энергия, выделяющаяся при взрыве, и степень ее использования.....	28
1.4. Системы инициирования.....	32
Г л а в а 2. ВЕДЕНИЕ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ ИНИЦИИРОВАНИЯ.....	35
2.1. Иницирующие взрывчатые вещества и средства инициирования.....	35
2.1.1. Иницирующие взрывчатые вещества.....	35
2.1.2. Капсюли-детонаторы и электродетонаторы.....	37
2.2. Электрический способ взрывания зарядов.....	41
2.3. Измерительные и контрольные приборы.....	46
2.4. Источники тока для взрывания электродетонаторов.....	50
2.5. Детонирующий шнур и пиротехнические замедлители.....	55
2.6. Огнепроводный шнур и средства его зажигания.....	56
Г л а в а 3. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ.....	62
3.1. Способы и средства взрывания зарядов взрывчатых веществ.....	62
3.1.1. Технология и безопасность огневого и электроогневого взрывания.....	62
3.1.2. Технология и безопасность электрического взрывания.....	66
3.1.3. Технология и безопасность взрывания детонирующим шнуром.....	69
3.1.4. Технология и безопасность при использовании неэлектрических систем инициирования.....	72
3.2. Классификация зарядов взрывчатых веществ.....	77
3.2.1. Конструкции скважинных зарядов при открытом способе разработки.....	78
3.2.2. Схемы соединения зарядов.....	83
3.2.3. Расчет зарядов и ведение взрывных работ методом камерных зарядов.....	88
3.2.4. Контурное взрывание.....	94
3.2.5. Конструкции зарядов при подземном способе разработки.....	95

3.2.6. Дробление негабаритных кусков и валунов.....	100
3.3. Ликвидация отказавших зарядов.....	102
3.4. Комплексная механизация взрывных работ на карьерах.....	104
Глава 4. МАССОВЫЕ ВЗРЫВЫ	106
4.1. Основные параметры сейсмобезопасности взрывных работ.....	106
4.2. Организация взрывных работ на подготовительном этапе.....	112
4.3. Проектное обеспечение и технологические особенности взрывных работ.....	114
4.3.1. Типовой и техникой проекты массового взрыва.....	115
4.3.2. Специальный проект массового взрыва.....	115
4.4. Обеспечение безопасности работ при производстве массовых взрывов.....	117
4.5. Организация производства массовых взрывов под землей.....	119
4.6. Паспорт буровзрывных работ.....	123
4.7. Режим производства взрывных работ при подземном способе разработки.....	124
4.8. Персонал для взрывных работ.....	128
4.9. Обеспечение безопасного транспортирования взрывчатых материалов.....	130
Глава 5. СКЛАДЫ ВЗРЫВЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ	135
5.1. Виды складов взрывчатых материалов и их вместимость.....	135
5.1.1. Поверхностный базисный склад взрывчатых материалов.....	137
5.1.2. Расходные склады взрывчатых материалов.....	139
5.2. Учет и порядок допуска взрывчатых материалов к применению.....	143
5.3. Упаковка взрывчатых материалов.....	145
5.4. Правила безопасности при получении, хранении и использовании взрывчатых материалов.....	147
5.5. Уничтожение взрывчатых материалов.....	150
Глава 6. ИСПЫТАНИЕ ВЗРЫВЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ	152
6.1. Методы испытания взрывчатых веществ.....	152
6.2. Методы испытания средств инициирования.....	167
Глава 7. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ	172
ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ	177
<i>Практическая работа 1. Расчет кислородного баланса и составление рецептуры промышленных взрывчатых веществ.....</i>	<i>177</i>
<i>Практическая работа 2. Выбор и определение параметров взрывного разрушения негабаритов.....</i>	<i>183</i>
<i>Практическая работа 3. Расчет параметров зарядов при контурном взрывании.....</i>	<i>189</i>
<i>Практическая работа 4. Расчет параметров зарядов при взрывании на выброс.....</i>	<i>194</i>
<i>Практическая работа 5. Порядок организации и проведения буровзрывных работ на карьере.....</i>	<i>201</i>
<i>Практическая работа 6. Определение безопасных расстояний при взрывных работах.....</i>	<i>216</i>
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	226
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	227
ПРИЛОЖЕНИЯ	228

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

АС	аммиачная селитра
БВВ	бризантное, или дробящее, взрывчатое вещество
БВР	буровзрывные работы
ВВ	взрывчатое вещество
ВГСЧ	военизированной горноспасательная часть
ВМ	взрывчатые материалы
ВР	взрывные работы
ВС	взрывчатый состав
ВТБ	вентиляция и техника безопасности
ГП НПО «ПХЗ»	государственное предприятие «Научно-производственное объединение "Павлоградский химический завод"»
ДТ	дизельное топливо
ДШ	детонирующий шнур
ДША	детонирующий шнур асфальтированный
ДШВ	детонирующий шнур для подводного взрывания
ДШЭ	детонирующий шнур экструзионный (полимерный)
ЕПБ	Единые правила безопасности
ЗК	кумулятивный заряд
ЗМ	зарядная машина
ЗП	зажищательный патрон
ИВВ	инициирующее взрывчатое вещество
ИТР	инженерно-технические работники
КВМ	конденсаторная взрывная машинка
КД	капсюль-детонатор
КЗДШ	пиротехнические замедлители детонирующего шнура
КИП	контрольно-измерительный прибор
КИШ	коэффициент использования шнура
КС	калиевая селитра
ЛНС	линия наименьшего сопротивления
ЛСПП	линия наименьшего сопротивления по подошве
ЛЭП	линия электропередач
МВС	метано-воздушная смесь
МКЗВ	многорядное короткозамедленное взрывание
НС	натриевая селитра
НСИ	неэлектрические системы инициирования
НИИ ВЭМ	Научно-исследовательский институт высокоэнергетических материалов

ОВД	отдел внутренних дел
ОВЦ	омметр взрывных цепей
ОД	оптический детонатор
ОШ	огнепроводный шнур
ОША	огнепроводный шнур асфальтированный
ОШДА	огнепроводный шнур с дважды асфальтированной оплеткой
ОШП	огнепроводный шнур пластикатный
ОШЭ	огнепроводный шнур экструзивный
ПБ	правила безопасности
ПВ	продукты взрыва
ПВВ	пластичные взрывчатые вещества
ПВС	пылевентиляционная служба
ПИ	полезные ископаемые
РП	пиротехническое реле
СЗМ	смесительно-зарядная машина
СИ	средства инициирования
СИО	система информации об опасности
ТБ	техника безопасности
УВВ	ударная воздушная волна
УВТ	ударно-волновая трубка
ЭВ	электровоспламенитель
ЭД	электродетонатор
ЭДКЗ	электродетонатор короткозамедленного действия
ЭЗ	электрозажигатели
ЭЗП	электрозажигательный патрон

ВВЕДЕНИЕ

В России удельный вес открытого способа разработки в горной промышленности составляет 70–75 %, это связано с увеличением производительности разрезов в угольной промышленности и карьеров в цветной металлургии [5].

Одним из сложнейших процессов в технологии открытых горных работ являются буровзрывные работы, качество которых определяет эффективность всех последующих технологических процессов: экскавации, транспортирования и переработки горной массы.

Буровзрывные работы – дорогостоящий и ответственный технологический процесс. На карьерах при массовом взрыве используют от 20–30 до 150 т и более взрывчатых веществ [1].

К безопасности, экономичности и экологичности производства буровзрывных работ на карьерах предъявляются высокие требования.

Буровзрывной комплекс оборудования на карьерах представлен большим количеством горных машин, механизмов и устройств: мощные буровые станки для бурения скважин диаметром 160, 216, 245, 270 и 320 мм; зарядные, смесительно-зарядные, доставочно-зарядные и забоечные машины и прочее оборудование. Для выполнения взрывных работ используют десятки видов ВВ, электродетонаторов (ЭД), капсулей-детонаторов (КД), пашек из ВВ, детонирующих (ДШ) и огнепроводных (ОШ) шнуров, пиротехнических реле, взрывных машинок и минных станций, кабелей, электронных устройств для взрывания по радиосигналу и многое другое. При этом следует отметить, что вид ВВ непосредственно влияет на выбор типа зарядной техники и диаметра бурения [8].

В результате изучения дисциплины будущие инженеры-механики и технологи должны: знать обширный спектр технических средств для производства БВР; уметь осуществлять инженерное руководство технологией и техникой БВР, контроль производства ВР; владеть составлением проекта на массовый взрыв, включая выбор ВВ, расчет скважинных зарядов и определение размеров охраняемой опасной зоны при выполнении взрыва; знать правила безопасной эксплуатации средств механизации при БВР.

В области БВР центральная задача, которую должны уметь решать горные инженеры, это выбор параметров и видов (типоразмеров) средств механизации БВР для проектирования и выполнения массовых взрывов на карьерах с учетом многих факторов. К основным из них относятся горно-

геологические (крепость, трещиноватость, структура и степень обводненности горных массивов) и горно-технологические (высота уступов, тип экскаватора и транспорта горной массы, масштаб взрыва и др.) факторы, характеризующие условия взрывного разрушения горных пород уступа. Изучение данного пособия позволит приобрести студентам навыки самостоятельного решения этой сложной инженерной задачи.

В пособии приведены практические работы, при выполнении которых необходимо определить рациональный диаметр скважинных зарядов, выбрать способ бурения и тип бурового станка, рассчитать производительность и количество буровых станков; вычислить основные параметры взрывных работ, размеры опасных зон по разлету кусков, по действию ударно-воздушной волны (УВВ) для людей и оборудования [14].

Для удобства решения поставленных задач каждая практическая работа содержит необходимые теоретические и методические сведения, справочный материал и примеры расчетов БВР.

Глава 1

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ВЗРЫВА

1.1. История изобретения, совершенствования и применения взрывчатых веществ

История развития взрывных работ непосредственно связана с созданием, производством ВВ и средств их инициирования, созданием средств бурения, классификацией горных пород для оценки их сопротивляемости разрушению при бурении и взрывании, разработкой теории детонации ВВ и разрушения горных пород, развитием промышленности по добыче скальных полезных ископаемых (ПИ) [3, 6].

Первым известным взрывчатым веществом был черный порох – смесь селитры, серы и угля в различных соотношениях, использовавшийся с далекой древности в Китае для фейерверков, во второй половине X в. он стал применяться в военных целях. В XI в. его начали использовать арабы в военных целях. Примерно в XIV в. черный порох стали применять в Западной Европе и России для огнестрельного оружия и разрушения военных укреплений.

Первый завод по промышленному изготовлению пороха в России был построен в Москве в 1494 г.

В 1552 г. при Иване Грозном был произведен первый массовый взрыв – взорван заряд из 48 бочек пороха при осаде Казани.

В горном деле порох впервые начал применяться в 1627 г. в Венгрии.

Черный порох господствовал свыше пяти веков, вплоть до XIX в. Взрывные работы с применением пороха проводились следующим образом. Заряд пороха засыпали в шпур и вводили в заряд железный прут так, чтобы его конец выходил из шпура, затем шпур забивали глиной, прут вынимали, а полученное отверстие в забойке заполняли порохом, образуя огнепроводный канал. В устье шпура размещали кусок скомканной бумаги, обеспечивающий задержку от момента ее поджигания до воспламенения пороха. Для воспламенения зарядов применяли камышовые трубки, заполненные порохом.

Бурное развитие промышленности в XIX в. способствовало созданию и производству новых ВВ и средств инициирования (СИ). В 1800 г. в Англии Э. Говардом была открыта гремучая ртуть. В 1812 г. в России П. Л. Шилинг впервые применил электрический воспламенитель для взры-

вания зарядов; в 1831 г. в Англии У. Бикфорд изобрел огнепроводный шнур, который с незначительными изменениями применяется до сих пор; в 1847 г. в Италии А. Собrero изобрел нитроглицерин; в 1853 г. в России Н. Н. Зинин и В. Ф. Петрушевский представили ВВ на основе нитроглицерина, аналогичное по составу динамиту, в 1864 г. состав был запатентован шведом А. Нобелем под названием динамит. Н. Н. Зинин и В. Ф. Петрушевский установили, что некоторые сорта динамитов не взрываются от пламени. Поэтому для усиления воздействия на ВВ они впервые применили в качестве инициатора небольшой заряд черного пороха, от которого взрывались все сорта динамитов. Заряд-детонатор усовершенствовал капитан Д. М. Андриевский. В 1865 г. для полноты взрывания ВВ он применил специальный запал, который представлял собой бумажную гильзу в виде усеченного конуса с закрепленным в ней электровоспламенителем, снаряженную порохом. На торце было сделано углубление, заполненное железными опилками. Это был не только первый в мировой практике электродетонатор, но и первый, хотя и неосознанный, случай практического использования эффекта кумуляции. В 1863 г. немецким химиком Ю. Вильбрандом получен тротил, взрывчатые свойства которого были определены только в 1891 г., а производство в России началось в 1909 г.

В 1867 г. шведскими химиками И. Ольсеном и И. Норбином были предложены и запатентованы ВВ на основе аммиачной селитры (АС), близкие по составу к современным аммиачно-селитренным ВВ, Нобель выкупил патент и на 20 лет задержал внедрение АС в промышленность. Массовое производство аммонитов в СССР началось в 1929 г.

С 1877 г. стал применяться тетрил, который в настоящее время используется как вторичное иницирующее ВВ.

В 1897 г. был открыт гексоген, а в 1920 г. установлено, что это соединение относится к ВВ. Высокие взрывчатые свойства, химическая стойкость и сравнительно простая технология производства привели к тому, что гексоген стали производить в больших количествах во многих странах мира.

В 1891 г. из нитроэфиров был синтезирован тэн. Это наиболее стойкое и одно из мощных ВВ, для изготовления которого имеется практически неограниченная сырьевая база. В настоящее время тэн применяют главным образом при производстве электродетонаторов, промежуточных детонаторов и детонирующего шнура. В 1900 г. был предложен комбинированный капсюль-детонатор из гремучей ртути и тротила. С 1913 г. в капсюлях-детонаторах стали использовать азид свинца и теренес.

1.2. Формы химического превращения взрывчатых веществ

В зависимости от типа взрывчатого вещества, условий возбуждения (инициирования) процессы химического превращения могут протекать в различных формах с разными скоростями, отличающимися на порядок и более. К основным формам химического превращения относятся термическое разложение и горение (дозвуковые процессы), детонация (сверхзвуковой процесс) [2].

Термическое разложение ВВ является гомогенным процессом, протекающим во всем объеме заряда при данной температуре. Скорость термического распада ВВ измеряется числом молей, реагирующих в единицу времени в единице объема – моль/(с·см³). Таким образом, скорость термораспада соответствует данной температуре и одинакова во всех точках объема ВВ. Основные продукты разложения – оксиды горючих элементов (СО, СО₂, Н₂О и др.), азот, альдегиды, кислоты и т. п. Термическое разложение может завершиться при определенных условиях тепловым взрывом.

Горение ВВ является самораспространяющимся гетерогенным направленным процессом с выраженной зоной химической реакции, разделяющей исходное вещество и продукты горения. Как и в случае термического разложения, продуктами горения являются СО, СО₂, Н₂О, N₂. Горение протекает за счет химических реакций между окислителем и горючими компонентами, содержащимися в составе ВВ, и определяется механизмом передачи энергии из зоны химической реакции в примыкающий к ней слой исходного вещества. Так как основные составляющие процесса тепло- и массопереноса при горении (конвекция, диффузия, теплопроводность) медленные, то и процесс горения протекает медленно – с дозвуковой скоростью. Обычно линейная скорость горения составляет несколько миллиметров в секунду (редко десятки и сотни миллиметров в секунду). Скорость горения существенно зависит от массы ВВ и внешних факторов – давления и температуры. В весьма ограниченном пространстве давление повышается быстро и горение может перейти в детонацию. В связи с этим уничтожение ВВ сжиганием проводят на открытых площадках. ВВ нельзя тушить, засыпая их грунтом, песком, укрывая брезентом и т. д., так как это бесполезно и чрезвычайно опасно.

Известна эмпирическая зависимость линейной скорости горения V от давления:

$$V = a + b \cdot P \cdot v, \quad (1)$$

где a и b – постоянные; P – давление; v – показатель степени, колеблющийся от 0 до 1. При значениях v больше единицы возможен переход горения в детонацию.

Основным видом реакции медленного термического распада ВВ является мономолекулярный распад, на который накладываются вторичные реакции с участием продуктов первичного распада. Ускорение реакции распада особенно активно происходит при повышении температуры ВВ. Если приход тепла при реакции преобладает над процессом его отвода в окружающую среду, то возможно прогрессивное нагревание ВВ и в дальнейшем значительный рост реакции, а в итоге – *тепловой взрыв*. Такая критическая точка называется *температурой вспышки ВВ*. Или, другими словами, та минимальная температура, при которой в течение условно заданного отрезка времени подвод тепла становится больше теплоотвода и химическая реакция вследствие самоускорения принимает характер взрывчатого превращения, называется температурой вспышки.

Стационарное горение представляет собой процесс химического превращения, распространяющийся с малыми скоростями, мм/с, и охватывающий последовательно слои вещества. Распространение горения происходит путем теплопередачи. Если отвод продуктов горения затруднен, то увеличивается поверхность горения; если начальная скорость горения была высокой, то медленное горение может перейти в детонацию либо во взрывное горение. При известных условиях детонация или взрывное горение могут перейти в медленное (стационарное), например, при переуплотнении ВВ в результате повышенного давления. Такие процессы в шахтах называют *выгоранием зарядов в шпурах*.

Детонация – процесс химического превращения ВВ, сопровождающийся выделением теплоты и распространяющийся с постоянной скоростью, превышающей скорость звука в данном веществе. В отличие от горения детонация представляет собой комплекс мощной ударной волны и следующей за ее фронтом зоны химического превращения вещества. Исходная структура взрывчатых веществ является термодинамически метастабильной. Перед достижением более стабильного состояния с меньшей энергией система должна пройти через промежуточное менее стабильное состояние с повышенной энергией (рис. 1), это означает как бы наличие барьера, препятствующего непрерывному превращению, если при этом не обеспечена необходимая активация процесса. Химические превращения ВВ в конечные продукты взрыва (ПВ) могут быть инициированы путем подвода тепла, механической энергии (удар, трение) либо другими видами воздействий.

При взрыве взрывчатые вещества превращаются в химически устойчивые системы, это превращение может протекать с разной скоростью. Под *скоростью взрывчатого превращения* понимают быстроту распространения этой реакции по взрывчатому веществу. Скорость взрывчатого превращения для данного ВВ является постоянной величиной. В зависи-

мости от химической природы ВВ, его физических характеристик, геометрических параметров (для промышленных ВВ – величины размеров частиц, содержания влаги и других характеристик) скорость взрывчатого превращения колеблется в больших пределах (1,0–10,2 км/с).

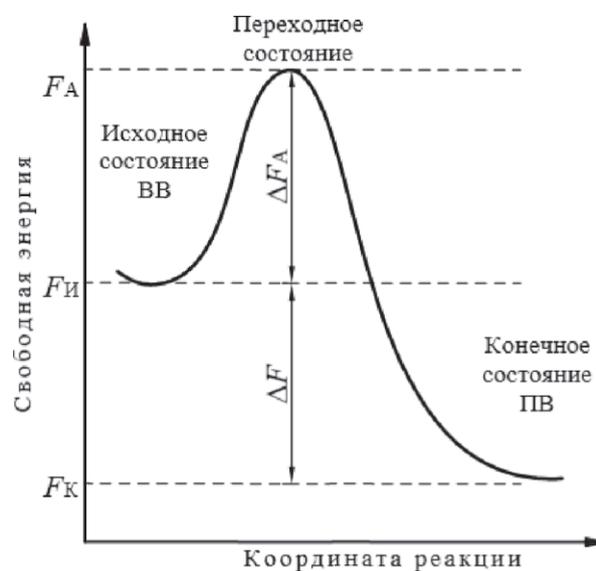


Рис. 1. Изменение свободной энергии системы (ВВ) при переходе ее в стабильное состояние: ΔF_A – свободная энергия активации; ΔF – движущая сила процесса перехода; $F_{И}$ – исходное состояние ВВ; F_A – переходное состояние продуктов взрыва; $F_{к}$ – конечное состояние продуктов взрыва

Служебной формой взрывчатых превращений промышленных ВВ является детонация, представляющая собой самоподдерживающийся процесс перемещения по ВВ со сверхзвуковой скоростью ударного фронта (скачка давления), сопровождающийся химическим превращением вещества. Импульсом для начала развития химической реакции является, как правило, ударная волна, возбуждаемая взрывом капсюля-детонатора или электродетонатора, т. е. промежуточных детонаторов. Таким образом, химическая реакция возникает в результате адиабатического сжатия и разогрева вещества в ударном фронте. Комплекс из ударного фронта и зоны химической реакции называется *детонационной волной* [1, 2].

Тепло, выделяющееся при детонационной форме химического превращения, компенсирует потери энергии, идущие на сжатие и движение вещества, обеспечивая постоянство параметров детонационной волны. Следует подчеркнуть, что скорость детонации не зависит от начального импульса, она является характеристикой и постоянной величиной данного ВВ. Участок заряда от точки инициирования до начала распространения детонации со стационарной скоростью называют *участком нестационарной детонации*.

Теоретические основы детонации были заложены в конце XIX столетия В. А. Михельсоном (Россия), Д. Л. Чепменом (Англия) и Е. Жуге (Франция). Математическая модель, созданная ими, не учитывала кинетику химиче-

ской реакции в детонационной волне, а представляла ударный фронт формально в виде поверхности разрыва, отделяющей исходное ВВ от продуктов взрыва.

Экзотермическая реакция, возбуждаемая механическим ударом, который передается от реагирующего слоя к соседнему слою, распространяется в виде волны давления. Такой процесс возможен лишь при том условии, что химическая реакция заканчивается прежде, чем спадет давление за счет волны разгрузки, идущей от свободной поверхности со скоростью звука. Такой сценарий возможен только при очень высоких давлениях, когда волны давления переходят в ударную волну. Таким образом, детонацию можно представить как сочетание ударной волны с зоной химической реакции. Ударная волна возбуждает реакцию в веществе, а реакция усиливает ударную волну, пока не установится равновесие между передаваемой и рассеиваемой энергией, а также стационарный режим распространения волны детонации. Исследование процессов в такой установившейся волне в одномерном случае является задачей *гидродинамической теории детонации*.

Независимо друг от друга Я. Б. Зельдович, Д. Нейман, В. Дёринг предложили модель детонационной волны, которая учитывает химическую зону превращения (зону «химпика») ВВ в конечные продукты.

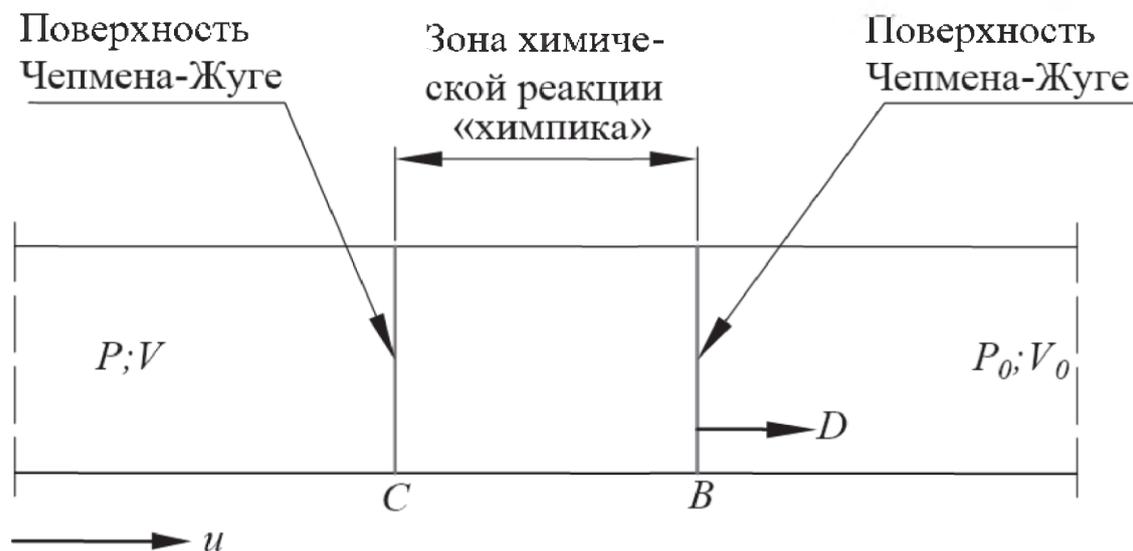


Рис. 2. Схема фронта детонации:

D – скорость распространения детонационной волны; u – скорость ПВ

В соответствии с такой моделью исходное ВВ с начальными параметрами P_0, V_0 (рис. 2) сжимается в ударном фронте (точка B), разлагается и выходит из зоны реакции (точка C) со скоростью, уменьшенной на величину u , равную скорости газообразных продуктов взрыва.

1.3. Взрывчатые материалы

Взрывчатые вещества – это химические соединения или механические смеси, способные под влиянием внешних воздействий (удара, нагрева и др.) к быстрому самораспространяющемуся химическому превращению с выделением большого количества тепла и газов.

Все промышленные ВВ можно разделить на два основных класса: индивидуальные и смесевые [7, 10].

Индивидуальные ВВ представляют собой химические соединения, которые содержат в своем составе все элементы, необходимые для нормального протекания химической реакции взрыва (азид серебра, азид свинца, гексоген, гремучая ртуть, дина, нитроглицерин, нитроксилин, нитроглицоль, октоген, тротил, тенерес, тетрил, тэн и др.).

Взрывчатые смеси представляют собой такие системы, которые состоят по крайней мере из двух компонентов, не связанных химически между собой. Один из компонентов, как правило, является веществом, богатым кислородом, а второй – состоит преимущественно из горючих элементов, при этом не содержит кислород либо содержит, но в количестве, недостаточном для полного внутримолекулярного окисления. Такие смеси представляют собой газообразные, жидкие, твердые или сларри-смеси.

По способу возбуждения взрывчатого превращения взрывчатые вещества и взрывчатые системы условно разделяют на первичные иницирующие и вторичные иницирующие.

В соответствии с **областями применения ВВ** делят на иницирующие (ИВВ) и бризантные, или дробящие (БВВ).

Иницирующие ВВ применяются в качестве возбуждения детонации в зарядах БВВ. Отличительные свойства ИВВ от БВВ состоят в их способности детонировать под влиянием незначительных тепловых (луч огня) или механических (удар, трение, накол) внешних воздействий, т. е. обладают чрезвычайно высокой чувствительностью к механическим воздействиям. Характеристика иницирующих ВВ приведена в п. 2.1.1.

В *бризантных ВВ* детонация может быть вызвана влиянием относительно больших внешних воздействий, обычно при помощи ИВВ. Основным видом их взрывчатого превращения также является детонация. У бризантных ВВ взрывчатые характеристики значительно выше, чем у иницирующих ВВ. Тэн, гексоген, тетрил используют как вторичные иницирующие ВВ в средствах инициирования (ДШ, КД или ЭД) основных зарядов ВВ. Особые свойства пластичным взрывчатым веществам (ПВВ) придают такие компоненты, как окислители, флегматизаторы, сенсibilизаторы, структурообразующие, горючие и гидрофобные добавки и т. п.

1.3.1. Компоненты взрывчатых веществ

Окислители – вещества, содержащие избыточный кислород, расходуемый при взрыве на окисление горючих элементов (аммиачная селитра, калиевая селитра – КС, натриевая селитра – НС и т. д) [6].

Горючие добавки – твердые или жидкие вещества, как правило, невзрывчатые – тонкоизмельченный уголь, древесная мука, соляровое масло. Горючие добавки вводят в состав ВВ для увеличения количества энергии, выделяемой при взрыве. Роль горючих добавок выполняют также ВВ (тротил, гексоген и др.), имеющие в своем составе недостаточное количество кислорода для полного окисления содержащихся в них горючих элементов.

Пламегасители вводят в состав только предохранительных ВВ для снижения температуры взрыва и уменьшения вероятности воспламенения метановоздушных и пылевоздушных смесей в шахтах. В качестве пламегасителей чаще всего вводят NaCl и KCl. Пламегасители не участвуют в реакции при взрыве, только нагреваются и испаряются, снижая тем самым температуру газов взрыва.

Сенсибилизаторы – вещества, вводимые в состав ВВ для повышения его чувствительности к восприятию и передаче детонации. Это, как правило, мощные ВВ (тротил, гексоген, нитроэферы), чувствительные к инициирующему импульсу, которые в смеси малочувствительных взрывчатых веществ (АС и т. п.) с невзрывчатыми (древесная или хлопковая мука) обеспечивают нормальную чувствительность такого смесового ВВ к инициированию. Роль сенсибилизатора могут выполнять и невзрывчатые вещества (горючие добавки): соляровое масло, древесная мука или уголь. При этом образуются простейшие смесовые ВВ: динамоны, игданиты, гранулиты.

Стабилизаторы (древесная, торфяная мука и др.) вводят для повышения химической и физической стойкости ВВ.

Флегматизаторы – легкоплавкие вещества, масла, имеющие высокую теплоемкость и высокую температуру вспышки, они обволакивают частицы ВВ и не вступающие с ВВ в реакцию. Введение флегматизаторов снижает чувствительность ВВ к механическим воздействиям и обеспечивает более безопасные условия его применения. Часто используют вазелин, парафин и различные масла.

Из многокомпонентных смесей наибольшее применение имеет следующая **основная группа ВВ** [2].

Аммиачная селитра NH_4NO_3 – это кристаллический порошок белого цвета, получаемый синтетическим путем на азотнотуковых заводах. Работоспособность 165–230 см³, плотность 1,7 кг/дм³, скорость детонации 1,5–3,0 км/с, весьма гигроскопична, легко растворяется в воде. При хранении аммиачной селитры происходит перекристаллизация, сопровождающаяся спеканием (из рыхлой она превращается в твердую массу). При длитель-

ном хранении аммиачная селитра слеживается. Самостоятельно (как ВВ) она не применяется, но входит в состав многих взрывчатых механических смесей. Из-за того, что при взрыве выделяется много газообразных продуктов и мало теплоты и, кроме того, развивается невысокая температура, ее вводят в качестве основного компонента в предохранительные ВВ. Для уменьшения гигроскопичности и слеживаемости аммиачную селитру обрабатывают гидрофобными добавками (оксидом железа). В маркировке таким модификациям аммиачной селитры добавляют индекс ЖВ.

Натриевая NaNO_3 и *калиевая селитры* KNO_3 содержат в 2 раза больше кислорода, чем аммиачная селитра, имеют положительный кислородный баланс (более 40 %). Плотность кристаллов более 2 кг/дм^3 . При взрывчатом разложении образуют мало газов и много твердых оксидов, стоимость их выше. Смеси этих селитр с горючими чувствительны к механическим воздействиям и к воспламенению. Они имеют ограниченное применение – для приготовления водосодержащих селективно детонирующих высокопредохранительных ВВ. Добавки этих селитр повышают плотность ВВ, снижают температуру замерзания, хорошо удерживают воду в составе ВВ, препятствуя их высыханию.

Тротил (тол, тринитротолуол) $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{CH}_3$ – это кристаллическое вещество бледно-желтого цвета. Исходным продуктом при изготовлении служит каменноугольный или нефтяной толуол, который обрабатывают смесью азотной и серной кислот. Выпускают в виде чешуек. Перед введением в состав ВВ дробят в порошок. Порошкообразный тротил хорошо прессуется и легко плавится при температуре $80,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Плотность в порошкообразном виде $0,9 \text{ кг/дм}^3$, при прессовании $1,55 \text{ кг/дм}^3$, плавленого $1,54\text{--}1,59 \text{ кг/дм}^3$. Температура вспышки $310 \text{ }^\circ\text{C}$. Работоспособность 300 см^3 , бризантность 16 мм, чувствительность к удару 85 см (прострел пулей, как правило, взрыва не вызывает). Восприимчивость тротила к механическим воздействиям (к начальному импульсу) зависит от его физического состояния: порошкообразный и прессованный взрываются от капсуля-детонатора; чешуйчатый и литой – только от промежуточного детонатора (порошкообразного или прессованного тротила или другого ВВ). Имеет отрицательный кислородный баланс. Тротил относится к ВВ средней мощности. Широко используется в качестве составной части большинства промышленных ВВ. В чистом виде или в смеси с гексогеном (тэном) широко применяется в виде литых или прессованных таблеток как промежуточных детонаторов.

Аммониты – смесь аммиачной селитры с тротилом и невзрывчатыми горючими добавками. В состав скального аммонита входит добавка гексогена; аммониты предохранительные для шахт и рудников выпускают с добавкой пламегасителей – аммонит 6ЖВ (ожелезненная селитра марки ЖВ), аммонит АП-5ЖВ, аммонит ПЖВ-20, аммонит Т-19 и др.

Аммоналы – аммониты с добавкой алюминиевой пудры.

Детониты – смесь аммиачной селитры с нитроэфирами и пудрой алюминия.

Динамоны – смесь аммиачной селитры с невзрывчатыми горючими добавками.

Гранулированные ВВ – смеси на основе сухих гранулированных, чешуйчатых компонентов или гранулированных сплавов компонентов.

Граммониты 30/70, 50/50, 21/79, 70/30 (в числителе – содержание тротила, в знаменателе – селитры) – смесь гранулированной аммиачной селитры с гранулированным тротилом или с чешуйчатым тротилом.

Гранулиты – смеси гранулированной аммиачной селитры с жидкими и порошкообразными невзрывчатыми горючими добавками.

Игданиты – смесь гранулированной аммиачной селитры с жидкой горючей добавкой.

Гранулотол – гранулированный тротил.

Алюмотол – гранулированный сплав тротила с алюминиевой пудрой.

Водосодержащие ВВ – смеси на основе сухих гранулированных или чешуйчатых компонентов, или гранулированных сплавов компонентов с добавками холодного или горячего раствора аммиачной селитры, NaCl или KCl, загущающих растворов и стабилизирующих заряд добавок.

Акватолы – смесь гранулированной аммиачной селитры и гранулированного тротила с раствором селитр, загущающих и стабилизирующих добавок.

Эмульсионные ВВ – смесь холодного или горячего насыщенного раствора селитр с жидкой невзрывчатой горючей добавкой и эмульгатором, которая при обработке ее в диспергаторе превращается в водоустойчивое подвижное ВВ. При остывании горячее эмульсионное ВВ твердеет. Эмульсионные взрывчатые вещества основаны на эмульсиях типа «вода в масле». В основном они состоят из водного раствора неорганического окислителя, который в виде мелких капелек представляет дисперсную фазу, и жидкого горючего, являющегося непрерывной фазой. Соотношение окислителя и горючего в эмульсионной смеси составляет приблизительно 10:1.

В состав эмульсионных ВВ входят раствор аммиачной селитры, дополнительные жидкости с различными окислителями, энергоносителями, повысителями и понизителями чувствительности и другие компоненты для создания нужной консистенции и взрывных свойств.

В качестве окислителей в них наиболее часто используют аммиачную селитру отдельно или в смеси с другими селитрами. При этом оптимальное содержание окислителя в смеси составляет 60–85 %, а воды – 8–16 %. В смесях жидким горючим веществом обычно являются органические виды топлива (минеральные масла, дизельное топливо (ДТ) и т. д.) или их смеси.

Оптимальное содержание жидкого горючего равно 3–7 %. Для повышения энергетических характеристик в составы эмульсионных ВВ иногда добавляют твердое горючее: серу, алюминиевый порошок.

В настоящее время разработаны эмульсионные составы, сенсibilизированные пористыми материалами и микропузырьками азота, которые образуются химическим путем. Однако наиболее распространенным способом сенсibilизации эмульсионных составов является введение полых или пористых микросфер из стекла или порошка перлита, содержание которых в составах ВВ не превышает 4 %. Сенсibilизированные таким способом эмульсионные ВВ имеют плотность 1,15–1,27 г/см³ и теплоту взрыва 2 930–3 350 кДж/кг. При необходимости повысить теплоту взрыва на 25–30 % в состав эмульсионных ВВ вводят соответствующее количество алюминиевого порошка, структура эмульсии приобретает вид многогранных капелек с высокой плотностью упаковки полиэдрической формы, каждая из которых покрыта тончайшей пленкой непрерывной фазы горючего толщиной около одной миллионной части миллиметра. Реакция детонации в них происходит на границе между двумя фазами.

Следует отметить, что эмульсии имеют повышенную взрывчатую способность, поскольку обе фазы у них жидкие, а дисперсные капельки раствора нитрата на несколько порядков меньше по величине, чем размеры частиц других взрывчатых веществ кроме индивидуальных ВВ. Изменение размеров частиц от твердых гранул АС–ДТ до микрокапелек взрывчатой эмульсии приводит к росту скорости детонации с 3,2 до 5,0–6,0 км/с. Главным образом это связано с увеличенным поверхностным контактом окислителя – горючего, что, в свою очередь, приводит к повышению эффективности реакции взрывчатого разложения смеси. При этом скорость детонации можно регулировать путем изменения степени смешения горючего и окислителя. Вязкость и плотность взрывчатой эмульсии определяют обычно физическими характеристиками органической горючей фазы, которая может быть представлена углеродистыми соединениями от тяжелого жидкого топлива до вязких восков. В отличие от водосодержащих смесей эмульсии не загущаются и не желатинизируются. Поскольку эмульсии не имеют химических сенсibilизаторов, их чувствительность, детонационная стабильность и способность, а также плотность целиком зависят от содержания в смеси газовых пузырьков.

Порохами называют ВВ, способные в определенных условиях к взрывному горению и детонации. Пороха представляют собой твердые многокомпонентные системы, содержащие горючие вещества и окислители. Вид и мощность начального импульса оказывают существенное влияние на начальную скорость взрывчатого разложения порохов. Во взрывном деле находят применение дымный и бездымный пороха. В горной про-

мышленности применяют специально выпускаемый для горных работ так называемый минный порох, который является разновидностью дымного пороха, он представляет собой зернистую массу: величина зерна крупного пороха 3,0–8,5 мм, мелкого – 1,5–3,0 мм. Плотность действительная 1,60–1,75 г/см³, насыпная – 0,9–1,0 г/см³.

Дымный порох состоит из калиевой селитры, древесного угля и серы. Он гидроскопичен, чрезвычайно чувствителен к огню, является опасным в обращении ВВ. Дымный порох разлагается в форме взрывного горения со скоростью до 400 м/с. Его взрыв воздействует на среду менее жестко, чем взрыв бризантного ВВ. Поэтому его применяют при добыче штучного камня и в тех случаях, когда требуется обеспечить минимальное нарушение отбиваемого массива, а также для изготовления огнепроводных шнуров. В последних опасность пороха значительно снижается за счет тканевой оболочки.

Бездымными порохами называются ВВ, изготовленные из нитратов целлюлозы с различным содержанием азота путем растворения их во взрывчатых и невзрывчатых растворителях. В состав этих порохов вводятся пламегасящие добавки, отчего при использовании не видно пламени и дыма.

Различают *пироксилиновые* и *нитроглицериновые пороха*. Первые получают обработкой нитрата целлюлозы летучим растворителем, а вторые – слаболетучим нитроглицерином. Выпускаются такие пороха в виде элементов различных форм и размеров. Бездымные пороха чувствительны к механическим воздействиям и огню. Высокой детонационной способностью обладают пироксилиновые пороха, особенно в воде. Нитроглицериновые пороха детонируют в воде хуже.

Бездымные пороха в зависимости от состояния, условий взрыва и вида начального импульса способны к горению или детонации. Скорость детонации 3 500–8 000 м/с. Температура вспышки 180–200 °С. Они в основном водоустойчивы, поэтому их используют при взрывах на выброс в обводненных породах средней крепости. Бездымные пороха имеют специальную маркировку. Их цвет зависит от состава и режима приготовления (табл. 1). При хранении пороха медленно разлагаются с выделением эфиров азота, способны к экссудации и электризации.

Таблица 1

Классификация промышленных ВВ по условиям применения

Класс ВВ	Условия применения	Цвет оболочки патрона (полосы)
<i>Непредохранительные ВВ</i>		
I	Для взрывания только на земной поверхности	Белый
II	Для взрывания на земной поверхности и в подземных выработках, в которых отсутствуют выделение горючих газов и образование взрывчатой угольной пыли	Красный

Окончание табл. 1

Класс ВВ	Условия применения	Цвет оболочки патрона (полосы)
<i>Предохранительные ВВ</i>		
III	Для взрывания только по породе в подземных выработках, в которых выделяется метан, но отсутствует взрывчатая угольная пыль	Синий
IV	Для взрывания по углю и породе в подземных выработках, проводимых по пласту, опасному по взрыву пыли, в которых есть выделение метана, кроме выработок с повышенным выделением горючих газов; для сотрясательного взрывания в забоях подземных выработок угольных шахт	Желтый
V	Для взрывания по углю и породе в подземных выработках с повышенным выделением горючих газов, проводимых по пласту, опасному по взрыву пыли (особо опасных)	
VI	Для взрывания по углю и породе в выработках с повышенным выделением горючих газов, проводимых в условиях, когда возможен контакт боковой поверхности шпурового заряда с газозооной смесью, находящейся в пересекающих шпур трещинах горного массива либо в выработке; для взрывания в угольных и смешанных забоях восстающих (с углом более 10°) выработок, в которых выделяется горючий газ, при длине выработок более 20 м и проведении без предварительно пробуренных скважин, обеспечивающих проветривание за счет общешахтной депрессии	
VII	Для ведения специальных взрывных работ: взрывного перебивания деревянных стоек при посадке кровли, при ликвидации зависаний горной массы в углеспускных выработках, для дробления негабаритов в забоях подземных выработок и др.	
Специальный (С)	Для взрывных работ в шахтах, опасных по взрыву серной пыли, водорода и тяжелых углеводородов	Зеленый

Нитроглицериновые пороха, полученные при пластикации коллоксилина (разновидность нитроцеллюлозы), называются *баллиститам*. Пороха, полученные при пластикации высокоазотной нитроцеллюлозы нитроглицерином и спиртоэфирной смесью, называют *кордитам*.

1.3.2. Принципы построения предохранительных взрывчатых веществ

Установленные закономерности процесса воспламенения горючих газов и аэрозолей взрывом позволили сформулировать основные принципы построения предохранительных ВВ и создать на их основе современные рецепты устойчиво детонирующих ВВ различных классов.

Первый принцип заключается в снижении энергии (теплоты) взрыва до заданных пределов. При более высокой теплоте газы взрыва имеют повышенную температуру, что увеличивает вероятность воспламенения газопылевоздушной смеси.

Второй принцип предусматривает химическое воздействие на газопылевоздушную смесь, т. е. ее ингибирование при смешении с расширяющимися продуктами взрыва, что уменьшает вероятность возникновения и развития цепной реакции воспламенения за счет обрыва цепей.

Оба принципа реализуются введением в состав смесевых ВВ порошковых веществ с высокой химической активностью и сравнительно высоким удельным теплопоглощением, получивших название пламегасителей. Использование эффекта отрицательных катализаторов по отношению к реакции окисления метана и других горючих шахтных газов или продуктов газификации угольной пыли повышает допустимый уровень энергетических характеристик ВВ (при заданном уровне предохранительности). Наиболее подходящими для такой роли оказались хлориды щелочных металлов (NaCl, KCl). Они снижают температуру взрыва вследствие поглощения теплоты на свое нагревание, плавление и испарение (каждый процент добавки понижает температуру взрыва примерно на 1,5 %). Кроме того, эти вещества, перемешиваясь с метано-воздушной смесью (МВС), тормозят вспышку метана, выполняя роль ингибитора. Тонкое измельчение пламегасителей повышает предохранительные свойства ВВ, но снижает детонационную способность. Крупное измельчение дает противоположные результаты. Поэтому пламегаситель вводят в состав ВВ в виде гранул крупностью 0,5–2,0 мм из тонкодисперсных частиц.

Третий принцип сводится к применению в качестве окислителя аммиачной селитры, поскольку она при взрыве, с одной стороны, выделяет много газообразных продуктов ($0,976 \text{ м}^3/\text{кг}$) и поэтому увеличивает работоспособность ВВ, а с другой – дает мало теплоты ($1\,400 \text{ кДж/кг}$) и поэтому имеет низкую температуру взрыва ($1\,623 \text{ К}$).

Именно на этих трех принципах созданы предохранительные ВВ классов III и IV (табл. 2). Разработки в данном направлении показали, что, соблюдая эти принципы, можно придать взрывчатому веществу любой уровень предохранительности. Однако введение значительного количества пламегасителя в состав ВВ существенно снижает его работоспособность.

Например, ВВ VI класса угленит № 2 (нитроэфиры – 10 %, NH_4NO_3 – 24 %, NaCl – 64 %) имеет работоспособность 70 см^3 ; ВВ VII класса угленит № 5 (нитроэфиры – 10 %, NH_4NO_3 – 14 %, древесная мука – 1 %, NaCl – 75 %) обладает работоспособностью 40 см^3 .

Таблица 2

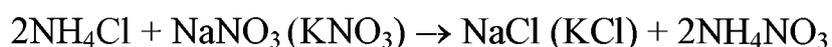
Взрывчатое вещество для подземной разработки месторождений

Взрывчатые вещества	Компоненты, %								Работоспособность, см ³	Бризантность, мм	Класс	Цвет оболочки патрона
	Аммиачная селитра	Тротил	Поваренная соль	Гексоген	Фосфогипс	Алюминиевая пудра	Кремний	Графит				
Аммониты:												
ПЖВ-20	64	16	20	–	–	–	–	–	265	13	IV	Желтый
Т-19	61	19	20	–	–	–	–	–	270	14	IV	«
Ф-5	61	19	15	–	5	–	–	–	265	14	IV	«
Т-19 «Г»	61	19	20	–	–	–	–	0,25 (>100 %)	265	14	IV	«
АП-5ЖВ	70	18	12	–	–	–	–	–	320	14	III	Синий
6ЖВ	79	21	–	–	–	–	–	–	360	14	II	Красный
ВК-1	79	16	–	–	–	–	5	–	> 360	14	II	«
Аммонал скальный № 1 прессованный	66	5	–	24	–	5	–	–	450	28	II	«

Чтобы предупредить создание высокопредохранительных ВВ низкой эффективности, введены нормативные требования к работоспособности ВВ разных классов, а именно: ВВ III класса должны иметь работоспособность не менее 320 см^3 , IV – не менее 265 см^3 , V – не менее 1,03, а VI класса – не менее 0,80 от работоспособности угленита Э-6, принятого за эталон.

Четвертым принципом является создание такой взрывчатой системы, при которой тонкодисперсный пламегаситель образовывался бы только в процессе ее взрывчатого превращения. В этом случае наличие пламегасителя в продуктах взрыва не влияет на потенциальную теплоту взрыва.

Пятый принцип – селективной детонации, согласно которому взрывчатые механические смеси должны представлять собой саморегулируемые системы: теплота их взрыва меняется в зависимости от условий взрывания. На практике селективность детонации обеспечивается тем, что ВВ создают из двух составных частей, резко отличающихся между собой по химической активности (реакционной способности): одна (обычно нитроглицерин – до 15 %) легко детонирует в любых условиях; другая представляет собой ионообменную пару солей, например, смесь натриевой или калиевой селитры с хлористым аммонием. Такой состав ВВ приводит к тому, что в наиболее опасных условиях взрывания (при торцевом или боковом обнажении заряда) взрывается только нитроглицерин. Остальная часть ВВ играет роль пламегасителя. В результате выделяется мало теплоты (примерно 50 % расчетной) и газы взрыва оказываются нагретыми недостаточно для воспламенения метана. При взрыве в замкнутых условиях выделяется вся потенциальная энергия за счет вступления в реакцию компонентов с меньшей реакционной способностью, т. е. ионообменной пары солей. При построении селективно-детонирующих ВВ автоматически реализуется четвертый принцип:



Так, при взрыве 1 кг угленита Э-6 образуется 317 г хлорида натрия (калия).

На принципе селективной детонации построены промышленные ВВ V–VII классов.

1.3.3. Технологические свойства взрывчатых веществ

К наиболее важным свойствам промышленных ВВ относятся: гигроскопичность, слеживаемость, химическая стойкость, водостойчивость, пластичность и др.

Гигроскопичность – способность промышленных ВВ поглощать влагу из окружающей атмосферы. Способность к увлажнению аммиачно-селитренных ВВ обусловлена высокой гигроскопичностью основного ком-

понента – аммиачной селитры, что приводит к ослаблению и полной потере взрывчатых составов. Накопившаяся влага флегматизирует ВВ.

Слеживаемость – способность некоторых порошкообразных веществ терять при хранении сыпучесть и превращаться в прочную сплошную массу. Слежавшиеся патроны ВВ имеют повышенную опасность. В такие патроны затруднено введение детонатора. Слежавшиеся аммониты (особенно в патронах малого диаметра) мало восприимчивы к первичным средствам инициирования, отличаются пониженной детонационной способностью.

Химическая стойкость (стабильность) характеризует скорость разложения ВВ при хранении. Если ВВ обладает низкой стабильностью, то в результате хранения больших его количеств может произойти самоускоряющееся разложение и взрыв. В этом случае продукты первичного распада катализируют дальнейшую реакцию, ускоряют таким образом процесс разложения.

Водоустойчивость – способность ВВ сохранять взрывчатые свойства при погружении в воду. Для повышения водоустойчивости ВВ разработано много способов, один из которых заключается во введении стеарата кальция или цинка в порошкообразные нитроглицериновые ВВ – детониты, углениты и др. Для снижения смачивающей способности жидких нитроэфиров в этих ВВ их слабо желатинируют коллоидным хлопком. Степень водоустойчивости принято оценивать: для непатронированных взрывчатых веществ порошкообразного типа путем определения гидростатического давления столба воды, которое необходимо для продавливания воды через слой взрывчатых веществ определенной толщины; для патронированных – по максимальному расстоянию передачи детонации между патронами, выдержанными в воде на определенной глубине в течение заданного времени; для аммиачно-селитренных гранулированных и водосодержащих – по количеству селитры, перешедшей из них в раствор при выдерживании в воде определенное время.

Пластичные ВВ – ВВ высоковязкой структуры, способное легко деформироваться при незначительных нагрузках и полностью заполнять зарядные полости. К таким ВВ относятся динамиты и акваниты.

Текущие (льющиеся) ВВ – низковязкие акватолы, ифзаниты и некоторые акваниты, содержащие до 30 % водной желатины. Такие ВВ можно транспортировать по шлангам.

Уплотняемость – качество ВВ, определяющее плотность заряжения зарядной емкости. Уплотняемость возрастает при наличии жидкой фазы в ВВ.

Сыпучесть – способность ВВ легко транспортироваться по трубам и шлангам к месту заряжения, свободно высыпаться, хорошо заполнять пространство скважин. Сыпучесть иногда определяют углом естественного

откоса. Гранулиты, зерногранулиты, гранулотол – промышленные ВВ, характеризующиеся хорошей сыпучестью.

Старение – необратимое ухудшение взрывчатых свойств ВВ при хранении, вызванное физико-химическими изменениями в веществе в результате внутренних процессов или взаимодействия с внешней средой. В связи с процессами старения для всех пластичных взрывчатых веществ устанавливается гарантийный срок хранения, в течение которого гарантировано сохранение основных показателей технических условий не ниже регламентированных норм.

Летучесть – способность некоторых жидких компонентов ПВВ испаряться. К таким компонентам относятся нитроглицерин, динитроэтиленгликоль, нитрогликоль. Потеря веса таких ВВ приводит к весьма заметному изменению их взрывчатых свойств.

Эксудация – процесс выделения жидкой фазы из твердой многокомпонентной системы. Это явление наблюдается при старении динамитов, в результате которого на поверхности зарядов появляются капельки чистого нитроглицерина, при этом изменяются взрывчатые характеристики, возрастает опасность в обращении с такими ВВ. К нарушению физической стойкости ВВ могут приводить расслаиваемость компонентов систем, рекристаллизация компонентов и др. Для открытых работ допускаются ВВ, у которых не регламентируется состав продуктов взрыва. К ним не предъявляют строгих требований по детонационной способности. К ВВ, предназначенным для ведения взрывных работ при подземной добыче полезных ископаемых, кроме шахт, опасных по пыли и газу, предъявляются требования по минимальному образованию ядовитых газов (CO , CO_2 , NO , NO_2 , сернистый газ) при взрыве.

1.3.4. Кислородный баланс

Для оценки энергетических параметров ВВ необходимо находить соотношение между горючими компонентами и окислителем в молекуле. Это соотношение характеризуется величиной кислородного баланса K_6 , выраженного в процентах.

Кислородным балансом называют достаточное, избыточное или недостаточное количество кислорода в составе ВВ по сравнению с количеством, необходимым для полного окисления содержащихся в нем углерода, водорода и других элементов, способных окисляться при взрыве.

Таким образом, из определения следует, что K_6 может быть положительным, отрицательным и нулевым.

Положительный K_6 – наличие кислорода в составе ВВ превышает количество, необходимое для окисления горючих элементов (при взрывча-

том превращении ВВ образуются ядовитые окислы азота, вследствие чего такие ВВ не допускаются для взрывных работ над землей).

Нулевой K_6 – в составе ВВ кислород содержится в количестве, необходимом для полного окисления всех горючих элементов.

Отрицательный K_6 – наличие кислорода недостаточно для окисления всех горючих элементов и в продуктах взрывчатого превращения, часть его превращается в ядовитый угарный газ СО или сажу С.

От K_6 существенно зависит энергетический и экологический результат взрыва (табл. 3).

Таблица 3

Характеристика взрывчатых превращений ВВ

Взрывчатое вещество	Кислородный баланс, %	Теплота взрыва, кДж/кг	Объем газов взрыва, л/кг	Критический диаметр открытого заряда, мм	Скорость детонации, км/с
Гексоген	-21,6	5 700	890	1,0–1,5	83
Тетрил	-47,4	4 900	740	–	7,2
Тротил	-74,0	3 450	750	8–10	–
Гранулотол	-74,0	3 642	1 045	(в порошке) 60–80	4,0–4,6
Алюмотол	-76,2	5 266	815	(в оболочке) 70–80	4,0–4,2
Гранитол-1	-43,4	3 770	820	40–60	–
Гранитол-7А	-52,0	4 595	800	40–50	–
Аммиачная селитра	+20,0	1 420	980	–	–
Игданит	+0,14	3 852	980	80–100	2,5–3,6
Аммонит 6ЖВ	-0,53	4 305	895	10–12	3,6–4,8
Граммонит 79/21	+0,02	4 285	895	40–60	3,2–4,0
Гранулит АС-8	+0,34	5 191	847	70–100	3,0–3,6
Ифзанит Т-80	0	3 941	913	90–100	5,2–5,5
Ипконит А-10	0,2–0,3	4 520	852	225	4,0–4,8

Наиболее рациональными являются ВВ с нулевым кислородным балансом.

Количественно K_6 , %, определяется по формуле

$$K_6 = \frac{d - \left(2a + \frac{b}{2}\right) \cdot 16}{M_{ВВ}} \cdot 100, \quad (2)$$

где a , b , d – числа атомов углерода, водорода, азота и кислорода соответственно; $M_{ВВ}$ – молекулярная масса ВВ; 16 – относительная атомная масса кислорода.

1.3.5. Энергия, выделяющаяся при взрыве, и степень ее использования

Взрыв часто уподобляют своеобразной тепловой машине, в которой потенциальная химическая энергия ВВ превращается в тепловую, а затем переходит в механическую работу при расширении нагретых и сжатых газообразных продуктов взрыва. Теплота взрывчатого превращения, сокращенно называемая *теплотой взрыва*, является одной из главных характеристик ВВ как источника энергии, определяет его работоспособность и параметры детонации. Энергия (теплота) взрыва зависит от типа ВВ и состава продуктов его разложения. Ее определяют теоретически по химической формуле реакции взрыва и опытным путем. Теоретически теплота взрыва рассчитывается на основе термохимического *закона Г. И. Гесса*: количество теплоты, выделяющейся при какой-либо реакции, равно разности теплот образования конечного соединения и начального. Применительно к взрыву этот закон можно выразить формулой

$$Q_{\text{взр}} = Q_{\text{ПВ}} - Q_{\text{ВВ}}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{взр}}$ – теплота взрыва, кДж; $Q_{\text{ПВ}}$ – теплота образования конечных продуктов взрыва (H_2O , CO_2 и т. д.), кДж; $Q_{\text{ВВ}}$ – теплота образования исходного ВВ, кДж.

В расчетах по химическим уравнениям величины $Q_{\text{ПВ}}$ и $Q_{\text{ВВ}}$ теплоты образования принимают согласно справочникам. Между теплотой взрыва, определяемой при постоянном давлении Q_P , и теплотой, рассчитанной при постоянном объеме Q_V , имеется связь:

$$Q_V = Q_P + 0,58 \cdot \sum n, \quad (4)$$

где $\sum n$ – суммарное количество молей газообразных продуктов взрыва.

Теплота взрыва большинства ВВ находится в пределах 3 200–6 600 кДж/кг. Теплоту взрыва находят также экспериментально взрыванием навески ВВ в калориметрической стальной бомбе емкостью около 0,3 дм³. Бомбу помещают в водяной калориметр, в котором измеряют начальную и конечную температуру жидкости. Затем, зная массу и теплоемкость бомбы и калориметрической жидкости, производят несложный расчет. Температуру взрыва, при которой образуются газы и начинается работа взрыва, можно определять по формуле

$$T_{\text{взр}} = \frac{Q_{\text{взр}}}{C_V}, \quad (5)$$

где $T_{\text{взр}}$ – температура взрыва, °С; $Q_{\text{взр}}$ – теплота взрыва ВВ, кДж/моль; C_V – средняя теплоемкость всех продуктов взрыва при постоянном объеме, кДж/(моль·°С).

Величина C_V зависит от температуры и рассчитывается по уравнению Маляра и Ле Шателье:

$$C_V = a + b \cdot T,$$

где a и b – коэффициенты, найденные опытным путем и помещенные в справочниках.

Среднее давление взрыва, т. е. давление продуктов реакции в объеме ВВ при мгновенном его превращении,

$$P_{\text{взр}} = \frac{Q_{\text{взр}}(K - 1)}{V - \alpha} \cdot \frac{427}{9,8}, \quad (6)$$

где V – удельный объем ВВ, см³/кг; α – несжимаемая часть газов (коволум), см³/кг; $K = C_P/C_V$; C_P и C_V – соответственно, средняя теплоемкость газов при постоянном давлении и объеме, ккал/(моль·°С); 427/9,8 – численный коэффициент перевода тепловых единиц в механические.

Давление $P_{\text{взр}}$, развивающееся при взрывах различных ВВ, может достигать от 0,3–0,5 до 15–20 МПа и выше. Объем газов можно рассчитывать по известному их составу. Его величина при взрывах ВВ изменяется от 200 до 1 100 л/кг.

Баланс энергии ВВ при взрыве схематически показан на рис. 3.

Потенциальная (общая) энергия E взрыва, заключенная в заряде ВВ, кДж,

$$E = Q_{\text{взр}} \cdot Q, \quad (7)$$

где $Q_{\text{взр}}$ – теплота взрыва, кДж/кг; Q – масса заряда ВВ, кг.

Однако не вся потенциальная энергия ВВ переходит в работу, часть ее теряется из-за неполноты взрывчатого превращения и в результате разброса частиц непрореагировавшей части заряда (химические потери). Имеют место также невозполнимые термодинамические (тепловые) потери, обусловленные наличием в газах остаточного тепла. Далее, за вычетом химических и термодинамических потерь, тепловая энергия, выделяемая при взрыве, реализуется в различных формах полезной и бесполезной работы. Сумму всех работ (полезных и бесполезных), выполненных взрывом, за вычетом химических и термодинамических потерь, называют *полной работой взрыва*. Она составляет часть общей энергии (теплоты) E взрыва, т. е.

$$A_{\text{п}} = E \cdot \eta_{\text{о.х}} = Q_{\text{взр}} \cdot Q \cdot \eta_{\text{о.х}}, \quad (8)$$

где $A_{\text{п}}$ – полная работа взрыва, кДж; $\eta_{\text{о.х}}$ – общий коэффициент преобразования энергии взрыва ВВ в работу, или общий химический КПД взрыва.

Максимальную работу, которую могут совершать газы взрыва при их адиабатическом (без теплообмена с окружающей средой) расширении до

атмосферного давления, часто называют *идеальной работой взрыва* и вычисляют по формуле русского ученого П. М. Чельцова:

$$A_{\text{п}} = Q_{\text{взр}} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \right] = Q_{\text{взр}} - Q_{\text{п}}, \quad (9)$$

где $Q_{\text{взр}}$ – теплота взрыва, кДж; $Q_{\text{п}}$ – тепловые и термодинамические потери, кДж/кг; P_2 и P_1 – соответственно, начальное и конечное (атмосферное) давление газов взрыва, Па.



Рис. 3. Схема баланса энергии при взрыве (по А. Ф. Беляеву)

Поскольку в формуле принято, что конечное расширение газов происходит до атмосферного давления, то она справедлива только для оценки работоспособности ВВ при взрывании на выброс. Если взрыв происходит в сплошной твердой среде с сопротивлением разрушению (сжатию) P_p , то формула приобретает вид

$$A_{\text{п}} = Q_{\text{взр}} \left[1 - \left(\frac{P_p}{P_1} \right) \right]. \quad (10)$$

По сравнению с работой, рассчитанной по формуле (9), здесь она уменьшается, а тепловые потери возрастают. Вычисленную по формуле полную работу взрыва, отнесенную к единице массы ВВ (удельную работу), называют *полной работоспособностью ВВ*.

Отношение

$$\frac{A_{\text{п}}}{Q_{\text{взр}}} = \eta_{\text{п}} = 1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{k-1} \quad (11)$$

характеризует полный КПД взрыва, определяющий часть тепла, которая может быть использована для совершения полезных форм механической работы взрыва. Коэффициент преобразования энергии взрыва в механическое воздействие на среду $\eta_{\text{п}}$ составляет 40–70 %, тогда как на полезные формы работы расходуется 5–15 % энергии взрыва. Только при взрыве в воздухе (с целью образования воздушной ударной волны), когда давление P_2 равно атмосферному, в работе используется около 85 % энергии взрыва. Работа в какой-либо полезной форме действия взрыва (дробление или выброс горной породы) пропорциональна полной работе взрыва:

$$A_{\text{о.п}} = \eta_{\text{п}} \cdot A_{\text{п}}, \quad (12)$$

где $A_{\text{о.п}}$ – общая полезная работа взрыва; $\eta_{\text{п}}$ – коэффициент полезного действия взрыва.

Небольшая величина КПД взрыва объясняется тем, что значительная часть энергии тратится на многочисленные бесполезные формы механической работы (сейсмическое действие взрыва, образование воздушных ударных волн, излишнее дробление и нагрев породы вблизи заряда и др.). Большая часть полной работы проявляется в виде общего (фугасного) действия взрыва, меньшая – в виде местного (бризантного). Тепловая энергия, приходящаяся на 1 кг ВВ (теплота взрыва 1 кг ВВ), составляет в среднем 4 190 кДж/кг, что значительно меньше теплотворной способности таких обычных горючих, как каменный уголь (29 300 кДж/кг) и керосин (46 000 кДж/кг). Однако высокая скорость распространения реакции взрыва (2,6–6,0 км/с) обеспечивает получение чрезвычайно большой мощности при взрыве. Нужно подчеркнуть, что теплота взрыва определяет основные параметры – скорость и давление детонации. Это особенно четко видно из простых зависимостей, полученных Г. И. Покровским:

$$V_{\text{д}} = 12,6 \cdot \sqrt{Q_{\text{взр}}}; \quad P_{\text{д}} = 4 \gamma \sqrt{Q_{\text{взр}}}, \quad (13)$$

где $V_{\text{д}}$ – скорость детонации, м/с; $Q_{\text{взр}}$ – теплота взрыва, кГМ/кг; $P_{\text{д}}$ – давление взрывных газов в скважине, кг·с/см²; γ – удельный вес ВВ, кг/м³.

1.4. Системы инициирования

Инициирование заряда – это его подрыв при помощи определенной системы или устройства. Ни одно предприятие, использующее взрывные работы, не обходится без системы инициирования. В настоящее время известны следующие основные способы инициирования: огневой с применением огнепроводного шнура, электроогневой, электрический, детонирующим шнуром, неэлектрический с применением ударно-волновых трубок (УВТ), табл. 4. При электрическом инициировании зарядов ВВ производят проверку электродетонаторов и электрической схемы коммутации контрольно-измерительными приборами (КИП).

Таблица 4

Классификация способов инициирования зарядов (по М. Ф. Друкованному)

Способ инициирования	Характеристика способа	Средства осуществления	Условия применения
Огневой	Заряд детонирует от КД, который получает начальный импульс от ОШ	КД, ОШ и средства его зажигания	На поверхности и под землей при вторичном дроблении и основном взрывании, кроме опасных по газу и пыли шахт
Химический	Тепло выделяется при химреакции двух веществ, приводящей к поджогу ОШ	ОШ и средства его зажигания	Не применяется из-за невозможности точного расчета времени задержки
Электроогневой	Заряд детонирует от КД, а ОШ – от электрозажигателя	КД, ОШ и средства его зажигания	При проходке выработок
Электрический	Заряд детонирует от ЭД	ЭД, проводники, КИП и источники электрического тока	Основной способ в любых условиях
Детонирующим шнуром	Заряд детонирует от ДШ	ДШ, ЭД или КД	Основной способ на карьерах и под землей, кроме опасных шахт
Неэлектрический	Заряд детонирует от УВТ	КД, УВТ, искровой разрядник	На поверхности и под землей

Огневое инициирование основано на передаче луча огня по огнепроводному шнуру непосредственно в инициирующий состав. Является наиболее простым методом и чаще всего применяется при необходимости замедления от 3 до 180 с. Осуществляется с помощью разных типов огнепроводных шнуров. Огневое инициирование простое в исполнении, однако является крайне ненадежным и опасным видом инициирования. Кроме того, при ог-

невом инициировании необходимо самое пристальное внимание уделять вопросам накопления статического напряжения на элементах системы инициирования. Все эти недостатки в совокупности с моральным устареванием огневого инициирования привели к тому, что система инициирования с помощью ДШ в настоящее время не находит широкого применения в промышленности.

Химическое инициирование основано на взаимодействии двух веществ, в результате которого выделяется достаточно тепла, чтобы поджечь огнепроводный шнур или вызвать инициирование взрывчатого вещества. Химические инициаторы предельно простые, легко изготавливаемые, что самое главное, не оставляют от себя следов после взрыва. Недостатком химического инициирования является невозможность точного расчета времени задержки.

Электрическое инициирование – это наиболее надежный и практичный метод, применяемый профессионалами-подрывниками. Отличается очень широкой функциональностью благодаря возможности использования различных датчиков и систем задержки. Кроме того, электровзрывание обеспечивает большую, чем при огневом способе, безопасность взрывника, так как к моменту взрыва он может находиться на заведомо безопасном расстоянии. Также взрыв можно производить в точно выбираемый момент времени и при этом намного легче и быстрее подготовить к взрыву большое количество зарядов, удаленных друг от друга, за счет того, что легче протянуть электропровода, нежели детонирующий шнур. Вместе с тем электрическому способу взрывания присущи некоторые недостатки. Во-первых, это связано с необходимостью приобретения навыков обращения с электричеством, умением выполнять электромонтажные работы, пользоваться электроизмерительными приборами, производить калибровку электродетонаторов; во-вторых, в ряде случаев расчет электровзрывной сети и подбор источника электропитания весьма сложен и требует выполнения алгебраических расчетов. Однако электрический способ взрывания в настоящее время является одним из основных способов инициирования в промышленности, хотя при этом его применение должно осуществляться только квалифицированными специалистами.

Механическое инициирование характеризуется сравнительно узким диапазоном функциональных возможностей, что компенсируется простотой конструкции и относительной надежностью. Инициаторы этого типа применяются в основном с одноступенчатой схемой инициации (исключение – детонатор в ручной гранате) и разделяются на две группы:

- 1) загрузочного типа – срабатывают при приложении механического напряжения – нажимные детонаторы;
- 2) разгрузочного типа – срабатывают при снятии напряжения – разгрузочные детонаторы.

В настоящее время данный тип инициирования в ограниченном масштабе применяется в военном деле.

В начале 80-х гг. прошлого столетия фирма «Нитро Нобель» (Швеция) разработала систему *неэлектрического инициирования* NONEL для взрывания шпуровых и скважинных зарядов ВВ. Эта система лишена недостатков системы взрывания при помощи ДШ, поскольку инициирующим импульсом в ней служит низкоскоростная ударная волна, которая распространяется внутри трубки (волновода). Проводником детонации служат слои взрывчатой смеси на внутренней поверхности волновода. Внутренний диаметр трубки составляет 1,5 мм, а линейная масса детонирующего состава в волноводе – 18 мг/м. Детонация при такой низкой концентрации взрывчатого состава достигается за счет канального эффекта внутри трубки. Поскольку концентрация взрывчатого состава в волноводе незначительна, то радиального наружного энерговыделения не происходит и промышленное ВВ вокруг волновода не выгорает. Передача детонационной волны от трубки к трубке или к промежуточному боевику осуществляется через специальные детонаторы, принцип действия которых такой же, как у обычных отечественных капсулей-детонаторов.

Технические средства, с помощью которых инициируют (взрывают) заряды ВВ, называют *средствами инициирования*. К ним относятся капсули-детонаторы, электродетонаторы, детонирующий шнур, пиротехнические замедлители детонирующего шнура (КЗДШ), огнепроводный шнур и средства его зажигания (зажигательные патроны, электрозажигательные патроны, тлеющий фильтр, зажигательные свечи).

К *приборам для взрывания* относятся контрольно-измерительные приборы и устройства, источники тока для электровзрывания (взрывные машинки), взрывные станции, аппаратура дистанционного взрывания электровзрывных сетей и др. Их устройство и сочетание друг с другом зависят от способов взрывания. При любом способе инициирования начальное возбуждение детонации зарядов промышленных ВВ производится с помощью КД или ЭД. Для снаряжения средств инициирования применяются инициирующие взрывчатые вещества.

Глава 2

ВЕДЕНИЕ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ ИНИЦИИРОВАНИЯ

2.1. Иницирующие взрывчатые вещества и средства инициирования

Иницирующие взрывчатые вещества преимущественно используют в средствах инициирования – капсюлях-детонаторах, электродетонаторах. К ним относятся гремучая ртуть, азид свинца, азид серебра, тенерес (табл. 5).

Таблица 5

Характеристики иницирующих веществ

Показатель	Первичные			Вторичные		
	Гремучая ртуть	Азид свинца	ТНРС	Тетрил	Тэн	Гексоген
Теплота взрыва, кДж/кг	1 700	1 590	1 740	4 500	5 900	5 500
Объем газов взрыва, л/кг	316	308	448	412	780	890
Температура взрыва, °С	4 450	4 300	3 030	3 810	4 000	3 850
Плотность, г/см ³	3,5	4,6	2,9	1	1	1,05
Кислородный баланс, %	-11,3	–	-56	-47	-10	-20
Скорость детонации, км/с	5,4	5,3	5,2	7,2	3,2	8,3
Температура вспышки, °С	165	327	270	195	220	203
Чувствительность к удару (высота падения груза массой 2 кг), см	2	4	11	30	30	30

Эти вещества называют *первичными иницирующими* или *первичными ВВ*.

2.1.1. Иницирующие взрывчатые вещества

Гремучая ртуть $Hg(CNO_2)$ – ртутная соль гремучей кислоты. Это мелкокристаллическое вещество белого или серого цвета; получается из металлической ртути путем обработки ее этиловым спиртом в азотной кислоте. Плотность кристаллов равна 4,42 кг/дм³, гравиметрическая плотность – 1,6 кг/дм³. Сухая гремучая ртуть чувствительна к огню и к механическим воздействиям. Температура вспышки (при этом происходит детонация)

160–165 °С. Скорость детонации гремучей ртути при плотности 3,3 кг/дм³ равна 5,4 км/с, чувствительность к удару – 2 см, работоспособность – 110 см³. При царапании или переламывании кристаллика возникает взрыв. Гигроскопичность гремучей ртути невелика, но при хранении под водой она впитывает до 30 % влаги. Влажная она не опасна в обращении: при влажности 30 % она не взрывается от огня и удара, но хорошо детонирует от взрыва заряда сухой гремучей ртути. В присутствии влаги гремучая ртуть способна взаимодействовать с некоторыми металлами, образуя весьма опасные взрывчатые соединения – фульминаты. Особенно легко она реагирует с алюминием (поэтому ее не помещают в алюминиевые гильзы). В гильзы детонаторов гремучую ртуть запрессовывают при давлении не более 25 МПа, плотность ее при этом достигает 3,3 кг/дм³. В случае превышения указанной плотности гремучая ртуть перестает детонировать от луча огня и дает отказы. Ввиду токсичности паров применяется только в качестве первичного ВВ в капсулах-детонаторах. Этим обеспечивается их высокая безопасность в обращении: гремучая ртуть хорошо прессуется и потому не вынимается из открытой гильзы [17].

Азид свинца PbN_6 – свинцовая соль азотисто-водородной кислоты HN_3 . Это мелкокристаллический порошок белого цвета. Плотность кристаллов 4,8 кг/дм³. Влага не боится и при содержании ее до 30 % не теряет взрывчатых свойств. Азид свинца менее чувствителен к огню и механическим воздействиям, чем гремучая ртуть. Температура вспышки (при этом происходит детонация) равна 330 °С, чувствительность к удару – 6 см, работоспособность – 115 см³. От огня азид свинца так же хорошо детонирует, как и от удара. В качестве инициирующего ВВ он лучше гремучей ртути. В детонаторах он прессуется до плотности 4,6 кг/дм³. Скорость детонации 5,3 км/с. В присутствии влаги и углекислоты азид свинца легко взаимодействует с медью, образует чувствительный азид оксидной меди; с железом взаимодействует плохо, а с алюминием не взаимодействует. В связи с этим детонаторы с азидом свинца изготавливают в алюминиевых, биметаллических или картонных гильзах, кроме медных.

ТНРС (тенерес) $C_6H(NO_2)_3O_2Pb \cdot H_2O$ – свинцовая соль стифниновой кислоты) – тринитрорезорцинат (стифнат) свинца. Это кристаллический порошок золотисто-желтого цвета. Плотность кристаллов 3,01 кг/дм³. Малорастворим в воде, малогигроскопичен. Физически и химически стоек. С металлами не взаимодействует. Температура вспышки 270 °С, работоспособность 110 см³, чувствительность к удару 11 см. Скорость детонации 5,2 км/с.

Тетрил $C_6H_2(NO_2)_3N(NO_2)CH_3$ – это мелкокристаллическое ВВ бледно-желтого цвета. Температура вспышки 190 °С, работоспособность 380 см³, бризантность 22 мм, чувствительность к удару 30 см. Скорость детонации

при плотности $1,65 \text{ кг/дм}^3$ равна $7,0\text{--}7,2 \text{ км/с}$. Тетрил очень восприимчив к детонации и хорошо передает ее другим ВВ. Практически не гигроскопичен, нерастворим в воде и обладает сравнительно высокой химической стойкостью. Однако он довольно энергично взаимодействует с аммиачной селитрой, выделяя теплоту. Эта смесь способна к самовоспламенению, и поэтому изготовление и применение таких смесей категорически запрещены. Тетрил – токсичное вещество. При работе с ним на заводах-изготовителях открытые части тела (руки, лицо) желтеют (желтизна держится в течение примерно двух недель). Относится к ВВ повышенной мощности, поэтому многие годы его применяли в качестве вторичного ВВ, спрессованного до $1,68 \text{ кг/дм}^3$ во всех детонаторах (гремучертутнотетриловые). В настоящее время его используют в основном для изготовления прессованных шашек – промежуточных детонаторов (допдетонаторов), при взрывании маловосприимчивых к детонации ВВ (водонаполненных гранулитов и др.).

Гексоген $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_3(\text{NO}_2)_3$ – это кристаллический порошок белого цвета. Температура вспышки $290 \text{ }^\circ\text{C}$, работоспособность 520 см^3 , бризантность 29 мм , чувствительность к удару 30 см . Скорость детонации при плотности $1,7 \text{ кг/дм}^3$ равна $8,3 \text{ км/с}$. Один из мощных однокомпонентных ВВ. Применяется во всех типах детонаторов как вторичное ВВ и в составе мощных аммиачно-селитренных ВВ. Кроме того, используется в сплавах с тротилом для изготовления шашек (ТГ-500), применяемых в качестве промежуточных детонаторов.

Тэн (тетранитропентаэритрит) $\text{C}_5\text{H}_8(\text{ONO}_2)_4$ – это кристаллический порошок белого цвета. Температура вспышки $220 \text{ }^\circ\text{C}$, работоспособность 500 см^3 , бризантность 25 мм , чувствительность к удару 30 см . В детонаторах тэн прессуется до плотности $1,62 \text{ кг/дм}^3$, влаги не боится. Скорость детонации $8,2\text{--}8,7 \text{ км/с}$. Применяется при изготовлении детонирующих шнуров, а также промежуточных детонаторов.

2.1.2. Капсюли-детонаторы и электродетонаторы

Капсюль-детонатор состоит (рис. 4) из металлической (медной, алюминиевой или биметаллической) гильзы 1 диаметром $6\text{--}7 \text{ мм}$ и длиной $47\text{--}51 \text{ мм}$, снаряженной двумя зарядами первичного 3, 4 и вторичного 5 ВВ, удерживаемых в гильзе чашечкой 2 (с отверстием и сеткой). *Заряд первичного ВВ* – это высокочувствительная гремучая ртуть или азид свинца с ТНРС (их в гильзе от $0,3$ до $0,5 \text{ г}$) [4, 10].

Заряд вторичного ВВ – это мощные ВВ типа тетрила или гексогена (их в гильзе $\approx 1 \text{ г}$). Для карьеров и шахт, не опасных по газу и пыли, рекомендованы капсюли-детонаторы типа КД-8С.

КД предназначен для инициирования зарядов промышленных ВВ огневым способом взрывания с помощью огнепроводного шнура, который вводится в верхнюю свободную часть гильзы КД и закрепляется там. От луча огня ОШ взрывается первичное, а затем вторичное ВВ. Этот взрывной импульс передается далее промежуточному детонатору – боевику и затем основному заряду промышленного ВВ, находящемуся в скважине, шпуре, камере и т. д. КД обладают высокой чувствительностью к трению, удару, сжатию и огню, поэтому с ними нужно обращаться с максимальной осторожностью.

Электродетонатор (рис. 5, 6) представляет собой КД с закрепленным в нем электровоспламенителем (ЭВ), состоящим из мостика накаливания (чаще всего нитрохромовая нить), на который нанесена воспламеняющаяся головка. Она дает луч огня при пропускании через мостик определенного электрического тока, и ЭД срабатывает. Далее картина процесса аналогична КД.

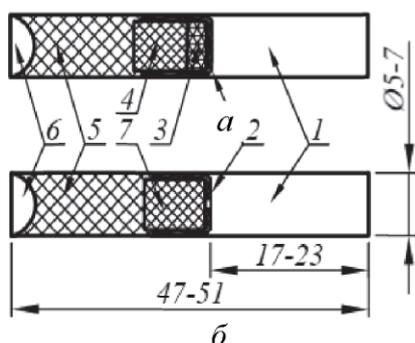


Рис. 4. Капсюли-детонаторы: *а* – азидотетриловый; *б* – гремучертуттетриловый; *1* – гильза; *2* – чашечка; *3* – ТНРС; *4* – азид свинца; *5* – тетрил; *6* – кумулятивное углубление; *7* – гремучая ртуть

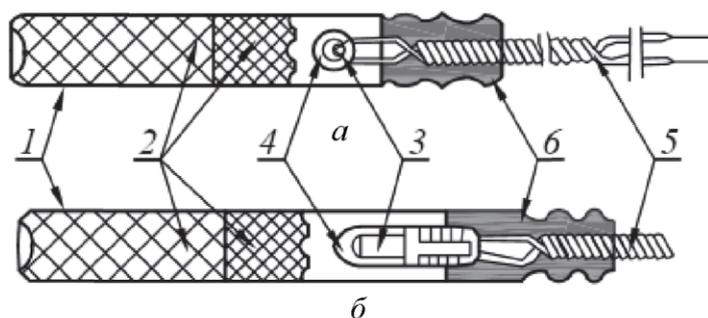


Рис. 5. Схема электродетонаторов мгновенного действия с эластичным (*а*) и жестким (*б*) креплением мостика накаливания; *1* – гильза; *2* – заряд детонатора; *3* – мостик; *4* – двухслойная воспламеняющаяся головка; *5* – выводные провода; *6* – пластиковая пробочка

ЭД различают по составу инициирующего ВВ, по времени срабатывания (мгновенного, короткозамедленного и замедленного действия (табл. 6)), по назначению (общего назначения, для сейсморазведки и др.), по способу закрепления мостика накаливания ЭВ (с эластичным (Э) и жестким (Ж) креплением), по условиям применения (непредохранительные и предохранительные для шахт, опасных по взрыву газа и пыли), по величине заряда (нормальные и повышенной мощности), по чувствительности к блуждающим токам и зарядам статического электричества (нормальной, пониженной и весьма низкой чувствительности, или грозоупорные).

Ведущими мировыми производителями электрических средств взрыва являются компании «Нитро Нобель» (Швеция), «Дюпон», «Атлас Паудер», «Остин Паудер», «Геркулес Инк», «Енсайн-Бикфорд» (США), «Ай-Си-Ай Нобель Иксплозивс» (Великобритания) и др. К наиболее распространенным типам взрыва в угольных шахтах относятся ЭД: «Акудет Марк V», «Тренчдет», «Геркулес Инк», «Мастердет», «Магнадет», «Магна» и др.

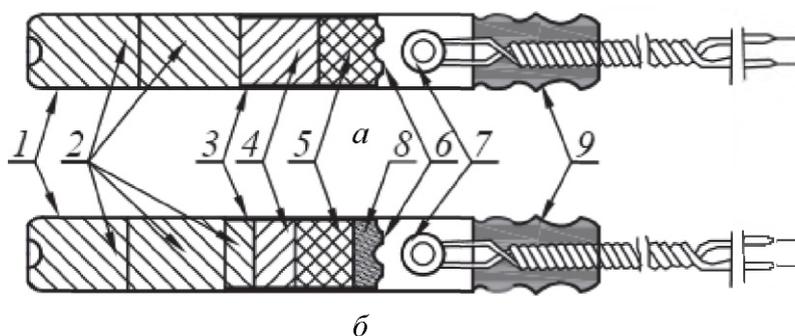


Рис. 6. Схема электродетонаторов короткозамедленного (а) действия (гремучертутные) и замедленного (б) действия (азидовый): 1 – гильза; 2 – бризантное ВВ (тэн); 3 – колпачок; 4 – гремучая ртуть (азид свинца); 5 – замедляющий состав; 6, 7 – электровоспламенитель; 8 – зажигательный состав; 9 – пластиковая пробочка

Таблица 6

Типы электродетонаторов и интервалы замедления

Электродетонаторы	Интервал замедления между сериями, мс	Замедление с максимальными отклонениями (время срабатывания), мс	Цвет окраски придонного участка гильзы
ЭД-8э	–	Мгновенное	Не окрашивается
ЭД-8ж	–	«	«
ЭДКЗ-ОП	–	4±2	«
ЭДКЗ-1ПМ	15	15±7	Черный
ЭДКЗ-2ПМ	15	30±7	Красный
ЭДКЗ-3ПМ	15	45±7	Не окрашивается
ЭДКЗ-4ПМ	15	60±7	Зеленый
ЭДКЗ-5ПМ	20	80±10	Желтый
ЭДКЗ-6ПМ	20	100±10	Белый
ЭДКЗ-7ПМ	20	120±10	Синий
ЭДКЗ-1П	25	25±7	Черный
ЭДКЗ-2П	25	50±7	Красный
ЭДКЗ-3П	25	75±110	Не окрашивается
ЭДКЗ-4П	25	100±10	Зеленый

Электродетонаторы	Интервал замедления между сериями, мс	Замедление с максимальными отклонениями (время срабатывания), мс	Цвет окраски придонного участка гильзы
ЭДКЗ-5П	25	125±10	Желтый
ЭДЗД-7	500	500 + (50–150)	«
ЭДЗД-8	250	750 + (125–150)	Розовый
ЭДЗД-9	250	1 000 + (300–75)	Оранжевый
ЭДЗД-10	500	1 500 + (350–150)	Голубой
ЭДЗД-11	500	2 000 + (600–100)	Светло-сиреневый
ЭДЗД-12	2 000	4 000±500	Белый
ЭДЗД-13	2 000	6 000±600	Черный
ЭДЗД-14	2 000	8 000±900	Зеленый
ЭДЗД-15	2 000	10 000 + (1 600–800)	Фиолетовый

Основными параметрами электродетонаторов являются:

- *сопротивление ЭД* – сумма электрического сопротивления мостика накаливания и выводных проводов в холодном состоянии;
- *безопасный ток* – максимальное значение (верхняя граница) постоянного тока, который не вызывает взрыв при неограниченном времени его прохождения через ЭД;
- *длительный воспламеняющий ток* – минимальное значение (нижняя граница) постоянного тока, который, протекая через ЭД за время более 1 мин, вызывает взрыв;
- *стомиллисекундный воспламеняющий ток* – значение постоянного тока, который, протекая через ЭД в течение 10 мс, вызывает его взрыв;
- *импульс воспламенения* – наименьшее значение импульса тока (постоянного), при котором происходит зажигание электровоспламенителя;
- *время передачи* – время от момента воспламенения электровоспламенителя ВВ до момента выхода луча огня из его головки, а для ЭД мгновенного действия – до его взрыва;
- *время срабатывания* – время от момента включения тока до момента взрыва ЭД;
- *гарантийный ток* – минимальный ток, который, проходя через последовательно включенные ЭД, вызывает в них воспламенение всех электровоспламенителей. Гарантийная величина переменного тока принимается равной 2,5 А. В случае использования постоянного тока его гарантийная величина должна быть не меньшей, чем удвоенное значение стомиллисекундного тока, и обычно принимается равной 1 А, однако при одновременном взрыве 200 ЭД это значение увеличивается до 1,3 А.

2.2. Электрический способ взрывания зарядов

Электрический способ взрывания зарядов применяется только в условиях, не опасных по блуждающим токам и токам электромагнитной индукции. Для производства взрывных работ обязательно наличие схемы и расчета *электровзрывной сети* (рис. 7), которая состоит из электродетонаторов, концевых (выводных), соединительных и магистральных проводов, источника тока. *Концевые (выводные) провода* являются элементом конструкции электродетонатора. *Магистральные провода* соединяют источник тока с соединительными или концевыми проводами (рис. 7).

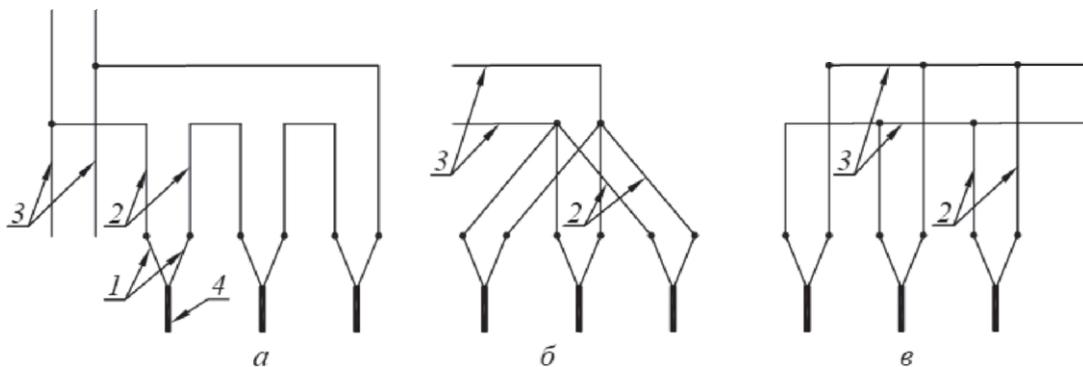


Рис. 7. Схема соединения электродетонаторов: *а* – последовательная; *б* – параллельно-пучковая; *в* – параллельно-ступенчатая; 1–3 – провода (1 – выводные ЭД; 2 – соединительные; 3 – магистральные); 4 – электродетонаторы

Соединительные – это провода, обеспечивающие соединение элементов электровзрывной сети по заданной схеме. В настоящее время наибольшее распространение получили провода ВП с медными жилами и полиэтиленовой оболочкой. Магистральные провода, согласно ГОСТ 6285–74, могут быть двух типов: ПВ-0,8 и ВП-0,7×2 с диаметром жил, соответственно, 0,8 и 0,7 мм. Соединительные провода могут быть того же типа, что и концевые.

Провода применяют одножильные, медные, биметаллические или стальные. Изоляция проводов бывает полихлорвиниловой, резиновой, хлопчатобумажной и т. д. Длина проводов от 1 до 4 м. Использование неизолированных проводов допускается при подвесе их на опорах с изоляторами.

Характеристика проводов, используемых на взрывных работах, приведена в табл. 7, 8.

Не рекомендуется применять в одной взрывной сети электродетонаторы разных партий изготовления и разных заводов-изготовителей. Исключение может составлять использование во взрывных сетях электродетонаторов мгновенного действия с электродетонаторами замедленного или короткозамедленного действия (табл. 9–11). В этих случаях мостики нака-

ливания электродетонаторов мгновенного действия и электродетонаторов замедленного или короткозамедленного действия должны быть из одного и того же материала, иметь тот же диаметр и одинаковое сопротивление (т. е. в одинаковых пределах).

Таблица 7

Характеристика проводов

Тип провода	Изоляция	Число		Площадь сечения жилы, мм ²	Сопротивление 1 км провода при 4–20 °С	Масса 1 км провода, кг
		жил	проволок в жиле			
ЭР	Резиновая	1	1	0,2	100	6,6
ЭВ	Полихлорвиниловая					3,1
ВМП						7,8
СПП-1	Резиновая в хлопчатобумажной оплетке	2	7	0,5	25	30
СПП-2	Резиновая					60

Таблица 8

Электрическое сопротивление проводов (при температуре 20 °С)

Сечение жилы провода, мм ²	Сопротивление провода, Ом/км		Сечение жилы провода, мм ²	Сопротивление провода, Ом/км	
	медного	алюминиевого		медного	алюминиевого
0,2	87,5	–	2,5	7,0	11,2
0,3	–	–	4,0	4,4	7,0
0,5	35,0	–	6,0	3,0	4,7
0,75	23,4	–	10,0	1,75	2,8
1,0	17,5	28,3	16,0	1,1	1,8
1,5	11,7	18,1	25,0	0,7	1,1

Таблица 9

Характеристика электродетонаторов мгновенного действия

Параметры	Марки электродетонаторов	
	ЭД-8-Э	ЭД-8-Ж
Материал мостика и его диаметр, мм	Нихром, $d = 0,03$	
Размеры ЭД, мм: наружный диаметр длина	7,2 50–60	
Сопротивление ЭД, Ом: с медными выводными проводниками длиной 24 м со стальными выводными проводниками длиной 2–4 м	2,0–4,2	1,6–3,8 2,9–9,6

Примечание. Время срабатывания электродетонаторов 2–5 мс.

Таблица 10

**Характеристика электродетонаторов
короткозамедленного и замедленного действия**

Параметры	Марки электродетонаторов		
	ЭД-КЗ	ЭД-КЗ-15	ЭД-ЗД
Материал мостика накаливания и его диаметр, мм	Нихром, $d = 0,03$		
Размеры ЭД, мм: наружный диаметр длина электродетонатора	7,2 72 72–90		
Время замедления, мс	25; 50; 75; 100; 150; 250	15; 30; 45; 60; 75; 90; 105; 120	0,5; 0,75; 1,0; 2; 4; 6; 8; 10;
Номера серий замедления	1–6	1Н–8Н	7–15
Время срабатывания, мс	2,0–4,2		До 12
Импульс воспламенения, мс·А ²	0,6–2,5		0,6–3,0

Примечание. Предельное сопротивление ЭД с медными выводными проводниками – 1,6–4,2 Ом, со стальными проводниками длиной 2–4 м – 2,9–9,5 Ом.

Таблица 11

Интервалы замедления ЭД

Тип ЭД	Число серий	Интервал замедления, мс
ЭД-1-ЗТ	1–10, 11–14, 15–18, 19–23, 24	2–200 (через 20 мс), 225–300 (через 25 мс), 350–500 (через 50 мс), 600–1 000 (через 100 мс), 1,5 с
ЗД-КЗ	1–6	25, 50, 75, 100, 150, 250
ЭД-ЗД	1–9	0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10 с
ЭД-ЗН	1–10, 11–14, 15–18, 19–23	20–200 (через 20 мс), 225–300 (через 25 мс) 350–500 (через 50 мс), 600–1 000 (через 100 мс)

Запрещается использовать в одной взрывной сети электродетонаторы отечественного и иностранного производства.

На открытых горных работах применяют следующие схемы соединения электродетонаторов во взрывной сети: *последовательную* (рис. 7, а), *параллельную* и *смешанную* (рис. 8). В параллельной, в свою очередь, различают пучковую схему (рис. 7, б), когда все концевые провода ЭД подсоединяются в двух точках, и ступенчатую (рис. 7, в), когда концевые провода подсоединяются к разным точкам участковых проводков, в смешанной – последовательно-параллельную (рис. 8, а, б) и параллельно-последовательную (рис. 8, в) схемы. В первых схемах электродетонаторы соединены в группы последовательно, а группы – параллельно, во вторых – соединение электродетонаторов в группах параллельное, а группы соединены последовательно. Для более надежного взрывания в крупные заряды (боевики) вводят по два электродетонатора, соединяемых последовательно или параллельно (рис. 8). Последовательное соединение ЭД отличается

простотой расчета и выполнения сети. Для его осуществления требуется источник тока минимальной мощности, но при отказе хотя бы одного ЭД нарушается вся сеть.

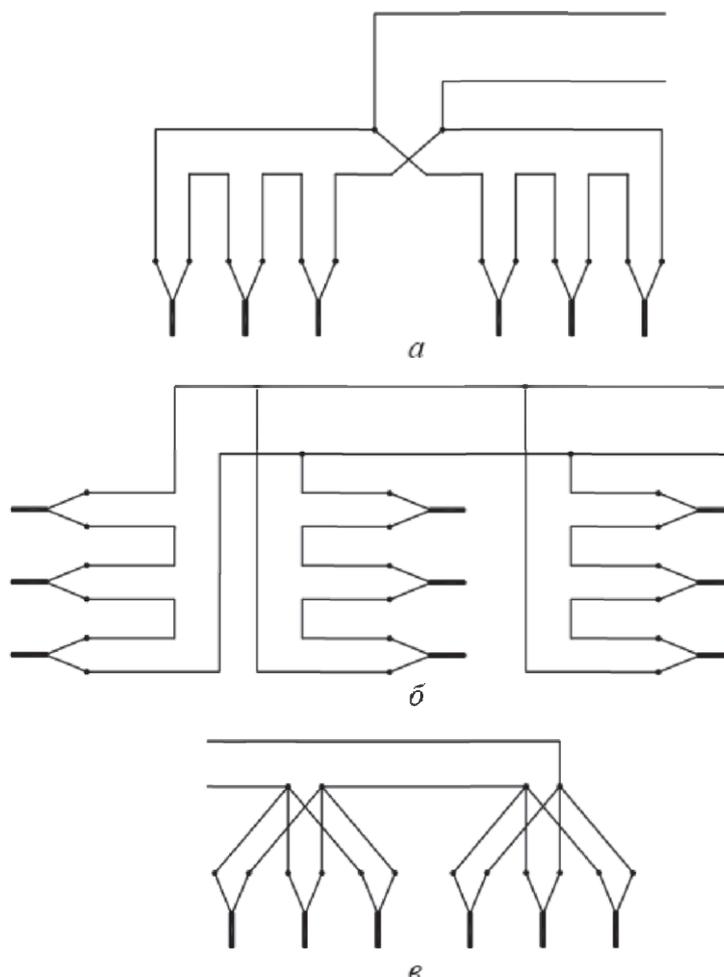


Рис. 8. Схема смешанного соединения электродетонаторов: *а, б* – последовательно-параллельная; *в* – параллельно-последовательная

При параллельном соединении достоинством является то, что наличие недоброкачественного ЭД не ведет к отказу сети; при нем можно безотказно взрывать большие количества различных по сопротивлению электродетонаторов. Вместе с тем параллельная схема требует больших расходов проводов и источников большого тока. Монтаж, расчет и проверка исправности таких схем значительно сложнее, чем при последовательном соединении. Последовательно-параллельное соединение применяется, когда надо взорвать большое количество ЭД от источника тока с недостаточным для последовательного соединения напряжением. Параллельно-последовательное соединение менее удобно и надежно и редко используется на практике.

Взрывную сеть составляют так, чтобы получить ток не меньше нормативного. Методика расчета и контроля электровзрывных сетей зависит от характеристики источника тока. При использовании электрических линий расчет сетей сводится к установлению тока, поступающего в ЭД. При взрывании с помощью конденсаторных взрывных машинок определяют сопротивление сети, которое должно соответствовать паспортным данным машинки.

Расчет сопротивления сети $R_{\text{общ}}$ с последовательным соединением ЭД (рис. 9, а) производят по формуле

$$R_{\text{общ}} = R_{\text{м}} + R_{\text{с}} + (R_{\text{к}} + R_{\text{ЭД}}) \cdot m_{\text{ЭД}}, \quad (14)$$

где $R_{\text{м}}$, $R_{\text{с}}$, $R_{\text{к}}$ – сопротивления, соответственно, магистральных, соединительных и концевых проводов, Ом; $R_{\text{ЭД}}$ – сопротивление одного электродетонатора, Ом; $m_{\text{ЭД}}$ – число электродетонаторов.

Сопротивление провода

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}, \quad (15)$$

где ρ – удельное сопротивление провода, для медного провода равно $0,0175 \text{ Ом}/(\text{мм}^2 \cdot \text{м}^{-1})$; l – длина провода, м; S – поперечное сечение провода, мм^2 .

Сила тока $I_{\text{ЭД}}$, поступающего в каждый ЭД при использовании силовой сети,

$$I_{\text{общ}} = I_{\text{ЭД}} = U/R_{\text{общ}}, \quad (16)$$

где U – напряжение сети, В.

При параллельно-ступенчатом соединении (рис. 8, в) общее сопротивление сети

$$R_{\text{общ}} = R_{\text{м}} + R_{\text{с}} + \frac{R_{\text{к}} + R_{\text{ЭД}}}{m_{\text{ЭД}}}. \quad (17)$$

Величина тока, поступающего в каждый ЭД,

$$I_{\text{ЭД}} = I_{\text{общ}}/m_{\text{ЭД}}. \quad (18)$$

При одноступенчатом параллельно-пучковом соединении (рис. 9) сопротивление сети, общая величина тока и величина тока, поступающего в каждый ЭД, определяются так же, как и при параллельно-ступенчатом соединении. При последовательно-параллельном соединении (рис. 9, а, б) сопротивление цепи

$$R_{\text{общ}} = R_{\text{м}} + \frac{\left[R_{\text{с}} + \frac{R_{\text{к}} + R_{\text{ЭД}}}{m_{\text{пс}}} \right]}{n_{\text{пр}}}, \quad (19)$$

где $m_{\text{пс}}$ – число электродетонаторов, последовательно соединенных в группе; $n_{\text{пр}}$ – число параллельно включенных групп.

Сила тока, поступающего к месту разветвления,

$$I_{\text{общ}} = U/R_{\text{общ}}. \quad (20)$$

Поступающий в каждый электродетонатор ток

$$I_{\text{ЭД}} = I_{\text{общ}}/n_{\text{пр}}. \quad (21)$$

При *параллельно-последовательном соединении* общее сопротивление определяют при равенстве сопротивлений последовательно соединенных групп по формуле

$$R_{\text{общ}} = R_{\text{м}} + R_{\text{с}} + n_{\text{пс}} \left[\frac{R_{\text{к}} + R_{\text{ЭД}}}{m_{\text{пр}}} \right], \quad (22)$$

где $n_{\text{пс}}$ – число последовательно соединенных групп; $m_{\text{пр}}$ – число ЭД, параллельно соединенных в группе. В случае применения в каждом заряде двух электродетонаторов общее сопротивление при последовательном соединении пар равно

$$R_{\text{общ}} = R_{\text{м}} + R_{\text{с}} + m_{\text{пс.п}} \cdot R_{\text{к}} + \frac{m_{\text{пс.п}} \cdot R_{\text{ЭД}}}{2}, \quad (23)$$

где $m_{\text{пс.п}}$ – число последовательно соединенных пар ЭД.

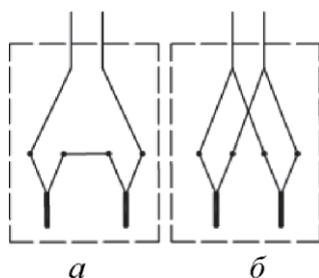


Рис. 9. Схема соединения двух электродетонаторов в одном патроне-боевике: а – парно-последовательное; б – парно-параллельное

Сила тока, проходящего через каждый ЭД,

$$I_{\text{ЭД}} = I_{\text{общ}}/m_{\text{пр}}; \quad (24)$$

или при парном включении

$$I_{\text{ЭД}} = I_{\text{общ}}/2. \quad (25)$$

Расчет электровзрывных сетей выполняют для обеспечения безотказного инициирования всех находящихся в сети ЭД.

2.3. Измерительные и контрольные приборы

На расходных складах взрывчатых материалов (ВМ) электродетонаторы перед выдачей мастеру-взрывнику должны проверяться на целостность мостика накаливания и соответствие сопротивления установленным

нормам и пределам, указанным на упаковочной таре (на картонных коробках). Кроме того, в условиях эксплуатации устанавливают целостность и сопротивление взрывной цепи. Для измерения сопротивления детонаторов и взрывных сетей применяют омметры мостикового типа, большинство из которых работают по принципу *омметра взрывных цепей ОВЦ-2* (диаметр прибора 52 мм, длина 155 мм, масса 0,425 кг), рис. 10. Он снят с производства как морально устаревший, но по-прежнему достаточно широко применяется в угольных шахтах. Внешний вид омметра взрывных цепей ОВЦ-2 приведен на рис. 10, *а*. Электрическая схема прибора (рис. 10, *б*) представляет собой простейшую линейную мостиковую схему для измерения сопротивлений, плечи которой образованы измерительным реохордом R_0 (вместе с постоянными сопротивлениями R_1 и R_2), постоянными сопротивлениями $R_3 = 10$ Ом и $R_4 = 90$ Ом и измеряемым сопротивлением R_x . Момент равновесия устанавливается по индикатору, включенному в диагональ моста [15].

Подвижной контакт измерительного реохорда жестко связан с лимбом, шкала которого градуирована от 1 до 50 Ом. Источник питания – батарея из двух аккумуляторов типа Д-02, напряжением 2,5 В и емкостью 0,2 А·ч. Предел измерений от 1 до 500 Ом: в первом диапазоне – от 1 до 50, во втором – от 10 до 500 Ом.

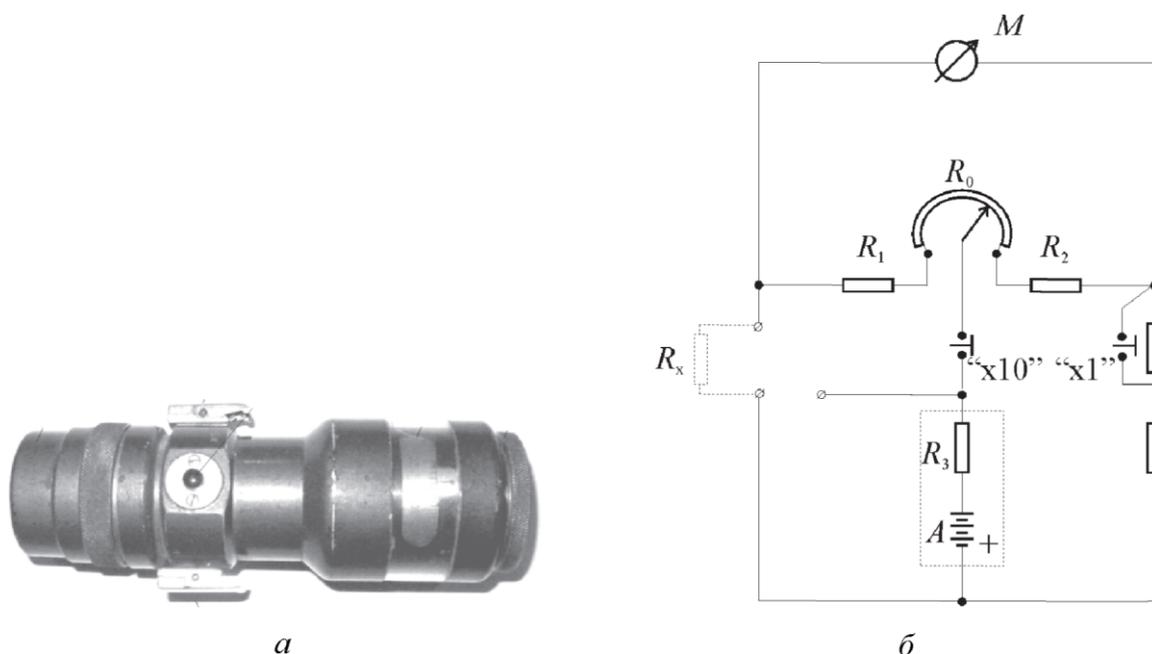


Рис. 10. Омметр ОВЦ-2: *а* – внешний вид; *б* – электрическая схема

Прибор выпускается в нормальном рудничном исполнении. При измерении сопротивлений от 10 до 500 Ом необходимо подключить к щипкам концы проводов от электровзрывной сети, после чего нажать

кнопку включения, обозначенную на корпусе и электрической схеме « $\times 10$ » (при этом включается питание), и поворотом кольца лимба совместить стрелку индикатора с нулевым штрихом шкалы, затем отпустить кнопку, прочесть показания на шкале лимба и отсчет умножить на 10. Это и будет искомое сопротивление. При измерении сопротивлений от 1 до 50 Ом следует нажать обе кнопки включения « $\times 1$ » и « $\times 10$ ». Нажатием кнопки « $\times 1$ » на плече с постоянными сопротивлениями R_3 и R_4 большее, т. е. сопротивление $R_4 = 90$ Ом будет шунтировано, а в цепи останется меньшее сопротивление $R_3 = 10$ Ом. Нажатием кнопки « $\times 10$ » включится питание. Затем поворотом кольца лимба надо совместить стрелку индикатора с нулевым штрихом шкалы, отпустить кнопки включения и прочесть показания на лимбе. Это и будет искомое сопротивление.



Рис. 11. Общий вид серийно выпускаемых приборов: *а* – мост переносной постоянного тока Р 3043; *б* – манометр с измерителем взрывной цепи ИМС-1; *в* – испытатель взрывной

Мост переносной Р 3043 (рис. 11, *а*) предназначен для измерения сопротивления электродетонаторов на расходном складе ВМ, а также измерения сопротивления взрывных цепей из укрытия в шахтах. В приборе использована схема одинарного моста постоянного тока. На внутренней крышке приведена схема моста и порядок работы по измерению сопротивления. Мост Р 3043 помещен в прямоугольный металлический корпус, масса его равна 1,6 кг.

Метанометр с измерителем взрывной цепи ИМС-1 (рис. 11, б) предназначен для периодического контроля содержания метана (до 3 %) в рудничной атмосфере и измерения сопротивления взрывной цепи (из укрытия) в шахтах, опасных по газу или разрабатывающих пласты, опасные по взрыву пыли. Определение концентрации метана основано на каталитическом его окислении и измерении выделившейся при этом теплоты с использованием точечных чувствительных низкотемпературных элементов и мостикового метода измерения. При измерении сопротивления взрывной цепи (от 0 до 20 Ом) используется принцип неуравновешенного моста, в одно плечо которого включается взрывная сеть. В верхней части прибора расположено заборное устройство с антенной и фильтром. С правой стороны корпуса прикреплен воздухопровод, с помощью которого через датчик прокачивается рудничный воздух. Имеется три последовательно соединенных герметичных никель-кадмиевых аккумулятора Д-0,55. Масса прибора 1,5 кг.

Испытатель взрывной светодиодный ВИС-1 предназначен для проверки предельного сопротивления взрывной цепи (до 320 Ом) и проводимости ее отдельных элементов при производстве взрывных работ, в том числе в условиях шахт, опасных по газу и разрабатывающих пласты, опасные по взрыву пыли. Масса прибора 0,3 кг, ток короткого замыкания на выходных клеммах не более 5 мА. Это единственный серийный прибор, которым можно пользоваться непосредственно в призабойном пространстве выработки. ВИС-1 состоит из пластмассового корпуса, крышки, электронного блока со светодиодным индикатором, блока питания, выключателя, двух выходных клемм. Исполнение рудничное особо взрывобезопасное. Для проверки исправности взрывной сети или ее элементов к клеммам испытателя подсоединяют зачищенные концы и включают. При целостности сети или ее элементов и сопротивлении не выше 320 Ом ($\pm 5\%$) загорается световой индикатор. Длительность нажатия кнопки не должна превышать 2–4 с. Погрешность контроля допустимого сопротивления 5 %, ток короткого замыкания на выводных клеммах не более 5 А, масса прибора 0,3 кг. В настоящее время разработаны новые образцы приборов с цифровой индикацией и автоматическим выбором пределов измерения (ХН-2570, ЖЗ-2460, DBR-12, PR-12).

Измеритель сопротивления взрывной цепи ХН-2570 предназначен для контроля взрывных цепей и отдельных детонаторов при ведении взрывных работ, в том числе в шахтах, опасных по газу и пыли. Выполнен в ударопрочном пластмассовом корпусе с антистатическим покрытием, имеет рудничное особо взрывобезопасное исполнение, обеспеченное защитой типа «Искробезопасная электрическая цепь». Диапазон измерений выбирается автоматически. На отдельных шахтах еще пользуются омметром Р-353, работающим по тому же принципу, что и ОВЦ-2, которым

можно измерять сопротивления как отдельных электродетонаторов, так и электровзрывных сетей. Пределы показаний, Ом: «Запал» – 0,2–50,0 «Линия» – 20–5 000; рабочая часть шкалы, Ом: «Запал» – 0,3–30,0 «Линия» – 30–3 000. Для проверки сопротивления электродетонаторов в шахтных расходных складах применяют уже снятые с производства омметры-классификаторы ОКЭД-1 и ОКЭД-2 с пределами измерения сопротивления 0,5–8,5 Ом. Приложив концы проводов детонатора к выводным контактам прибора, получают на его шкале отсчет сопротивления. Прибор позволяет очень быстро измерить сопротивление большого количества электродетонаторов и классифицировать их по сопротивлениям. Для проверки исправности взрывных приборов, применяемых в шахтах, опасных по газу или пыли, предназначен прибор контроля взрывных импульсов ПКВИ-3м, с помощью которого определяют ток и длительность импульса, посылаемого во взрывную цепь.

2.4. Источники тока для взрывания электродетонаторов

В качестве источников тока для взрывания электродетонаторов применяют конденсаторные взрывные приборы [5].

Конденсаторный взрывной прибор КВП-1/100м (рис. 12) предназначен для взрывания не более 100 электродетонаторов, соединенных последовательно, при общем сопротивлении взрывной цепи не более 320 Ом. Имеет взрывобезопасное исполнение. Принцип действия прибора (рис. 12, б) следующий. При повороте ключа влево в положение «Заряд» переключатель $П$ ставится в положение 5–6 и батарея $Б$ соединяется с преобразователем $ПП$ постоянного тока в переменный. Генерируемый переменный ток через повышающий трансформатор $Тр$ и схему удвоения напряжения тока, состоящую из двух селеновых выпрямителей $ВС$ и конденсатора удвоения напряжения $С_2$ (емкость 0,05 мкФ), идет на конденсатор-накопитель $С_2$ (емкость 10 мкФ). При достижении на последнем напряжения 600 В срабатывает разрядник $Л$, подавая на базу триода положительный импульс ($3 \text{ A}^2 \cdot \text{мс}$), срывающий генерацию тока. Благодаря этому напряжение на конденсаторе-накопителе стабилизируется. Одновременно загорается неоновая лампочка $НЛ$, сигнализирующая о готовности прибора к подаче тока во взрывную сеть. При повороте ключа вправо в положение «Взрыв» переключатель $ПП$ занимает на 2–4 мс положение 3–4, при котором конденсатор-накопитель включается во взрывную цепь (зажимы $КЛ$), а затем автоматически переходит в положение 1–2, при котором конденсатор-накопитель замыкается на разрядное сопротивление R_5 (1 кОм), снимающее остаточный заряд.

Источник питания прибора – батарея из трех элементов «Сатурн». При напряжении питания 4,8 В напряжение, стабилизируемое на конденсаторе-накопителе, не превысит 650 В, при 3,2 В – 600 В. Неоновая лампочка загорается при напряжении на конденсаторе-накопителе 590–620 В. Продолжительность заряжания прибора до 8 с, масса 2 кг.

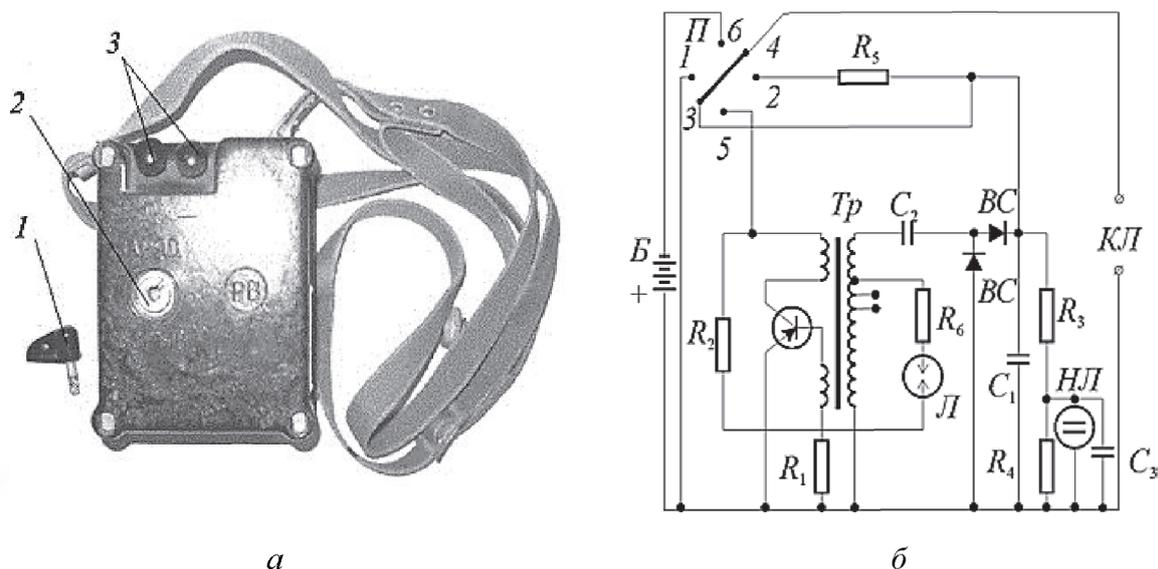


Рис. 12. Конденсаторный взрывной прибор КВП-1/100м: *а* – внешний вид; *б* – электрическая схема; 1 – съемный взрывной ключ; 2 – гнездо взрывного ключа; 3 – линейные зажимы

Конденсаторный взрывной прибор ПИВ-100м (рис. 13) отличается от прибора КВП-1/100м тем, что в его корпусе заключен еще и омметр мостикового типа для измерения сопротивления взрывной цепи. Омметр питается от элемента РЦ-75 (ОР-3) или РЦ-85 (ОР-4). Пределы шкалы омметра 0–400 Ом, цена деления 20 Ом, точность измерения 75–80 %. Для контроля взрывной цепи ее подключают к зажимам прибора и поворачивают рычаг по часовой стрелке до упора в положение *ИВЦ*. Измерение производят с места укрытия. После этого рычаг отводят в исходное положение и вставляют ключ в гнездо «заряд – взрыв». Ключ поворачивают против часовой стрелки и заряжают конденсатор-накопитель до загорания сигнальной лампочки. Затем резко поворачивают ключ по часовой стрелке и взрывают заряды. После взрыва ключ вынимают и гнездо закрывают пробкой.

Электрическая схема и питание взрывного прибора аналогичны принятым в приборе КВП-1/100м (см. рис. 12, *б*). Прибор взрывает до 100 электродетонаторов, соединенных последовательно, при сопротивлении взрывной цепи не более 320 Ом. Напряжение на конденсаторе-накопителе равно 600 В. Сигнальная лампочка устойчиво загорается при напряжении

580–610 В. Импульс тока $3 \text{ A}^2 \cdot \text{мс}$, продолжительность импульса 2–4 мс, масса 2,7 кг.



Рис. 13. Конденсаторный взрывной прибор ПИВ-100м: 1 – пробка для гнезда; 2 – омметр мостикового типа; 3 – линейные зажимы; 4 – гнездо взрывного ключа; 5 – съемный взрывной ключ

Устройство взрывное программируемое ЖЗ-2460 предназначено для автоматической выдачи импульса тока постоянной величины с целью инициирования электродетонаторов нормальной и пониженной чувствительности с предварительным непрерывным контролем сопротивления взрывной цепи в шахтах, опасных по газу и пыли в обводненных забоях.

Конденсаторные взрывные приборы DBR-12 и PR-12 (рис. 14, 15) предназначены для инициирования последовательно включенных электродетонаторов во всех выработках за исключением выработок в шахтах, опасных по выделению метана и пыли. Емкость конденсатора позволяет применять прибор для параллельного включения взрывной сети. Специфическая особенность при проходке вертикальных шахтных стволов – сильная обводненность забоев и связанные с этим большие утечки тока во взрывной сети. Надежным способом предотвращения отказов в подобных условиях является применение параллельно-ступенчатых схем соединения электродетонаторов.

Однако для взрывания ЭД, соединенных по таким схемам, требуются взрывные приборы с большой энергоемкостью источника электрического импульса. ВПС-1 – прибор, вырабатывающий достаточной силы импульс для ведения взрывных работ в вертикальных стволах шахт, опасных по газу или пыли. Его энергоемкость почти в 170 раз больше, чем энергоемкость взрывного прибора ПИВ-100м. Ток во взрывную сеть подается автоматически (при достижении в процессе зарядки конденсаторов заданного напряжения). Прибор имеет взрывобезопасное исполнение, снабжен устройством, контролирующим параметры электрического импульса на входе.

На открытых горных работах применяют *конденсаторные взрывные машинки* (КВМ) *КПМ-1А, КПМ-2 и ВМК-500*, масса их, соответственно, 2,3, 7,8 и 6,5 кг. От КПМ-1А можно взрывать до 100 электродетонаторов при сопротивлении сети до 300 Ом, от КПМ-2 – до 300 электродетонаторов при сопротивлении сети до 1 000 Ом. Они обеспечивают напряжение тока 1 500 В. От ВМК-500 можно взрывать до 800 электродетонаторов при сопротивлении сети до 2 000 Ом; напряжение – до 3 000 В.



Рис. 14. Конденсаторный взрывной прибор DBR-12

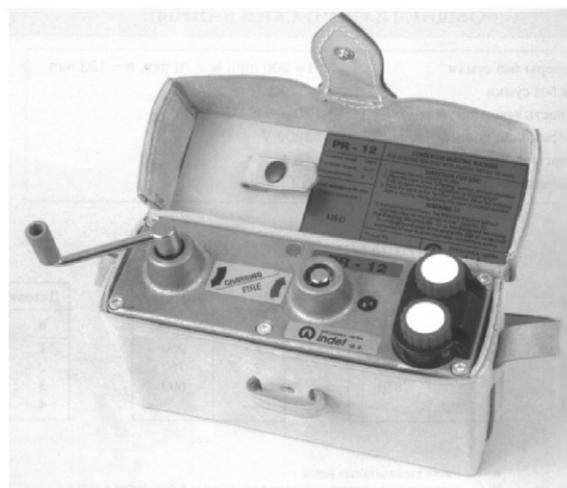


Рис. 15. Конденсаторный взрывной прибор PR-12

При использовании в качестве источника тока конденсаторных взрывных машинок имеются некоторые особенности подхода к оценке параметров электрических цепей. КВМ обеспечивают большую мощность импульса тока и позволяют применять для безотказного взрывания сети с параллельным и смешанным соединением ЭД. Однако предельно допустимое сопротивление взрывной сети в этом случае должно быть меньше допустимого для последовательной схемы. В связи с тем что точные расчеты для определения электрических параметров при использовании КВМ сложны, рекомендуется на практике пользоваться следующими приближенными формулами определения условий безотказности взрыва:

- для простых последовательных сетей

$$R_{\text{ис}} \leq R_{\text{пасп}}, \quad (26)$$

где $R_{\text{пасп}}$ – предельно допустимое сопротивление, указанное в паспорте машинки для последовательных сетей, Ом;

- для последовательных сетей с парно-параллельным включением ЭД

$$R_{\text{пр.парн}} = \frac{1}{4} R_{\text{пасп}}; \quad (27)$$

- для параллельно-пучковых сетей

$$R_{\text{пр.пучк}} = \frac{1}{n} R_{\text{пасп}}; \quad (28)$$

- для смешанных пучковых простых сетей и сетей с парно-последовательным включением ЭД

$$R_{\text{с.пучк}} = \frac{1}{n^2} R_{\text{пасп}}; \quad (29)$$

- для смешанных пучковых сетей с парно-параллельным включением ЭД

$$R_{\text{с.пучк}} = \frac{1}{4n^2} R_{\text{пасп}}; \quad (30)$$

где n – число параллельных ветвей.

Величина максимально возможного сопротивления сети зависит от числа параллельных ветвей и при одинаковом их сопротивлении вычисляется по формуле

$$R_{\text{пр}} = \frac{R_{\text{пред}}}{n^2} = \frac{600}{3^2} \approx 66 \text{ Ом} (\approx 25\text{--}30 \text{ зарядов}), \quad (31)$$

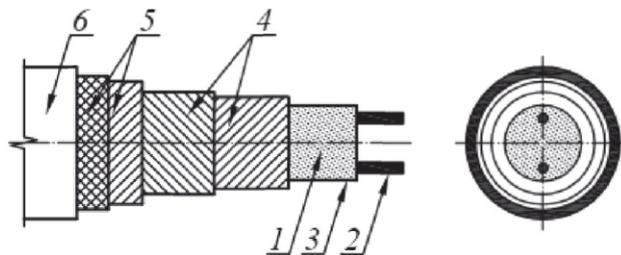
где $R_{\text{пр}}$ – максимально допустимое сопротивление параллельной (смешанной) сети; $R_{\text{пред}}$ – предельное допустимое сопротивление последовательной сети, указываемое в паспорте машинки, т. е. $R_{\text{пред}} = R_{\text{пр}}$; n – число параллельных групп. Например, машинка КПМ-3, в паспорте которой максимальное сопротивление взрывной сети при последовательном соединении ЭД обусловлено величиной $R_{\text{пред}} = R_{\text{пасп}} = 600 \text{ Ом}$, при трех ($n = 3$) параллельных группах ЭД может обеспечить взрыв электродетонаторов при максимальном сопротивлении сети 66 Ом.

Таким образом, всегда нужно определять сопротивление взрывной сети и сопоставлять расчетное сопротивление с предельно допустимым сопротивлением для КВМ данного типа с учетом параметров применяемых ЭД и принятой схемы электровзрывной сети. Отклонения между измеренным и расчетным сопротивлениями сети не должны превышать 10 % (по Единым правилам безопасности взрывных работ). Технология электрического инициирования зарядов ВВ включает выполнение следующих операций: изготовление патронов-боевиков, зарядание и забойку зарядов в скважинах или шпурах, выставление постов охраны, подачу звуковых сигналов (предупредительный, боевой, отбой), монтаж взрывной сети и проверку ее исправности, подсоединение источника тока к взрывной сети и взрыв, осмотр взорванной горной массы, ликвидацию отказов при наличии отказавших зарядов. Электродетонаторы должны быть проверены по заданной величине сопротивления. При электрическом инициировании зарядов необходимо строго соблюдать меры безопасности, предусмотренные Едиными правилами безопасности.

2.5. Детонирующий шнур и пиротехнические замедлители

Большие технологические возможности инициирования зарядов ВВ при ведении взрывных работ открывает применение *детонирующего шнура*. ДШ предназначен для передачи детонации от ЭД или КД к заряду ВВ или от заряда к заряду на нужное расстояние. Если сеть из ДШ имеет разветвления, то детонация передается по всем ветвям одновременно с одинаковой скоростью – 6,5 км/с. Сердцевина 1 детонирующего шнура (рис. 6) состоит из высокобризантного ВВ (тэна) с направляющими нитями 2 или без них и покрыта оплетками из льняных 4 и хлопчатобумажных 5 ниток. Для повышения водоустойчивости наружные оплетки ДШ покрывают воском или озокеритом. Для внешнего выделения ДШ в белые нити наружной оплетки добавляют две красные.

Рис. 16. Схема детонирующего шнура: 1 – взрывчатая сердцевина из тэна; 2 – направляющие нити; 3 – полиэтиленовая пленка; 4 – льняные оплетки; 5 – хлопчатобумажные оплетки; 6 – полихлорвиниловая оболочка



Все шнуры устойчиво детонируют от КД или ЭД до температуры +55 °С, а при охлаждении в течение 2 ч – до температуры –35 °С.

Для создания необходимых замедлений между взрывающимися зарядами используют *пиротехнические замедлители* детонирующего шнура – КЗДШ-69, предусматривающие замедления в 10, 20, 35, 50, 75, 100 мс.

Замедлитель предназначен для создания необходимых замедлений; его включают в разрыв нитки ДШ. Следует помнить, что детонацию замедлитель передает только в одном направлении, которое стрелкой показано на его корпусе.

В России выпускаются замедлители РП-8 двухстороннего типа с двумя детонаторами и замедлителями, развернутыми на 180°. Замедлитель удобно монтировать в разрыв сети ДШ с помощью полиэтиленовых зажимов, предусмотренных в конструкции РП-8. Из опыта взрывных работ, которые проводились в России, США, Швеции, Испании и других странах, детонирующие шнуры успешно применяются в следующих условиях:

- при потенциальной опасности возникновения блуждающих токов;
- одновременном инициировании групп зарядов ВВ без существенных замедлений в срабатывании отдельных зарядов;

- многорядном или многоярусном инициировании зарядов ВВ в глубоких скважинах большого диаметра;
- дублировании электрической системы инициирования в тяжелых условиях – в глубоких дорогих скважинах, пробуренных по трещиноватым породам;
- инициировании зарядов ВВ во время вторичного взрывания негабаритных кусков в рудоспусках и т. д.

Шнур для подводного взрывания (ДШВ) дополнительно покрывается полихлорвиниловой оболочкой. Все шнуры устойчиво детонируют от КД или ЭД до температуры 55 °С, а также при охлаждении до –35 °С в течение 2 ч. Плотность ВВ в ДША и ДШВ составляет 12–14 г/м. Диаметр шнура 5–6 мм.

Экструзионный (полимерный) шнур (ДШЭ) имеет оболочку из полиэтилена, армированного капроновыми нитями. Серийно выпускают шнуры ДШЭ-12 и ДШЭ-6 с навеской 12 и 6 г ВВ в 1 м. Надежность ДШЭ по водостойкости и безопасности взрывания в несколько раз выше, чем ДША. По заказам предприятий выпускают мощный ДШ этого типа с навеской ВВ 20, 40 г и более в 1 м шнура, предназначенный для инициирования низкочувствительных ВВ без применения промежуточных шашек-детонаторов по всей длине заряда. Для создания требуемых замедлений между взрываемыми зарядами используются пиротехнические замедлители ДШ типа КЗДШ-65, которые выпускают с замедлителями 10, 20, 35, 50, 75, 100, 125, 175 и 200 мс.

2.6. Огнепроводный шнур и средства его зажигания

Огнепроводный шнур предназначен для возбуждения взрыва КД горящей пороховой сердцевинной, а также воспламенения пороховых зарядов при отбойке штучного камня. Диаметр ОШ составляет 5,5 мм. Огнепроводный шнур (рис. 17) имеет пороховую сердцевину (спрессованный дымный порох с пластифицированными добавками), вокруг которой находятся слои оплетки и гидроизоляционные прослойки. Скорость горения менее 1 см/с (отрезок 0,6 м должен сгорать за 60–68 с).

Промышленностью выпускается *асфальтированный ОША* (для сухих и влажных забоев), *экструзивный ОШЭ* с полиэтиленовой оболочкой и *пластикатный ОШП* (для обводненных забоев). Цвет ОШ черный или желтый. Поджигать концы ОШ разрешается тлеющим фитилем, отрезком ОШ с надрезами или специальными патрончиками; спичкой – только при взрывании одиночного заряда. *Тлеющий фитиль* для поджигания ОШ имеет сердцевину из льняных или хлопчатобумажных нитей, пропитанных

раствором калиевой селитры и помещенных в наружную нитяную оплетку. Диаметр шнура фитиля 6–8 мм. Тлеет он со скоростью 1 см/мин. Выпускается отрезками по 50 м. *Зажигательный патрон ЗП-Б* (рис. 18) для зажигания пучка состоит из гильзы 1 (бумажная), на дне которой размещен поджигающий состав 2 в виде лепешки. В патрон вводится пучок 3 (10–37 отрезков) ОШ и закрепляется шпагатом или пояском 5. Одновременно в патрон вводится короткий (0,15–0,30) воспламеняющий отрезок шнура 4.

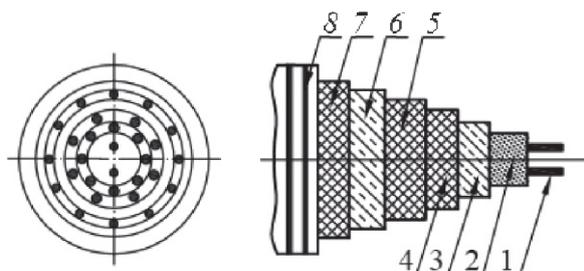


Рис. 17. Схема огнепроводного шнура: 1 – направляющие нити; 2 – пороховая сердцевина; 3, 6 – оплетки; 4, 7 – смолы; 5 – асфальт; 8 – наружная полихлорвиниловая, гуттаперчевая или асфальтовая оболочка

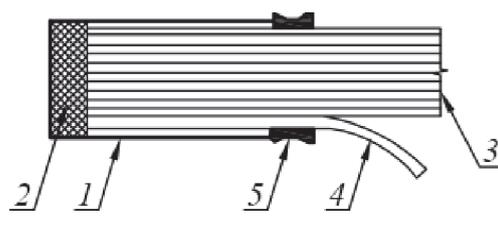


Рис. 18. Схема зажигательного патрона для группового зажигания отрезков огнепроводного шнура: 1 – гильза (патрончик); 2 – пороховая поджигающая лепешка; 3 – пучок отрезков ОШ; 4 – поджигающий отрезок ОШ; 5 – шпагат или пояска

Электрозажигательные патроны (трубки) по конструкции аналогичны зажигательному патрону ЗП-Б, но в донную часть их зажигательного состава вмонтирован электровоспламенитель. В зависимости от числа одновременно зажигаемых ОШ выпускают 5 типоразмеров электрозажигательных трубок:

Диаметр гильзы	20	23	30	35	40
Число зажигаемых шнуров	7	7–12	13–19	20–27	28–37

Выпускаются электрозажигатели ЭЗ-ОШ (рис. 19), предназначенные для дистанционного зажигания одного отрезка ОШ. Этот электрозажигатель подобен электровоспламенителю, применяемому в электродетонаторах (характеристики такие же, как у ЭД-8-Э и ЭД-8-Ж). ЭЗ-ОШ состоит из бумажной гильзы 1, двух стальных наружных втулок 4, электровоспламенителя 3, который представляет собой мостик накаливания, расположенный в воспламенительной головке 3, и введен в гильзу с помощью пластиковой пробки 2. Ток к мостику подается по проводам 5. Провода у ЭВ медные, длиной 1 м, сопротивление 1,6–3,5 Ом.

Минимальная длина шнура зажигательной трубки, м,

$$L_{\min} = (Nt + T) v, \quad (32)$$

где N – число шнуров, поджигаемых взрывником; t – время на зажигание одного шнура и переход к следующему, с; T – время отхода взрывника

от зарядов в безопасное место, с; v – скорость горения огнепроводного шнура, м/с.

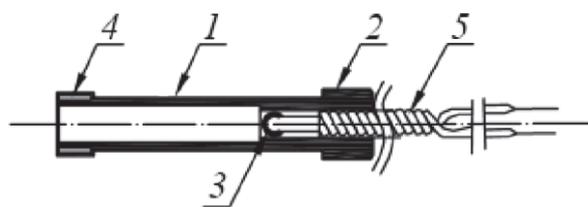


Рис. 19. Схема электрозажигателя огнепроводного шнура: 1 – гильза бумажная; 2 – пластиковая пробка; 3 – мостик накаливания с зажигательным составом; 4 – металлическая втулка; 5 – провод

Во всех случаях (за исключением работ по взрыванию льда, взрыванию в горячих массивах и при борьбе с лесными пожарами) длина зажигательной трубки должна быть не менее 1 м и отрезок огнепроводного шнура должен выступать из шнура не менее чем на 25 см. Зажигательные трубки длиной более 10 м применять запрещается. При длине трубки более 4 м необходимо использовать дублирующие зажигательные трубки. Все эти трубки должны поджигаться одновременно. При ведении работ на земной поверхности в случае зажигания пяти и более зажигательных трубок для контроля времени, затрачиваемого на зажигание, должна применяться контрольная трубка, изготовленная из капсюля-детонатора с бумажной гильзой. Контрольную трубку зажигают первой. Ее огнепроводный шнур должен быть не менее чем на 60 см короче шнуров используемых зажигательных трубок, но не короче 40 см.

На подземных работах (при проведении подготовительных выработок) для той же цели должен применяться контрольный отрезок огнепроводного шнура без капсюля-детонатора, используемый, как правило, для поджигания зажигательных трубок. В случае затухания контрольного отрезка взрывник обязан прекратить дальнейшее зажигание шнуров и удалиться в безопасное место. Контрольная трубка на земной поверхности должна помещаться на расстояние не менее 5 м от заряда, зажигаемого первым, но не на пути отхода взрывников в безопасное место.

При зажигании за один прием нескольких зажигательных трубок более чем одним взрывником должен быть назначен старший взрывник. В его обязанности входит зажигание контрольной трубки (контрольного отрезка), регулирование начала зажигания трубок, обеспечение своевременного отхода всех взрывников на безопасное расстояние или в укрытие и установление времени выхода взрывников из укрытия. Свои распоряжения старший взрывник подает голосом или сигналами, заранее установленными и известными взрывникам.

Средства электроогневого инициирования отличаются от средств огневого инициирования наличием устройства дистанционного поджигания шнура или электрозажигательного патрона. Осуществляется элек-

троогневое инициирование с помощью электрозажигательных средств индивидуального или группового поджигания.

Зажигательные и контрольные трубки должны изготавливаться в отдельном помещении здания подготовки ВМ (между ними и помещением подготовки ВВ должна находиться стена толщиной не менее 25 см из негорючего материала, оштукатуренная или покрытая негорючей краской), а в подземных складах – в камерах для изготовления зажигательных трубок.

Запрещается производить эту работу в помещениях для хранения или выдачи ВВ, в жилых помещениях и на месте взрывных работ. При разовых и эпизодических работах продолжительностью не более 6 мес. обновлять зажигательные и контрольные трубки разрешается в отдельных приспособленных помещениях, палатках или под навесом. Операции по изготовлению трубок должны выполняться на столах, имеющих бортики и обитых брезентом по мягкой прокладке или резиной толщиной не менее 3 мм. При работах передвижного характера (корчевка пней, дробление валунного камня, ледоходные работы и пр.) изготавливать зажигательные трубки разрешается под открытым небом за пределами опасной зоны и не ближе 25 м от места хранения ВВ.

При изготовлении зажигательных и контрольных трубок взрывник должен иметь острый нож, обжимы, цветную тесьму или ленту, шпагат или прочные нитки, рулетку, деревянную доску для резки шнура, а также инструмент для открывания ящичков с огнепроводным шнуром и капсулями-детонаторами. При изготовлении зажигательных или контрольных трубок от каждого круга огнепроводного шнура с обоих его концов должно быть отрезано по 5 см. Резать огнепроводный шнур разрешается острым инструментом – ножом, бритвой и т. п. Допускается одновременная резка нескольких ниток огнепроводного шнура, сложенных в пучок. Шнур для введения в капсулю-детонатор должен отрезаться перпендикулярно своей оси. При резке огнепроводного шнура на столе не должны находиться капсули-детонаторы, а при соединении шнуров с капсулями-детонаторами – режущие инструменты. В процессе резания огнепроводный шнур необходимо тщательно осматривать; участки шнура, где замечены утолщения или утонения, нарушения целостности оболочки, смятие и другие наружные недостатки, должны вырезаться. Для удобства изменения заданного отрезка огнепроводного шнура на бортик стола, оборудованного для изготовления зажигательных трубок, следует наносить мерные деления. Каждый капсулю-детонатор должен быть осмотрен на чистоту внутренней поверхности гильзы и отсутствие внутри нее каких-либо посторонних частиц; при наличии частиц последние удаляют путем осторожного постукивания открытым дульцем капсуля-детонатора о ноготь. Характеристики КД приведены в табл. 12.

Характеристика капсюлей-детонаторов

Тип КД	Название КД	Состав капсюля, г				Материал гильзы	Размер гильзы, мм	
		Первичное инициирующее ВВ			Вторичное инициирующее ВВ		Длина	Внешний диаметр
		Гремучая ртуть	Азид свинца	Тенерес				
КД-8Б	Азидотетриловый	–	0,1	0,1	1,0	Бумага	51	7,65
	Гремучертутно-тетриловый	0,5	–	–				
КД-8С	Азидотетриловый	–	0,1	0,1	1,0	Сталь, биометалл	51	7,2
	Гремучертутно-тетриловый	0,5	–	–				

Запрещается извлекать из гильзы капсюля-детонатора соринки введением в него каких-либо приспособлений, а также выдуванием.

Огнепроводный шнур должен вводиться в капсюль-детонатор до соприкосновения с чашечкой последнего прямым движением без вращения.

Закреплять капсюль-детонатор с огнепроводным шнуром разрешается:

- путем обжатия гильзы у дульца при помощи специального обжима, если гильза капсюля металлическая; при этом запрещается надавливать обжимом на то место капсюля-детонатора, где помещается взрывчатый состав;

- при помощи специальных приборов, допущенных Ростехнадзором, или путем обматывания конца огнепроводного шнура прорезиненной лентой (ниткой или бумажной лентой) с последующим прямым (без вращения) вводом его в дульце капсюля или путем затягивания ниткой или шпагатом дульца гильзы детонатора, если гильза капсюля бумажная. Место соединения капсюля-детонатора с огнепроводным шнуром при работах в сырых и обводненных условиях должно быть покрыто водоизолирующей мастикой, изоляционной лентой и т. п. Проверяемые на сопротивление электродетонаторы должны помещаться в металлическую трубку или за деревянным щитом толщиной не менее 10 см. Провода электродетонаторов после проверки их сопротивления должны быть замкнуты накоротко и в таком положении находиться до момента присоединения их к взрывной сети. При изготовлении зажигательных и контрольных трубок на столе у каждого взрывника должно быть не более 100 капсюлей-детонаторов и соответствующее количество огнепроводного шнура; при проверке электродетонаторов

тродетонаторов на сопротивление – не более 100 электродетонаторов. Изготовленные зажигательные трубки (табл. 13) должны сортироваться по длине и сворачиваться в круг, а контрольные – связываться в пачки шпагатом и укладываться на полку шириной не менее 40 см, имеющую бортики и расположенную выше плоскости стола на 0,50–0,75 м, или размещаться в отдельном шкафу. У контрольной трубки должен быть отличительный знак (перевязка тесьмой, шпагатом и т. п.).

Таблица 13

Характеристика зажигательных и электрозажигательных трубок (патронов)

Номер патрона	Тип патрона	Число вмещающихся отрезков ОШ	Внутренний диаметр, мм	Высота, мм
1	ЗП-Б1; ЭЗП-Б1	1–7	16	50–60
2	ЗП-Б2; ЭЗП-Б2	8–12	24	–
3	ЗП-Б3; ЭЗП-Б3	13–19	30	70–80
4	ЗП-Б4; ЭЗП-Б4	20–27	35	80–90
5	ЗП-Б5; ЭЗП-Б5	28–32	43	90–100

При изготовлении зажигательных и контрольных трубок одновременно несколькими взрывниками стол должен быть по всей ширине разделен между взрывниками деревянными щитками толщиной не менее 10 см. Высота щитков должна быть не менее 0,7 м.

Расстояние между щитками или щитком и краем стола должно быть не менее 1,5 м.

МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

3.1. Способы и средства взрывания зарядов взрывчатых веществ

Технологией взрывных работ называют совокупность технических приемов и организационных мероприятий, выполняемых с целью эффективного и безопасного использования энергии ВВ. Структура полного технологического комплекса производства взрывных работ определяется принятым методом и способом взрывания зарядов. В качестве средств инициирования используются капсули-детонаторы, электродетонаторы, огнепроводный и детонирующий шнуры [6, 11].

3.1.1. Технология и безопасность огневого и электроогневого взрывания

При огневом способе длина ОШ выбирается в зависимости от времени, необходимого взрывнику для ухода в укрытие. При этом используется *зажигательная трубка* (отрезок ОШ с капсулем-детонатором, помещенным в заряд) и *контрольная трубка* (той же конструкции, но не помещаемая в заряд, а предназначенная для предупреждения взрывника о необходимости немедленного ухода за пределы опасной зоны). Для зажигания зажигательной трубки применяются тлеющий фитиль, отрезок ОШ или специальные приспособления, например электрозажигатели. Зажигать трубку спичкой можно только при взрывании одиночного заряда (рис. 20).

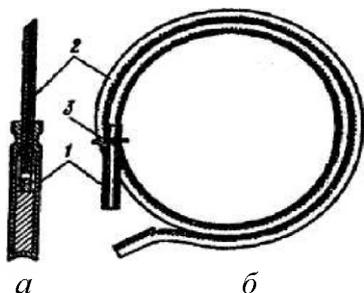


Рис. 20. Зажигательная трубка для одиночного взрывания: *а* – разрез; *б* – общий вид; *1* – капсуль-детонатор; *2* – отрезок огнепроводного шнура; *3* – надрез

При взрывных работах в рудниках длина каждой зажигательной трубки должна быть не менее 1 м и отрезок ОШ должен выступать из

шпура не менее чем на 25 см. При последовательном зажигании нескольких зажигательных трубок длина ОШ в них должна рассчитываться так, чтобы после зажигания первой трубки хватало времени на поджигание остальных и на отход взрывника в укрытие. При зажигании за один прием нескольких зажигательных трубок двумя и более взрывниками назначается старший взрывник, зажигающий контрольную трубку. Старший взрывник контролирует время зажигания всех трубок, отход взрывников в укрытие, устанавливает время выхода из него. На карьерах при зажигании пяти и более зажигательных трубок применяется контрольная трубка с КД с бумажной гильзой, которая зажигается первой и должна быть не менее чем на 60 см короче самого короткого шнура зажигательной трубки. При этом минимальная длина ОШ контрольной трубки 40 см. На подземных горных работах капсуль-детонатор в контрольных трубках не применяется, а контроль осуществляется контрольным отрезком огнепроводного шнура.

Один взрывник за один прием может зажигать не более 16 шнуров. Если же надо поджигать более 16 шнуров ОШ, используются зажигательные патроны, число которых в забое не должно быть более шести. При ширине выработки более 5 м шнуры могут поджигать одновременно два взрывника, старший из них зажигает контрольный отрезок ОШ и руководит работами. После окончания зажигания зажигательной трубки или после взрыва контрольной трубки (под землей – после затухания контрольного отрезка ОШ) все взрывники немедленно удаляются в укрытие. На дневной поверхности контрольные трубки располагают в укрытом месте на расстоянии не менее 5 м от заряда, зажигаемого первым в стороне от пути отхода взрывника.

Патроны-боевики готовят в забое непосредственно перед заряданием и только в необходимом для данной серии количестве (рис. 21). *Патроном-боевиком* называют патрон ВВ, снаряженный зажигательной трубкой или ЭД. Установка боевиков в шпуре производится с помощью деревянного забойника.

Зажигательные трубки изготавливают на обитых поверху брезентом, войлоком или резиной (толщиной не менее 3 мм) столах с бортиками. При наличии на столе нескольких рабочих мест их разделяют деревянными перегородками (толщина 10 см) высотой не менее 0,7 м. При этом минимальное расстояние между перегородками – 1,5 м. На рабочем месте при изготовлении зажигательных трубок каждый взрывник может иметь до 100 КД. Все зажигательные трубки сортируются по длине и связываются в пачки шпагатом. Контрольные трубки должны иметь отличительный знак (например, красную ленту). Перед вводом ОШ в КД последний тщательно осматривают и, постукивая дульцем о ноготь, очищают от возможных соринки внутри, после чего прямым движением (без вращения) вставляют

ОШ до упора. Дульце гильзы КД (14–16 мм) обжимают вокруг ОШ специальными щипцами либо с помощью обжимающих устройств с одновременным маркированием. Зажигательная трубка может иметь максимальную длину 9,9 м. Если зажигательная трубка имеет длину более 4 м, ее дублируют и обе трубки зажигают одновременно.

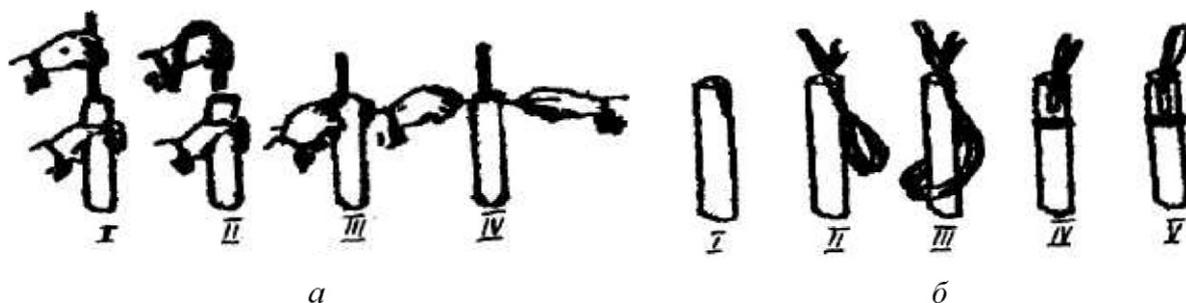


Рис. 21. Изготовление патрона-боевика: а – при огневом; б – при электрическом взрывании; I–V – последовательность выполнения операций

Огневой и электроогневой способы взрывания запрещены в категорийных шахтах, в вертикальных, наклонных (более 30°) выработках, а также при невозможности или больших трудностях отхода взрывника в укрытие.

Для взрывания в сырых и обводненных условиях используется специальный огнепроводный шнур с дважды асфальтированной оплеткой (ОШДА) или с пластиковым покрытием. В обводненных шпурах и скважинах зажигательные трубки с этими шнурами должны находиться не более 4 ч. Таким образом, **огневое взрывание** представляет собой комплекс операций по подготовке и проведению взрыва зарядов:

- 1) изготовление зажигательных и контрольных трубок;
- 2) изготовление патронов-боевиков;
- 3) зарядание и забойка (либо укладка зарядов);
- 4) зажигание отрезков ОШ;
- 5) осмотр места взрывания;
- 6) подача установленных сигналов.

Достоинствами огневого взрывания являются простота, дешевизна, отсутствие коммутационной сети.

Недостатки: разброс времени срабатывания отдельных зарядов, низкая водостойчивость, невозможность контроля качества подготовки взрыва, повышенная опасность, большие выделения ядовитых газов, возможность повреждения соседних зарядов от взрыва.

Электроогневое инициирование применяют вместо огневого способа в том случае, когда своевременный отход взрывников в укрытие затруднен по каким-либо причинам. Поджигание отрезков ОШ осуществляется

взрывником из безопасного места подачи электрического тока в электрозажигательное устройство, закрепленное на конце ОШ.

При электроогневом взрывании выполняются следующие операции:

- 1) изготовление зажигательных трубок и патронов-боевиков;
- 2) зарядание и забойка;
- 3) соединение зажигательных трубок со средствами электровоспламенения;
- 4) монтаж электровоспламенительной сети;
- 5) взрывание и осмотр;
- 6) подача установленных сигналов.

Способ обладает достоинствами и недостатками огневого, но менее опасен.

Электрозажигательный патрон ЭЗ-ОШ-Б (рис. 22, а) состоит из бумажной гильзы с воспламенительной смесью и электрозажигателя. Электрозажигательный патрон ЭЗП-Б (рис. 22, б) предназначен для зажигания нескольких отрезков ОШ в сухих и увлажненных условиях. Отрезки ОШ вводят в патрон и закрепляют путем обжима резиновым кольцом на гильзе патрона.

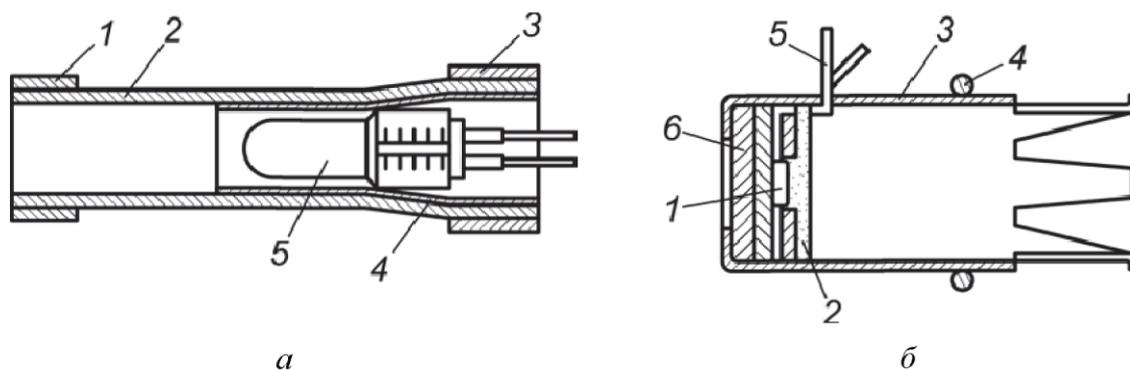


Рис. 22. Конструкции электрозажигательных патронов: а – патрон ЭЗ-ОШ-Б: 1, 3 – обжимные металлические втулки; 2 – бумажная (металлическая) гильза; 4 – бумажная втулка; 5 – электровоспламенитель; б – патрон ЭЗП-Б: 1 – электровоспламенитель; 2 – зажигательный состав; 3 – бумажная гильза с вырезами; 4 – резиновое кольцо; 5 – выводные провода; 6 – вставное дно гильзы

Во время использования электрозажигательных патронов концы непроводящих шнуров следует подрезать для создания необходимых интервалов между взрывающимися зарядами. Минимальная длина ОШ должна быть не менее 25 см. Электроогневое взрывание должно проводиться с учетом соответствующих требований Единых правил безопасности при взрывных работах. Электроогневому взрыванию шпуровых зарядов присущи те же недостатки, что и огневому взрыванию.

3.1.2. Технология и безопасность электрического взрывания

Электрический способ взрывания наиболее распространен на рудниках, поскольку обладает рядом достоинств: сравнительно высокой безопасностью, так как после подачи боевого сигнала все последующие операции производятся из укрытия; возможностью применения в любых условиях, при любых углах наклона выработки, в том числе при проходке вертикальных выработок; возможностью взрывать любое число зарядов в заданной последовательности; высокой надежностью, поскольку ЭД проверяются предварительно, а электровзрывная сеть перед взрывом обязательно контролируется на исправность. Среди недостатков можно отметить необходимость выполнения предварительных расчетов и повышенные затраты времени на монтаж взрывной сети, обеспечения взрывников приборами взрывания и контроля электровзрывной сети, принятия дополнительных мер безопасности в пределах опасной зоны – отключение электроэнергии для предотвращения взрывов ЭД от блуждающих токов.

Технология электрического способа предусматривает следующие основные операции и приемы:

- 1) подачу предупредительного сигнала;
- 2) проверку исправности ЭД и группирование их по сопротивлению;
- 3) подбор и расчет электросхемы соединения взрывной сети;
- 4) изготовление патронов-боевиков;
- 5) зарядание и забойку шпуров (скважин);
- 6) монтаж электровзрывной сети;
- 7) контроль исправности электровзрывной сети и соответствия электросопротивления рассчитанным величинам;
- 8) подачу боевого сигнала;
- 9) взрывание;
- 10) осмотр места взрывания;
- 11) подачу сигнала «отбой».

Проверка ЭД и группирование их по сопротивлению осуществляются с целью обеспечения безопасности взрывания зарядов. Для проверки ЭД на расходных складах ВМ оборудуется специальное помещение. Детонатор перед проверкой помещают в стальную трубу или размещают за деревянным щитом толщиной не менее 10 см. Сразу же после проверки провода ЭД должны быть накоротко замкнуты и в таком положении находиться все время до момента присоединения их к взрывной сети. Для проверки ЭД и контроля исправности электросетей и их сопротивления можно применять только те приборы, которые допущены для этого Ростехнадзором и дают в цепь ток не более 50 мА. Эти электроизмерительные и электроиспытательные приборы должны проверяться в сроки, установленные техническим паспортом, но не реже одного раза в квартал и после каждой смены

батарей. При группировании ЭД по величине сопротивления разброс сопротивления в группе не должен превышать 0,5 Ом.

При электрическом способе изготовления патронов-боевиков осуществляется непосредственно в забое и отличается от изготовления патронов-боевиков при огневом способе только типом инициатора (ЭД вместо КД). При электровзрывании разрешается прокалывать торец патрона иглой из материала, не дающего искры, не разворачивая бумажную оболочку, и осуществлять крепление ЭД накидыванием петли концевых проводов на патрон ВВ. При зарядании шнура необходимо размотать концевые провода, вставить боевик в устье шнура, одной рукой придерживать провода, а другой – с помощью деревянного забойника досылать патрон в шпур до упора. Монтаж электровзрывной сети выполняют только в направлении от заряда к источнику тока. Перед монтажом сети все электроустановки и линии электропередачи в пределах опасной зоны должны быть отключены, кроме осветительных линий напряжением не более 36 В.

При монтаже необходимо соблюдать следующие требования:

1. Электровзрывная сеть должна быть только двухпроводной.
2. Концы проводов перед соединением надо тщательно зачистить, затем плотно окрутить (либо соединить с помощью специальных зажимов) и изолировать.

3. Каждый из участков электровзрывной сети перед монтажом должен быть замкнут накоротко с обеих сторон. В процессе монтажа выполняют последовательное размыкание концов участков, соединительных и магистральных проводов и соединение их с проводами уже смонтированного участка сети.

4. Присоединение смонтированной сети к магистральным проводам допускается после завершения зарядания и забойки всех зарядов серии, при этом не занятые монтажом люди должны находиться в укрытии либо за пределами опасной зоны.

5. Наиболее удаленные концы магистрального провода должны быть замкнуты накоротко вплоть до момента подключения их к взрывной машинке. Последнее производят только в укрытии.

Контроль сети и проверка ее электросопротивления выполняются непосредственно в укрытии после удаления за пределы опасной зоны или в укрытие всех без исключения людей. Применяются только допущенные Ростехнадзором приборы после соответствующей проверки. Проверяют исправность электровзрывной сети омметром марки ОК типа М-57Д либо взрывным испытателем, имеющим в качестве источника тока пьезоэлемент, сигнал от которого подается на неоновую лампочку, если в цепи нет разрыва. Продолжительность контакта сети с прибором не должна превышать 4 с. Электровзрывную сеть необходимо проверять на соответствие факти-

ческого электросопротивления расчетному. Расхождение сопротивлений не должно превышать 10 %, в противном случае нужно проверить качество электроконтактов всех соединений сети.

Несмотря на высокую надежность электрического способа взрывания, во избежание отказа необходимо строжайшее соблюдение всех установленных правил. В наиболее ответственных случаях (особо крупных массовых взрывах) электровзрывную сеть дублируют, при этом каждая из сетей маркируется. Взрывают только после проверки исправности сети и ее сопротивления. В связи с этим до момента подключения взрывной сети к клеммам машинки или взрывной станции ключ от станции (рукоятка индуктора машинки) должен находиться у старшего взрывника.

После взрыва выполняются следующие приемы: отключается электровзрывная сеть от прибора взрывания и концы магистральных проводов накоротко замыкаются; проверяется место взрывания, причем ключ от взрывного прибора (ручка машинки) должен при этом быть у взрывника. Эти же приемы выполняются при отказе (взрыва не произошло). Подходить к месту взрывания разрешается не менее чем через 10 мин, но не раньше расчетного времени, необходимого для проветривания забоя после взрыва.

Стабильность и устойчивость параметров процесса взрывания во многом определяют безопасное производство взрывных работ. На стабильность и устойчивость параметров влияют качество и свойства ВВ и средств инициирования, соблюдение заданного интервала замедления; соблюдение заданной очередности взрывания, качество заряжания и забойки, правильность монтажа взрывной сети, соблюдение условий обеспечения безотказного взрывания (при электрическом способе). Качество и свойства взрывчатых материалов оцениваются на складе по специальным методикам. При электрическом способе взрывания и взрывании детонирующим шнуром можно выполнить мгновенное взрывание, короткозамедленное с использованием специальных устройств электродетонаторов короткозамедленного действия (ЭДКЗ и детонационных реле соответственно), а также замедленное – с использованием электродетонаторов замедленного действия. Заданная очередность взрывания при огневом способе обеспечивается очередностью поджигания концов огнепроводных шнуров или соответствующим регулированием длины зажигательных трубок. При электрическом способе взрывания необходим подбор электродетонаторов по интервалу срабатывания, а при бескапсюльном взрывании – соответствующий выбор детонационных реле и схемы их включения. При инициировании взрыва переменным током, осуществляемым от взрывной станции, учитывают импульсы воспламенения наименее чувствительного и наиболее чувствительного электродетонаторов, которые составляют

обычно 2,5 и 0,6 А²·мс соответственно. Для промышленной частоты (50 Гц) безотказный переменный ток равен 8,4 А. При использовании конденсаторных взрывных машинок безотказное электровзрывание обеспечивается соблюдением трех обязательных условий [1].

1. Импульс тока, посылаемого во взрывную сеть, должен превышать импульс воспламенения наименее чувствительного электродетонатора в сети, учитываемого при расчете сопротивления, Ом:

$$R_{\text{общ}} = \frac{U^2 \cdot C}{2K_{\text{min}}}, \quad (33)$$

где U – напряжение на клеммах машинки, В; C – суммарная емкость конденсаторов машинки, мкФ (определяется по паспорту машинки); K_{min} – импульс воспламенения, А²·мс;

2. До момента разрушения мостика накаливания наиболее чувствительного электродетонатора (т. е. до разрыва электровзрывной сети) в сеть должен быть подан импульс тока, превышающий импульс воспламенения наименее чувствительного электродетонатора в сети:

$$U^2 \cdot C > 2K_{\text{min}} \cdot R_{\text{общ}}. \quad (34)$$

3. Взрывная сеть должна получить достаточный импульс при величине тока, не меньшей, чем величина длительного воспламеняющего тока:

$$t_{b \text{ max}} \leq t_{\text{дл}}. \quad (35)$$

Это условие выполняется, если время подачи взрывного импульса в сеть будет не меньше 4 мс.

3.1.3. Технология и безопасность взрывания детонирующим шнуром

Взрывание детонирующим шнуром камерных, скважинных, шпуровых и накладных зарядов широко применяют на открытых и подземных горных работах. При взрывании детонирующим шнуром детонация заряда ВВ возбуждается взрывом отрезка ДШ, непосредственно расположенного в заряде и инициируемого детонатором любого типа. Отрезок ДШ в заряде получает инициирующий импульс через взрывную сеть из ДШ или непосредственно от КД, присоединяемого к ДШ у устья скважины. При этом способе детонатор в заряде не размещается, поэтому способ называют бескапсюльным. Широкое использование этого способа обусловлено следующими причинами:

- сравнительной простотой и безопасностью производства взрывных работ;

- возможностью одновременно взрывать большое число зарядов любой конструкции в сухих и обводненных условиях;
- безопасностью применения по отношению к блуждающим токам.

Взрывание детонирующим шнуром не требует использования мощных источников тока, приборов контроля. ДШ можно применять для мгновенного, замедленного и короткозамедленного взрывания зарядов любой конструкции. Если применяются ДШ в пластиковой оболочке, взрывание можно проводить под водой, в агрессивных средах, при температуре окружающего воздуха от -50 до $+220$ °С.

Основные недостатки способа: невозможность дистанционной проверки исправности сети, высокая стоимость, необходимость использования огневого или электрического взрывания для инициирования магистрального ДШ.

Взрывание детонирующим шнуром широко применяют при ликвидации отказов. При взрывании детонирующим шнуром используют последовательную, параллельно-ступенчатую и пучковую схемы соединения взрывных сетей. При мгновенном взрывании взрывная сеть состоит из магистрального ДШ, отрезков ДШ, идущих к зарядам, и детонатора, присоединенного к магистральному ДШ в точке инициирования. Нарезка ДШ на отрезки необходимой длины выполняется до монтажа взрывной сети. Шнур, введенный в заряд, резать запрещается. Соединения отрезков ДШ называют сrostками. Сrostки внакладку выполняют на длине не менее 10 см, соблюдая направление детонации. Широкое применение нашли также специальные полимерные соединители, не требующие обвязки сrostков шпагатом или изоляционной лентой. Сращиваемые отрезки ДШ в этом случае плотно стягиваются в соединителе (рис. 23).

При пересечении шнуров между ними помещается прокладка из грунта (дерева) не тоньше 10 см. При температуре более $+30$ °С сети из ДШ-А и ДШ-Б защищают от воздействия прямых солнечных лучей. При взрывании скважинных и камерных зарядов сети ДШ дублируют. Основную и дублирующую нити ДШ взрывают от одного детонатора.

Технология взрывания с помощью ДШ предусматривает следующие основные операции и приемы:

- 1) разрезку шнура на отрезки для изготовления патронов-боевиков;
- 2) изготовление патронов-боевиков;
- 3) подачу предупредительного сигнала, зарядание и забойку зарядов;
- 4) выполнение монтажа сети ДШ;
- 5) подачу боевого сигнала, присоединение к магистрали КЗДШ (РП-8), КД или ЭД и взрывание;
- 6) осмотр забоя после взрыва;
- 7) ликвидацию отказов при наличии и подачу сигнала «отбой».

Отрезки ДШ между собой соединяют внакладку или внакрутку на длине не менее 100 мм. Шнуры закрепляют изоляционной лентой, шпагатом или скотчем. Наиболее надежным способом наращивания ДШ является их связывание морским узлом или петлей.

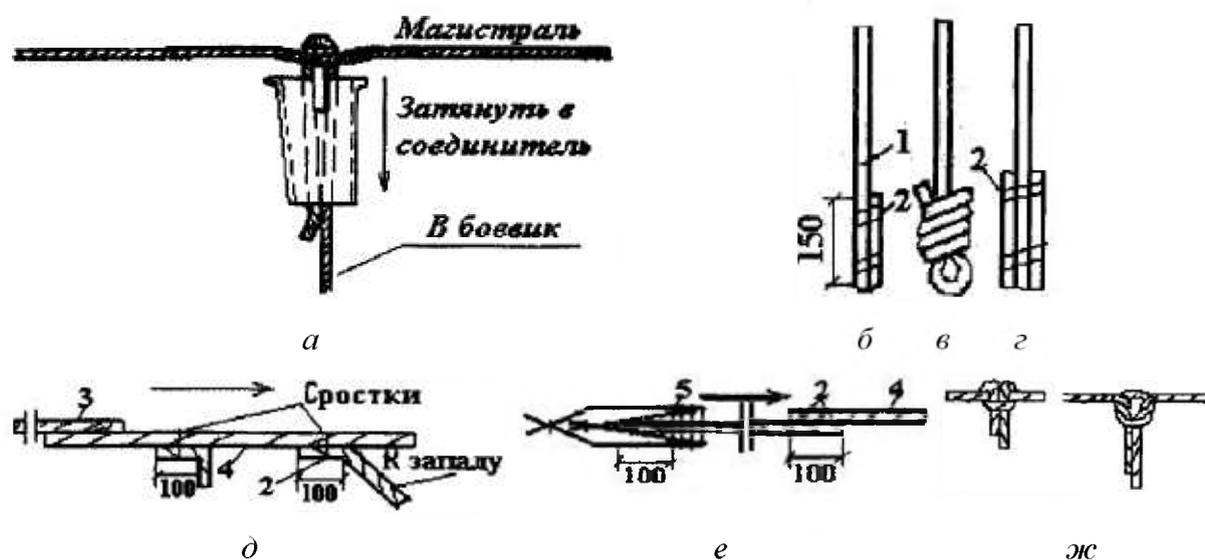


Рис. 23. Конструкции детонационных узлов ДШ и способы его соединения: *а* – сращивание ДШ специальным соединителем; *б–г* – конструкции детонационных узлов (боевиков из ДШ); *д, е* – конструкции соединительных узлов и сростков; *ж* – виды узловых сростков; *1* – отрезок ДШ; *2* – шпагат; *3* – зажигательная трубка; *4* – магистраль ДШ; *5* – ЭД

При глубине выработок (скважин) свыше 15 м обязательно дублирование сети ДШ; при этом сдвоенные нити прокладывают так, чтобы они соприкасались на возможно большем протяжении.

Взрывание основной и дублирующей сетей должно производиться одновременно от одного или нескольких детонаторов, связанных вместе.

Детонирующий шнур, соединяющий один или несколько зарядов, может инициироваться как от магистральной нити ДШ, так и от электродетонатора.

При бескапсюлевом взрывании ВВ II группы до момента доставки к месту работ ЭД, КД или КЗДШ разрешается производить зарядку выработок с опасной зоной радиусом 50 м.

Обычно промежуточные детонаторы для взрывания ВВ различных типов состоят из одной-двух шашек. Последние взрываются с помощью детонирующего шнура, пропущенного через их осевые отверстия.

Рациональное расположение промежуточных детонаторов определяется с учетом условий, предусматривающих инициирование ВВ в нескольких точках по длине заряда с временным интервалом, обеспечивающим

формирование более чем двух фронтов ударных волн и одновременную встречу их через промежуток времени, достаточный для детонирования всего заряда.

Места расположения промежуточных детонаторов в случае применения комбинированных ВВ определяются из условия встречи фронтов детонации на границе двух типов ВВ, чтобы предотвратить передачу детонации от маломощного к более мощному ВВ. В зарядах ВВ, где неизбежны инертные примеси в виде шлама, массу промежуточных детонаторов рекомендуется увеличивать на 60–80 %. Для обеспечения нормального протекания детонационного процесса по всей длине заряда нужно учитывать местонахождение патрона-боевика в заряде, а следовательно, и соответствующие его параметры.

3.1.4. Технология и безопасность при использовании неэлектрических систем инициирования

Все современные неэлектрические системы инициирования (НСИ) полностью безопасны по отношению к различного рода электромагнитным наводкам и при этом позволяют создавать схемы взрывания зарядов с практически неограниченными возможностями управления процессами разрушения массивов горных пород [4, 6, 16].

Основным элементом *системы «НОНЕЛЬ»* является полый пластиковый шнур-волновод, внутренняя поверхность которого покрыта тонким слоем взрывчатой смеси. При инициировании воздушная ударная волна распространяется по каналу шнура со скоростью 2 км/с. Ударная волна передает энергию, которой достаточно для инициирования КД, закрепленного на одном из концов шнура-волновода. Шнур «НОНЕЛЬ», выполненный в виде пластиковой трубки (внешний диаметр 3 мм, внутренний – 1,5 мм), не имеет взрывчатых свойств, он не при каких условиях не возбуждает детонацию ни в одном из ВВ, которые используются на практике. Шнур не взрывается ни от удара, ни от воздействия огня.

При передаче ударной волны шнур не разрушается, выполняя роль только лишь проводника сигнала. Шнуры серии НД имеют повышенную прочность на разрыв, износостойкость и сохраняют свою работоспособность до температур +50 °С. КД «НОНЕЛЬ» представляет собой алюминиевую гильзу, в середине которой находится чувствительное к огню первичное инициирующее ВВ, вызывающее детонацию во вторичном бризантном ВВ.

Достоинствами системы «НОНЕЛЬ» являются: безразличие к действию блуждающих токов, электростатических зарядов и электромагнитных полей в диапазоне разных частот; повышение продуктивности вследствие

ускорения подготовки взрыва; снижение стоимости взрывных работ; высокая надежность.

К недостаткам системы «НОНЕЛЬ» относятся невозможность проверки целостности взрывной сети и многоэлементность.

Неэлектрическая система «НОНЕЛЬ» предназначена для открытых и подземных взрывных работ, в том числе и в условиях шахт, опасных по взрыву газа или пыли.

Рис. 24. Элементы системы «НОНЕЛЬ»: *а* – соединитель с детонатором одностороннего действия; *б* – соединитель двухстороннего действия; *в, г* – соединитель с двумя и четырьмя ответвлениями сети; *д* – стартовый соединитель (детонатор «НОНЕЛЬ» с инициирующими зарядами ВВ)

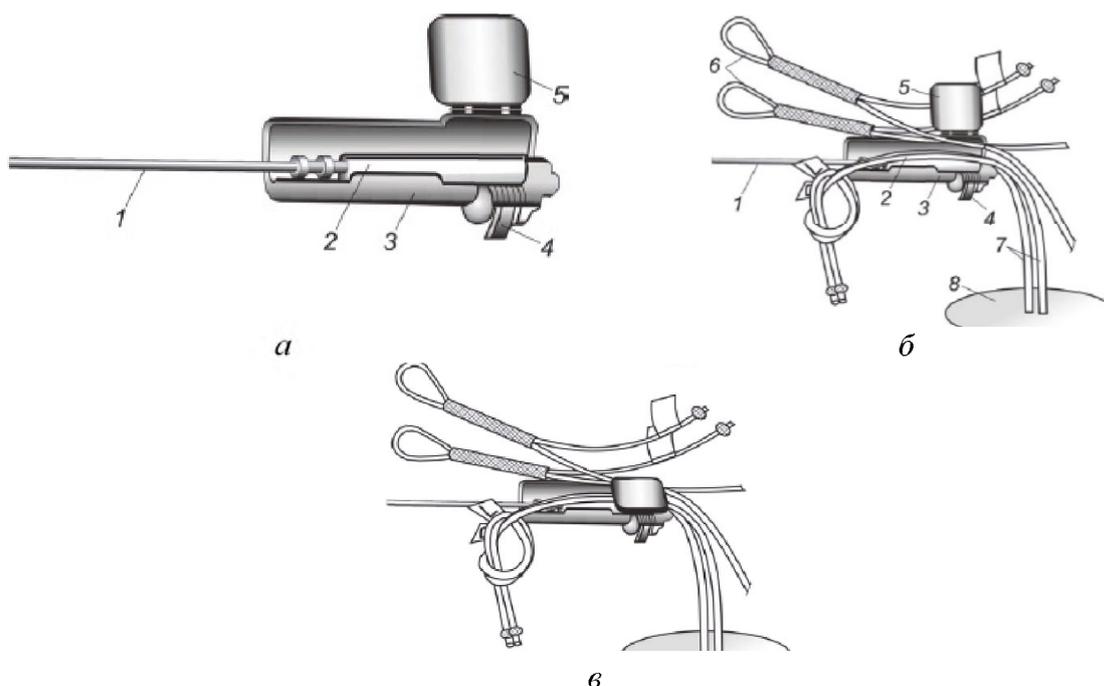
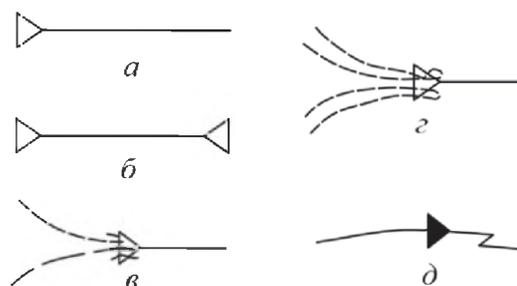


Рис. 25. Соединительный блок и последовательность его монтажа в системе «НОНЕЛЬ»: *а* – общий вид соединительного блока; *б* – подключение шнуров-волноводов к соединительному блоку; *в* – соединительный блок в сборе с четырьмя шнуровыми волноводами; *1* – шнур-волновод; *2* – неэлектрический капсюль-детонатор; *3* – соединительный блок; *4* – заслонка; *5* – крышка; *6* – выводные шнуры для подключения к скважинным зарядам; *7* – внутрискважинный шнур «НОНЕЛЬ» для замедленного взрывания зарядов ВВ; *8* – скважина

В системе лазерного инициирования «ОПСИН» (рис. 26) передача энергии от лазера к оптическим детонаторам осуществляется с помощью

световодов (разработка Национального горного университета) либо непосредственно через воздушную атмосферу.

Системы «ОПСИН» предназначена:

- для производства массовых взрывов шпуровых и скважинных зарядов, сварки, гравировки, компактирования взрывом;
- упрочнения изделий со сложным рельефом поверхностей;
- взрывных работ в стесненных условиях городов, производственных предприятий и т. п.;
- получения профилированных детонационных волн (плоских, сферических, цилиндрических и др.), которые невозможно реализовать при использовании традиционных средств инициирования;
- испытания конструкций корпусов ракет на предмет устойчивости к импульсному воздействию рентгеновских и ультрафиолетовых излучений боевых лазеров и т. д.

Система обеспечивает особо высокие уровни безопасности и точности управления многозарядного взрывания.

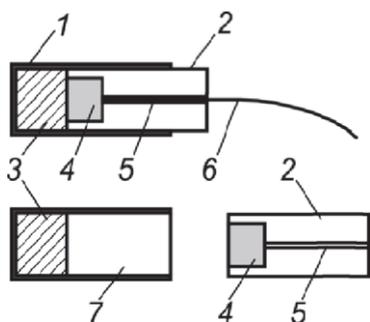


Рис. 26. Схема устройства оптического детонатора (ОД): 1 – алюминиевая трубка; 2 – втулка; 3 – вторичное инициирующее ВВ; 4 – стакан с первичным инициирующим ВВ (светочувствительное ВВ); 5 – канал для установки световода; 6 – световод; 7 – пиропатрон

Высокая безопасность обусловлена использованием специальных взрывчатых составов (ВС), высокочувствительных к воздействию характерного импульса лазерного излучения и имеющих низкую чувствительность к механическим и тепловым воздействиям.

Высокая точность управления обеспечивается:

- за счет малого времени задержки срабатывания ВС ($\leq 6-10$ с);
- программируемого управления работой отдельных каналов лазерного устройства, обеспечивающего подачу лазерной энергии в локальные участки оптоволоконной кабельной сети;
- проверки целостности оптоволоконной сети перед взрыванием посредством измерения уровня лазерного излучения малой мощности отраженного от поверхности высокочувствительного взрывчатого состава оптических детонаторов.

Система «Прима-ЭРА» разработана Научно-исследовательским институтом высокоэнергетических материалов (НИИ ВЭМ) государственного

предприятия «Научно-производственное объединение "Павлоградский химический завод» (ГП НПО «ПХЗ»).

Система «Прима-ЭРА» является водостойкой с повышенной безопасностью по производству и применению, предназначена для инициирования промежуточных детонаторов и патронов боевиков при ведении взрывных работ на дневной поверхности, в забоях подземных выработок (в рудниках и шахтах, не опасных по газу и пыли), при строении тоннелей, а также под водой. Позволяет создавать схемы мгновенного и замедленного взрывания с широким диапазоном интервалов замедления.

По заказу потребителя НСИ «Прима-ЭРА» может комплектоваться различными типами элементов: Прима-ЭРА-С – соединитель (коннектор), Прима-ЭРА-Д – детонатор, Прима-ЭРА-СД – двойная, Прима-ЭРА-Т (Прима-ЭРА-Тм) – тоннельная.

Прима-ЭРА-С оснащена соединителем (коннектором), поверхностная, представляет собой комплект, состоящий из капсюля-детонатора № 6 с замедлением 0, 9, 25, 42, 67, 109 и 176 мс со стандартным интервалом замедления и волновода. Система предназначена для передачи и распределения инициирующего импульса при ведении взрывных работ на дневной поверхности, на открытых горных разработках. Конструкция пластикового коннектора позволяет производить коммутацию до шести волноводов, а также при необходимости осуществлять перекоммутацию сети, выполнять работы в зимнее время и обеспечивать исключение разрушения поверхностной коммутирующей цепи.

Прима-ЭРА-Д внутрискважинная, представляет собой комплект, состоящий из КД № 8 с замедлением от 0 до 400 мс с интервалом 100 мс, от 400 до 500 мс с интервалом 25 мс и волновода. Предназначена для инициирования промежуточных детонаторов и патронов-боевиков при взрывании скважинных зарядов. Прима-ЭРА-С и Прима-ЭРА-Д могут использоваться совместно при коммутации взрывной сети во время ведения взрывных работ на дневной поверхности.

Прима-ЭРА-СД двойного действия, представляет собой комплект, состоящий из КД № 6 с замедлением аналогично Прима-ЭРА-С, оснащенного соединителем (коннектором) соответствующего цвета, и КД № 8 с замедлением аналогично Прима-ЭРА-Д, соединенных между собой волноводом. Конец системы с КД № 8 используется внутри скважины, а конец системы с КД № 6 с помощью коннектора соединяется со следующим волноводом системы для коммутации взрывной сети.

Прима-ЭРА-Т тоннельная, представляет собой комплект, состоящий из КД № 8 с замедлением от 100 до 400 мс с интервалом 100 мс, от 400 до 500 мс с интервалом 25 мс, от 500 до 6 000 мс с интервалом 500 мс, от 6 000 до 9 000 мс с интервалом 1 000 мс и волноводом. Система использу-

ется для ведения взрывных работ в подземных горных выработках, не опасных по газу и пыли.

Волновод системы «Прима-ЭРА» предназначен для передачи детонационной волны от инициирующего устройства к капсулю-детонатору и представляет собой полую пластиковую трубку голубого, желтого или оранжевого цвета с наружным диаметром $(3,00 \pm 0,15)$ мм. На внутреннюю поверхность трубки нанесено активное вещество массой 20 мг/п. м длины, обладающее скоростью передачи импульса до 2 000 м/с. Структура волновода обеспечивает ему прочностные качества при линейных нагрузках до 120 кг. При деформации в 200 % сохраняется стабильность волновода к передаче инициирующего импульса. Эта способность волновода сохраняется и в случае неоднократного его перегиба и завязывания узлом. Возбуждение инициирующего импульса в волноводе может осуществляться от стандартных капсулей-детонаторов типа КД № 6, КД № 8, электродетонаторов, детонирующих шнуров с навеской не менее 6 г/м, а также от высокоэнергетической искры мощностью не менее 5 Дж.

Для инициирования промышленных взрывчатых веществ в скважинах и шпурах применяются промежуточные детонаторы и патроны-боевики, собранные с НСИ. В качестве промежуточных детонаторов и патронов-боевиков могут использоваться двухканальные шашки-детонаторы типа Т, ТГ, а также одноканальные шашки-детонаторы типа Т-400Г, патроны аммонита 6ЖВ и патронированные эмульсионные ВВ класса 1.1.

НСИ «Прима-ЭРА» в отличие от применяемых традиционных средств инициирования обеспечивает повышенную безопасность. Благодаря низкой чувствительности к блуждающим токам, она позволяет производить взрывные работы без обесточивания энергетического оборудования. Преимуществами НСИ «Прима-ЭРА» являются низкая чувствительность к механическим воздействиям, простота и надежность монтажа взрывной сети, повышенная безопасность при хранении, транспортировании и использовании. НСИ «Прима-ЭРА» позволяет создавать схемы короткозамедленного взрывания зарядов с практически неограниченными возможностями управления процессами разрушения массивов горных пород, эффективно снижать сейсмическое и воздушно-ударное действие взрыва и одновременно улучшает результаты взрывных работ. При инициировании относительно нечувствительных взрывчатых веществ, таких как эмульсионные ВВ, детонирующий шнур может способствовать нежелательному уплотнению и выжиганию взрывчатых веществ, что снижает эффективность их применения. В отличие от детонирующего шнура НСИ не разрушают и не уплотняют ВВ, соответственно, использование НСИ позволяет повысить эффективность их применения при ведении горных работ.

3.2. Классификация зарядов взрывчатых веществ

Результаты взрывания взрывчатого вещества в горной породе зависят от его количества и расположения в пространстве. Сначала дадим определение заряда ВВ, а затем рассмотрим виды зарядов. **Заряд ВВ** – количество ВВ, подготовленное к взрыву в зарядной камере, скважине, шпуре или на разрушаемом объекте и снабженное инициатором. Заряды классифицируются по нескольким признакам.

По расположению относительно разрушаемого объекта заряды различают на наружные (накладные) и внутренние. На карьерах преобладает использование *внутренних зарядов* в скважинах, реже шпурах и камерах. Такие заряды обеспечивают лучшее использование энергии ВВ на полезную работу. *Наружные заряды* применяют для дробления негабаритных или нависших кусков пород, упрочнения металлов и др.

По форме заряды делят на удлиненные и сосредоточенные. К *удлиненным* относятся заряды, длина которых в три раза и более превышает их диаметр. *Сосредоточенные заряды* имеют форму куба, шара или любого другого тела, высота которого не превышает величину его утроенной диагонали. В отдельных случаях используют заряды более сложной формы, называемые *фигурными*.

По конструкции заряды могут быть *сплошными* или *рассредоточенными*. Последние разделены на отдельные части воздушными промежутками или инертными материалами (породная мелочь, дерево, пенопласт, воздух и др.).

По характеру разрушения в массиве внутренние заряды разделяют на заряды камуфлетного действия, рыхления, выброса и откольные (рис. 27). Действие *заряда камуфлета* не проявляется на поверхности и характеризуется образованием подземной полости за счет уплотнения и измельчения горной породы (рис. 27, а). Действие *заряда рыхления* проявляется в дроблении и вспучивании горной породы без образования видимой воронки взрыва и без разбрасывания разрушенной породы в стороны (рис. 27, б).

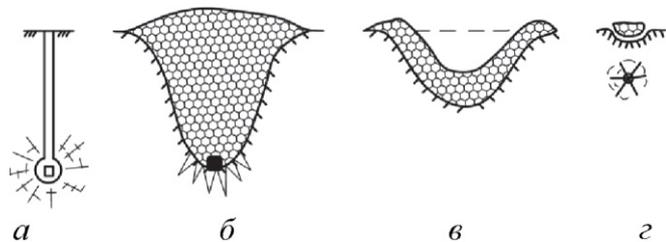


Рис. 27. Характер действия взрыва различных зарядов: а – камуфлета; б – рыхления; в – выброса; г – откольного

Взрыв *заряда выброса* (рис. 27, в) характеризуется образованием видимой воронки взрыва и выбросом породы за пределы воронки. При *от-*

кольном заряде (рис. 27, з) происходит откол породы от поверхности и разрушение ее вокруг заряда. Отколовшиеся куски имеют характерную форму (выпуклостью вниз), обусловленную действием волны отражения. Откольные явления возникают при относительно небольшой массе заряда, недостаточной для большого разрушения.

3.2.1. Конструкции скважинных зарядов при открытом способе разработки

Конструкции заряда в скважине и системе скважин существенным образом влияют на степень дробления горных пород, позволяют управлять импульсом давления продуктов взрыва в зарядной камере и изменять равномерность распределения заряда в массиве. При выборе конструкции скважинного заряда учитывают физико-механические свойства взрывааемых пород, их трещиноватость, слоистость, технологические параметры уступа, геологические условия и технические возможности предприятия.

На карьерах используют разнообразные конструкции скважинных зарядов, объединяемые в две группы: заряды с постоянным и переменным сечением по высоте уступа. Если требуется преодолеть большое сопротивление по подошве уступа, то в нижней части скважинного заряда располагают более мощные ВВ либо применяют котловые расширения. Последние используют и при необходимости увеличения заряда на конкретном участке скважин, например в прослойке крепкой породы. Наибольшее распространение на карьерах получили *сплошные скважинные заряды*, так как они отличаются простотой исполнения. Однако этой конструкции присущи такие недостатки, как неравномерность распределения ВВ по высоте уступа и, как следствие, неравномерность дробления пород и возможность завышений подошвы уступа (образование порогов). Применяются также конструкции, в которых колонка заряда разделена на две-три части инертным промежутком (забойкой), что позволяет более равномерно распределить ВВ по высоте уступа. Повышение коэффициента использования энергии взрыва таких зарядов незначительное.

Наибольший интерес с точки зрения регулирования степени дробления породы представляет *конструкция заряда с воздушными промежутками*. В работах Н. В. Мельникова и Л. Н. Марченко теоретически и экспериментально доказаны преимущества зарядов, рассредоточенных воздушными промежутками, по сравнению со сплошными зарядами. Эффективность таких зарядов повышается примерно на 30 % за счет увеличения зоны регулируемого дробления по длине скважины и времени воздействия взрыва на массив, уменьшения излишнего переизмельчения породы вблизи заряда. Повышение КПД взрыва заряда с воздушными промежутками объясняется несколькими обстоятельствами. Во-первых, тем, что за счет возможности

свободного расширения продуктов взрыва происходит снижение пикового (начального) давления газа во взрывной камере до некоторого рационального предела. Поэтому энергия взрыва меньше расходуется на переизмельчение породы в прилегающей к заряду зоне массива и в большем количестве идет вглубь массива, повышая степень дробления породы. Во-вторых, в воздушном промежутке происходит взаимодействие ударных волн и встречных газовых потоков от смежных частей в заряде. При их столкновении образуется газодинамический затор, что приводит к более длительному действию сжатых продуктов взрыва на стенки скважины, а следовательно, к увеличению длительности взрывного импульса, выравниванию давления по всей длине скважины и более равномерному дроблению породы даже на том участке, где нет заряда ВВ. Тем самым увеличивается зона регулируемого дробления. Рациональная конструкция зарядов с воздушными промежутками характеризуется соотношением длины воздушных промежутков и длины колонки заряда:

$$K_h = \frac{h_{в.п.}}{L_3}, \quad (36)$$

где $h_{в.п.}$ – длина воздушных промежутков, м; L_3 – суммарная длина колонки заряда, м.

В качестве основной конструкции может быть принят заряд с одним-двумя воздушными промежутками. Для разных условий взрывания длину воздушных промежутков определяют эмпирическим путем в зависимости от типа ВВ, свойств пород и длины колонкового заряда. Рекомендуется принимать величину K_h для крепких пород ($f \geq 14$) равной 0,20–0,35, для пород средней крепости ($f = 8–14$) – 0,25–0,45 и ниже средней крепости ($f < 8$) – 0,30–0,55. При этом каждую часть заряда необходимо инициировать отдельным боевиком через ДШ, обеспечивающий устойчивую детонацию используемого ВВ по всей длине рассредоточенного заряда. Кроме того, при наличии воздушного или водяного промежутка в перебуре повышается коэффициент использования скважин и снижается сейсмическое действие взрыва, особенно в ближней зоне. Поэтому рассредоточенные заряды такой конструкции могут быть рекомендованы для взрывания в стесненных условиях – вблизи зданий и промышленных сооружений. Для формирования воздушных промежутков может быть рекомендован вспененный полистирол (гранулы плотностью 0,02–0,04 г/см³). При взрыве реакция термического разложения полистирола может протекать синхронно с прохождением детонационной волны. Полистирол газифицируется и может выступать как компонент ВВ.

Предложены также конструкции, в которых между зарядом ВВ и стенками скважины оставлен радиальный зазор, и ряд других. Известно, что на конструкцию скважинного заряда и эффективность взрыва влияет

расположение боевиков – инициаторов взрыва, определяющее направление детонации. Это связано с тем, что длина скважинных зарядов намного превышает их диаметр. Длина заряда влияет на время прохождения детонации по заряду, форму поля напряжений в породе, зависящую также от места расположения боевика и скорости детонации (типа ВВ). На карьерах чаще всего применяют (рис. 28) сплошной колонковый заряд с прямым, обратным или смешанным инициированием одним или двумя боевиками из одной или двух и более шашек-детонаторов, размещаемых в нижней части заряда на уровне подошвы уступа или в верхней части на расстоянии 1,0–1,5 м от верхнего торца зарядов (рис. 28).

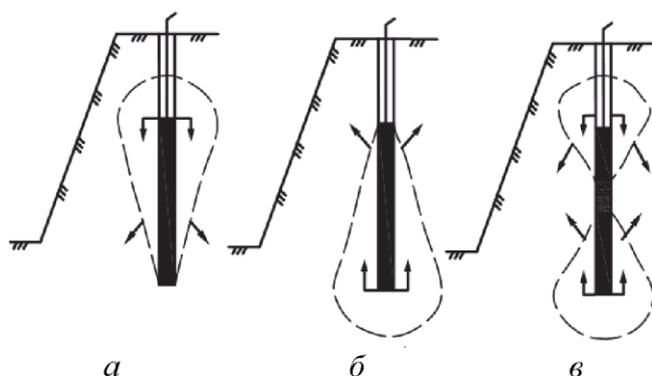


Рис. 28. Схемы инициирования сплошных колонковых зарядов

При *прямом инициировании* (рис. 28, а) фронт поля напряжений доходит прежде всего до открытой поверхности откоса и верхней площадки, где возникают откольные явления. Проработка почвы уступа получается неудовлетворительной.

При *обратном инициировании* (рис. 28, б) поле напряжений имеет более благоприятную форму относительно уступа и его нижней части. При этом проработка уступа и степень дробления породы улучшаются. Обратное инициирование целесообразно применять при отношении $W/V_p > 1,6$, а прямое – при $W/V_p < 1,6$, где W – линия наименьшего сопротивления (ЛНС); V_p – скорость продольной волны в массиве. Для обратного инициирования необходимо использовать маломощные ДШ с навеской не более 2 г/м или ЭД повышенной надежности по отношению к блуждающим токам. Обратное инициирование с использованием штатных средств инициирования нецелесообразно.

Комбинированное инициирование (рис. 28, в) создает благоприятное поле напряжений, обеспечивает более равномерное дробление породы уступа и безотказность взрывания. Одним из эффективных методов управления действием взрыва за счет конструкции заряда является *взрывание с внутрискважинными замедлениями*, суть которого заключается в создании коротких замедлений (10–25 мс) между взрывами отдельных частей

скважинного заряда, разделенного инертными материалами. За счет изменения места взаимодействия полей напряжения верхней и нижней частей заряда и одновременного их инициирования можно обеспечить управление процессом разрушения, увеличить общее время воздействия взрыва на массив, повысить интенсивность и равномерность дробления горных пород. Считается, что наиболее эффективно первым взрывать нижний заряд с обратным инициированием, а вторым – верхний с замедлением 10–15 мс. Изменяя соотношение масс верхнего и нижнего зарядов, а также время замедления, можно усилить суммарное действие заряда в определенной плоскости по высоте уступа.

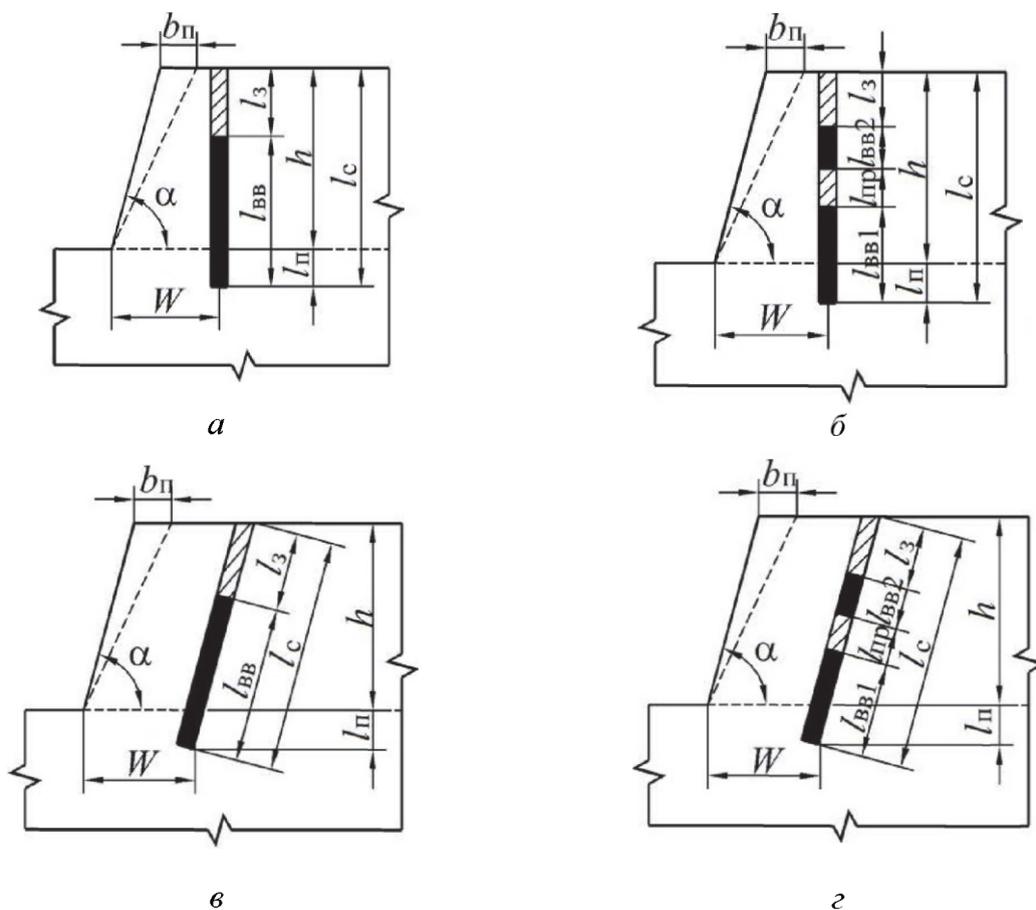


Рис. 29. Конструкция скважинных зарядов: *а* – сплошной в вертикальных скважинах; *б* – рассредоточенный забойкой в вертикальных скважинах; *в* – сплошной в наклонных скважинах; *г* – рассредоточенный забойкой в наклонных скважинах

Соотношение между весом верхней и нижней частей заряда в скважине устанавливается в зависимости от особенностей строения массива опытным путем. Рациональными оказались соотношения $Q_{\text{в}}/Q_{\text{н}} = 0,50-0,25$, где $Q_{\text{в}}$ и $Q_{\text{н}}$ – соответственно, масса верхней и нижней частей заряда. Длина промежутка между зарядами (забойка) составляет 0,6–0,8 длины верхней

части заряда. Заряд ВВ в скважине может быть сплошным или рассредоточенным (рис. 29). Сплошные заряды применяют в обводненных и трудно-взрываемых породах, они располагаются в нижней части скважины и воздействуют в основном на нижнюю часть уступа. Поэтому при взрывании сплошных зарядов образуются негабариты. В рассредоточенных зарядах основную массу ВВ располагают в нижней части скважины, а один, реже – два одинаковых дополнительных заряда – в средней и верхней частях, что позволяет улучшить дробление породы. Забойка скважины должна быть плотной, а ее длина – достаточной для предотвращения утечек продуктов взрыва, выброса породы и образования сильной ударной воздушной волны. Для забойки используют буровую мелочь, песок с размерами частиц до 50 мм.

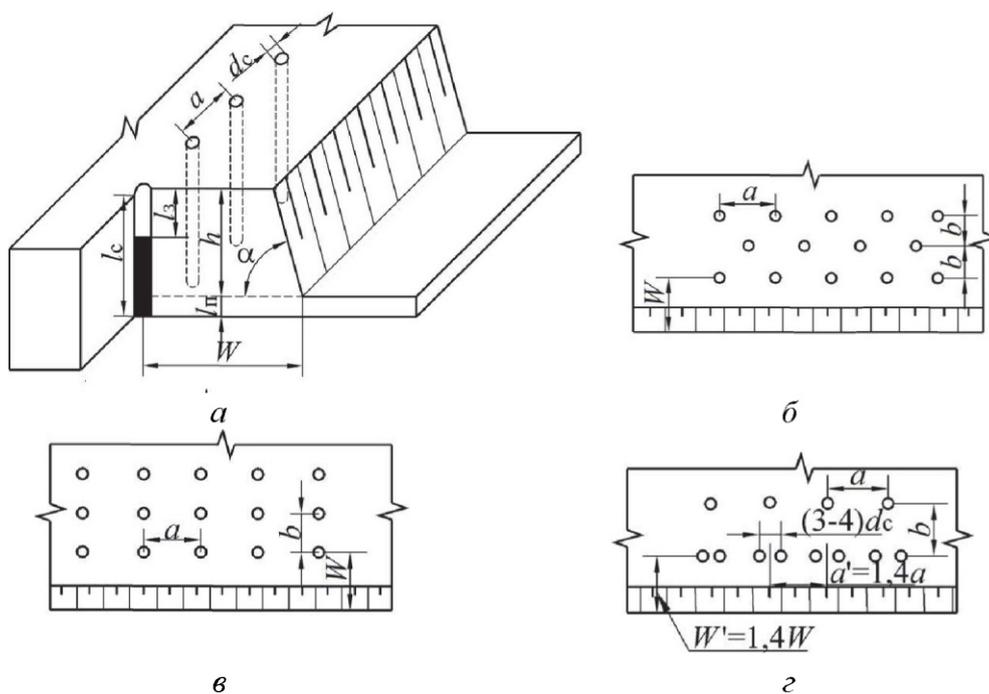


Рис. 30. Схемы расположения скважин на уступе: *a* – однорядная, *б* и *в* – многорядная по квадратной и шахматной сетке; *г* – с парносближенными скважинами в первом ряду

Расположение скважин на уступе может быть *однорядным* и *многорядным* (рис. 30). Основными параметрами расположения скважин являются: линия сопротивления по подошве уступа (ЛСПП) W , расстояние a между скважинами в ряду, расстояние b между рядами скважин и число взрываемых рядов. Большое влияние на результаты взрыва оказывает величина W , которая зависит от диаметра скважины, высоты уступа и угла наклона его откоса, мощности ВВ, плотности заряжания. При завышении величины W плохо прорабатывается подошва уступа, а при ее занижении энергия взрыва в большей степени тратится на выброс, а не на дробление породы.

Значения a и b подбирают таким образом, чтобы наиболее равномерно распределить ВВ в массиве. Они зависят от взрываемости пород, диаметра скважины, требуемой степени дробления, высоты уступа и схемы взрывания. На карьерах используют *мгновенный порядок взрывания*, когда все заряды взрываются одновременно, или *короткозамедленный*, когда интервалы между взрывами соседних зарядов измеряют миллисекундами. По сравнению с мгновенным взрыванием короткозамедленное обеспечивает повышение равномерности дробления, уменьшение выхода негабарита, снижение расхода ВВ на 10–15 %, сокращение ширины развала в 1,2–1,3 раза. Наиболее эффективно многорядное короткозамедленное взрывание (МКЗВ). Однорядное взрывание применяют при малых объемах взрывных работ, узких рабочих площадках или в случае ограничения массы заряда по сейсмическому воздействию на расположенные по соседству с карьером здания и сооружения.

3.2.2. Схемы соединения зарядов

При КЗВ на карьерах применяются разнообразные схемы соединения (коммутации) и расположения скважинных (а иногда и внутрискважинных) зарядов ВВ. Их выбор зависит от масштабов и взрываемости массива горных пород и технологических требований к взрыву, главными из которых являются: получение заданной степени дробления или параметров направленного перемещения горных пород; формирование развала горных масс желаемых геометрических параметров; обеспечение минимального сейсмического эффекта воздействия взрыва на окружающие сооружения, горные машины и объекты; минимальные разрушения вглубь массива. Кроме того, при КЗВ с помощью ДШ и пиротехнических замедлителей КЗДШ должна быть обеспечена надежность передачи детонации по всей сети.

Для повышения надежности схем применяют резервные магистрали, периферийные линии и кольцевые схемы ДШ, дублирование боевиков в скважинах. Эти способы увеличивают расход ДШ на взрыв и иногда малоэффективны. Построение схем соединения зарядов при многорядном КЗВ связано с оценками двух параметров: направления отбойки породы $\varphi_{отб}$; величины интервала замедления $t_{и}$ между взрывами зарядов. Под *направлением отбойки* понимают угол $\varphi_{отб}$ между линией откоса уступа и линией одновременно взрываемых зарядов. Основным смыслом параметра $\varphi_{отб}$ состоит в том, что он больше всего влияет на направление и дальность перемещения породы, т. е. на ширину развала относительно линии откоса. *Интервал замедления* $t_{и}$ в большей степени влияет на интенсивность дробления пород и в меньшей – на дальность их перемещения. Искусство эффективного многорядного КЗВ состоит в увязывании значений параметров $\varphi_{отб}$ и $t_{и}$

с взрываемостью горных пород массива и требуемой характеристикой их дробления и развала после взрыва. При этом сущность конструирования схем КЗВ заключается в создании взрывом первых зарядов дополнительной открытой поверхности, облегчающей работу зарядов последующих взрывов, или в создании взрывом первой серии зарядов по контуру взрываемого участка массива раздробленного экрана (щели), который снижает разрушение горной породы за пределами оконтуренного участка и уменьшает сейсмическое действие взрыва, а также схлопывает трещины в массиве, обеспечивая тем самым лучшее распространение энергии и дробление породы при взрыве.

На угольных карьерах достаточно часто применяются порядные продольные, диагональные и поперечные схемы КЗВ (рис. 31), которые характеризуются изменением направления отбойки породы $\varphi_{отб}$ в следующих пределах: при простой *порядной схеме взрывания продольными рядами* (рис. 31, а), начиная с ближнего к откосу ряда (прямая продольная схема), $\varphi_{отб} = 0$; при *диагональной схеме* взрывания с отбойкой породы в сторону откоса уступа (рис. 31, б) или забоя буровзрывной заходки (прямая диагональная схема) $0^\circ \leq \varphi_{отб} \leq 90^\circ$; при диагональной схеме взрывания с отбойкой породы в противоположную от откоса уступа сторону (обратная диагональная схема) $90^\circ < \varphi_{отб} < 180^\circ$; при *поперечной схеме* взрывания $\varphi_{отб} = 90^\circ$; при *обратной порядной схеме* взрывания продольными рядами, начиная с наиболее удаленного от откоса уступа ряда, $\varphi_{отб} = 180^\circ$.

Короткозамедленное взрывание является наиболее действенным средством регулирования ширины развала взорванной горной массы. Опыт работы угольных карьеров показывает, что наибольшая ширина развала достигается при простой порядной схеме взрывания. Обратная порядная схема дает развал меньшей ширины. При взрывании по схеме с изменяемым направлением отбойки $\varphi_{отб}$ дальность перемещения породы может быть определена по формуле

$$\Delta B = \Delta B_{п} (0,73 + 0,27 \cdot \cos 2\varphi_{отб}), \quad (37)$$

где ΔB – дальность перемещения взорванной породы от откоса уступа, м; $\Delta B_{п}$ – дальность перемещения породы при взрывании по простой (продольной) порядной схеме, м. Анализ этого выражения показывает, что за счет схем взрывания можно добиться сокращения или увеличения дальности перемещения породы более чем в два раза. Из этого следует, что при диагональной ($\varphi_{отб} = 45^\circ$) и поперечной ($\varphi_{отб} = 90^\circ$) схемах взрывания дальность перемещения составляет, соответственно, $\Delta B_{д} = 0,73/\Delta B$ и $\Delta B_{п} = 0,46/\Delta B$.

Время замедления $t_{и}$ оказывает значительно меньшее влияние на дальность перемещения породы и ширину развала, в связи с чем его реко-

мендуется выбирать с учетом свойств пород и параметров расположения скважин, исходя из необходимости обеспечения более высокого качества дробления пород. В первом приближении целесообразный интервал замедления вычисляют по формуле

$$t_{\text{и}} = K \cdot W, \quad (38)$$

где W – ЛСПП, м; K – коэффициент, учитывающий свойства разрушаемого массива горных пород, мс/м (табл. 14). В конечном счете величину $t_{\text{и}}$ уточняют на основе экспериментальных взрывов.

Таблица 14

Ориентировочные значения коэффициента K , мс/м

Характеристика пород	Виды горных пород	Значения K
Особо крепкие	Кварциты, сиениты, крепкий гранит	3–5
Крепкие	Крепкие сланцы и песчаники	4–6
Средней крепости	Известняк, доломит, мрамор	5–7
Мягкие	Уголь, аргиллиты, алевролиты, глинистые сланцы	6–9

Применяемые на карьерах схемы КЗВ приведены на рис. 31, а условия их использования – в табл. 15.

Оценивая различные схемы КЗВ, можно отметить их особенности. Так, наиболее просты в исполнении порядные продольные схемы, но они не обеспечивают высокой степени дробления и приводят к большому развалу взорванной горной массы. Они целесообразны в легковзрываемых и сильно трещиноватых породах, качество дробления которых мало зависит от изменения времени замедления. Здесь предпочтительны значительные замедления – 50–60 мс.

Более сложную диагональную схему имеет смысл применять в том случае, когда необходимо сократить ширину развала или уменьшить количество одновременно взрываемого ВВ. Порядные поперечные схемы дают в 2 раза меньший развал, однако степень дробления породы остается невысокой. Это относится и к диагональным схемам, но они хороши для взрывания в зажатой среде. Во всех этих схемах решающий фактор эффективности дробления – создание дополнительных поверхностей обнажения.

В клиновых и трапециевидных схемах заряды взрываются по рядам, расположенным под углом друг к другу. Эффективность дробления пород здесь повышается за счет соударения потоков взрываемых масс. Такие схемы рекомендуется применять в средневзрываемых и трудновзрываемых породах.

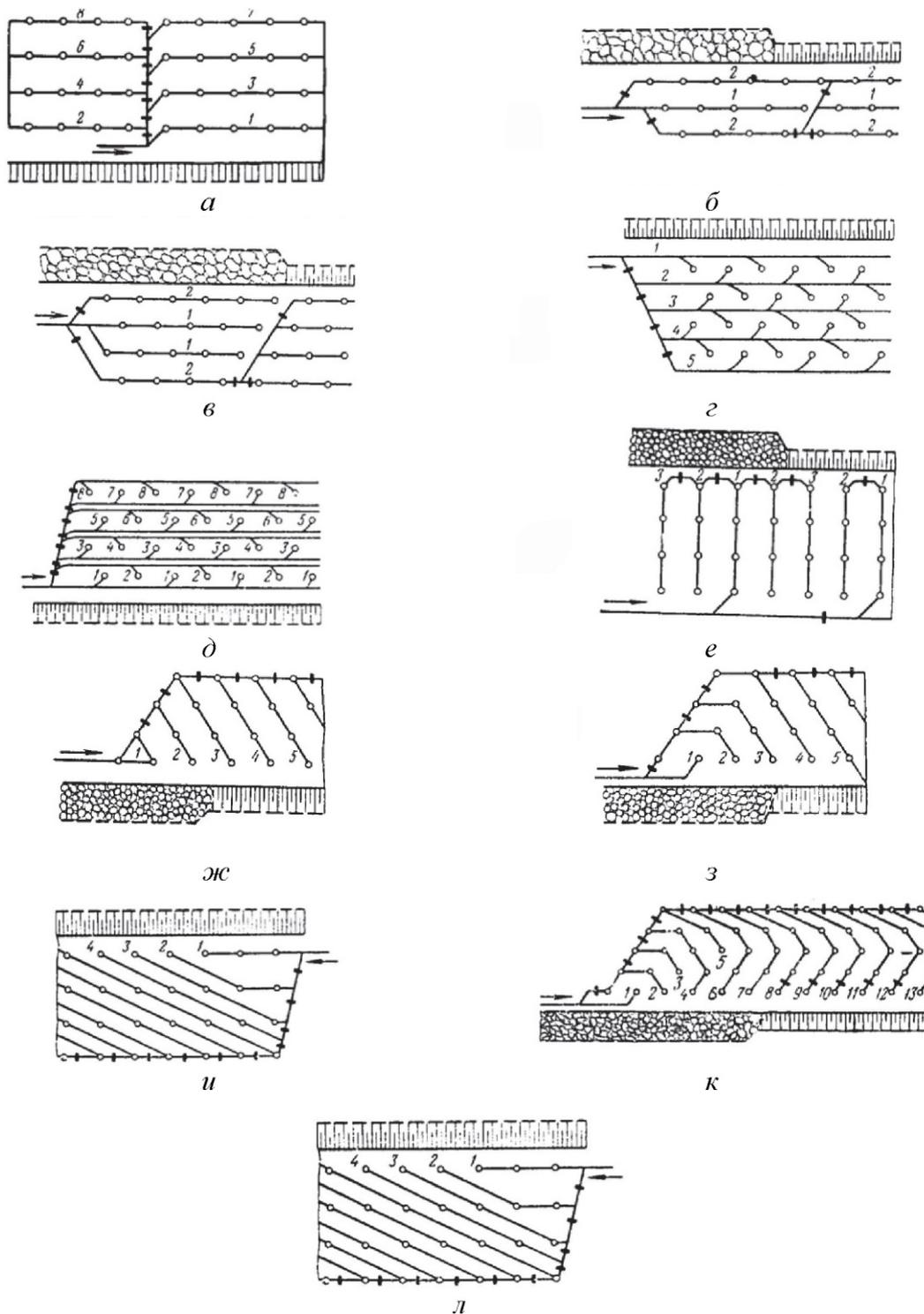


Рис. 31. Схемы коммутации МКЗВ (цифрами показана очередность взрывания зарядов): *а* – порядная двусторонняя; *б* – порядно-врубовая секционная с однорядным врубом; *в* – порядно-врубовая секционная с двухрядным врубом; *г* – порядная через скважину продольными рядами; *д* – порядная через скважину продольными рядами с обособленными магистралями; *е* – поперечными рядами с однорядным врубом; *ж* – диагональная с клиновым врубом; *з* – диагональная с трапецевидным врубом; *и* – диагональными рядами с последовательным врубом; *к* – волновая экранирующая; *л* – волновая развернутая

Таблица 15

**Предпочтительные области применения
схем короткозамедленного взрывания на карьерах**

Группы и варианты схем	Условия применения	Номер схемы	
Продольные: порядные	Фронтальный забой, подобранный откос уступа, легко-взрывааемые породы	I	
	последовательные	Фронтальный забой, подобранный и неподбранный откосы уступа, не менее трех рядов скважин, породы средней и ниже средней взрывааемости, необходимость уменьшения развала	II
	порядные врубовые	Траншейный забой, легко-взрывааемые породы	III
Поперечные: порядные	Фронтальный забой, не менее четырех рядов скважин, породы средней и ниже средней взрывааемости, откос уступа обнажен во фланге	IV	
	последовательные	Траншейный забой, подобранный откос уступа, небольшая протяженность блока, породы средней и ниже средней взрывааемости	V
	порядные врубовые	Фронтальный забой, породы средней и ниже средней взрывааемости, не менее четырех рядов скважин, необходимость уменьшения развала	VI
Диагональные: порядные последо- вательные	Фронтальный забой, сложное строение уступа, не менее четырех рядов скважин, имеется ограничение по сейсмическому эффекту	VII	
	порядные врубовые	То же	VIII
Треугольные	Фронтальный забой, трудно-взрывааемые породы сложной структуры	IX	
	Те же породы, но траншейный забой и подобранный откос уступа	X	
Трапецевидные	Фронтальный забой, подобранный и неподбранный откосы уступа, трудно-взрывааемые породы сложной структуры	XI	
	То же, но траншейный забой	XII	
	Фронтальный забой, неподбранный откос уступа, значительное число скважинных зарядов, трудно-взрывааемые горные породы	XII	

При использовании для перевозки пород железнодорожного транспорта предпочтительны относительно простые по монтажу диагональные схемы, дающие средний развал и ограниченную сейсмику. При проходке траншей эффективное дробление обеспечивают врубовые схемы, когда при взрыве одного из рядов, как правило среднего, образуется вруб, на который и производят взрывание остальных рядов. Скважины врубового ряда бурят

по сближенной сетке с расстоянием между скважинами $a = (0,6-0,7)W$, а перебур увеличивают на 1 м. В породах невысокой крепости скважины врубового ряда можно не сближать.

Волновые схемы предусматривают замедление как между скважинами в ряду, так и между рядами. Здесь эффект дробления происходит как за счет взаимодействия волн напряжений, так и за счет соударения потоков взорванных масс. Такие схемы рекомендуются для мелкого дробления трудновзрывааемых пород. Интервалы замедления между скважинами в рядах при волновых схемах принимают в среднеблочных породах равными 10–15 мс, крупноблочных – до 10 мс. Рекомендуется соблюдать следующие ориентировочные интервалы замедлений между взрывами ряда скважин: в мелкоблочных породах они равны 50–60 мс, в среднеблочных – 40–50 мс, в крупноблочных – 30–40 мс. Короткозамедленное взрывание позволяет реализовать еще один эффективный способ управления дроблением трещиноватого массива, который заключается в опережающем взрывании скважин по контуру взрываемого массива для смыкания трещин, после чего через небольшой интервал короткозамедленно взрывают заряды внутри блока. Разрушение массива с сомкнутыми трещинами происходит интенсивнее вследствие снижения потерь энергии при переходе взрывных волн через плоскости трещин. Этот метод позволяет также значительно уменьшить сейсмическое действие взрыва на окружающие объекты.

3.2.3. Расчет зарядов и ведение взрывных работ методом камерных зарядов

При камерном методе различают заряды выброса, сброса и рыхления. Заряды выброса применяют при строительстве каналов, канав, траншей, а заряды сброса – при возведении плотин в гористой местности, используя сосредоточенные заряды. При строительстве каналов заряды располагают в один или несколько рядов вдоль оси будущей выработки, а затем взрывают их.

Рассчитывая заряд, принимают, что его масса, кг, пропорциональна объему породы, взрываемой этим зарядом:

$$Q = q_n \cdot k \cdot V, \quad (39)$$

где q_n – удельный расход ВВ при нормальных зарядах выброса, зависящий от крепости породы и работоспособности ВВ, кг/м³; k – коэффициент, учитывающий влияние показателя действия взрыва; V – объем взрываемой породы, м³.

В горном деле при расчетах допускается погрешность до 5 %, поэтому в формуле для определения объема воронки взрыва можно принять $\pi/3 = 1$. Тогда формула имеет вид

$$Q = q_n \cdot k \cdot r^2 \cdot W, \quad (40)$$

$$Q = q_n \cdot k \cdot n^2 \cdot W^3, \quad (41)$$

где r – радиус воронки взрыва камерного заряда; n – число зарядов в камере.

Произведение $k \cdot n^2$ представляет собой некоторую функцию от показателя действия взрыва, т. е. $kn^2 = f(n)$, тогда

$$Q = q_n \cdot W^3 \cdot f(n). \quad (42)$$

При расчете **зарядов выброса** с показателем действия взрыва n от 0,8 до 3 и ЛНС до 25 м значение $f(n)$ определяют по эмпирической формуле М. М. Борескова:

$$f(n) = 0,4 + 0,6n^3. \quad (43)$$

Для упомянутых условий взрывания формула (43) будет иметь вид

$$f(n) = q_n \cdot W^3 (0,4 + 0,6n^3). \quad (44)$$

При строительстве каналов глубиной от 25 до 40 м заряд находят по формуле

$$Q = q_n \cdot W^3 (0,4 + 0,6n^3) \sqrt{\frac{W}{25}}. \quad (45)$$

Удельный расход q в обоих случаях принимают по табл. 16.

Таблица 16

Удельные расходы для зарядов выброса и рыхления

Коэффициент крепости f	Категория пород (шкала Союзвзрывпрома)	Удельный расход ВВ q , кг/м ³ , для зарядов	
		нормального выброса	рыхления
0,3	I	0,71	–
0,5	II	0,79	–
	III	0,83	–
0,6	IV	0,87	–
0,8–1,0	V	0,87	0,29
4,5–2,0	VI	0,87	0,29
3–4	VII	1,12	0,37
	VIII	1,12	0,37
5–6	IX	1,25	0,42
	X	1,25	0,42
8–10	XI	1,50	0,50
	XII	1,62	0,54
12–14	XIII	1,75	0,58
	XIV	2,00	0,67
16–20	XV	2,12	0,71
	XVI	2,25	0,75

При расчете показателя n за значение r принимают не менее половины ширины траншеи (канала и др.), приходящейся на один ряд зарядов. Заряды выброса располагают на таком расстоянии один от другого, чтобы при совместном действии они образовали выемку со сравнительно ровной подошвой.

Расстояние между зарядами

$$a = 0,5W(n + 1). \quad (46)$$

Для достижения направленного выброса породы заряды располагают в два-три ряда вдоль оси траншеи (рис. 32), ряды взрывают последовательно с интервалом замедления от 0,5 до 6,0 с в зависимости от величины ЛНС и от свойств среды.

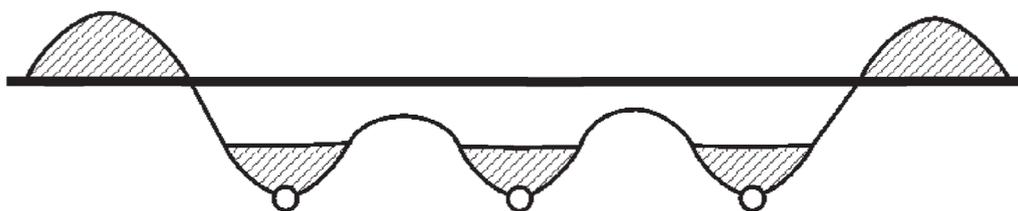


Рис. 32. Форма выемки при взрывании сближенных зарядов выброса

Первым взрывают ряд, расположенный у нерабочего борта, на который требуется выбросить породу. Масса зарядов последующих рядов увеличивается по мере удаления от открытой поверхности. При расчете принимают для зарядов первого ряда $n = 1,0-1,5$, а для последующих – $n = 1,5-2,5$. В результате взрыва зарядов первого ряда ЛНС зарядов второго окажется меньше проектной, т. е. $W_2' < W_2$ (рис. 33), поэтому порода будет выброшена налево и со значительно большей силой. К моменту, когда порода, выброшенная зарядами первого ряда, еще не успеет опуститься вниз, она будет отброшена взрывом зарядов второго ряда (рис. 33).

Величина ЛНС в грунтах

$$W = (0,3-0,6) H_B; \quad (47)$$

а для скальных пород

$$W = (0,7-1,0) H_B, \quad (48)$$

где H_B – заданная глубина выемки, м.

При направленном взрывании в плотных грунтах и в породах средней крепости нередко используют метод наклонных скважинных зарядов, который обеспечивает большее отбрасывание разрушенной породы. Заряды первых двух рядов скважин, образующих вруб, взрывают с замедлением 50–100 мс, следующий ряд – с замедлением 250–400 мс, а далее с интервалом 150–250 мс ряд за рядом. Направленное взрывание зарядов выброса

нередко применяют для перекрытий ущелий, создания плотин в гористых местностях. В этом случае заряды, называемые *зарядами сброса*, располагают в глубине откоса горы так, чтобы ЛНС была направлена под углом $35\text{--}45^\circ$ к горизонту в сторону направления сброса.

Заряды сброса – это сосредоточенные заряды с показателем действия взрыва $1,25\text{--}1,75$. При сооружении больших плотин группу зарядов располагают и взрывают так, чтобы порода ложилась кучно в заданном направлении. Иногда заряды бывают большой величины. Так, при создании противоселевой плотины на р. Малая Алмаатинка в Медео было взорвано пять зарядов общей массой $5\,293$ т, расположенных в два ряда на правом склоне, и десять зарядов общей массой $3\,946$ т, расположенных на левом. Замедление между взрывами зарядов первого и второго рядов составляло $3\text{--}4$ с. Масса одновременно взорванных зарядов $3\,600$ т. Взрывами уложено в плотину $2,4$ млн м^3 породы. Высота плотины 84 м, ширина 500 м в основании и 100 м по гребню.

Для размещения зарядов выброса бурят скважины, проходят шурфы или шурфы с камерами. Сечения шурфов прямоугольной формы 1×1 м ($1,0\times 1,2$ м). При небольших зарядах в сухих шурфах ВВ можно располагать на дне шурфа, при больших зарядах, а также при наличии грунтовых вод для размещения заряда из шурфа проводят камеры (рис. 34). При наличии грунтовых вод пол камеры делают с небольшим уклоном в сторону для стока воды, а дно шурфа располагают на $0,5\text{--}1,0$ м ниже подвала камеры. При небольшом объеме зарядной камеры ее устраивают у шурфа (рис. 34, а), а при большом объеме заряда – на расстоянии от шурфа, с которым она общается посредством ходка (рис. 34, б) [4].

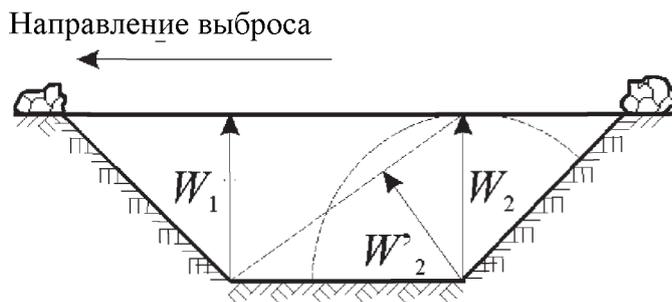


Рис. 33. Схема выемки при направленном действии зарядов выброса

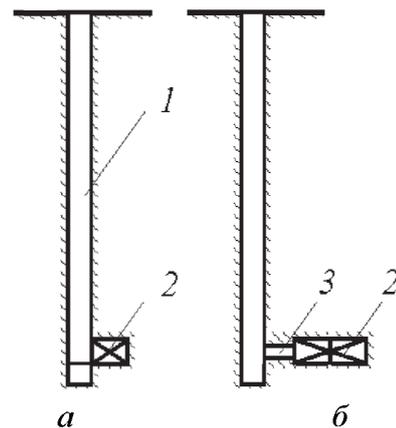


Рис. 34. Схемы расположения шурфов и зарядных камер: 1 – шурф; 2 – зарядная камера; 3 – ходок

Конфигурация камеры должна обеспечивать максимальную сосредоточенность заряда.

При заполнении камеры гранулированными или порошкообразными ВВ мешки с ВВ опускают в шурф в бадьях (в случае применения зарядов большой массы для спуска ВВ используют механические элеваторы). При зарядании ВВ россыпью их засыпают в шурф через деревянную трубу сечением 200×200 мм. При больших зарядах применяют зарядные агрегаты, оборудованные на грузовых автомашинах, подающие ВВ по гибким шлангам в зарядные камеры. Производительность таких агрегатов до 12 т/ч взрывчатого вещества.

Одновременно с заполнением зарядной камеры взрывчатым веществом в заряд помещают боевики. При зарядах массой 1–2 т применяют два боевика, которые располагают в центре заряда, при зарядах большой массы и удлиненных камерах сложной формы (крестообразные, Т-образные и др.) число боевиков увеличивают, располагая их в различных местах заряда. Боевик должен иметь жесткую оболочку. Провода от электродетонаторов выводят из камеры и соединяют в параллельно-пучковую группу, к которой присоединяют две пары проводов, проложенных по шурфу. Для защиты проводов от повреждения их укладывают в деревянный желоб, укрепленный в углу шурфа, ближе к камере. Перед доставкой в шурф электродетонаторов электропроводка и источники тока должны быть удалены из камеры и шурфа. После окончания зарядания камеру закрывают деревянным щитом и в шурф помещают забоечный материал. Электровзрывная сеть или линия ДШ должна быть двойная (дублированная) во избежание отказов при повреждении одной из линий. Минную станцию (место взрывания) устанавливают за пределами опасной зоны с наветренной стороны. При взрывании зарядов массой более 100 т необходимо снабжать противогазами людей, несущих охрану на границе опасной зоны, во избежание их отравления. Осмотр места взрыва руководителем взрывных работ разрешается не ранее чем через 30 мин после взрыва. Отказавшие заряды ликвидируют в соответствии с инструкцией, утвержденной главным инженером предприятия.

Наиболее рациональные условия для применения *зарядов рыхления* – высокий забой (более 20 м) и текстура породы, которая способствует раскалыванию на куски, не превышающие вместимости ковша экскаватора. Однако такая благоприятная текстура пород встречается редко. Метод камерных зарядов применяется на открытых разработках в карьерах с уступами высотой более 20 м. Для размещения зарядов в уступах проводят штольни (рис. 35) с боковыми галереями и зарядными камерами. Сечение штолен и галерей 1,2×1,5 или 1,5×1,8 м. Размеры камер зависят от размера зарядов и плотности зарядания.

Взрывом заряда порода в пределах воронки рыхления дробится и вспучивается; над воронкой порода растрескивается, встряхивается и под действием силы тяжести оседает, оползает и разделяется по плоскостям

образовавшихся трещин на куски. Они будут иметь тем больше размеры, чем крепче порода и чем больше ЛНС и расстояние между зарядами. Крупные куски (негабарит) с помощью шпуровых и частично наружных зарядов дробят на более мелкие, которые можно грузить экскаваторами. Величину ЛНС принимают в пределах $(0,5-0,8)H$, где H – высота уступа, м.

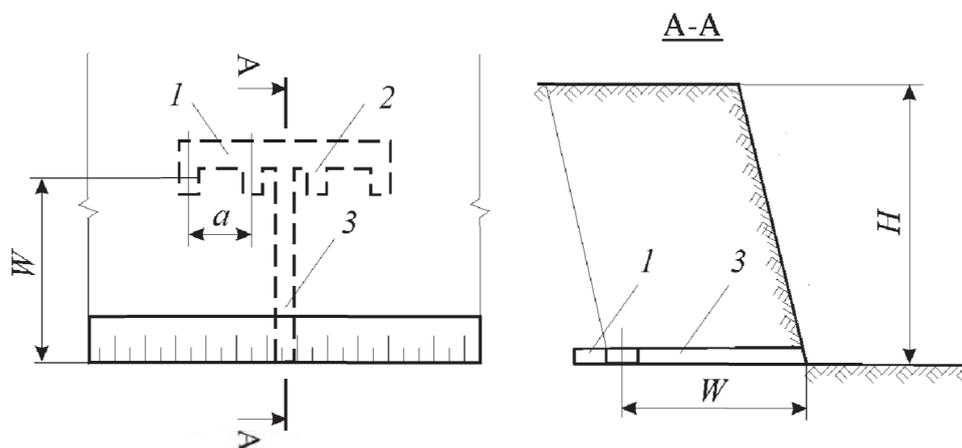


Рис. 35. Схема расположения зарядов при методе минных штолен:
1 – боковые галереи; 2 – зарядная камера; 3 – штольня

Если слоистость или трещиноватость пород отсутствует, то рекомендуется брать ее среднее значение $W = 0,65H$. Если преобладает горизонтальное направление слоев или трещин, то значение ЛНС следует брать ближе к верхнему пределу ($W = 0,8H$), а если вертикальное направление, параллельное фронту уступа, тогда значение ЛНС должно быть ближе к нижнему пределу ($W = 0,5H$). При вертикальном направлении слоев или трещин, перпендикулярном фронту уступа, нужно использовать среднее значение ($W = 0,65H$), как при монолитной породе.

Расстояние между зарядами принимают $a = (0,7-1,0)W$. Если породы не имеют явно выраженной слоистости или трещиноватости, то $a = 0,8W$. Такое же значение a должно быть в том случае, когда слоистость или трещиноватость одинакова по параллельному или перпендикулярному фронту уступа. Если направление слоев или трещин параллельно фронту уступа, то расстояние между зарядами следует брать равным ЛНС или близким к нему, а при направлении слоев или трещин, перпендикулярном фронту уступа, рекомендуется принимать $a = (0,65-0,70)W$. С увеличением параметра a снижается равномерность дробления породы и увеличиваются размеры максимальных кусков. Вблизи заряда порода дробится больше, а чем дальше от него, тем меньше.

С увеличением высоты уступа значение ЛНС берут ближе к нижнему пределу ($W = 0,5H$). В практике взрывных работ были случаи применения минных штолен в уступах высотой 60–90 м. Величину ЛНС при взрывании

в таких уступах принимали не более 30 м, т. е. $W = (0,33-0,50) H$. При уступах более 30 м иногда для более равномерного дробления породы заряды располагают в два ряда. Например, при высоте уступа 40 м первый ряд зарядных камер располагают в 10–12 м от плоскости уступа, а второй – на расстоянии 10–12 м от первого, т. е. 20–24 м от плоскости уступа, считая по линии его подошвы. Однако чаще применяют однорядное расположение камер.

При указанных выше расстояниях ($W = (0,5-0,8) H$ и $a = (0,7-1,0) W$) заряды можно рассчитывать по так называемой объемной формуле:

$$Q = q_n \cdot W \cdot a \cdot H = q \cdot V, \quad (49)$$

где q_n – удельный расход ВВ для зарядов рыхления при методе минных штолен, установленный по данным практики или по нормативным, кг/м³; V – объем породы, взрываваемой одним зарядом, м³.

Результат этого расчета следует считать ориентировочным, подлежащим уточнению.

Обычно при методе камерных зарядов одновременно по фронту уступа взрывают несколько камер, из одной штольни проводят две – четыре. Перед проходкой штольни уступ обивают от навесов и непрочных удерживающихся кусков породы, а перед устьем штольни устанавливают предохранительную крепь – галерею длиной около 5 м для предохранения рабочих. Шпуры бурят электросверлами или ручными пневматическими молотками. Направление выработок задает маркшейдер и в процессе проведения проверяет. Взрыв камерных зарядов образует широкую врубовую щель, а вышележащий массив породы раскалывается, встряхивается и, опускаясь, дробится на куски. Развал породы составляет не более $(2,0-2,5) H$. Расход ВВ на основной взрыв невелик, но вследствие большой кусковатости на вторичное взрывание (дробление крупных кусков) он достигает расхода на основной взрыв.

3.2.4. Контурное взрывание

Контурное взрывание применяют для получения бортов выемок с ровными и крутыми откосами с целью снижения степени разрушения, увеличения устойчивости законтурной части массива и уменьшения сейсмического воздействия на охраняемые здания и сооружения, а также сокращения трудоемкости работ по заоткоске оснований и откосов выемок.

Контурное взрывание используют для следующих целей:

1. Предварительное щелеобразование, когда по проектному контуру уступа бурят ряд сближенных скважин меньшего диаметра (100–160 мм), заряжают их гирляндами из патронов диаметром 32 мм аммонита 6ЖВ,

рассредоточенными зарядами и взрывают до производства массового взрыва с опережением 50–100 мс (рис. 36).

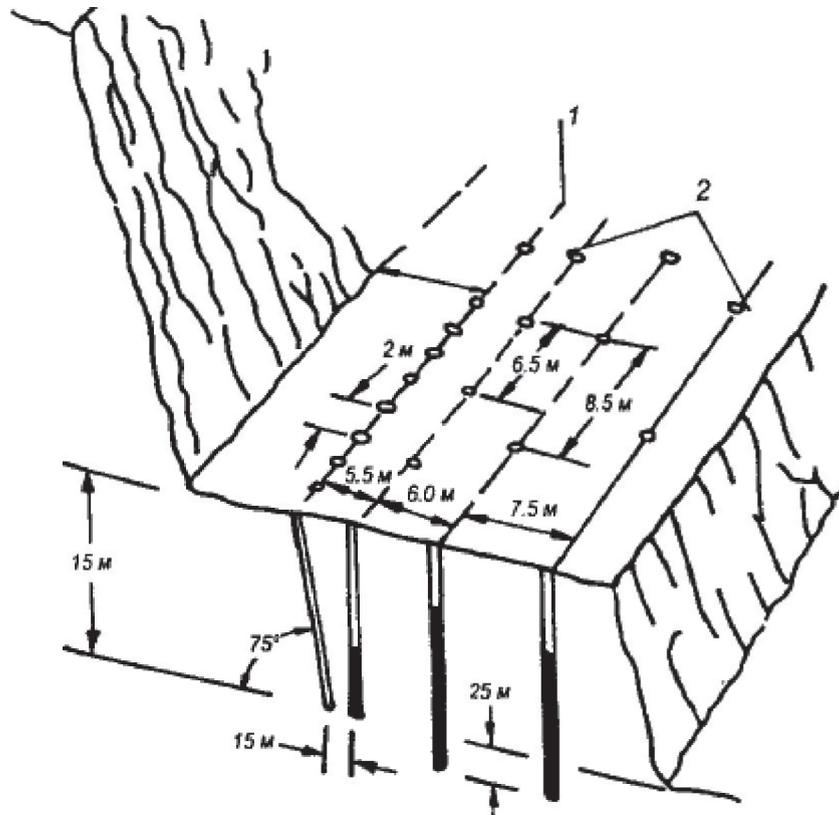


Рис. 36. Расположение контурных 1 и отбойных 2 скважин на уступе

2. Завершающий контурный взрыв, когда массив дорабатывается до проектного контура завершающим взрывом контурных скважин. Этот метод применяется при выполнении откосов над дорожными полками, обрушении потенциально неустойчивых массивов.

3. Осушение обводненного массива. Это достигается, если отрезная щель имеет связь с отработанным участком уступа, т. е. контурные скважины бурят по контуру взрываемого массива. Производят взрыв. Затем массив оставляют на время, за которое вода уходит через образовавшуюся щель. После этого приступают к заряданию и взрыванию массива.

3.2.5. Конструкции зарядов при подземном способе разработки

Шнур – это полость, выполненная в виде цилиндра диаметром до 75 мм и длиной до 5 м, пробуренная в породе и предназначенная для размещения заряда ВВ. Начало шнура называют *устьем*, а конец шнура (торцевая часть) – *забоем* или *дном шнура*, боковую поверхность – *стенками шнура*.

Основные параметры шнура: диаметр $d_{ш}$, длина $l_{ш}^l$ (рис. 37).

Из-за того что стенки шпура имеют выступы до 1,5 мм и на патронах ВВ также существуют неровности (вмятины, уширения и др.), в угольных шахтах при бурении используют коронки диаметром 41–43 мм для патронов ВВ диаметром 36 и 32 мм. Коронками диаметром 51–53 мм бурят шпуры для патронов ВВ диаметром 45 мм [4].

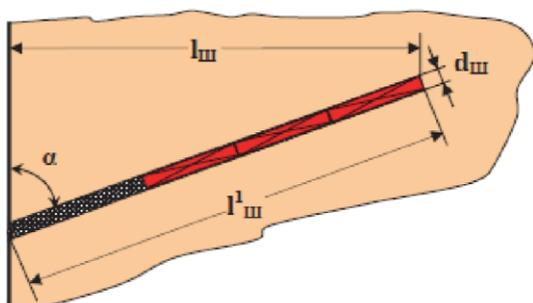


Рис. 37. Основные параметры шпура

Рассмотрим основные взрывные врубы:

Врубовые шпуры (рис. 38, № 1–4) – взрыв зарядов создает дополнительную (вторую) открытую поверхность в забое и улучшает условия взрывания остальных шпуров. Врубовые шпуры обычно бурят на 0,2–0,3 м глубже остальных, а величина их зарядов на 15–20 % больше, чем остальных. Формы взрывных врубов представлены на рис. 39.

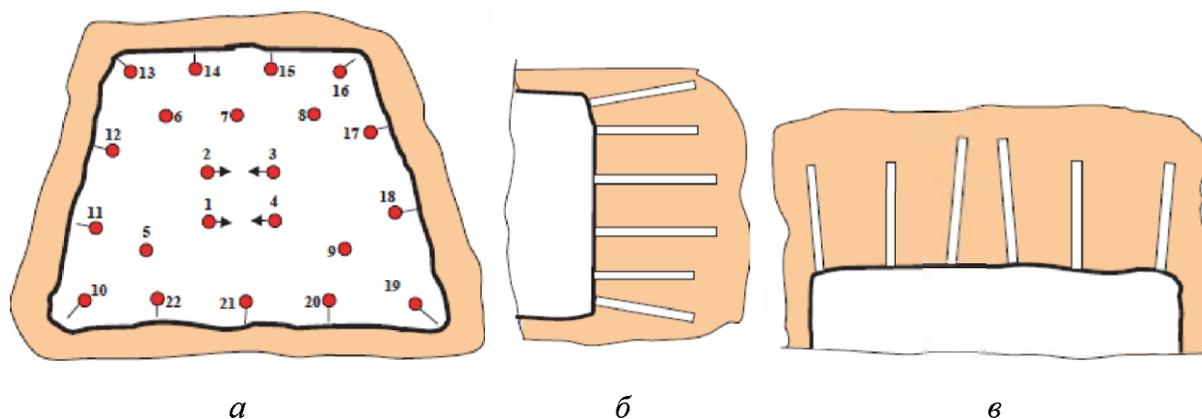


Рис. 38. Схема расположения врубовых, отбойных и оконтуривающих шпуров:
а – пример размещения шпуров в сечении забоя; б – вид сбоку; в – вид сверху

Отбойные шпуры (рис. 38, № 5–9) взрывают после врубовых, они предназначены для расширения полости, образованной врубом. При малых сечениях выработки отбойных шпуров может не быть, а при большом сечении отбойными шпурами разрушают основную часть породы в забое.

Оконтуривающие шпуры (рис. 38, № 10–22) предназначены для придания выработке проектного сечения. Заряды в этих шпурах взрывают последними.

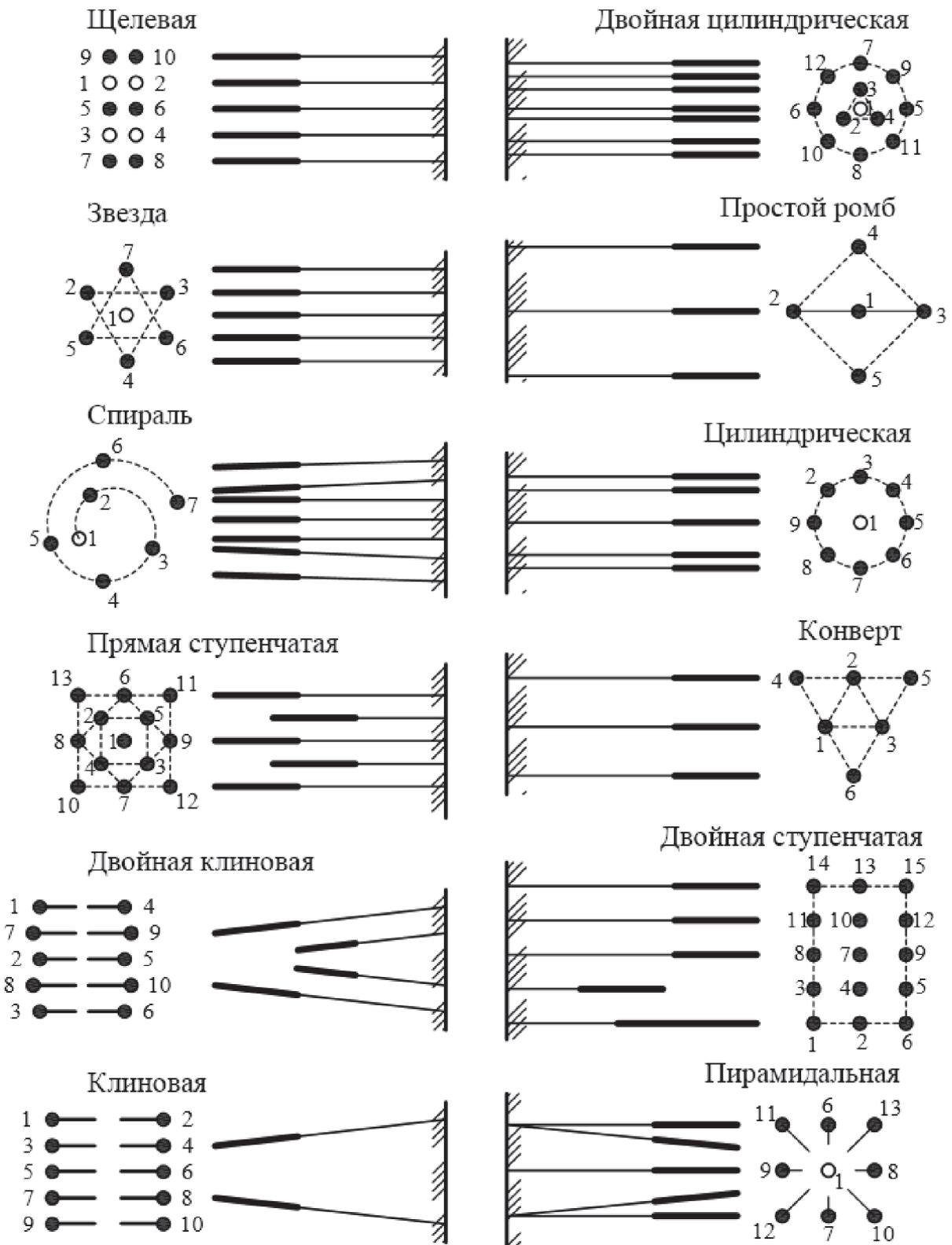


Рис. 39. Типичные схемы расположения шпуров во взрывных врубах

Наклонные врубы образуют шпурами, пробуренными под углом 60–70° к поверхности забоя. Расстояние между концами шпуров 10–20 см. В трещиноватых породах шпуры располагают под углом 90° к поверхности трещин.

Целесообразный интервал замедления между врубовыми и отбойными шпурами составляет 50–75 мс, а между отбойными и оконтуривающими шпурами – 15–25 мс. В более крепких породах интервал замедления уменьшается. Увеличенный интервал замедления между врубовыми и отбойными шпурами объясняется тем, что время разрушения породы врубовыми зарядами, работающими при одной открытой поверхности, больше, чем у отбойных и оконтуривающих. Минимально допустимые расстояния между смежными шпуровыми зарядами должны быть не менее величин, указанных в табл. 17.

Таблица 17

**Минимально допустимые расстояния
между смежными шпуровыми зарядами, м**

Условия взрывания	Класс взрывчатого вещества			
	II	III–IV	V	VI
По углю	0,6	0,6	0,5	0,4
По породе:				
при f менее 7	0,5	0,45	0,3	0,25
при $f = 7–10$	0,4	0,3	–	–

Заряжание шпуров – это процесс введения ВВ в шпур и подготовки его к взрыву. Может быть ручным и механизированным.

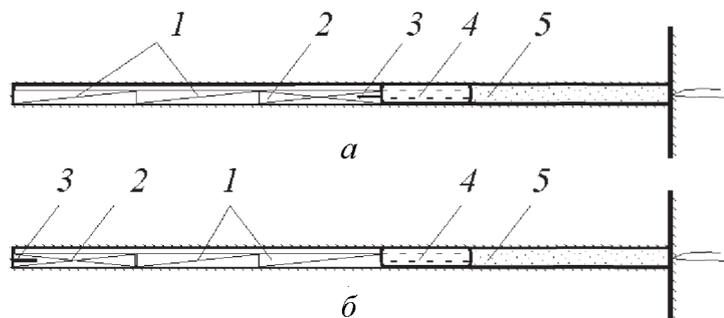
В подземных условиях при проведении горизонтальных и наклонных выработок патроны-боевики для шпуровых зарядов изготавливаются на месте взрывных работ перед заряжением точно по количеству зарядов. При проходке шахтных стволов их готовят заранее и на поверхности. При ручном заряжении в горизонтальных и наклонных выработках заряд, состоящий из двух или нескольких патронов ВВ, следует вводить в шпур одновременно. Боевик можно досылать в шпур отдельно. Патроны-боевики надо досылать в шпуры осторожно, без толчков. При заряжении запрещается уплотнять боевики, а также проталкивать их ударами забойника. При использовании порошкообразных аммиачно-селитренных ВВ патроны необходимо предварительно разминать руками. Запрещается применять слежавшиеся патроны ВВ, которые невозможно размять. Нельзя размещать в одном шпуре взрывчатые вещества различных классов или различных наименований, а при сплошном заряде – более одного патрона-боевика. Заряжать шпуры на высоте более 2 м от подошвы выработки следует с подмостков, лестниц или других приспособлений. При заряжении восстающих шпуров реко-

мендуется укреплять весь заряд на тонком стержне из допущенных материалов и посылать его в шпур целиком вместе с глиняным пыжом, после чего производить полную забойку оставшейся части шпура. Заряжание в подтопленных забоях стволов осуществляют через трубки, вставляемые в устья шпуров.

Забойку шпуров формируют максимально осторожно. Запрещается уплотнять забойку, непосредственно соприкасающуюся с зарядом – первые порции забойки должны быть небольшими. При прямом инициировании патрон-боевик должен быть расположен первым от устья шпура. Электродетонатор помещают в ближайшей к устью шпура торцевой части патрона-боевика так, чтобы дно гильзы было направлено ко дну шпура (рис. 40, *а*). Допускается применение обратного инициирования шпуровых зарядов, при котором патрон-боевик с электродетонатором размещается первым от дна шпура. В этом случае дно гильзы электродетонатора должно быть направлено к устью шпура (рис. 40, *б*). Патроны, в том числе патрон-боевик, необходимо вводить в шпур одновременно.

При переходе от прямого способа инициирования шпуровых зарядов к обратному увеличивается значение коэффициента использования шпура (КИШ), снижается количество отказов и неполных детонаций шпуровых зарядов, повышается безопасность работ и уменьшаются затраты труда и времени на зачистку забоя. В угольных шахтах из-за трудности заряжания шпуров применяется в основном прямое инициирование.

Рис. 40. Схемы шпуровых зарядов при прямом (*а*) и обратном (*б*) инициировании: 1 – пассивные патроны; 2 – патрон-боевик; 3 – электродетонатор; 4 – гидроампула; 5 – песчано-глинистая запирающая забойка



В породных и смешанных забоях подготовительных выработок при наличии газовыделения разрешается применять только предохранительные электродетонаторы мгновенного и короткозамедленного действия. Если в выработках метан не выделяется и отсутствует взрывчатая пыль, взрывание может производиться с использованием электродетонаторов мгновенного, короткозамедленного и замедленного действия со временем замедления до 2 с без ограничения пропускаемых серий замедления. Однако анализ литературных источников и практический опыт показали, что длина детонаторных проводов ЭДКЗ-ПМ и ЭДЗД не превышает 2,5 м и в ряде случаев

существует необходимость наращивать провода, а их изоляция недостаточно прочная, что создает повышенную вероятность ее повреждения о стенки шпура при вводе патронов, а также забойки и, в свою очередь, увеличивает вероятность отказа. В этом плане электродетонаторы ДЭМ-Н чешского производства удовлетворяют необходимым требованиям: длина проводов составляет 5–7 м и дополнительного их наращивания не требуется, а изоляция имеет достаточную прочность, чтобы не повредиться о стенки шпура при зарядании. Наряду с указанными преимуществами, при обратном инициировании за счет высокого КИШ достигается неизменная длина заходки (4,0–4,2 м), что позволяет удерживать постоянным расстояние от забоя до опалубки. Комплект зарядов в забое допускается взрывать отдельно, но не более чем за три приема. При этом зарядание шпуров в каждом отдельном приеме должно проводиться после взрывания в предыдущем и осуществления мер, обеспечивающих безопасность взрывных и других работ.

3.2.6. Дробление негабаритных кусков и валунов

Для дробления негабаритных кусков и валунов применяют метод накладных (наружных) шпуровых и кумулятивных зарядов (рис. 41) [2].

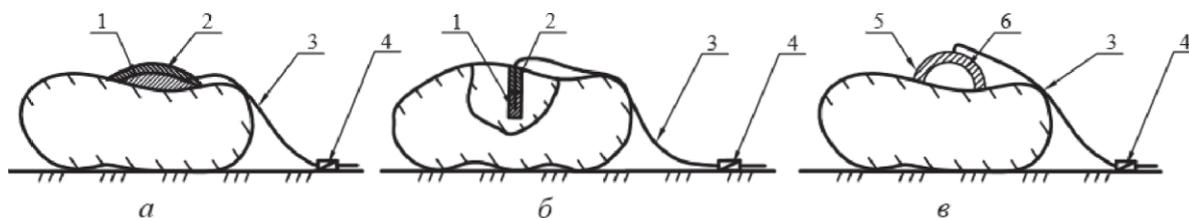


Рис. 41. Разрушение негабарита накладными (а), шпуровыми (б) и кумулятивными (в) зарядами: 1 – заряд ВВ; 2 – забойка; 3 – детонирующий шнур; 4 – электродетонатор; 5 – кумулятивный заряд; 6 – облицовка кумулятивного заряда

Метод накладных (наружных) зарядов исключает трудоемкий и вредный процесс бурения. Заряды размещаются сверху (рис. 41, а) на поверхности негабаритного куска по возможности в естественных углублениях, придавая заряду плоскую форму с толщиной слоя ВВ 2,5–3,0 см (для аммонита 6ЖВ) и прикрывая заряд сверху забойкой из грунта или песка без включения в него гальки и щебня. Негабарит разрушается в основном под действием ударной волны. Импульс взрыва пропорционален площади соприкосновения ВВ с породой. Толщина слоя ВВ должна соответствовать критическому диаметру ВВ, чтобы процесс детонации протекал в нормальном режиме.

При взрыве наружного заряда наблюдается сильная ударная воздушная волна, увеличенная зона действия ядовитых газов и разброса осколков

камня. Поэтому опасная зона составляет не менее 300 м. С целью уменьшения вредного действия УВВ накладные заряды иногда прикрывают полиэтиленовыми мешками с водой. Инициирование наружных зарядов производится с использованием огнепроводных шнуров (одиночные заряды), детонирующих шнуров или электрическим способом. Стремятся взрывать в один прием несколько негабаритов. Расход ВВ при дроблении негабаритов накладными зарядами приведен в табл. 18.

Шнуровой метод (рис. 41, б) дробления негабарита эффективен по результатам и прост по исполнению. Однако он имеет ряд существенных недостатков: взрывание сопровождается большим разлетом осколков, поэтому требуется вывод людей и остановка карьера; ручное бурение шнуров сопровождается большой запыленностью рабочих мест, шумом и вибрацией. Производительность бурильщиков при диаметре шнуров 36–42 мм составляет на изверженных породах около 30 м/смену, на метаморфических – около 40 м/смену и на осадочных – 45–50 м/смену.

Шпуры обычно бурят диаметром 25–32 мм в подземных условиях и 32–45 мм на карьерах на глубину не более $\frac{2}{3}$ толщины негабарита. Чаще применяют ВВ типа аммонит 6 ЖВ, принимая плотность заряжения шнура $\Delta = 900 \text{ кг/м}^3$. Расход ВВ при дроблении негабаритов шпуровыми зарядами приведен в табл. 18.

Таблица 18

Базовый расход ВВ, кг, на дробление 1 000 м³ негабаритных кусков (валунов)

Заряды	Группа грунтов по СНиП							
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Шпуровые	140	180	230	280	330	380	440	480
Накладные	720	950	1 200	1 425	1 700	1 920	2 150	2 400
Кумулятивные	400	500	600	700	800	900	1 000	1 100

Особое место среди накладных зарядов занимают **кумулятивные заряды** (ЗК), имеющие специальную форму (рис. 41, в). Они снаряжены высокоплотным ВВ с кумулятивной выемкой, которая создает кумулятивный эффект взрыва.

Кумулятивным называют усиленное в одном направлении действие взрыва. Сферическая или конусная выемка, ориентированная в сторону разрушаемого объекта, обеспечивает образование направленной струи взрыва с сильным пробивным действием. В кумулятивной струе продуктов взрыва развивается давление порядка $(1-2) \cdot 10^4$ МПа со скоростью распространения 5–10 км/с. При металлической облицовке кумулятивной выемки мгновенный силовой импульс характеризуется давлением на пробиваемый материал порядка 10^5 МПа.

Выпускают кумулятивные заряды типов ЗКП (с выемкой, облицованной сталью толщиной 0,8 мм) и ЗКН (без облицовки) (табл. 19). Заряды снабжают чаще прессованным или литым тротилом плотностью 1 520–1 680 кг/м³. Для инициирования детонации зарядов ЗКП с помощью ДШ в их конструкции предусмотрен промежуточный детонатор – прессованная шашка из тетрила. Одна или несколько ниток ДШ плотно прижимаются к торцу шашки и удерживаются на ней с помощью алюминиевой скобы. К индексу ЗКП добавляют буквы ОР или ПР, указывающие на допуск их только на открытые или на подземные работы. Ими взрывают негабариты в лотках питателей, дробилках без повреждения оборудования. Расход ВВ при дроблении негабаритов кумулятивными зарядами приведен в табл. 18.

Таблица 19

Параметры кумулятивных зарядов и предельные размеры негабаритных кусков

Кумулятивный заряд	Общая масса ВВ, г	Размеры заряда, мм		Предельные размеры разрушаемых кусков	
		Диаметр	Высота	Максимальная толщина, м	Объем, м ³
ЗКП-200	245	100	41	0,8	0,8
ЗКП-400	475	125	57	1	1,6
ЗКП-1000	1 229	175	72	1,4	2,5
ЗКП-2000	2 179	200	82	2,2	4,4
ЗКП-4000	4 000	250	105	2,8	6,9
ЗКН-180	180	90	35	0,55	0,75
ЗКН-260	260	100	40	0,75	0,9
ЗКН-500	500	130	50	1	1,6
ЗКН-1000	1 000	150	75	1,2	2
ЗКН-2000	2 000	190	90	1,6	3,1
ЗКН-4000	4 000	230	115	2	5

Заряды ЗКП и ЗКН позволяют более эффективно разрушать горные породы, при этом уменьшается удельный расход ВВ и дальность разлета кусков породы, так как преобладает раскалывающее, а не дробящее действие. В табл. 19 приведены предельные размеры разрушаемых негабаритов для каждого ЗКП. Однако ЗКП имеют достаточно высокую цену, которая не пропорциональна величине ВВ кумулятивного заряда.

3.3. Ликвидация отказавших зарядов

Отказавший заряд (отказ) – это невзорвавшийся заряд ВВ, оставшийся в месте его заложения. Его нельзя отождествлять с остатками патронов ВВ в отбитой горной массе в результате неполной детонации шпуровых зарядов ВВ.

Если мастер-взрывник установит, что не все заряды взорвались, он должен известить об этом технический надзор и приступить немедленно к ликвидации отказов.

Если в отказавшем заряде имелись электродетонаторы и проводники их обнаружены, то они должны быть замкнуты накоротко.

В случае невозможности точно установить полноту взрыва производится погрузка породы в месте предполагаемого отказа под наблюдением мастера-взрывника. Как только будет обнаружен отказавший заряд, мастер-взрывник удаляет рабочих и приступает к его ликвидации. Когда эти работы не могут быть закончены в данной смене, их продолжение поручают взрывнику очередной смены с соответствующей отметкой в наряде-путевке и журнале для записи отказов и времени их ликвидации.

Ликвидацию *отказавших шпуровых зарядов* разрешается проводить взрыванием зарядов во вспомогательных шпурах, пробуренных параллельно отказавшим на расстоянии не ближе 30 см. Количество вспомогательных шпуров и места заложения должны определяться лицом технического надзора. Для установления направления таких шпуров разрешается вынимать из них забоечный материал на длину до 20 см от устья.

В выработках шахт, не опасных по газу или пыли, в случае обнаружения проводов электродетонаторов, выходящих из отказавшего шпурового заряда, взрывнику разрешается из безопасного места проверить допущенными для этой цели приборами проводимость мостика электродетонатора и взорвать отказавший заряд в обычном порядке. В забоях, где установлены гидромониторы, ликвидировать отказ разрешается путем вымывания заряда с обязательным улавливанием электродетонатора. Такой способ ликвидации осуществляется под наблюдением взрывника и лица технического надзора.

Отказавший скважинный заряд можно ликвидировать путем его взрывания, если отказ произошел из-за нарушения целостности внешней взрывной сети. Этот способ допускается при условии, что линия наименьшего сопротивления заряда не уменьшилась и опасного разлета кусков горной массы или опасного воздействия ударной воздушной волны не произойдет. Разрешается ликвидация отказавшего скважинного заряда путем разборки породы в месте нахождения скважины с отказавшим зарядом и извлечения его. Если заряд в этой скважине на основе аммиачной селитры без нитроэфиров, гексогена или порохов, а взрывание осуществлялось с помощью ДШ, то разборку породы допускается проводить экскаватором при исключении непосредственного воздействия ковша на ВМ.

В случаях, когда разборка породы невозможна, скважину разрешается вскрывать обуриванием и взрыванием шпуровых зарядов, располагаемых не ближе 1 м от стенки скважины. Параметры этих буровзрывных работ

устанавливаются проектом или руководителем взрывных работ предприятия.

Правилами предусмотрена возможность ликвидации отказа путем взрывания заряда в скважине, пробуренной параллельно на расстоянии не ближе 3 м от скважины с отказавшим зарядом. Можно ликвидировать отказавший скважинный заряд путем его вымывания. Это допускается в случаях, когда производится взрывание с применением ДШ взрывчатых веществ, относящихся к группе совместимости Д (кроме дымного пороха). Наконец, если ни один из перечисленных способов не может быть использован, а также при массовых взрывах ликвидация отказов выполняется по специальному проекту, утверждаемому руководителем предприятия.

Для ликвидации *отказавшего наружного заряда* на него помещают новый и производят взрывание в обычном порядке. После взрыва заряда, предназначенного для ликвидации отказа, во всех случаях необходимо тщательно осмотреть взорванную массу и собрать ВМ. Только после этого с соблюдением мер предосторожности, определенных лицом технического надзора, рабочие могут быть допущены к дальнейшей работе. Обнаруженные ВМ должны быть уничтожены в установленном порядке.

3.4. Комплексная механизация взрывных работ на карьерах

В России и передовых зарубежных странах в последние годы на базе теоретических и экспериментальных исследований разработаны новые составы водосодержащих эмульсионных и суспензионных ВВ и их композиций с простейшими ВВ типа игданит и ипконит. В связи с этим появились новые подходы к технологии механизированного приготовления ВВ на месте потребления, к построению зарядной техники. Конструктивно-технологические схемы большинства существующих технических средств комплексной механизации взрывных работ устарели и быстро меняются. Появились принципиально новые модульные системы (мини-заводы) производства простейших и эмульсионных ВВ. Поэтому основное внимание целесообразно уделить изложению новых обобщенных инженерных решений, основных принципов построения и тенденций развития средств комплексной механизации взрывных работ и особенно смесительно-зарядной техники.

При решении проблемы механизации взрывных работ исходят из того, что необходимо максимально исключить использование на карьерах взрывчатых веществ заводского изготовления, не перевозить эти взрывоопасные грузы на дальние расстояния, поставлять на горные предприятия

только не взрывчатые компоненты (аммиачную селитру, минеральные соли и др.) и приготавливать взрывчатые смеси на месте их потребления. Такой подход резко повышает безопасность и экономическую эффективность взрывных работ и горного производства в целом. Например, для Красноярского края затраты на перевозку 1 т граммонита, относящегося к опасным грузам, железнодорожным транспортом в 4–5 раз выше, чем 1 т селитры, из которой изготавливают игданит вблизи карьера. Поэтому 1 т ВВ, приготовленная на карьере, намного дешевле своего заводского аналога.

Комплексная механизация взрывных работ представляет собой систему рационально подобранных и взаимосвязанных машин и устройств, обеспечивающих механизированное выполнение ряда работ, в частности погрузки-разгрузки, складирования и транспортирования ВВ на складах, загрузки ВВ в транспортно-зарядные или зарядные машины на пунктах подготовки, зарядания и забойки скважин. Конструктивно-технологические схемы этих звеньев механизированного комплекса разнообразны. Они зависят от масштабов и принятой на карьере технологии взрывных работ, которая, в свою очередь, определяется горнотехническими условиями их выполнения.

В самом общем виде одна из схем комплексной механизации взрывных работ при изготовлении простейших ВВ типа игданита и эмульсионных ВВ на карьерах приведена на рис. 42.



Рис. 42. Схема комплексной механизации взрывных работ при изготовлении на прикарьерном пункте простейших ВВ типа игданита и эмульсионных ВВ при поставке аммиачной селитры в вагонах-бункерах

Установлено, что строительство и эксплуатация стационарных механизированных пунктов по подготовке и изготовлению ВВ (гранулированных смесей, игданита, водосодержащих суспензионных и эмульсионных ВВ) экономически оправданы при значительном объеме производства.

МАССОВЫЕ ВЗРЫВЫ

4.1. Основные параметры сейсмобезопасности взрывных работ

Сейсмическое действие взрыва характеризуется массой одновременно взрываемого заряда ВВ, характером затухания сейсмических волн на определенном расстоянии от места взрыва и условиями их взаимодействия на границе раздела различных сред [1, 2, 6, 9, 16].

Обеспечение *сейсмической безопасности* при эксплуатации промышленных и гражданских зданий и сооружений в указанных зонах означает создание при взрыве таких условий, при которых в результате воздействия сейсмозрывных волн повреждения либо не допускаются полностью, либо допускаются в пределах, не нарушающих нормальную эксплуатацию этих зданий и сооружений.

Общим критерием сейсмической безопасности охраняемых при промышленных взрывах от разрушений зданий и сооружений, горных выработок и массивов является допустимая скорость колебаний.

Допустимой скоростью колебаний называется такая скорость, при которой полностью гарантировано сохранение зданий или сооружений, а возможные локальные их деформации не превышают прогнозируемые. Допустимая скорость колебаний зависит от конструктивных особенностей, строительных материалов, назначения, физического состояния и сроков службы зданий или сооружений.

При определении допустимых параметров колебаний грунтов или горных пород в основании гражданских зданий или сооружений за критерий безопасности принимается повреждение штукатурки, поскольку она является самым слабым местом в строении. В современных промышленных зданиях из крупных панелей или блоков, где нет штукатурки, за порог повреждаемости принимаются деформации в перегородках, трещины на стыках панелей и блоков.

При возбуждении в массиве пород скорости колебаний выше допустимой сохранность зданий или сооружений носит вероятностный характер, реализация которого оценивается конструктивными особенностями здания.

Критическая скорость колебаний – это такая предельно допустимая скорость, при которой в массиве пород сохранность зданий или сооруже-

ний может быть гарантирована с вероятностью не выше 0,5. Предельно допустимая скорость может быть принята в 2 раза выше допустимой.

Проведение взрывных работ разрешается только при допустимых скоростях колебаний, в отдельных случаях (при ликвидации аварийных ситуаций) можно допускать не более чем однократное производство взрывных работ при предельной скорости колебаний. При этом в каждом конкретном случае ситуация должна оцениваться экспертами с учетом последствий такого производства взрывных работ и возможных затрат на восстановление зданий или сооружений.

Предварительное определение допустимых и предельных (критических) скоростей колебаний для гражданских и промышленных зданий и сооружений осуществляется в СНГ на основании двенадцатибалльной шкалы. Сейсмические колебания от I до V баллов не причиняют вреда сооружениям, а больше – от VI до XII – причиняют, поэтому по техническим условиям они недопустимы (табл. 20). Для обеспечения полной безопасности сооружений предельные колебания должны быть снижены на один балл.

Таблица 20

Классификация сейсмических колебаний

Баллы	Характеристика колебаний и вызываемых ими нарушений	Скорость, см/с	
		Допустимая	Предельная (критическая)
I	Регистрация колебаний только приборами	0,2	0,2
II	Ощущение колебаний людьми в отдельных случаях при тишине	0,2	0,2
III	Ощущение колебаний некоторыми людьми или людьми, знающими о взрыве	0,4	0,8
IV	Ощущение колебаний многими людьми, дребезжание стекол	0,8	1,5
V	Осыпание побелки; повреждение штукатурки и отдельных ветхих зданий	1,5	8,0
VI	Тонкие трещины в штукатурке, повреждение зданий, имевших деформацию	8,0	6,0
VII	Повреждение зданий, находившихся в удовлетворительном состоянии; трещины в штукатурке, падение кусков штукатурки, тонкие трещины в сочленениях и перекрытиях стен, трещины в печах, трубах	6,0	12,0
VIII	Значительные повреждения зданий, трещины в несущих конструкциях и стенах, большие трещины в перегородках, падение печных труб, обвалы штукатурки	12,0	24,0
IX	Разрушение зданий, большие трещины в стенах, расслоение кладки, падение некоторых участков стен	24,0	48,0
X–XII	Большие разрушения и обвалы зданий	>24	>48

Допустимая скорость колебаний зависит от назначения и состояния зданий и сооружений того или иного класса. В соответствии со СНиП П-А.8–62 и СНиП П-А.12–69 промышленные здания и сооружения делятся на четыре класса:

- *I класс* – особо ответственные здания и сооружения общесоюзного и республиканского значений, исторические и архитектурные памятники, ведение взрывных работ вблизи которых возможно лишь в исключительных (аварийных) случаях по специальным проектам и согласованиям;

- *II класс* – сооружения промышленного назначения большой важности (трубы, здания цехов больших размеров, копры шахт, водонапорные башни и другие со сроком службы 20–30 лет); здания и сооружения гражданского назначения с большим скоплением людей, жилые дома, кинотеатры, дома культуры и т. п.;

- *III класс* – сооружения промышленного и служебного назначения сравнительно небольших размеров в плане (не выше трех этажей) – механические мастерские, компрессорные, бытовые комбинаты и т. п.; здания гражданского назначения с небольшим скоплением людей, жилые дома, магазины, служебные помещения и т. п.;

- *IV класс* – здания промышленного и гражданского назначения с ценными и дорогостоящими машинами и приборами, нарушение которых не угрожает жизни и здоровью людей (складские помещения, экипировочные пункты для транспорта, здания автоматизированных холодильников, компрессорных установок и т. п.).

Допустимые скорости колебаний грунта в основаниях зданий и сооружений в зависимости от их класса приведены в табл. 21.

Если в группе зданий находится несколько сооружений различных классов, то допустимая скорость должна приниматься для наиболее важных зданий и сооружений или для наиболее нарушенных из них с тем, чтобы она была минимальной.

Наиболее характерными деформациями, наблюдаемыми в зданиях при действии взрыва, являются трещины в несущих конструкциях, расслоение кирпичной кладки, нарушение связей между отдельными элементами. В зданиях и сооружениях, имеющих антисейсмические усиления, серьезных деформаций в несущих элементах не наблюдается, поэтому все антисейсмические мероприятия относятся к зданиям и сооружениям без специальных антисейсмических усилений. В таких зданиях происходит повреждение конструкций, расположенных вдоль распространения волн; особенно значительны нарушения в зданиях и сооружениях, имеющих сложную форму и переменную жесткость.

Длинные здания, расположенные вдоль распространения волн, обычно разбиваются трещинами на отдельные блоки вследствие действия

изгибающих усилий при разновременном колебании отдельных частей длинной стороны здания. Колебания зданий, плохо построенных, неправильно спроектированных или эксплуатируемых, при многократном последовательном воздействии сейсмических колебаний приводят к остаточным деформациям конструкций, их накоплению и в конечном счете к разрушению. В связи с этим взрывные работы должны вестись при строгом соблюдении допустимых скоростей колебаний с учетом всей волновой картины действия взрыва в окрестностях здания.

Таблица 21

Характеристика допустимых колебаний

Характеристика зданий и сооружений	Допустимая скорость колебаний грунта, см/с, по классам сооружений		
	II	III	IV
Здания и сооружения промышленного или гражданского назначения с железобетонным или металлическим каркасом с навесными панелями или легким заполнителем, с антисейсмическим усилением. Качество строительных работ хорошее, без отклонений от расчетной схемы. Остаточных деформаций в несущих элементах, конструкциях и заполнителе не имеется	5,0	7,0	10,0
Здания и сооружения с железобетонным или металлическим каркасом с заполнителем, без антисейсмических усилений. Остаточных деформаций не имеется	2,0	5,0	7,0
Каркасные здания, заполнитель – кирпичная или каменная кладка, трещины в заполнителе. Новое или старое крупноблочное или кирпичное здание без антисейсмических усилителей. Качество строительных работ хорошее. Остаточных деформаций не имеется	1,5	3,0	5,0
Каркасные здания со значительными нарушениями в заполнителе и трещинами в каркасе. Новое или старое здание из кирпича или крупных блоков, имеющее отдельные небольшие трещины в несущих стенах и перегородках	1,0	2,0	3,0
Старое или новое здание каркасного типа с трещинами в каркасе, нарушениями связей между отдельными элементами. Кирпичное или крупноблочное здание с несущими стенами, имеющими значительные нарушения в виде косых трещин, трещин в углах и т. п.	0,5	1,0	2,0
Нарушение железобетонного каркаса, коррозия арматуры каркаса, крупные трещины в заполнителе. Здания с несущими стенами, имеющие значительное число трещин, нарушения связей между наружными и внутренними стенами и т. п. Крупнопанельные, не усиленные антисейсмические здания	0,3	0,5	1,0

Итак, общая задача обеспечения сейсмической безопасности при взрывах в промышленных условиях с оценкой их количественных параметров включает решение следующих частных задач:

- предварительную оценку или прогнозирование основных параметров сейсмических волн;
- установление критических значений максимальных скоростей для конкретных зданий и сооружений с учетом их особенностей;
- определение объема и характера мероприятий, необходимых для обеспечения сейсмической безопасности.

Взрывание большой массы зарядов ВВ при заданном расстоянии с обеспечением сохранности защищаемых от сейсмического действия взрыва объектов достигается применением специальных защитных технологических мероприятий, снижающих интенсивность сейсмических колебаний. В отдельных случаях при взрывах могут быть допущены небольшие повреждения зданий и сооружений, если эти повреждения оправданы экономически или другими факторами.

Рассмотрим влияние атмосферных условий на параметры ударных воздушных волн.

При взрывах на карьерах образуются ударные воздушные волны, интенсивность которых вследствие рассеивания энергии в безграничном воздушном пространстве бывает намного меньше, чем в подземных выработках. Такие волны представляют опасность в основном для остекленных зданий и неустойчивых сооружений, имеющих большую площадь.

Начальные параметры УВВ, образующихся при взрывах на карьерах, зависят от эффективности использования энергии ВВ на разрушение массива горных пород и определяются долей энергии взрыва, ушедшей вместе с продуктами детонации в воздушное пространство. На некотором расстоянии от заряда параметры УВВ становятся близкими к параметрам звуковой волны, поэтому характер распространения УВВ над поверхностью земли зависит от состояния атмосферы: плотности, температуры и влажности воздуха, скорости ветра. Изменения плотности воздуха, скорости ветра приводят к изменению направления распространения УВВ и ее интенсивности.

Изменение параметров атмосферы ведет к изменению параметров звуковой волны. *Скорость звука*, м/с, в воздухе C_a является одной из важнейших характеристик звуковой волны и определяется по формуле

$$C_a = \frac{\gamma \cdot P_a \cdot g}{\rho_0}, \quad (50)$$

где γ – температурный коэффициент; P_a – атмосферное давление; g – ускорение свободного падения; ρ_0 – начальная плотность.

С ростом атмосферного давления скорость звука увеличивается. Повышение температуры воздуха также ведет к увеличению скорости звука, поэтому температурные изменения в атмосфере на расстоянии более 500 м от поверхности над районом взрыва могут вызвать фокусирование УВВ, что будет способствовать росту давления в некоторых районах поверхности.

С увеличением высоты скорость звука уменьшается, а температура воздуха (отрицательный температурный градиент) понижается. При этом распространение звуковых волн происходит вверх. Распространяется УВВ в безграничной среде, не наклоняясь к поверхности земли, при этом наблюдается рассеивание энергии волны в безграничной воздушной среде.

Если температура воздуха с высотой повышается (положительный температурный градиент), то это приводит к возрастанию скорости звука, отклонению звуковых волн обратно к земле и образованию головной волны со значительным увеличением избыточного давления на фронте.

При восходе солнца возможно изменение температурного градиента от отрицательного к положительному. Это относится к разряду температурной инверсии. В таких условиях наблюдается значительное фокусирование волн с образованием интенсивной головной волны. Отсюда следует, что при положительном градиенте и при изменении температурного градиента от отрицательного к положительному взрыв целесообразно временно отложить.

Известно, что на фронте УВВ давление зависит от скорости ветра. Эта зависимость проявляется в меньшей степени, чем от воздействия температурных изменений. С высотой скорость ветра возрастает. По этой причине в направлении ветра УВВ наклоняется к поверхности земли, а против ветра, наоборот, отрывается от нее. В целом характер распространения УВВ определяется суммарным действием градиентов скоростей ветра и звука. Обычно суммарное действие таково, что в направлении ветра волна наклоняется к поверхности земли.

Усиление УВВ в результате фокусирования определяется *коэффициентом фокусировки*, вычисляемым из отношения давления в реальной атмосфере к давлению, которое получилось бы при распространении волны в однородной спокойной среде, т. е.

$$f_y = \frac{\Delta P}{\Delta P_a}. \quad (51)$$

При распространении УВВ в приземном инверсионном слое $f_y = 2-3$. Совпадение направления ветра и звука может усилить волну в 4,0–7,5 раз.

При достижении критических значений давлений на фронте УВВ, равных 0,7–1,0 кПа, разрушение стекол в оконных рамах происходит в том случае, когда продолжительность действия положительной фазы УВВ становится больше периода собственных колебаний стекла.

В случае короткозамедленного взрывания прямолинейной серии зарядов, на фланге которой расположен охраняемый объект, возможно усиление эффекта в направлении объекта вследствие синхронного сложения УВВ от отдельных зарядов.

Анализ литературных источников позволяет определить основные направления ослабления УВВ при взрывах на карьерах.

При взрывах на карьерах параметры УВВ в значительной степени зависят от эффективности использования энергии ВВ на разрушение массива. Поэтому все мероприятия, направленные на улучшение дробления массива, одновременно снижают интенсивность волны. Наиболее эффективной с точки зрения ослабления УВВ является забойка скважин и открытых зарядов в комбинации с воздушными промежутками и без них, которая может ослабить волну в 10 раз и более.

Во время взрывов необходимо также учитывать климатические условия, силу и направление ветра. Если, по данным метеорологических станций, в атмосфере существует положительный градиент, то взрыв нужно отложить. При отрицательном градиенте и скорости ветра менее 6,5 м/с фокусирование УВВ бывает весьма незначительным, поэтому взрыв можно выполнить.

При скорости ветра больше 6,5 м/с следует учитывать его направление. Если ветер направлен в сторону жилых районов, то взрыв необходимо отложить. Наиболее благоприятным временем для взрыва является полдень, когда положительный градиент в атмосфере наблюдается очень редко.

Защита остекления оборудования на карьере от воздействия УВВ может быть выполнена с помощью установки защитных экранов.

4.2. Организация взрывных работ на подготовительном этапе

Под *организацией взрывных работ* понимается комплекс мероприятий, выполняемый с целью безопасного и эффективного производства взрывных работ. Весь этот комплекс строго регламентирован, находится под контролем и согласовывается в региональных управлениях Ростехнадзора [6].

Организация взрывных работ состоит из трех этапов. На *подготовительном этапе* подбирают персонал и оформляют документацию, разрешающую взрывные работы. *Собственно взрывные работы* включают составление проекта взрыва, или паспорта БВР, подготовку и доставку ВВ, зарядание, монтаж сети и инициирование зарядов. На *заключительном этапе* выполняют осмотр места взрыва и ликвидацию отказавших зарядов, если они имеются.

Примерный перечень организационных мероприятий и документации на взрывные работы:

- 1) проект на взрывные работы с указанием годового расхода ВМ;
- 2) строительство склада ВМ и здания подготовки ВМ;
- 3) составление паспорта склада ВМ;
- 4) оформление акта о приемке склада ВМ в эксплуатацию;
- 5) получение разрешения на право хранения ВМ;
- 6) получение разрешения на право производства взрывных работ;
- 7) получение разрешения на приобретение ВМ;
- 8) получение разрешения на перевозку ВМ;
- 9) оформление Книги учета прихода и расхода ВМ;
- 10) оформление Книги учета выдачи и возврата ВМ;
- 11) оформление наряда-накладной;
- 12) оформление наряда-путевки;
- 13) оформление Журнала учета и ликвидации отказов;
- 14) оформление Журнала инструктажа по технике безопасности (ТБ);
- 15) получение образцов подписей на отпуск ВМ;
- 16) оформление пропусков на склад ВМ;
- 17) оборудование укрытий для взрывников;
- 18) установка сигнальных мачт (на открытых горных работах) и сигнальных сирен;
- 19) установка предупредительных знаков безопасности на границе опасной зоны;
- 20) выдача взрывнику необходимых инструментов, приспособлений и приборов;
- 21) оборудование транспортных средств для перевозки ВМ на поверхности и под землей;
- 22) приобретение взрывных машинок, приборов контроля взрывной сети и приборов контроля взрывных машинок;
- 23) оборудование минных станций;
- 24) приобретение средств для механизации взрывных работ;
- 25) обеспечение склада ВМ и участка взрывных работ средствами по оказанию первой медицинской помощи.

Кроме вышеперечисленных мероприятий рудник должен обеспечить подбор персонала для производства взрывных работ и руководства ими. При этом руководители взрывных работ в обязательном порядке проходят аттестацию в региональном управлении Ростехнадзора. Производство взрывных работ возможно только при наличии на руднике документации, разрешающей взрывные работы. Для ведения взрывных работ в органах Ростехнадзора и Министерства внутренних дел РФ оформляются разрешения на хранение, приобретение и перевозку ВМ, а также на ведение взрыв-

ных работ. Получают разрешение в соответствии с требованиями Инструкции о порядке хранения, использования и учета взрывчатых материалов и Инструкции о порядке получения разрешений на право производства взрывных работ, а также свидетельств на приобретение или перевозку ВМ, приведенных в приложениях к действующим Единым правилам безопасности (ЕПБ) при взрывных работах. Предприятие (или организация), на котором предполагается производить взрывные работы, подает заявление в территориальное управление Ростехнадзора, непосредственно контролирующее эту организацию. В заявлении указывают характер, методы производства взрывных работ и сроки их проведения, сведения о руководителе этих работ, сведения о складе, где будут находиться ВМ. При взрывных работах на дневной поверхности к заявлению прилагается выкопировка из плана местности с нанесением мест производства взрывных работ, границ, а для подземных работ указывается опасность по газу или пыли.

4.3. Проектное обеспечение и технологические особенности взрывных работ

Взрывные работы ведут на основании разработанных и утвержденных руководителем предприятия паспортов буровзрывных работ или проектов на массовый взрыв [5].

Массовым взрывом называют одновременный взрыв нескольких скважинных, котловых или камерных зарядов, смонтированных в общую сеть, а также единичных зарядов в выработках длиной более 10 м, т. е. там, где затруднено проветривание.

Взрывные работы по паспортам БВР производятся при проходке выработок и в очистных забоях при шпуровой отбойке руды. Паспорта и проекты БВР составляются в соответствии с требованиями ЕПБ при ВР и Регламента на взрывные работы.

Массовые взрывы должны осуществляться в соответствии с требованиями Инструкции по проведению массовых взрывов в подземных выработках рудников, которая разрабатывается на основании и с учетом требований Типовой инструкции по безопасному проведению массовых взрывов в подземных выработках, утвержденной постановлением Ростехнадзора России 14.05.93 № 10. На горнодобывающих предприятиях разрабатывают следующие **виды проектов** на взрывные работы: *типовой* – на стадии проектирования предприятия (входит в состав проекта на ведение горных работ); *технический* – в период производства добычных работ, учитывает конкретную горно-геологическую ситуацию и состояние горных выработок; *специальный* – при взрывании большого количества ВВ и отбойке больших объемов горной массы.

4.3.1. Типовой и технический проекты массового взрыва

В типовом проекте массового взрыва содержатся: горнотехническая характеристика обрабатываемого блока, параметры расположения скважин, способы и системы взрывания, конструкция зарядов, тип ВВ, диаметр скважин, расчетные показатели взрыва (удельный расход ВВ, общий расход ВВ, объем отбиваемой породы, выход руды с 1 м скважины и др.), методика расчета электровзрывной сети и времени проветривания, методика расчета безопасных расстояний по сейсмическим условиям.

Технический проект массового взрыва составляется на каждый взрыв на основании технического проекта данного предприятия с учетом геолого-маркшейдерских и графических материалов и опыта предыдущих взрывов. В техническом проекте отражаются сведения общего характера (объем взрывающей горной массы, количество зарядных камер и скважин), сведения о параметрах БВР (диаметр и глубина скважин, их число, длина заряда, масса заряда по скважинам и камерам); схемы фактического расположения скважин с откорректированными геолого-маркшейдерскими данными в масштабе 1:500 или 1:200; схемы взрывной сети с данными о прокладке ДШ или электропроводов, мест установки патронов-боевиков и пиротехнических замедлителей, приборов взрывания, величин интервалов замедления и очередности взрывания, схемы проветривания после взрыва с указанием движения свежего и отработанного воздуха. Для руководства работами по подготовке и проведению массового взрыва назначается ответственный за взрыв (начальник участка, где производят взрыв или главный инженер шахты). Технический проект, распорядок проведения и календарный график производства массового взрыва утверждает главный инженер рудника (шахты).

4.3.2. Специальный проект массового взрыва

Специальный проект массового взрыва состоит из горнотехнической характеристики района взрыва; расчетных показателей массового взрыва; организационно-технических мероприятий по подготовке и проведению массового взрыва. К проекту прилагаются графический материал и распорядок проведения взрыва.

Горнотехническая характеристика района взрыва содержит описание системы разработки, размеров элементов блока, состояния зарядных камер и взрывных скважин, площади обнажения потолочин и висячего бока, состояния смежных блоков (устойчивость междуканальных потолочин и горных выработок), а также топографию местности поверхностных и подземных сооружений.

Расчетные показатели массового взрыва выполняют аналогично расчетным показателям при типовом проекте массового взрыва.

Организационно-технические мероприятия по подготовке и проведению массовых взрывов должны содержать: мероприятия, обеспечивающие безопасность работ при доставке, транспортировании и хранении ВВ; маршруты по доставке ВМ, организацию работ по доставке ВМ, зарядки скважин (зарядных камер) и монтажу взрывной сети; мероприятия по локализации ударной воздушной волны; места устройства погрузочных площадок на поверхности и места хранения ВВ в районе массового взрыва; безопасные расстояния на период зарядки, монтажа взрывной сети и взрыва; районы опасной зоны, в пределах которой на период зарядки прекращаются взрывные работы, организацию работ по зарядке с указанием способа и очередности зарядки; расчеты сейсмически безопасных расстояний, опасной зоны на поверхности и опасной зоны по воздействию ударной воздушной волны.

К проекту массового взрыва прилагается *графический материал*: общий план поверхности, на который наносят опасную зону на период производства взрыва и посты охранной зоны; планы и разрезы междукамерных целиков и потолочин с указанием мест расположения скважинных зарядов; планы верхнего и нижнего откаточных горизонтов с нанесением опасной зоны на период зарядки и места расположения постов; схемы вентиляции с указанием движения струи воздуха после массового взрыва; общую схему взрывной сети. Если в зоне сейсмического действия взрыва располагаются важные объекты, к проекту массового взрыва прилагаются геологические разрезы по линии объект – заряд с указанием структуры горных пород.

Распорядок проведения массового взрыва в общем случае включает меры организационные, технологические и обеспечивающие безопасность работ. Также предусматривается определенный Едиными правилами круг обязанностей и персональная ответственность должностных лиц, осуществляющих все мероприятия, связанные с подготовкой и проведением массового взрыва. Устанавливаются сроки работ по подготовке и производству массового взрыва, порядок прекращения работ перед взрывом и вывод рабочих из шахты за пределы опасной зоны, порядок допуска рабочих на подземные работы после взрыва.

Кроме того, в распоряжке указывают:

- место нахождения ответственного руководителя перед производством и в момент взрыва;
- лиц надзора, ответственных за доставку ВВ на поверхность и в шахту и зарядку скважин;
- порядок охраны ВВ на весь период доставки, хранения на местах работ и на период зарядки;
- фамилии старших взрывников, ответственных за зарядку и укладку боевиков;

- начало и окончание работ по заряданию, очередность зарядания;
- фамилии взрывников и инженерно-технических работников (ИТР), осуществляющие монтаж взрывной сети;
- начало и окончание работ по монтажу взрывной сети;
- время отключения электроэнергии;
- опасные зоны в шахте на время зарядания, монтажа взрывной сети и взрыва;
- ответственного за вывод людей с подземных работ и с поверхностных сооружений, входящих в опасную зону;
- ответственного за выставление постов охраны опасной зоны на поверхности;
- местонахождение постов охраны, порядок их выставления и сигнализацию;
- срок и ответственного за вывоз остатков ВВ на расходный склад ВМ (при необходимости);
- время проветривания района взрыва.

С распоряжением проведения массового взрыва ответственный руководитель взрыва знакомит всех указанных в нем лиц под роспись. Массовые взрывы на поверхности, представляющие угрозу безопасности воздушного движения, могут осуществляться только после получения согласования на их производство. Указанное согласование проводится в порядке, предусмотренном Инструкцией по применению Положения об использовании воздушного пространства страны.

4.4. Обеспечение безопасности работ при производстве массовых взрывов

Зарядание скважин и камер разрешается после уборки оборудования, создания предохранительных устройств и письменного подтверждения начальников участков, что люди удалены на безопасное расстояние. Перед началом работ выдают выкопировки проекта с таблицей раскладки зарядов ВВ лицам, ответственным за зарядание, которые учитывают ВМ, передают остатки ВМ по смене и докладывают руководителю взрыва (ответственному за взрыв) о числе заряженных скважин (зарядных камер, шпуров), о расходе и остатке ВМ. Технический руководитель взрыва или ответственные за зарядание лица ведут письменно исполнительную документацию по заряданию, в которой, в частности, указывают фактически уложенное количество ВВ в каждую скважину (камеру) и все другие изменения и отклонения от технического расчета (специального проекта) [4, 6].

При *механизированном заряджании* требуется выполнять следующие условия [11, 12]:

- зарядание необходимо производить зарядчиками, допущенными к промышленному применению Ростехнадзором;
- зарядку могут осуществлять взрывники, прошедшие специальную подготовку;
- места работы зарядчиков должны быть хорошо освещены;
- запрещается производить ремонт зарядчиков на месте зарядания и вблизи мест хранения ВВ;
- при подготовке ВВ к заряданию с помощью зарядчиков нужно тщательно оберегать их от засорения песком и буровой мелочью;
- запрещается пользоваться просыпавшимся и засоренным ВВ при использовании пневмозарядчиков;
- максимальное давление в зарядном агрегате и магистральном трубопроводе должно быть не более предусмотренного паспортом зарядчика;
- скважины перед зарядкой рекомендуется очищать от бурового шлама, чтобы обеспечить проходимость става транспортных труб или шланга в скважину.

Патрон-боевик необходимо досылать вручную. Список рабочих, назначенных для выполнения работ по доставке ВВ, подъему и зарядке, утверждается техническим руководителем взрыва по представлению начальников участков. Все рабочие, занятые на доставке ВВ и зарядании, перед допуском к работе должны быть проинструктированы и соответствующе оформлены в Журнале по учету прохождения инструктажа по технике безопасности. Соединение проводов электродетонаторов и электрозажигательных патронов, укладка патронов-боевиков и подсоединение инициатора к сети детонирующего шнура разрешается только после окончания зарядания скважин (зарядных камер, шпуров) и удаления людей, не связанных с монтажом взрывной сети, на безопасное расстояние. При массовых взрывах по обрушению потолочин, междукammerных целиков и висячего бока залежи перед началом укладки патронов-боевиков или перед подсоединением инициатора к сети детонирующего шнура все люди, не связанные с монтажом взрывной сети, должны выводиться из шахты на поверхность. Начальники участков, отделов и служб, а при необходимости и руководители смежных шахт письменно подтверждают вывод людей за пределы опасной зоны. Не позднее чем за двое суток до массового взрыва ставятся в известность органы Ростехнадзора. Допуск людей в шахту с единой схемой вентиляции (кроме участков взрыва) производят только после проверки состояния выработок отделениями военизированной горноспасательной части (ВГСЧ), восстановления во всех выработках шахты нормальной рудничной атмосферы, но не ранее чем через 2 ч после взрыва.

На участок взрыва рабочие допускаются только после восстановления на нем нормальной рудничной атмосферы, приведения выработок в безопасное состояние и проверки состояния выработок отделениями ВГСЧ, но не ранее чем через 8 ч после взрыва. Разрешение на допуск людей для работы в районе взрыва выдается ответственным руководителем после получения данных от ВГСЧ о состоянии выработок. В первую рабочую смену после взрыва начальники участков или их помощники лично проверяют состояние забоев на участке. Выработки в районе массового взрыва и выработки, примыкающие к нему, в первое время, продолжительность которого после взрыва устанавливается главным инженером шахты, должны находиться под строгим контролем пылевентиляционной службы (ПВС). Сменный надзор должен систематически контролировать рудничную атмосферу при помощи индикаторов. При обнаружении содержания ядовитых газов выше нормы необходимо вывести людей из забоя и поставить в известность начальника участка, начальника вентиляции и главного инженера шахты.

Предполагаемая зона обрушения поверхности (по маркшейдерским данным) должна быть ограждена от допуска в нее людей как во время взрыва, так и после него до окончательной посадки пород поверхности. После выпуска руды из камер (блоков) все технико-экономические показатели по массовому взрыву заносятся в таблицу и дается его общая оценка. Результаты проведенных массовых взрывов должны систематически рассматриваться, и приниматься решения по коррекции параметров и дальнейшему совершенствованию буровзрывных работ.

4.5. Организация производства массовых взрывов под землей

Метод скважинной отбойки характеризуется использованием для разрушения горных пород удлиненных колонковых зарядов ВВ, размещаемых в скважинах большого диаметра. Масса таких зарядов составляет 100 кг и более. При скважинной отбойке создаются условия для эффективного использования буровой техники, погрузочных машин и транспортных средств, что позволяет повысить производительность взрывных работ, уменьшить стоимость 1 т добываемой руды за счет снижения удельной трудоемкости работ и удельных затрат материалов. Метод скважинной отбойки целесообразно использовать при разработке мощных рудных тел. Этот метод также эффективен в рудных залежах при системах с принудительным обрушением, а также при выемке целиков. Метод скважинных зарядов не рекомендуется применять при незначительной мощности

рудного тела, поскольку трудно расположить скважины в пределах рудного тела и при взрывании зарядов происходит сильное разубоживание полезного ископаемого пустой породой, а при слабой кровле – ее обрушение [6].

В зависимости от направления скважин к горизонту различают следующие способы отбойки: горизонтальными, вертикальными и наклонными слоями. Расположение скважин бывает параллельное, веерное, пучковое и комбинированное. Способ расположения скважин в разрушаемом массиве является столь же важным параметром буровзрывных работ, как и диаметр, глубина скважин, качество ВВ и схема взрывания. Способ отбойки руд *горизонтальными слоями* применяют при системе разработки подэтажными штреками; *вертикальными слоями* – при камерно-столбовой или панельно-столбовой системе; *наклонными слоями* – при системе подэтажных штреков в условиях пологопадающих и наклонных пластов полезного ископаемого. Глубина скважин составляет 20–50 м, диаметр – 55–160 мм, однако с усовершенствованием технических средств эти размеры могут быть увеличены. Толщина разрушаемого слоя лежит в пределах 1,5–2,0 и 5,5–6,0 м в зависимости от крепости рудного тела, диаметра заряда и типа применяемого ВВ.

Способ взрывания скважинных зарядов выбирают с учетом многих горнотехнических факторов и в первую очередь способа их размещения. Например, взрывание *пучков* глубоких скважин, пробуренных из одной буровой камеры, можно осуществить без замедления между скважинами.

При *параллельном расположении* скважин взрывание производят с любыми интервалами замедления между скважинами, рядами или группами скважин. Технологические параметры (интервалы замедления, схемы коммутации взрывной сети, конструкции зарядов и др.) принимают в зависимости от конкретных горнотехнических условий.

Схемы взрывания при *веерном расположении* скважин выбирают таким образом, чтобы все скважины в каждом ряду взрывались в одну очередь. При многорядном короткозамедленном взрывании особое значение приобретает надежность всех элементов взрывной сети. Отказы зарядов при массовой отбойке приводят к резкому ухудшению дробления массива, а иногда являются причиной несчастных случаев. Для взрывания вееров скважин с замедлением патроны-боевики помещают в средней части заряда скважины. Этим предотвращается повреждение патронов-боевиков от взрывов предыдущих зарядов. В таких условиях наиболее надежным средством короткозамедленного взрывания являются электродетонаторы. В каждую скважину для надежности помещается два электродетонатора. Этим достигается снижение разброса во времени взрывания зарядов, так как каждый заряд взрывается от электродетонатора, который имеет мень-

шее время срабатывания. При взрывании скважинных зарядов, расположенных в параллельных плоскостях, патроны-боевики посылают в скважину со сближенными устьями в разное время. Если скважины бурят из отдельных, изолированных друг от друга выработок, то при взрывании в них зарядов с замедлением можно применять детонирующий шнур. Более простая схема коммутации может быть получена с использованием пиротехнических реле. При вводе патрона-боевика в скважину возможны обрывы проводов электродетонаторов. По данным статистики, на 100 заряжаемых скважин происходит 1–2 обрыва. В связи с этим необходимо применять такую схему электровзрывной сети, которая позволяла бы обнаруживать обрывы и устранять их до взрыва.

Монтаж взрывных сетей в забое начинают с ветви, в которую включают последовательно все электродетонаторы (по одному от каждого заряда), после этого всю смонтированную сеть закорачивают. Затем из оставшихся в каждом заряде электродетонаторов в таком же порядке монтируют дублирующую ветвь (имеется в виду, что перед монтажом все электродетонаторы были введены в скважины вместе с патронами-боевиками). Если взрываются заряды не более 30 скважин, т. е. монтируют не более 60 электродетонаторов, монтаж сети производят в забое при отключенной шахтной электросети. При большем числе взрываемых зарядов заблаговременно монтируют электродетонаторы в гирлянды. Для этого в диспозиции на массовый взрыв указывают число изготавливаемых гирлянд (их соединяют между собой в группы) и число групп. В забой приносят готовые закороченные гирлянды. В этом случае упрощается вид патронов-боевиков в заряде скважин, а монтаж электровзрывной сети в забое сводится к соединению между собой нескольких гирлянд и подключению их к магистральным проводам. Если обрушаемый массив обводнен, то применять электродетонаторы с наращенными концевыми проводами запрещается, так как это может привести к массовым отказам зарядов.

При производстве массовых взрывов включение тока в зависимости от массы одновременно взрываемого ВВ осуществляют из находящейся в шахте штрековой (участковой) подстанции или с поверхности. Подачу тока из штрековой подстанции производят в том случае, если количество ВВ не более 30 т, а станция находится на безопасном расстоянии от взрываемого блока. Во всех других случаях взрыв осуществляется посредством масляного выключателя поверхностной подстанции, подающего напряжение 6 000 В на силовой трансформатор штрековой подстанции. Всех людей при этом из шахты выводят. Производство массовых взрывов в подземных условиях осуществляется в соответствии с действующими Едиными правилами безопасности при взрывных работах и Временной инструкцией по организации и проведению массовых взрывов в подземных условиях [11–13].

Массовые взрывы при отбойке, отрезке и подсечке рудного массива, а также при поэтажном обрушении блоков и междуканальных целиков выполняются при наличии типового проекта массового взрыва на предприятии, технического расчета массового взрыва и распорядка его проведения.

При обрушении потолочин, отбойке блоков и разрушении междуканальных целиков на полную высоту этажа, а также при ликвидации пустот массовые взрывы осуществляют при наличии специального проекта-диспозиции, составляемого на каждый взрыв. Проект утверждается главным инженером комбината (треста, рудника, рудоуправления) и вводится в действие с момента подписания приказа директором комбината или управляющим треста (рудоуправления).

Доставка ВМ в район массового взрыва разрешается только после проверки специальной комиссией, назначаемой главным инженером шахты (рудника), готовности блока (панели) к производству массового взрыва. По результатам проверки составляют акт. На местности граница опасной зоны должна быть обозначена предупредительными надписями: «Стой! Опасная зона – взрывные работы». Места установки их указывает руководитель взрывных работ (через 100–150 м). На границах опасной зоны, на дорогах, тропах, выработках выставляются посты оцепления на расстояниях, достаточных для зрительной связи. Постовые обеспечиваются средствами сигнализации: флажками, мегафонами, световыми фонарями, а при массовых взрывах особого назначения – телефонной или радиосвязью, в стесненных условиях – укрытиями. Привлекаемых для оцепления рабочих предварительно инструктируют, а не реже одного раза в квартал либо чаще (при необходимости) проводят повторный инструктаж на рабочем месте (на местности). По всем видам инструктажей делают соответствующие отметки в журнале и расписываются.

Оповещают о взрывных работах звуковыми сигналами [7].

Первый (*предупредительный*) сигнал – один продолжительный. По этому сигналу эвакуируют людей и оборудование за пределы опасной зоны, заряжают скважины, осуществляют забойку. После этого на взрываемом блоке могут оставаться только взрывники, ведущие монтаж сети.

Второй (*боевой*) сигнал – два продолжительных. После их подачи поджигается ОШ либо включается ток.

Третий сигнал (*отбой*) – три коротких. Подается после осмотра места взрывания и ликвидации отказов. Оцепление снимается только после подачи сигнала «отбой». Определение границ опасных зон по различным факторам, охрана границ этих зон и применяемая сигнализация диктуются требованиями безопасности производства взрывов как для подземных, так и для открытых горных работ.

4.6. Паспорт буровзрывных работ

Заряды взрывают в строгом соответствии с технической документацией (проектами, паспортами и пр.). На каждый забой должен иметься отдельный паспорт буровзрывных работ [1, 5].

Паспорт БВР представляет собой инструктивную карту, регламентирующую порядок проведения буровзрывных работ. Взрывание зарядов осуществляется по паспорту БВР, с которым под роспись должен ознакомиться персонал, выполняющий буровзрывные работы.

Паспорт БВР составляется на основании результатов расчетов не менее трех опытных взрываний начальником участка, на котором ведутся взрывные работы, или его помощником, согласовывается с начальниками участков БВР и ПВС и утверждается главным инженером шахты.

Паспорт – это технологический закон, который не может быть произвольно изменен.

Паспорт БВР должен содержать:

- наименование выработки, ее площадь сечения в свету и вчерне, крепость пород (угля);
- схему расположения шпуров в трех проекциях в масштабе 1:50 или 1:100 (на схеме должны быть указаны все размеры, необходимые бурильщику при разметке шпуров на забое выработки, а также минимальные расстояния между зарядами ВВ);
- количество, диаметры, длины и глубины шпуров;
- углы наклона шпуров к забою;
- наименование ВВ и СИ;
- конструкцию шпурового заряда ВВ;
- массу и конструкцию заряда ВВ каждого шпура и всего забоя в целом;
- схему монтажа взрывной сети;
- количество серий замедления и очередность взрывания зарядов;
- материал забойки и ее длину;
- вид и схему создания предохранительной среды;
- указания о месте укрытия мастера-взрывника и рабочих на время производства взрывных работ;
- схему и время проветривания выработки после взрывания до начала возобновления работ проходческого цикла;
- данные о расположении постов оцепления и место укрытия мастера-взрывника и рабочих.

В отдельных случаях (из-за изменения горно-геологических и других условий) с разрешения лица технического надзора, непосредственно руководящего взрывными работами, допускается уменьшение массы и количества зарядов в сравнении с показателями, предусмотренными паспортом.

Разовые взрывы зарядов в шпурах для доведения контуров выработки до размеров, предусмотренных проектом, удаления навесов, выравнивания забоя, подрывки почвы выработки, расширения выработки при перекреплении, а также в целях ликвидации отказов разрешается производить по *схемам*. Схемы составляет и подписывает лицо технического надзора, осуществляющее непосредственное руководство БВР. В схеме указываются расположение шпуров, масса и конструкция зарядов, места расположения постов и укрытия мастера-взрывника, меры безопасности.

4.7. Режим производства взрывных работ при подземном способе разработки

Для подготовки и проведения сотрясательного взрывания приказом назначаются руководители в выработке и с поверхности шахты. Руководство подготовкой и выполнением взрывания в забое должны осуществлять инженерно-технические работники участка, на котором проводятся работы [6].

Для каждого забоя должна быть составлена *Инструкция по сотрясательному взрыванию в забое*, устанавливающая порядок и технологию выполнения в конкретных горно-геологических условиях выработки, а также меры безопасности, направленные на защиту людей от последствий выброса. Паспорт БВР – составная часть этой инструкции. С паспортом БВР и с Инструкцией должны быть ознакомлены (под роспись) лица технического надзора и рабочие соответствующих участков.

Порядок проведения сотрясательного взрывания и лица, ответственные за его выполнение, также утверждаются приказом по шахте. В случае производства работ специализированными шахтостроительными организациями такой порядок устанавливается совместным приказом шахтостроительного управления и эксплуатационной шахты.

Сотрясательное взрывание допускается производить только в специально выделенные междусменные перерывы, продолжительность которых определяется хронометражными наблюдениями, или в смены при отсутствии людей в опасной зоне. Данные о времени и месте в виде объявления должны выставляться не позже чем за смену до начала взрывания на специальной доске объявлений в ламповой и у стволов (шурфов), по которым производится спуск и подъем людей.

Необходимо вести *Журнал проведения сотрясательного взрывания на шахте*, утверждаемый руководителем взрывания с поверхности.

При проведении взрывания устанавливают опасную зону, в которую включают выработки, расположенные по ходу движения исходящей вен-

тиляционной струи от места взрывания, а также выработки с поступающей свежей струей воздуха от забоя до места укрытия мастера-взрывника. Перед началом заряжания шпуров в выработках, расположенных в пределах опасной зоны, электроэнергия должна быть отключена. Включение допускается только после проверки содержания метана в атмосфере выработки после взрывания.

Люди, не связанные с взрывными работами, должны находиться на свежей струе воздуха на расстоянии не менее 1 000 м от места слияния исходящей от взрываемого забоя струи воздуха со свежей, считая против направления ее движения.

Не допускается отключение вентиляторов местного проветривания, а также приборов автоматического контроля содержания метана и датчиков, используемых для контроля выбросоопасных зон угольных пластов. В забоях выработок, в которых нельзя отключить электроэнергию до начала заряжания шпуров (в связи с их возможным затоплением), обесточивание необходимо выполнить перед началом монтажа взрывной сети. В угольных и смешанных забоях выработок, проводимых по выбросоопасным угольным пластам, при взрывании зарядов по углю или по углю и породе одновременно, а также по породе без опережающей выемки, расстояние до укрытия мастера-взрывника должно быть не менее 600 м от забоя, но не ближе 200 м от места слияния исходящей струи воздуха со свежей.

При взрывании зарядов по породе в забоях, где произведена опережающая выемка выбросоопасного угольного пласта, расстояние до места укрытия мастера-взрывника должно быть не менее 200 м от места слияния исходящей из взрываемого забоя струи воздуха со свежей струей.

Сотрясательное взрывание при вскрытии пластов производится с места нахождения людей, не связанных с взрывными работами, т. е. с 1 000 м, а при вскрытии особовыбросоопасных пластов – с поверхности при полном отсутствии людей в шахте.

Места укрытия, из которых осуществляется взрывание при вскрытии выбросоопасных и угрожаемых угольных пластов при углубке вертикальных стволов с действующих горизонтов, должны находиться: на участке пересечения пласта – на поверхности в 50 м от ствола, на участке приближения и удаления – на действующем горизонте, но не ближе 200 м от углубляемого ствола при условии обеспечения изолированного отвода исходящей струи воздуха. При невозможности выполнения указанных условий взрывать надо с поверхности.

Взрывать должен мастер-взрывник в присутствии лица технического надзора по должности не ниже заместителя начальника участка. Мастера-взрывники и лица технического надзора снабжаются индивидуальными

светильниками со встроенными датчиками метана и изолирующими самоспасателями.

Взрывание должно производиться от стационарного взрывного пункта, размещенного в месте укрытия мастера-взрывника и представляющего собой закрытый на ключ металлический ящик, в который введена взрывная магистраль. К забоям вскрывающих, подготовительных и очистных выработок прокладывают постоянные взрывные магистрали из специальных кабелей, допущенных для производства взрывных работ. Их прокладывают на стороне выработки, свободной от силовых, телефонных и других кабелей или на расстоянии не менее 0,3 м от них.

После взрывания осмотр выработки разрешает руководитель с поверхности после получения им сведений о содержании метана в забое, но не ранее чем через 30 мин после взрыва и при содержании метана менее 2 %. Осмотр выполняют лица технического надзора и мастер-взрывник. Лицо технического надзора, измеряющее содержание метана при продвижении к забою для осмотра его после взрывания, должно находиться на расстоянии 3 м впереди мастера-взрывника. При обнаружении концентрации метана 2 % и более они обязаны возвратиться в выработку со свежей струей воздуха.

На случай возможного выброса угля (породы) и газа руководителем шахты заблаговременно должны быть утверждены мероприятия по разгазированию выработки. При отказе зарядов ликвидация их должна производиться с выполнением требований, предъявляемых к ликвидации отказов и к сотрясательному взрыванию. Все служебные разговоры обязан фиксировать руководитель сотрясательного взрывания с поверхности на магнитофонную ленту, которую хранят не менее трех суток. Перед заряданием шпуров мастер-взрывник должен удостовериться в готовности забоя и призабойного пространства к эффективному и безопасному производству взрывных работ. Для этого мастер-взрывник, придя в забой, должен внимательно осмотреть состояние крепи и проверить качество проветривания. Если выработка закреплена не по паспорту или проветривание недостаточное, то заряжать шпуры и взрывать в них заряды нельзя.

Шпуры в забое выработки бурят в соответствии с паспортом буровзрывных работ. Перед заряданием взрывник проверяет длину и правильность расположения шпуров, расстояние между ними. Если эти параметры не соответствуют паспорту БВР, то взрывник не должен заряжать шпуры, а должен заставить проходчиков внести коррективы. В частности, если есть шпуры с большей длиной, то «лишнюю» часть надо заполнить забоечным материалом. Длину шпуров измеряют только круглым забойником, изготовленным из дерева, алюминия или другого материала, не дающего искр при ударе и трении. Длина забойника должна быть больше длины

шпуров не менее чем на 20–30 см. По длине забойника имеются деления через 10 см, его диаметр на 10 мм меньше диаметра шпура. С одного торца на протяжении 50 см диаметр забойника принимается равным диаметру патронов применяющегося ВВ. Для заряжания и измерения глубоких шпуров и скважин используют составные или складные забойки.

Перед заряжением шпуры должны быть очищены от буровой мелочи и грязи для того, чтобы устранить возможность образования пересыпок между патронами. Заряжание шпуров без их очистки запрещается. Очистка шпуров может осуществляться следующими способами: при наличии в забое сжатого воздуха – с помощью трубки-продувалки; при отсутствии сжатого воздуха – забойником с металлическим лотком-чищалкой. Запрещается заряжание шпуров, не очищенных от буровой мелочи, зажатых или искривленных, т. е. тех, в которых не исключается застревание патронов при досылке, а также шпуров, расстояние между которыми меньше минимально допустимого.

Мастер-взрывник должен проверить наличие материалов, необходимых для формирования заложенных в паспорте БВР забойки шпуров и предохранительной среды (глины, песка, воды, ингибиторной забойки ПЗМ-3 и пакетов с ингибитором). Давление жидкости при заполнении ампул должно быть не более 0,05 МПа. Поэтому мастер-взрывник должен убедиться в наличии приспособлений для заполнения полиэтиленовых ампул с водой (специального стационарного или переносного устройства или переносного бачка). Механизмы, аппараты и кабели перед заряжением шпуров должны быть убраны из призабойного пространства или надежно защищены, чтобы при взрыве зарядов не повредить их разлетающимися кусками породы и не вызвать короткого замыкания, а также горения кабеля при включении тока, так как от последнего может произойти взрыв метано- и пылевоздушной смесей. В призабойном участке выработки длиной 20 м не должны находиться материалы и предметы, загромождающие более чем на треть ее поперечное сечение. В противном случае будет затруднено его нормальное проветривание. Непосредственно перед заряжением шпуров (а также перед каждым взрыванием зарядов и при осмотре забоя после взрывания) мастер-взрывник обязан замерить содержания метана в куполах и выработках на протяжении 20 м от забоя, а также в месте, откуда будет производиться взрывание (в месте укрытия). Замер концентрации метана выполняется по всей площади сечения, но не ближе 10 см от забоя.

Кроме того, мастер-взрывник обязан проверить наличие орошения или осланцевания в выработках на протяжении 20 м от забоя (на шахтах, разрабатывающих пласты, опасные по взрывам пыли). Если при замере будет обнаружено наличие 1 % и более метана и (или) отсутствие пылевзрывозащиты, то заряжание и взрывание зарядов запрещается до приведения

забоя в состояние, допускающее безопасное осуществление взрывных работ. Если забой и призабойное пространство отвечают всем установленным требованиям, то мастер-взрывник приступает к заряджанию шпуров.

4.8. Персонал для взрывных работ

Различают персонал для производства взрывных работ, руководства взрывными работами, персонал складов ВМ и вспомогательный. Производство взрывных работ осуществляют лица, имеющие квалификацию взрывника. Взрывные работы в шахтах, опасных по газу и пыли, ведут только мастера-взрывники. Обучение профессии взрывника или мастера-взрывника проходят лица мужского пола, получившие среднее образование [11].

К *производству взрывных работ* допускаются лица не моложе 20 лет (на открытых и подземных горных работах), имеющие стаж работы не менее одного года по специальности, соответствующей характеру работы предприятия. К работе мастера-взрывника допускаются лица не моложе 22 лет со стажем работы на проходке подземных горных выработок или в очистных забоях не менее двух лет. Квалификация взрывник (мастер-взрывник) может присваиваться лицам, прошедшим обучение по соответствующей программе, сдавшим экзамены и получившим Единую книжку взрывника (мастера-взрывника). *Экзамены* для присвоения квалификации взрывника должна принимать назначенная руководителем предприятия квалификационная комиссия под руководством представителя органа Ростехнадзора. Взрывник допускается к самостоятельному производству взрывных работ только после работы стажером в течение 1 мес. под руководством опытного взрывника.

Повторная проверка знаний взрывника проводится не реже одного раза в два года, знания взрывниками требований по безопасности взрывных работ должны проверяться специальной комиссией под председательством представителя территориального органа Ростехнадзора. Предварительно взрывники должны проходить подготовку по программе, согласованной с территориальным органом Ростехнадзора и утвержденной руководителем организации, ведущей взрывные работы. Предварительная подготовка взрывников перед сдачей экзамена осуществляется в организации, ведущей взрывные работы (шахта, рудник, карьер и т. п.).

По распоряжению руководителя организации (шахты, рудника, карьера и т. п.) может проводиться *внеочередная проверка знаний* взрывника, если установлено, что он нарушил требования по хранению, транспортированию, использованию или учету ВМ. Внеочередная проверка знаний

взрывника осуществляется специальной комиссией организации без дополнительной подготовки. В случае успешной сдачи экзаменов внеочередной проверки знаний взрывники допускаются к самостоятельной работе без прохождения стажировки. Взрывники, не сдавшие экзамены, лишаются права производства ВР и могут быть допущены к повторной проверке знаний специальной комиссией только после переподготовки, о чем должен быть издан приказ руководителя организации (шахты, рудника, карьера и т. п.).

Руководство взрывными работами на предприятии возлагают на его руководителя; при подрядном способе ведения работ – на руководителя подрядного предприятия или назначенного им руководителя производственного подразделения этого предприятия; на предприятиях не горного профиля – на лицо технического контроля, назначенное руководителем предприятия. К руководству взрывными работами допускаются лица, имеющие законченное высшее или среднее горнотехническое образование либо окончившие специальные учебные заведения или курсы, дающие соответствующее право, а также получившие Единую книжку взрывника в соответствии с Положением о порядке предоставления права руководства горными и взрывными работами в организациях, на предприятиях и объектах, подконтрольных Ростехнадзору.

Руководитель ВР назначается приказом. На должность **заведующего складом ВМ** и механизированных пунктов подготовки ВВ могут быть назначены лица, имеющие право руководства взрывными работами или окончившие вузы (техникумы) по специальности «Технологии изготовления и исследований ВВ». На эту должность также можно назначать взрывников, прошедших обучение по специальной программе подготовки заведующих складами ВМ, сдавших экзамены квалификационной комиссии и получивших соответствующее удостоверение.

Правилами безопасности при взрывных работах определена ответственность персонала для взрывных работ (табл. 22) [6].

Таблица 22

Ответственность персонала для взрывных работ

Персонал	Область ответственности
Руководитель предприятия и главный инженер	Подготовка персонала для взрывных работ и выполнение установленного порядка приобретения, учета, хранения и использования взрывчатых материалов на предприятии, а также правильная организация испытания и уничтожения взрывчатых материалов
Руководитель взрывных работ	Безопасность взрывных работ, допуск к производству работ только лиц, имеющих на это право, состояние складского хозяйства и правильное ведение документации на складе ВМ, использование ВМ строго по назначению и в соответствии с проектом (паспортом) взрывных работ

Персонал	Область ответственности
Начальник смены, мастер	Подготовка блока, забоя к взрывным работам, соответствие выполняемых работ проекту (паспорту), расстановка постов охраны (оцепления), эвакуация персонала участка перед массовым взрывом, размещение горного оборудования за пределами опасной зоны
Заведующий складом взрывчатых материалов	Соблюдение установленных правил на территории склада, учет, расходование ВМ со склада, оприходование поступающих на склад взрывчатых материалов (в том числе возвращаемых взрывниками неизрасходованных ВМ), соблюдение условий хранения, испытаний и уничтожения взрывчатых материалов
Взрывник	Неукоснительное соблюдение всех требований Единых правил безопасности по тому виду взрывных работ, на который он сдал квалификационный экзамен

Для *выполнения вспомогательных операций* (переноска ВВ, погрузка и др.) могут привлекаться рабочие любой профессии рудника, если они проинструктированы и предупреждены под расписку об особенностях операций с ВВ как на складе ВМ, так и на месте производства взрывных работ. К персоналу склада ВМ относятся также лаборанты (химики-лаборанты), патронировщики, раздатчики ВМ. Охрана склада осуществляется персоналом вневедомственной охраны.

4.9. Обеспечение безопасного транспортирования взрывчатых материалов

Взрывчатые материалы на склады и к местам производства взрывных работ, как правило, перевозятся в заводской упаковке, в том числе в контейнерах или в сумках (кассетах) средствами автомобильного, железнодорожного, водного, реже авиационного транспорта. Перевозку взрывчатых материалов осуществляют только в специально оборудованных транспортных средствах, предварительно освобожденных от других грузов и мусора. Должна быть обеспечена вооруженная охрана взрывчатых материалов, а при необходимости (при автоперевозках) система информации об опасности (СИО), включающая аварийную карточку, определяющую мероприятия по ликвидации последствий возможных дорожно-транспортных происшествий, и информационную таблицу, устанавливаемую на транспортном средстве спереди и сзади [4].

Ответственность за перевозку возлагается на специально назначенного сопровождающего, имеющего документы на перевозимый груз. Транспортируют взрывчатые материалы согласно действующим правилам

перевозки опасных грузов того ведомства, которому принадлежит данный вид транспортных средств (путей сообщения, водного транспорта, морского флота и др.). Вагоны, контейнеры должны быть опломбированы сразу же после загрузки; снимают пломбы только перед разгрузкой транспортного средства. Лицо, сопровождающее груз, и администрация пункта назначения сразу же после прибытия взрывчатых материалов извещают грузополучателя о необходимости приемки взрывчатых материалов и разгрузки транспортных средств. На обнаруженные при приемке груза повреждения транспортного средства, упаковки или тары, а также недостачу взрывчатых материалов немедленно составляют акт.

Места погрузки, стоянки и разгрузки транспортного средства выбирают на безопасном расстоянии:

- на железнодорожных станциях – не ближе 50 м от главных станционных и магистральных путей и 100 м от строений и мест хранения станционных грузов;
- в портах и на пристанях – не ближе 25 м от фарватера и 250 м от портовых строений, мест погрузки и хранения грузов.

Взрывчатые материалы после разгрузки круглосуточно охраняют, при этом предусматривают в полном объеме меры пожарной безопасности и сохранности груза. Доставка взрывчатых материалов к местам производства взрывных работ регламентируется Едиными правилами безопасности при взрывных работах. Прием ВМ, их погрузка и выгрузка в организациях, ведущих ВР, должны выполняться в специально отведенном и оборудованном в соответствии с проектом охраняемом месте (на погрузочно-разгрузочной площадке) и под наблюдением специально назначенного лица, имеющего право руководства ВР. На площадку не должны допускаться лица, не имеющие отношения к погрузке (выгрузке) ВМ.

Погрузочно-разгрузочная площадка должна отвечать следующим требованиям:

- ограждаться колючей проволокой на расстоянии не менее 15 м от места погрузки (выгрузки) транспортных средств. Высота ограды должна составлять не менее 2 м;
- освещаться в темное время суток стационарным электрическим освещением или рудничными аккумуляторными светильниками. Рубильники в нормальном исполнении разрешается располагать на расстоянии не ближе 50 м от места погрузки (выгрузки) взрывчатых материалов;
- обеспечиваться необходимыми противопожарными средствами;
- иметь телефонную связь с организацией, железнодорожной станцией (пристанью, портом и т. п.), отделом внутренних дел (ОВД) и пожарной охраной. Телефон должен устанавливаться в караульном помещении,

расположенном не далее 50 м от места погрузки (выгрузки) взрывчатых материалов.

Указанные требования (за исключением ограждения) не распространяются на площадки около ствола шахт (штолен). Организация обязана обеспечить контроль за количеством всех поступивших мест с ВМ при их приемке на погрузочно-разгрузочной площадке.

Перевозка ВМ железнодорожным транспортом осуществляется по земной поверхности в крытых, специально оборудованных вагонах как целыми составами, так и отдельными вагонами. При формировании поездов эти вагоны размещают в середине состава, причем средства инициирования располагают не ближе чем через шесть вагонов с неопасными грузами от вагонов с ВВ. На двери вагонов наклеивают белые плакаты с надписью (черным цветом) «Опасно!». Скорость движения при маневрах не должна превышать 10 км/ч. Под погрузку и разгрузку взрывчатых материалов подают одновременно не более двух вагонов. Формирование поездов и их маневрирование осуществляют с необходимыми мерами предосторожности, без толчков, свободного спуска с горок, резкого торможения и т. д. Осматривают вагоны в ночное время с применением предохранительных светильников без пользования открытым огнем. Вагоны загружают до их штатной грузоподъемности, а при перевозке взрывчатых материалов групп В и F – до $\frac{2}{3}$ грузоподъемности [11].

Перевозка ВМ автомобильным транспортом предусматривает надлежащую подготовку автотранспортного средства и его оснащение двумя огнетушителями, глушителем с искрогасителем, знаками СИО, наружными зеркалами заднего вида, средствами противоскольжения, аварийным ремонтным инструментом, двумя знаками «Остановка запрещена», двумя установленными спереди и сзади красными флажками [11].

К управлению транспортными средствами, на которых перевозятся ВМ, допускают водителей, имеющих стаж непрерывной работы в качестве водителя не менее трех лет, удостоверение на право управления транспортным средством соответствующей категории и прошедших специальную подготовку или инструктаж по Правилам перевозки ВМ и медицинский контроль. В случае, когда при междугородних перевозках водитель вынужден управлять автомобилем более 12 ч, направляют двух водителей.

Перевозят груз под охраной по специально утвержденному маршруту. Выбор маршрута транспортирования ВМ осуществляется по согласованию с госавтоинспекцией, на территории обслуживания которой организуется перевозка ВВ или СИ. При этом в маршруте указывают места попутных стоянок, заправок топливом, а также основные участки дорог. Любая остановка допускается только по решению лица, ответственного за перевозку, но не ближе 200 м от населенных пунктов, 100 м от дорог общего пользо-

вания, 50 м от высоковольтных линий электропередач (ЛЭП). Движение в колонне разрешается со скоростью до 60 км/ч с интервалом не менее 50 м, а в горной местности – не менее 300 м. На замыкающем автомобиле должен быть хотя бы один вооруженный охранник. Ответственный за перевозку находится в переднем автомобиле.

Автомобили под погрузку и разгрузку подходят только по одному. При транспортировании ВМ загрузка специально оборудованного автомобиля допускается до полной грузоподъемности, за исключением случаев перевозки электродетонаторов, капсулей-детонаторов и пиротехнических реле типа КЗДШ, нагрузка которых не должна превышать $\frac{2}{3}$ грузоподъемности автомобиля и двух рядов ящиков по высоте. Ящики укладывают плашмя, вплотную друг к другу, но не выше уровня бортов, и покрывают трудновоспламеняющейся, непромокаемой, хорошо натянутой тканью, перекрывающей борта кузова не менее чем на 200 мм и стянутой пеньковой веревкой.

С разрешения руководителя взрывных работ предприятия в отдельных случаях может выполняться совместная перевозка средств инициирования и взрывчатых веществ к местам работы или с базисных на расходные склады ВМ в количествах, установленных Едиными правилами безопасности при взрывных работах. В этих случаях электродетонаторы, капсули-детонаторы и пиротехнические реле размещают на передней части кузова автомобиля в специальном, плотно закрывающемся ящике с войлочными, резиновыми, пенопластовыми или другими прокладками со всех сторон, в том числе со стороны крышки и дна. ВВ помещают в конце кузова автомобиля и отделяют от ящика с детонаторами ящиками со средствами электроогневого взрывания и зажигательными патронами, ящиками с огнепроводным шнуром или другими способами. Пороха и перфораторные заряды при совместной перевозке находятся в заводской упаковке или специальной таре, исключающей удары и трение ВМ друг о друга. Ящики с порохом и зарядами размещают на расстоянии не менее 0,5 м от других ВВ и прочно закрепляют.

При *перевозке ВМ водным транспортом* разрешается использовать любые грузовые плавсредства, позволяющие закрепить груз, изолировать его от других грузов, топлива и горючих материалов, обеспечить молниезащиту. ВМ при перевозке не должны подвергаться воздействию атмосферной влаги. Пригодность судов для перевозки ВМ определяется специально назначаемой комиссией. Команды судов укомплектовываются персоналом, знающим свойства ВМ и условия их транспортирования [6, 11].

ВМ размещают в трюмах, а также на коренных палубах тентовых судов. Во избежание перемещения грузов между отдельными ящиками, штабелями и бортами судна не должно оставаться свободного пространства.

Груз закрепляют распорками из дерева и пеньковыми канатами. Транспортное средство оборудуют щитами в носовой части и на корме с надписью «Опасно!» (высота шрифта не менее 200 мм). Его не используют для буксировки и не берут на борт пассажиров. Освещают грузовые помещения штатными светильниками, управляемыми с пульта, расположенного за пределами грузового помещения. При тумане судно подводят к берегу и надежно швартуют, при этом расстояние до фарватера должно быть не менее 25 м, а до береговых строений – не менее 250 м. В темное время суток габариты судна обозначают светильниками красного света.

Перевозка ВМ воздушным транспортом – самолетами и вертолетами – осуществляется по правилам, установленным Министерством гражданской авиации. При необходимости надлежит руководствоваться Инструкцией о порядке перевозки взрывчатых материалов при выполнении десантно-съёмочных полетов. Для тушения лесных пожаров специальным персоналом транспортируют ВМ по воздуху к местам производства работ согласно Инструкции по проведению взрывных работ при борьбе с лесными пожарами. Не разрешается перевозка ВМ в средствах воздушного транспорта ручной кладью. Взрывчатые материалы, перевозимые в средствах воздушного транспорта, должны быть надежно закреплены для исключения сдвижения, падения груза, а также соударения ящиков с взрывчатыми материалами [6, 11].

Спуск ВМ с поверхности в подземные выработки осуществляют в клетях, бадьях, вагонетках самоходными автотранспортными и другими средствами, а также по скважинам и трубопроводам. Транспортирование во всех случаях выполняется в соответствии с проектом организации этих работ. Спуск ВМ выполняется с разрешения диспетчера после извещения об этом лица, ответственного за подъем, рукоятчика и стволового. Порядок доставки ВМ к местам производства ВР и возврата ВМ определяется организационным приказом руководителя предприятия, учитывающим специфику ведения взрывных работ в подразделении. Доставку ВМ необходимо осуществлять в соответствии с требованиями установленного в подразделении порядка, Единых правил безопасности при ВР и специального Регламента на ведение взрывных работ. Данный регламент учитывает все технологические особенности подготовки и производства взрывных работ на предприятии.

СКЛАДЫ ВЗРЫВЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Виды складов взрывчатых материалов и их вместимость

Хранение взрывчатых материалов осуществляется в специальных складах горных предприятий, выполняющих взрывные работы. Под термином *склад ВМ* понимают комплекс зданий и сооружений основного производственного и вспомогательного назначения, расположенных на общей территории с оформленным в установленном порядке земельным отводом, а для подземных складов – камеры и ячейки для хранения ВМ и вспомогательные камеры с подводными к складу горными выработками. Все склады и другие места хранения ВМ сооружают и приспособляют в соответствии с проектами, утвержденными в установленном порядке. *По месту расположения* относительно земной поверхности склады ВМ разделяются на поверхностные, полууглубленные, углубленные и подземные [6].

К *поверхностным* относят склады, основания хранилищ которых расположены на уровне поверхности земли; к *полууглубленным* – склады, здания хранилищ которых углублены в грунте ниже земной поверхности не более чем по карниз; к *углубленным* – у которых толщина грунта над хранилищем составляет менее 15 м; к *подземным* – соответственно, более 15 м.

В зависимости *от срока эксплуатации* склады разделяют на *постоянные* (три года и более), *временные* (до трех лет) и *кратковременные* (до одного года), считая эти сроки с момента завоза ВМ.

Согласно Единым правилам безопасности при взрывных работах [14], *по назначению* склады делятся на базисные и расходные. *Базисные склады* предназначены для хранения больших количеств ВМ и снабжения предприятий через расходные склады. В *расходных складах* хранят сравнительно небольшие количества ВМ и выдают их взрывникам для производства работ. *Вместимость склада* определяется характером и объемом выполняемых взрывных работ и условиями доставки ВМ от заводов-поставщиков до базисных складов. Требуемая вместимость склада для средств инициирования определяется по данным их фактического расхода на 1 т. На открытых

горных работах (скважинные заряды) на 1 т ВВ в среднем затрачивается 400 м ДШ и 50 ЭД. На проходческих работах под землей на 1 т ВВ в среднем расходуется 500 ЭД.

Предельная вместимость базисного склада не ограничивается и устанавливается с учетом того, что вместимость отдельного хранилища не должна превышать 420 т взрывчатых материалов. Общая вместимость всех хранилищ *постоянного* расходного склада должна быть не более 240 т взрывчатых веществ, 300 тыс. детонаторов и 400 тыс. м детонирующего шнура. Общая вместимость всех хранилищ *временного* расходного склада ВМ не должна превышать: ВВ – по проекту, детонаторов – 75 тыс. шт., детонирующего шнура – 100 тыс. м, огнепроводного шнура и средств его поджигания – не ограничивается. Общая вместимость всех хранилищ *кратковременного* расходного склада ВМ не должна превышать: ВВ – по проекту, детонаторов – 75 тыс. шт., детонирующего шнура – 100 тыс. м, огнепроводного шнура и средств его поджигания – не ограничивается.

Предельная вместимость каждого хранилища ВВ постоянных расходных складов ВМ не должна превышать 120 т, временных – 60 т, кратковременных – по проекту. Хранить ВМ в контейнерах необходимо на специальных открытых площадках. Площадки для контейнеров с ВМ могут сооружаться на территории складов ВМ и как самостоятельные склады с контейнерными площадками. Вместимость контейнерных площадок должна приниматься аналогично установленной для хранилищ складов ВМ.

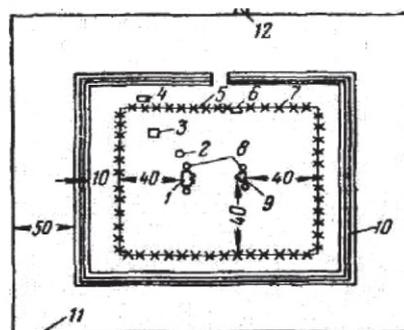
Общая вместимость подземного (углубленного) расходного склада и вместимость отдельных камер (ячеек) определяются проектом. При этом на угольных и сланцевых шахтах вместимость склада без учета емкости раздаточных камер не должна превышать семисуточного запаса ВВ и пятнадцатисуточного запаса средств инициирования.

Вместимость камеры в складах камерного типа не должна превышать 2 т ВВ, а в складах ячеечного типа в каждой ячейке разрешается хранить не более 400 кг ВВ. Предельная вместимость отдельной раздаточной камеры в подземных выработках не должна превышать 2 т ВВ и соответствующего количества СИ, а отдельного участкового пункта хранения – 1 т ВВ и соответствующего количества средств инициирования. Согласно правилам безопасности (ПБ) [14], кратковременный (со сроком службы до 1 года) расходный склад, размещенный на грузовой машине, может вмещать ВВ в количестве не более $\frac{2}{3}$ ее грузоподъемности, а детонаторов – не более 5 тыс. шт. При размещении ВВ и СИ в разных хранилищах разрешается хранить до 18 т ВВ и 25 тыс. детонаторов. Общее количество при этом не должно превышать 54 т ВВ и 75 тыс. детонаторов.

5.1.1. Поверхностный базисный склад взрывчатых материалов

Поверхностный базисный склад ВМ состоит из одного или нескольких хранилищ с подсобными сооружениями, расположенными на общей огражденной территории (рис. 43). Расстояние от хранилищ поверхностного склада ВМ до строений и сооружений рассчитывается по действию ударной воздушной волны, а расстояние между отдельными хранилищами – по передаче детонации, при этом хранилище с ВВ большей работоспособности принимается за активный заряд, а другое хранилище – за пассивный заряд. Для определения расстояния между хранилищем с детонаторами, расположенным открыто (необваловано), и хранилищем ВВ (штабелем) за активный заряд принимают детонаторы. Так же поступают в случае хранения ДШ, причем при расчетах 1 м ДШ приравнивается пяти детонаторам. На территории склада можно располагать следующие здания и сооружения: хранилища ВВ и СВ, здания и площадки для подготовки ВМ, караульные вышки, лаборатории и полигоны, помещения для средств пожаротушения, водоемы. Места хранения порожней тары, караульное помещение должны находиться за пределами ограды склада, соответственно, не менее чем в 25 и 50 м.

Рис. 43. Генеральный план расположения базисного склада ВМ: 1 – хранилище ВВ; 2 – водоем; 3 – сарай для противопожарного инвентаря; 4 – сарай для тары; 5 – ворота; 6 – проходная будка; 7 – ограда; 8 – молниеотводы; 9 – хранилище СВ; 10 – противопожарная канава; 11 – граница запретной зоны; 12 – караульное помещение



Хранилища ВВ постоянных складов выполняют из негорючих материалов. В отдельных случаях (с разрешения Госпожнадзора) допускается устройство бревенчатых или каркасно-засыпных стен. В каждом хранилище должно быть не менее одного тамбура для выдачи ВМ. Максимальное расстояние до наиболее удаленной точки хранилища от выхода не более 15 м, с учетом чего и определяют число выходов (два крайних выхода устраивают в виде тамбуров размером не менее 2×2 м из негорючего материала). Если нет навесов над входами, каждый из них оборудуется тремя двухстворчатыми дверями, открывающимися наружу, причем наружная дверь сплошная, обшитая металлом, вторая – решетчатая из дерева. Обе эти двери ведут в тамбур, третья дверь (из тамбура в хранилище) – сплошная. Размер дверного проема 1,40×2,25 м. Окна с решетками или сетками, по-

крытыми светлой краской. Отношение площади оконных проемов к площади пола хранилища 1:25–1:30.

Стеллажи для ВМ отстоят от стен не менее чем на 20 см, от пола – не менее 10 см. Высота верхних полок стеллажей для ВМ I, III, IV групп – до 1,7 м от пола, а для остальных ВМ – до 2 м. Существуют типовые проекты складов ВМ различной вместимости (15, 25, 50, 75 и 120 т). Отопление хранилищ ВМ проектом не предусматривается. Однако в местностях с температурой ниже $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ для ВВ с содержанием жидких нитроэфиров более 15 % хранилища обеспечивают водяным (электрическим) отоплением. При водяном отоплении ящики и мешки с ВМ укладываются на расстоянии от радиаторов не ближе 1 м. Температура должна быть в пределах $15\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Внутри хранилища для хранения динамитов, капсюлей-детонаторов и дымных порохов устраивают стеллажи, на которые ставят ящики только в один ряд. Аммониты, бездымные пороха, тротил и его сплавы, нитросоединения, ДШ и ОШ можно хранить как на стеллажах, так и в штабелях. Между стеллажами и штабелями оставляют проход шириной не менее 1,3 м. Ящики с аммонитами, тротилом и его сплавами, нитросоединениями можно ставить в ряды один на другой. По ширине полки допускается располагать не более одного ящика или одного мешка. По ширине штабеля – не более двух ящиков или мешков с ВВ. Между ящиком и полкой над ним должен быть зазор высотой не менее 4 см. Если рассчитанное безопасное расстояние окажется меньше допустимого, производят обваловку склада ВМ: в этом случае безопасное расстояние рассчитывают так же, как и для углубленного склада ВМ. Валы устраивают только из сыпучих (песок) или пластичных (глина) материалов высотой на 1,5 м выше карниза хранилища. Ширина вала поверху не менее 1 м, понизу – в зависимости от угла естественного откоса материала, из которого сооружен вал. Основание должно отстоять от стены не менее чем на 1 м и не далее 3 м. Между зданием и основанием вала устраивают водоотводные канавки. При полном обваловании хранилищ у входа оставляют разрыв, перед которым располагают защитный вал.

Освещение склада ВМ должно быть двух видов: рабочее и аварийное. Рабочее состоит из светильников на 220 В с питанием от осветительного трансформатора. Разрешается применять только лампы накаливания. Аварийное освещение – от рудничных аккумуляторов и фонари с сухими батареями. Переносные, с питанием от электросети, лампы применять нельзя. Устройство освещения склада ВМ предусматривает освещение только подступов к складу ВМ, а сама территория и хранилища должны быть затемнены. Если нет подводки электроэнергии, разрешается освещение керосинокалильными фонарями, располагаемыми на расстоянии 10 м

от ограды склада (за канавой) и не ближе 50 м от ближайшего хранилища. Лампы накаливания устанавливают против окон снаружи здания или в нише стены (потолка). Ниши закрываются защитным стеклом и прочной сеткой. Выключательные приспособления устраивают снаружи помещения в закрытом ящике. Осветительная проводка в хранилищах и по территории осуществляется только из бронированного кабеля, причем подвеска кабеля над хранилищем запрещена.

Сигнализация в поверхностных складах ВМ должна быть двухсторонняя телефонная, световая или звуковая, связывающая караульные посты с караульным помещением.

Противопожарный инвентарь склада ВМ должен соответствовать номенклатуре, установленной местным органом пожарного надзора. Для предохранения от пожаров вокруг хранилищ снимают дерн на расстояние 5 м, а территорию склада окружают канавой глубиной 0,5–1,0 м и шириной (поверху) 1,5–3,0 м или вспаханной полосой шириной 5 м. В базисных складах вместимостью до 500 т вместо водопровода можно предусмотреть водоем емкостью 100 м³. На территории склада ВМ нельзя курить и разводить огонь. Каждое хранилище постоянного поверхностного и полууглубленного склада ВМ должно иметь молниезащиту.

Вентиляция хранилищ поверхностных складов летом в ясную сухую погоду осуществляется открыванием дверей и окон, зимой проветривают только в ясную морозную погоду. В отапливаемых хранилищах проветривание производится в ясную морозную погоду при условии, что разность температур внутри помещения и на воздухе не превышает 10 °С. В помещениях для ВМ должны устраиваться вытяжные трубы (дефлекторы), перекрытые прочной решеткой. При хранении ВМ I группы для наблюдений за температурой внутри хранилищ и снаружи должны быть термометры. Выдача ВМ осуществляется в тамбуре хранилища или в предназначенном для этого отдельном помещении.

5.1.2. Расходные склады взрывчатых материалов

Временные расходные склады могут быть дощатыми (покрытыми огнезащитной краской), глинобитными, земляными. К временным складам предъявляют такие же требования, как и к постоянным. Общая вместимость таких складов составляет не более 120 т ВВ, 150 тыс. шт. ЭД и 200 тыс. м ДШ.

Кратковременные расходные склады могут устраиваться в нежилых строениях, железнодорожных вагонах, судах, автомашинах, в шалаше, палатке, пещере, на повозке и т. п. Количество ВВ, например, на грузовой машине должно быть не более $\frac{2}{3}$ ее грузоподъемности, а детонаторов – не более 5 тыс. Пункты хранения должны располагаться от дорог, жилых

строений, транспортных коммуникаций общего пользования на расстоянии, отвечающем тем же требованиям, что и постоянные склады, но не ближе 300 м от места взрывных работ. Пункты хранения обеспечиваются оградой из жердей или колючей проволоки и круглосуточной охраной. Устройство освещения, сигнализации, связи, молниезащиты не регламентируется.

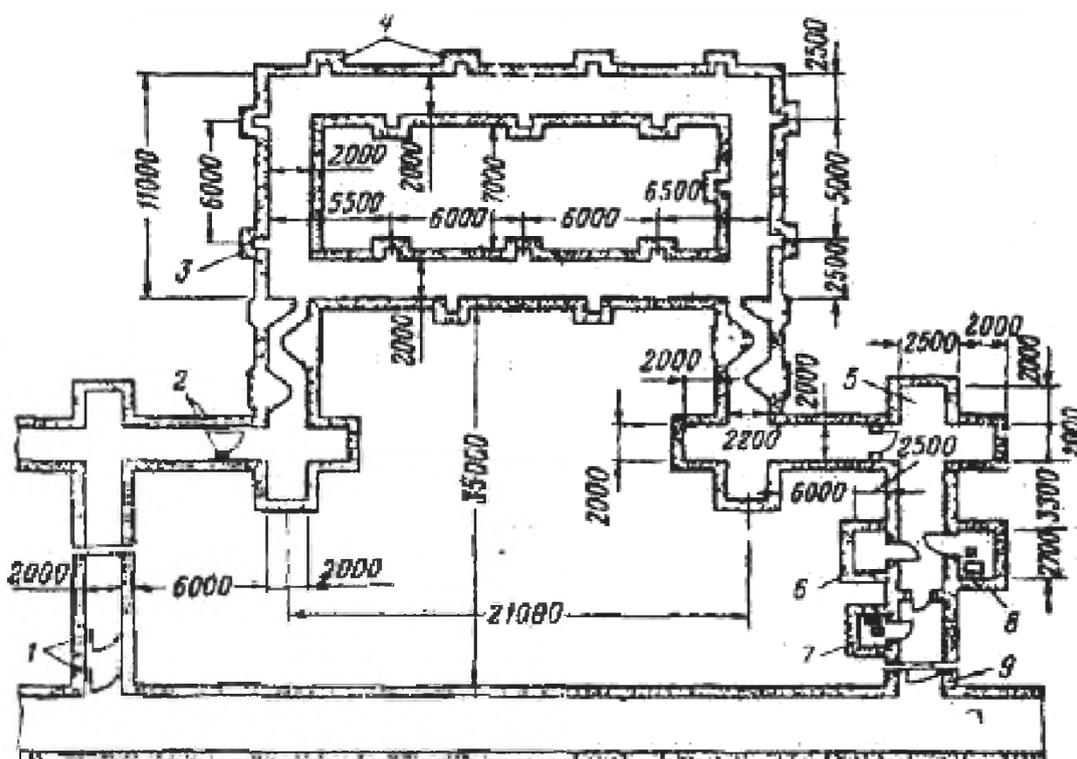


Рис. 44. Генеральный план расположения подземного расходного склада ВМ ячейкового типа: 1 – железная дверь; 2 – железная вентиляционная дверь с окном; 3 – ячейки для СВ; 4 – ячейки для ВВ; 5–8 – камеры (5 – для электрических устройств и противопожарных средств, 6 – для хранения сумок взрывников, 7 – для проверки электродетонаторов, 8 – для выдачи взрывчатых материалов); 9 – противопожарная дверь с окнами

Подземные расходные склады ВМ состоят из камер или ячеек для хранения ВМ, вспомогательных камер и подводящих к складу выработок (рис. 44). К *вспомогательным* относят камеры, предназначенные для раздачи ВМ, маркировки электродетонаторов (капсюлей-детонаторов) и их проверки, изготовления зажигательных трубок, хранения приборов и устройств электровзрывания, размещения электрораспределительных устройств и calorиферов, хранения кассет и сумок, размещения средств механизации погрузочно-разгрузочных операций (тележки и другие устройства). *Камеры для хранения* приборов, устройств электровзрывания могут располагаться

в тупиках выработок, подводящих к складу. Предельная вместимость склада определяется проектом и не должна превышать трехсуточного расхода ВВ и десятисуточного расхода СИ.

К расположению подземных складов предъявляются следующие требования:

1. Расстояние от любой ближайшей точки склада до ствола, околоствольных выработок, камер околоствольного двора, вентиляционных дверей, при разрушении которых вся шахта или значительные участки ее могут лишиться притока свежего воздуха, должно быть не менее 100 м для камерного склада и 60 м для склада ячеечного типа.

2. Расстояние от ближайшей ячейки или камеры до выработок, служащих для постоянного прохода людей, должно быть, соответственно, не менее 20 и 25 м.

3. Расстояние до поверхности при складах камерного типа должно быть не менее 30 м, ячеечного типа – не менее 15 м.

4. Склад должен сообщаться с главными выработками не напрямую, а через три и более подводящих выработки, трасса которых образует прямые углы. Подводящие выработки должны заканчиваться тупиками длиной не менее 2 м, площадью не менее 4 м².

5. Каждый склад должен иметь два выхода.

6. Камеры, ячейки и все выработки склада ВМ должны крепиться не-сгораемой крепью.

Проветривание склада должно производиться обособленной струей свежего воздуха. При этом необходимо обеспечить четырехкратный часовой обмен во всех выработках склада. Освещение камер и подводящих выработок складов должно быть электрическое во взрывоопасном исполнении для шахт, опасных по газу, и в рудничном исполнении – для остальных шахт. Электропроводка должна выполняться бронированным кабелем с полихлорвиниловой оболочкой и резиновой изоляцией жил или гибкими резиновыми кабелями. Питание осветительных устройств осуществляется напряжением не выше 127 или 220 В для стационарного люминесцентного освещения. Во всех случаях в шахтах, опасных по пыли, у подходов к складу с обеих сторон по примыкающим к нему выработкам должны быть установлены сланцевые заслоны, а выработки должны периодически осланцовываться.

Раздаточные камеры устраиваются в дополнение к имеющимся складам ВМ, а также при отсутствии таких складов. Вместимость раздаточной камеры не должна превышать максимального трехсуточного расхода ВМ на обслуживаемом участке или группе участков, но во всех случаях до 2 т ВВ и соответствующее количество СИ. Раздаточные камеры вместимостью до 1 000 кг оборудуют на расширении выработок откаточного или венти-

ляционного горизонта, проветриваемых свежей струей за счет общешахтной депрессии, и ограждают сплошной по высоте кирпичной или бетонной стеной толщиной не менее 25 см. При вместимости, превышающей 1 000 кг, раздаточные камеры обычно устраивают в специальной выработке, расположенной не ближе 25 м от действующих выработок. Раздаточная камера должна проветриваться обособленной свежей струей воздуха, которая при выходе из камеры может отводиться в исходящую струю участка (рис. 45).

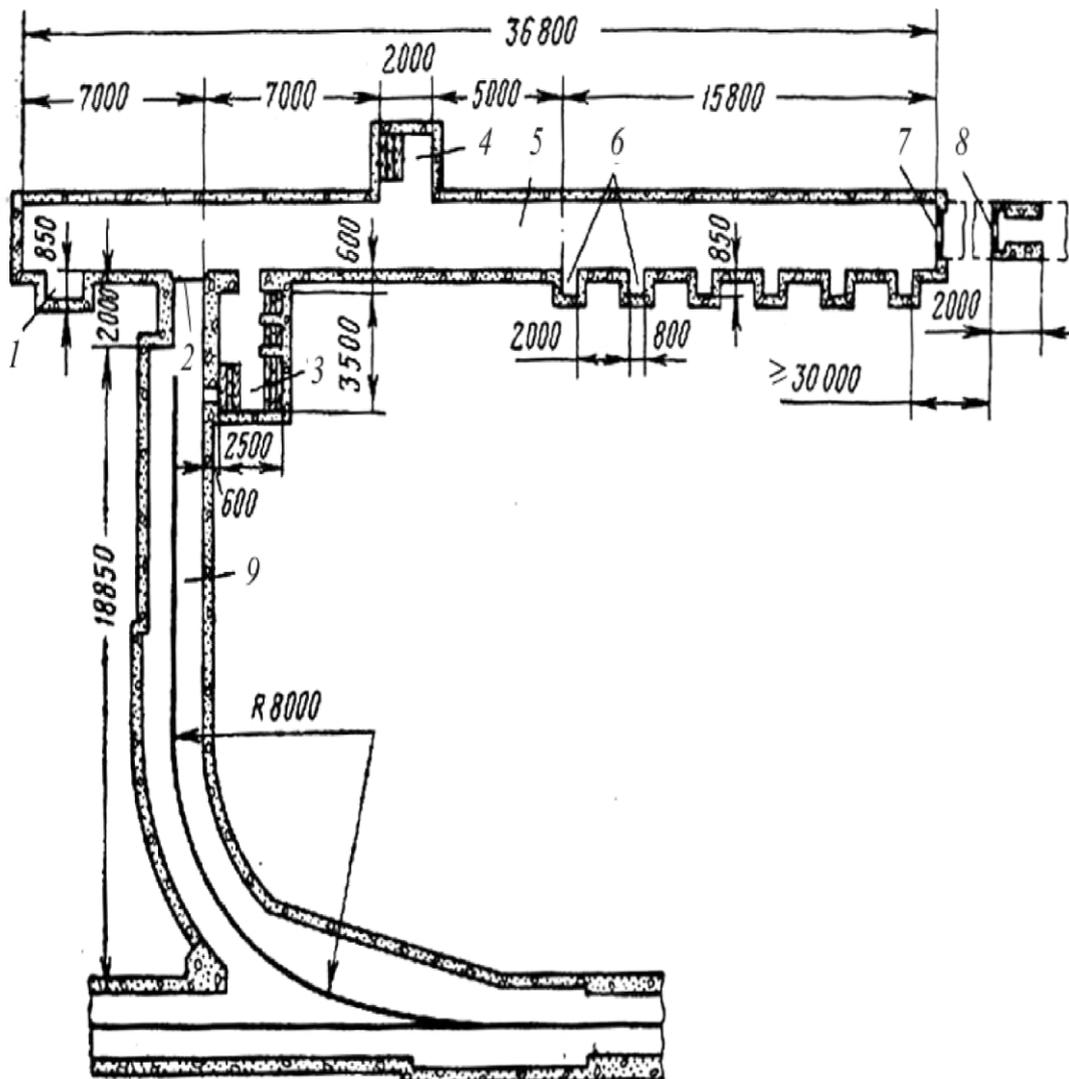


Рис. 45. Подземный склад ВВ ячеистого типа: 1, 6 – ячейки для хранения СИ и ВВ; 2 – защитная стальная дверь; 3 – камера для выдачи ВМ; 4 – камера для проверки электродетонаторов; 5 – склад; 7, 8 – стальные защитные двери с окнами для исходящей струи; 9 – подводящая выработка

Участковые пункты оборудуют при значительном удалении забоев в целях приближения к ним мест хранения ВМ. Эти пункты предназначены для временного хранения ВВ и СИ, необходимых для ведения взрывных

работ в одном или группе забоев очистных, подготовительных либо капитальных выработок, а также для дробления негабаритов и ликвидации завесаний в рудоспусках. Участковый пункт хранения ВМ может представлять собой горную выработку или ее часть, в которой установлены специальные ящики (металлические шкафы) либо контейнеры (вагоны-контейнеры) с ВМ, закрывающиеся на замки. В одном шкафу, но в различных его отделениях можно хранить до 150 кг ВВ и соответствующее количество электродетонаторов или зажигательных трубок и других СИ. При хранении только ВВ их количество может достигать 200 кг. Вместимость передвижного вагона-контейнера не должна превышать трехсуточного расхода ВВ и соответствующего количества СИ в обслуживаемых забоях, но не свыше 300 кг ВВ и 100 шт. электродетонаторов или зажигательных трубок. Растаренные гранулированные ВВ могут храниться в металлических бункерах. Вместимость бункера должна быть рассчитана на хранение трехсуточного запаса ВВ, но не свыше 400 кг. В настоящее время для транспортировки ВВ и СИ на поверхностных и подземных складах ВМ, а также для доставки к местам производства ВР весьма широко стали применять механизированный транспорт, специально оборудованный для этих целей и отвечающий требованиям безопасности.

5.2. Учет и порядок допуска взрывчатых материалов к применению

Промышленные взрывчатые материалы должны использоваться только по прямому назначению. Находящиеся на складе ВМ должны размещаться в хранилищах и регистрироваться в *Книге учета прихода и расхода ВМ*, которая должна быть с пронумерованными страницами, прошнурована, опечатана сургучной печатью контролирующей организации. Для каждого вида и сорта ВМ в книге открывают отдельные счета; остаток по каждому виду ВМ подсчитывают на конец суток. Книгу учета прихода и расхода ВМ ведет заведующий складом ВМ.

Документом для отпуска ВМ с одного склада на другой служит *наряд-накладная*, которая выписывается в четырех экземплярах, подписывается руководителем и главным бухгалтером и выдается для предъявления на складе вместе с доверенностью на получение ВМ. При отпуске ВМ корешок наряд-накладной заведующий складом оставляет у себя. Копия накладной выдается получателю в качестве сопроводительного документа, причем два экземпляра накладной и доверенность заведующий складом передает в бухгалтерию.

Для получения ВМ со склада взрывник или мастер-взрывник должен иметь *наряд-путевку на производство взрывных работ*, подписанную начальником участка, техническим руководителем или руководителем взрывных работ. Если взрывные работы выполняет бригада взрывников, наряд-путевка выписывается на старшего взрывника. По окончании рабочей смены руководитель взрывных работ подтверждает правильность фактического расхода ВМ каждым взрывником, что является основанием для отчета взрывников в израсходовании ВМ. Остатки ВМ в обязательном порядке сдаются на склад. Если взрывник не отчитался в израсходовании полученных ВМ, никакие взрывчатые материалы ему не выдаются. Наряд-путевка является основанием для выдачи ВМ на складе, производится запись в Книге учета выдачи и возврата ВМ, а заполненная в конце смены наряд-путевка служит основанием для списания ВМ. На шахтах и рудниках, опасных по газу, или разрабатываемых пластах, опасных по пыли, наряд-путевка на производство взрывных работ подписывается главным инженером предприятия, начальником участка вентиляции и техники безопасности (ВТБ), начальником участка, на котором должны производиться взрывные работы, и начальником участка взрывных работ. При выполнении взрывных работ в подземных условиях в одном забое двумя и более взрывниками наряд-путевка выписывается на взрывника, которого начальник участка назначил старшим по смене.

В приходно-расходных документах и книгах учета ВМ не разрешается подчистка записей, помарки. Любое исправление вносится красными чернилами в новой строке, а в конце листа делается соответствующая оговорка с подписью лица, которое внесло ее. Каждый склад ВМ имеет *паспорт* с образцами подписей лиц, имеющих право подписи учетной документации. Получателю выдаются только указанные в наряде-путевке ВМ при наличии двух сухих исправных сумок взрывника. Самовольное уничтожение ВМ не разрешается. Взрывник несет ответственность за правильность показания расхода в наряде-путевке, своевременную сдачу остатка на склад, соблюдение правил доставки ВМ от склада до места производства взрывных работ и обратно.

Доставку ВМ от склада на места работ на земной поверхности (в пределах земельного отвода) необходимо проводить по установленным руководителем организации (руководителем ВР) маршрутам. Ее могут осуществлять проинструктированные рабочие под наблюдением взрывников или сопровождающих лиц. ВВ и СИ необходимо доставлять и перевозить к местам производства ВР отдельно в сумках, кассетах, заводской упаковке и т. п. СИ или боевики с детонаторами могут переносить (кроме погрузочно-разгрузочных операций) только взрывники в сумках с жесткими ячейками (кассеты, ящики), покрытыми внутри мягким материалом.

При совместной доставке СИ и ВВ взрывник может переносить не более 12 кг ВМ. Масса боевиков, переносимых взрывником, не должна превышать 10 кг. При переноске в сумках ВВ без СИ норма может быть увеличена до 24 кг. При переноске ВВ в заводской упаковке их количество должно быть в пределах действующих норм переноски тяжестей. Можно переносить ВВ в заводской упаковке до 40 кг при дальности не более 300 м.

При взрывных работах используются взрывчатые материалы, на которые имеются ГОСТ или Технические условия, согласованные с Ростехнадзором, а также постановления Ростехнадзора. Соответствующий перечень допущенных к постоянному применению и к промышленным испытаниям взрывчатых веществ и средств инициирования периодически публикуется Межведомственной комиссией по взрывному делу в «Горном журнале». Допуск к применению и испытание ВМ производятся согласно специальным инструкциям, которые изложены в приложениях к Единым правилам безопасности. В России принят единый порядок, по которому патроны ВВ, а также ящики, мешки и пакеты с ВВ, выпускаемые заводами, имеют отличительные признаки (маркировку) в виде оболочек или полос разных цветов.

Известно, что по применению промышленные взрывчатые средства подразделяются на три группы:

- 1) взрывчатые вещества, пригодные только для земной поверхности (их состав не сбалансирован по кислороду, поэтому они могут выделять большое количество ядовитых газов);
- 2) взрывчатые вещества, пригодные для любых условий, кроме шахт, опасных по газу и пыли;
- 3) предохранительные взрывчатые вещества, предназначенные для любых условий.

В ГОСТ 84-2158–84 дана классификация промышленных взрывчатых веществ в зависимости от конкретных условий применения.

5.3. Упаковка взрывчатых материалов

КД уложены в картонные коробки вертикально по 100 шт. Коробки ставят в картонные футляры по 5 шт., которые, в свою очередь, по 10 шт. укладывают в металлические оцинкованные короба с крышками пенального типа. Металлические короба помещают в деревянный ящик. На крышках картонных футляров, металлических коробов и на стенках ящиков должны быть нанесены надписи или наклеены этикетки с указанием данных и обозначений, предусмотренных ГОСТом. *КД* выпускают партиями до 50 000 шт. Гарантийный срок использования для *КД* установлен два года, а для *КД* типа № 8А – 10 лет.

ЭД мгновенного действия в зависимости от длины проводов и их изоляции по 40–70 шт. укладывают в картонные коробки, которые, в свою очередь, помещают в металлические короба, а последние – в деревянные ящики. Гарантийный срок хранения ЭД мгновенного действия – 1,5 года.

ЭД короткозамедленного и замедленного действия по 30–80 шт. укладывают в картонные коробки. На крышке коробки должна быть наклеена этикетка с указанием индекса завода-изготовителя, типа ЭД, сопротивления, Ом, марки и длины проводов, интервалов времени замедления, числа ЭД в коробке, номера партии, даты изготовления, номера ГОСТа или ТУ и условия применения (в сухих или обводненных забоях, совместно с какими ЭД). Коробки укладывают плотно в металлические оцинкованные короба, которые помещают в деревянные ящики. В одном ящике находится от 1 080 до 1 200 ЭД. Гарантийный срок использования для ЭД короткозамедленного действия – 1,5 года.

Детонирующий шнур свертывают в бухты по 50 или 100 м. Бухты шнура марки ДШ-А укладывают по 10 или 20 шт. в деревянные ящики, а бухты шнура марок ДШ-Б и ДШ-В – в металлические банки, которые закрывают герметично и помещают в деревянные ящики.

Гарантийный срок использования при нормальных складских условиях хранения: 2 года для ДШ-А; 5 лет для ДШ-Б в герметичной упаковке; 10 лет для ДШ-В и 3 года для ДШ перечисленных типов в негерметичной упаковке.

Все ящики с ВВ и СИ должны быть опломбированы. На каждом ящике несмываемой краской нанесена надпись или наклеена этикетка с указанием необходимых данных, предусмотренных ГОСТом или ТУ. Например, на ящике ВВ указывают индекс завода-изготовителя, условное название ВВ, номер партии, номер ящика, месяц и год изготовления ВВ; массу нетто (кг), массу брутто (кг), железнодорожный знак «не грузить с ЭД», цветную полосу положенного цвета, номер ГОСТа на ВВ.

Принципы и технические средства механизации взрывных работ и связанные с этим направления совершенствования ВВ на отечественных и зарубежных карьерах в основном идентичны. В зависимости от принятой технологии в звене «пункт приготовления ВВ – блок взрывных работ» могут быть применены различные типы машин:

- смесительно-зарядные машины (СЗМ), в которых взрывчатые смеси готовят из отдельных компонентов при движении машин от пункта загрузки к месту ведения взрывных работ, а затем с их помощью производят зарядание скважин;
- транспортно-зарядные машины, которые подвозят к месту взрывных работ готовые взрывчатые смеси и осуществляют зарядание;
- транспортно-заправочные машины, которые подвозят готовые смеси к месту зарядания и перегружают их в зарядные машины.

В США транспортно-зарядные машины используют так же широко, как и СЗМ. Их загружают готовыми смесями из специальных танков, установленных в зоне карьера. Затем транспортно-зарядные машины следуют на уступ, подлежащий заряданию скважин. Транспортно-заправочные машины, как правило, крупные, они транспортируют готовые взрывчатые смеси от завода-изготовителя или крупного склада ВВ к потребителю – карьере. Это крупные цистерны. Грузоподъемность СЗМ и ЗМ составляет 4,5–15,0 т, транспортно-зарядных машин – 7,5–24,0 т, транспортно-заправочных – 40 т. Конструкция транспортно-заправочных машин наиболее проста из-за отсутствия смесительного оборудования. Из этих машин смеси перекачиваются в карьере в специальные емкости или зарядные машины. Стоимость транспортно-зарядных машин значительно ниже машин, совмещающих приготовление, транспортирование ВВ и зарядание скважин.

5.4. Правила безопасности при получении, хранении и использовании взрывчатых материалов

По степени опасности промышленные взрывчатые вещества относятся к I классу опасности (ГОСТ 19433–88) и разделяются на группы, принадлежность к которым завод-изготовитель указывает в технических условиях, инструкциях по применению и т. п. (табл. 23).

В соответствии с приведенной классификацией разрешается совместное хранение [1]:

- порохов дымных (группа *D*) с бездымными (группа *C*);
- огнепроводного шнура, средств его зажигания и порохов, пороховых и сигнальных патронов, а также сигнальных ракет (группа *G*) с ВМ групп *B*, *C* и *D*;
- детонирующего шнура (группа *D*) с детонаторами всех видов и пиротехническими реле – РП (группа *B*).

Партии взрывчатых материалов должны расходоваться в порядке их поступления на склад и с учетом гарантийного срока хранения взрывчатых материалов различных наименований. Порядок использования взрывчатых материалов, возвращенных на склад взрывниками, устанавливается руководителем взрывных работ предприятия (организации). Учет взрывчатых веществ, отпускаемых с механизированных пунктов подготовки, осуществляется путем прямого взвешивания. Допускается производить учет взрывчатых веществ, загружаемых в транспортно-зарядные машины, по количеству опорожненной заводской упаковки (мешков, пакетов, контейнеров). Порядок учета и выдачи взрывчатых материалов из раздаточных камер должен быть таким же, как из складов ВМ.

Классификация промышленных ВВ по степени опасности

Группа совместимости (опасности)	Наименование ВМ	Классификационный шифр в подклассах				
		1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
<i>B</i>	Изделия, содержащие инициирующие ВВ	1,1 <i>B</i>	1,2 <i>B</i>	–	1,4 <i>B</i>	–
<i>C</i>	Метательные ВВ и другие дефлагрирующие ВВ или изделия, их содержащие	1,1 <i>C</i>	1,2 <i>C</i>	1,3 <i>C</i>	1,4 <i>C</i>	–
<i>D</i>	Вторичные детонирующие ВВ; дымный порох; изделия, содержащие детонирующие ВВ без средств инициирования и метательных зарядов	1,1 <i>D</i>	1,2 <i>D</i>	–	1,4 <i>D</i>	1,5 <i>D</i>
<i>F</i>	Изделия, содержащие вторичные детонирующие ВВ, средства инициирования и метательные заряды	1,1 <i>F</i>	1,2 <i>F</i>	1,3 <i>F</i>	1,4 <i>F</i>	–
<i>G</i>	Пиротехнические вещества и изделия, их содержащие	1,1 <i>G</i>	1,2 <i>G</i>	1,3 <i>G</i>	1,4 <i>G</i>	–

Для получения взрывчатых материалов, прибывших на станцию железной дороги, пристань, другой транспортный пункт, руководитель предприятия (организации) направляет ответственного за прием работника с доверенностью, соответствующие транспортные средства, рабочих для перегрузки взрывчатых материалов и вооруженную охрану. Вагоны с взрывчатыми материалами, прибывшие в пункт назначения и поданные под разгрузку, должны быть предварительно, до вскрытия, осмотрены грузополучателем совместно с представителем железнодорожной станции, пристани и т. д. Разгружать вагоны нужно незамедлительно, место разгрузки должно охраняться. Выгружают взрывчатые материалы на станционных путях и железнодорожных тупиках (на причалах порта, пристани и в других транспортных пунктах) в присутствии грузополучателя. При обнаружении неисправности упаковки, несоответствия числа мест, массы разгружаемых взрывчатых материалов, указанных в сопроводительных документах, составляется акт, как это предусмотрено инструкциями о порядке приемки продукции производственно-технического назначения и товаров народного потребления по качеству и количеству. Порядок приемки взрывчатых материалов на железнодорожных тупиках и площадках Министерства путей сообщения РФ регламентируется Правилами перевозок разрядных грузов. Допускается разгрузка принятых предприятием (организацией) железнодорожных вагонов с ВВ непосредственно в карьере (разреze).

Охранять передвижной склад ВМ может заведующий складом, кладовщик (раздатчик ВМ), шофер, другое лицо при условии круглосуточного (посменного) дежурства. Лиц, выделенных для охраны ВМ в передвижном

складе, вооружают огнестрельным оружием. Вид охраны, состав, количество, дислокацию постов и порядок охраны складов ВМ устанавливает руководитель предприятия (организации) по согласованию с органом внутренних дел. Изменение количества постов охраны допускается только по согласованию с органом внутренних дел. Доставленные к местам работ взрывчатые материалы должны охраняться. Охрана может осуществляться взрывниками или проинструктированными рабочими.

При прекращении работ, связанных с использованием взрывчатых материалов, на срок более шести месяцев оставшиеся на расходном складе взрывчатые материалы вывозятся на другой склад ВМ. Предприятие (организация) может передать взрывчатые материалы другому предприятию (организации), имеющему разрешения на право производства взрывных работ и приобретение взрывчатых материалов, только с согласия вышестоящей организации. Электродетонаторы и капсулы-детонаторы в металлической гильзе на расходном складе ВМ нумеруют – наносят на гильзы индекс предприятия и индивидуальный рабочий номер взрывника, которому отпускаются средства инициирования. Нумеруют электродетонаторы и капсулы-детонаторы в соответствии с инструкцией, согласованной с Ростехнадзором, Горнотехнической инспекцией министерства. Патроны, пакеты, мешки, шашки и другие изделия с взрывчатыми веществами должны иметь индивидуальные заводские номера, а также четко обозначенные наименования, номер партии, дату изготовления и условный индекс завода-изготовителя. На таре взрывчатых веществ должна быть проставлена масса. Регистрируют индивидуальные заводские номера при выдаче ВВ взрывникам в соответствии с инструкциями, согласованными с местным органом Ростехнадзора, Горнотехнической инспекцией министерства.

Обращение с взрывчатыми материалами предполагает максимальную осторожность. Взрывчатые материалы в таре запрещается бросать, перемещать волоком, подвергать ударам, перекачивать. При механизированном растаривании на специализированных установках следует руководствоваться специальной инструкцией (хранится на складе ВМ). Персонал, обращающийся с ВМ, не должен иметь при себе огнестрельное оружие, курительные и зажигательные принадлежности. Допускается наличие у персонала спичек и других зажигательных принадлежностей только при огневом способе взрывания и испытании огнепроводного шнура.

Необходимый рабочий инструмент изготавливается из материалов, не дающих искры. Патроны с ВВ нельзя подвергать объемной деформации. Вентиляция и аспирация воздуха, содержащего пыль ВВ, осуществляется только по инструкции, утвержденной главным инженером. Категорически запрещено курить на территории склада ВМ и в пределах опасной зоны

при подготовке блока к взрыву. Открытый огонь применяется на расстоянии не ближе 100 м от места кратковременного складирования ВМ (на открытых горных работах).

5.5. Уничтожение взрывчатых материалов

Взрывчатые материалы, пришедшие в негодность и не отвечающие требованиям ГОСТов и ТУ, подлежат уничтожению. Непригодность устанавливается при внешнем осмотре как при поступлении на базисный склад ВМ или выдаче взрывникам (мастерам-взрывникам), так и в процессе хранения, а также в случае отказов и неполной детонации в условиях эксплуатации. Уничтожение производится по письменному разрешению руководителя предприятия, на что составляется акт с указанием наименования и количества уничтожаемых ВМ, принципа и способа уничтожения. Уничтожение выполняется взрывниками под руководством заведующего складом ВМ или лица технического надзора, назначенного руководителем предприятия. Уничтожение производится взрыванием, сжиганием или растворением в воде [11].

Взрыванием уничтожаются ВВ, не утратившие способность детонировать с помощью доброкачественных ВМ. Патронированные ВВ подлежат уничтожению пачками, а детонаторы, ДШ и пиротехнические замедлители – в любой упаковке, зарытыми в землю или с помощью других способов, исключающих разброс невзорвавшихся изделий. Площадку для уничтожения выбирают на безопасном расстоянии от населенных пунктов и промышленных объектов.

Сжиганием могут уничтожаться ВМ, не поддающиеся взрыванию (утратившие способность устойчиво детонировать), за исключением КД, ЭД и изделий с ними, и лишь в сухую погоду. ВВ, ОШ и ДШ необходимо сжигать отдельно, причем на костре разрешается сжигать за один прием не более 10 кг. Патроны ВВ при сжигании раскладывают в один слой так, чтобы они не соприкасались. Запрещается сжигать ВМ в таре. При уничтожении рассыпчатых ВВ (например, черного дымного пороха) их рассыпают дорожками шириной 30 см, толщиной 10 см, с расстоянием между ними не менее 5 м. Одновременно разрешается поджигать не более трех дорожек. Взрывники находятся в укрытии до полного сгорания костра с ВМ. Так как сжигание ВВ может окончиться взрывом, то выбирают удобное место вдали от жилых построек, путей сообщения (не менее 200 м) и устраивают площадку, тщательно очищенную от камней, сучьев и дерна. Для поджигания костра с ВМ следует с подветренной стороны проложить ОШ или дорожку из легковоспламеняемого материала (хвороста и др.)

длиной не менее 5 м. Костер должен быть настолько большим, чтобы в него не приходилось подкладывать горючий материал во время сжигания ВМ. Запрещается осмотр места сжигания до полного прекращения горения костра.

Растворением в воде уничтожают только неводоустойчивые ВВ на основе аммиачной селитры и черный дымный порох. Растворение возможно в бочках или других сосудах. На каждые 15 кг ВВ, извлеченных из упаковок и освобожденных от оболочек, требуется налить 125–150 л воды (лучше горячей), перемешать деревянными мешалками, дать постоять от 0,5 до 1,0 ч, после чего спустить воду, затем налить воду в бочку и повторить эту операцию 3–4 раза. Раствор сливают в ямы, а осадок собирают и уничтожают сжиганием.

ИСПЫТАНИЕ ВЗРЫВЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ

6.1. Методы испытания взрывчатых веществ

Для *оценки работоспособности* ВВ применяют следующие экспериментальные методы: взрывание заряда в свинцовой бомбе (проба Трауцля), взрывание на баллистическом маятнике или в баллистической мортире, взрывание в полевых условиях шпуровых или скважинных зарядов в однородном грунте или породе, подводное взрывание и, наконец, взрывание подвешенных в воздухе зарядов с измерением параметров воздушной ударной волны [1, 7, 10].

Наиболее простым и распространенным испытанием является испытание в *свинцовой бомбе*. Этот метод признан международным и используется во всех странах. Он заключается в следующем: небольшой заряд ВВ взрывают в канале свинцового цилиндрического блока с песчаной забойкой и по величине расширения канала, выраженного в объемных единицах, судят о работоспособности ВВ. Поскольку величина расширения объема свинцовой бомбы не находится в линейной зависимости с истинной работоспособностью, то получаемые по этому методу результаты характеризуют лишь относительную работоспособность. Их обычно сопоставляют с работоспособностью кристаллического тротила, принятого за эталон.

При использовании *метода баллистического маятника* взрыв заряда осуществляют в канале мортиры, соприкасающейся с телом маятника, который представляет собой массивный подвешенный груз, продукты взрыва сообщают ему количество движения, отклоняя на определенный угол.

Данный метод позволяет испытывать заряды большой массы (200–500 г), что важно для оценки ВВ, не полностью детонирующих от КД в условиях свинцовой бомбы Трауцля.

Методы определения влажности промышленных ВВ основаны на высушивании навески ВВ при заданной температуре в течение некоторого времени. Допустимая температура сушки зависит от термической стабильности ВВ, а время – от степени его влажности. ВВ, содержащие нитроэфиры, сушат при комнатной температуре над высушивающим веществом.

Методами сушки вместе с влагой выявляются и летучие компоненты или примеси, присутствующие в ВВ. Эти методы позволяют установить лишь относительное содержание влаги, поскольку полностью высушить

ВВ не удается без заметных потерь некоторых его компонентов. Истинное содержание влаги в них, причем без других летучих примесей, можно определить по ГОСТ 14870–69 путем экстрагирования навески *методом Дина и Старка*, если испытуемое ВВ допускает кипячение в экстрагируемой жидкости, или *методом Фишера*.

В соответствии с ГОСТ 14839.12–69 содержание влаги в ВВ, в которых отсутствуют нитроэфиры, устанавливают в *сушильных шкафах* (термостатах) или с помощью *прибора ускоренной сушки* с инфракрасной электролампой.

Влажность, определенная по обоим изложенным методам,

$$W = \frac{(G_1 - G_2) \cdot 100}{G}, \% \quad (52)$$

где G_1 и G_2 – масса бюксы с ВВ, соответственно, до сушки и после нее, г; G – масса навески ВВ, г. Бюкса – это баночка с притертой пробкой. Используются при высушивании и взвешивании сыпучих материалов.

Расхождение между замерами не должно превышать 0,05 %.

Впитывающая (удерживающая) способность гранул селитры зависит от их пористости и влажности.

Установлена сильная зависимость впитывающей способности от влажности для непористой селитры марки Б. Впитывающая способность селитры марки Б с влажностью около 0,9 % относительно дизельного топлива составляет в зависимости от размера гранул 6,3–8,8 %. Влияние влажности на впитывающую способность относительно различных горючих жидкостей еще более сильное.

Гранулы селитры насыщали горючими жидкостями до сохранения их сухости, определяемой на ощупь.

Чем меньше влажность аммиачной селитры, тем больше горючей жидкой добавки она впитывает. Увлажненная аммиачная селитра поглощает малое и примерно одинаковое количество горючих жидкостей независимо от их физических и химических свойств, причем это количество колеблется в пределах от 1,5 до 2,0 %. Поэтому для обеспечения нулевого или близкого к нулю кислородного баланса в состав ВВ вводят дополнительно твердые горючие добавки, такие как древесная мука, уголь, сажа и др.

Твердая горючая добавка должна быть пористой, способной поглощать ту часть жидкого горючего, которая не удерживается гранулами аммиачной селитры. С этой точки зрения лучшими твердыми горючими добавками являются каменный и древесный уголь, хорошо адсорбирующие жидкие компоненты.

Замена части дизельного топлива на угольный порошок уменьшает растворимость гранулитов. Помимо повышения водостойчивости введение угольного порошка увеличивает эффективность взрыва на 17–20 % и бризантность с 16 до 23 мм (испытание в кольцах).

Поступающую в производство ВВ непористую селитру испытывают на механическую прочность гранул, а пористую также и на впитывающую их способность.

Метод определения впитывающей способности основан на впитывании гранулами аммиачной селитры дизельного топлива или низковязкого нефтяного масла при комнатной температуре.

Навеску около 100 г гранул селитры, предварительно отсеянную от мелких фракций на сите с отверстиями 0,5 мм и взвешенную с точностью 0,01 г, засыпают через стеклянную воронку в чистую сухую бюретку с краном, установленную в штативе вертикально. Объем бюретки около 150 см³. Перед засыпкой в бюретку опускают несколько крупных гранул, взятых из навески, для предотвращения закупоривания отверстия в кране мелкими гранулами. Затем в стеклянный стаканчик с той же точностью отвешивают 50 г дизельного топлива марки Л или З (ГОСТ 305–73) или солярового масла (ОСТ 38-157–74). В случае отсутствия солярового масла применяют близкое к нему по вязкости приборное (ГОСТ 1805–51).

Топливо или масло из стаканчика выливают без потерь в бюретку с селитрой и наблюдают, чтобы происходило равномерное смачивание всех гранул селитры по высоте бюретки. Пропитку гранул топливом или маслом в бюретке при закрытом кране производят в течение 20 мин, после чего кран бюретки открывают и оставляют на 1,5 ч для свободного стекания их излишков. Время пропитки в данном опыте принято равным продолжительности механического смешения компонентов при заводском изготовлении ВВ.

По окончании стекания кран бюретки закрывают и повторно взвешивают стаканчик. Разность весов жидкости до и после опыта, отнесенная к 100 г навески селитры и выраженная в процентах, характеризует впитывающую способность ее гранул. Производят два-три параллельных опыта и вычисляют среднее арифметическое значение впитывающей способности. За 1,5 ч выдержки бюретки с открытым краном обычно не успевает стечь все масло или топливо, которое не способны удержать гранулы при длительном хранении ВВ. Поэтому иногда в опытах выдержку продолжают 5–10 сут и по оставшемуся в этом случае в гранулах количеству масла судят об удерживающей их способности. Этот показатель полнее характеризует пористость селитры и, соответственно, физическую стабильность маслосодержащих ВВ на ее основе.

Метод определения механической прочности гранул предусматривает раздавливание отдельных гранул испытуемого вещества на специальном приборе с определением усилия, затрачиваемого на разрушение, пригоден для испытания гранул селитры и ВВ.

Пробу гранул продукта выдерживают в закрытой банке до принятия окружающей температуры. Из пробы отбирают 25 гранул диаметром

1,52 мм. На правую тарелку весов под поршень пресса устанавливают алюминиевую плоскую подставку, на которую по центру укладывают испытуемую гранулу. Затем опускают поршень пресса до соприкосновения с гранулой, продолжая медленно, равномерно и непрерывно наращивать давление на гранулу до ее разрушения. С ростом давления соответственно отклоняется стрелка циферблата весов. Момент разрушения устанавливают по вздрагиванию этой стрелки.

Максимальная величина нагрузки в граммах, считываемая с циферблатных весов в момент вздрагивания стрелки, служит показателем прочности гранулы. Описанным способом испытывают 25 гранул и за результат определения прочности берут среднее арифметическое из этих опытов. Если гранула сплющивается (спрессовывается), то данный опыт не учитывают, гранулу заменяют новой и повторяют испытание.

Критический диаметр является важнейшей характеристикой детонационной способности взрывчатого вещества. По нему определяют, в зарядах какого диаметра данное ВВ можно применять на взрывных работах.

Для отыскания критического диаметра обычно последовательно взрывают серию цилиндрических зарядов с постепенным увеличением или уменьшением их диаметра в зависимости от результатов предыдущего взрыва. Таким образом находят диаметр заряда, меньше которого детонация не способна устойчиво распространяться и затухает вследствие слишком больших химических потерь на фронте детонационной волны.

Чтобы установить, затухающая или не затухающая детонация прошла вдоль заряда, длину его берут не меньше пяти диаметров. Если испытуемое ВВ способно устойчиво детонировать только в заряде диаметром 100 мм и более, то длину берут равной 500 мм, а в некоторых случаях и до 250 мм, чтобы уменьшить массу одновременно взрывающегося ВВ и воздействие взрыва на окружающую среду.

Плотность взрывчатого вещества по длине заряда должна быть равномерной.

О полноте детонации испытуемого заряда судят по отсутствию на месте взрыва остатков ВВ и его оболочки и по наличию отпечатков заряда или воронки на грунте. Более достоверный результат можно получить по результатам детонации отрезка ДП, вставленного в хвостовую часть заряда и зарытого в грунт.

С найденным критическим диаметром повторяют не менее трех параллельных опытов. Во всех опытах должна быть зафиксирована полная детонация.

Пластичность ВВ проверяют несколькими лабораторными нестандартными методами. Пластичность акванитов и динамитов можно установить на пенетрометре замером глубины проникновения за определенное

время нагруженного стержня с шариком на конце в массу испытуемого ВВ (при комнатной температуре или после выдержки в термостате) или замедленной степени сжатия столбика этого ВВ диаметром и высотой по 10–20 мм при воздействии на него заданной нагрузки. В этом случае на конце стержня укрепляют площадку диаметром, несколько большим диаметра столбика ВВ. Величину нагрузки и время воздействия ее на испытуемый образец подбирают опытным путем в зависимости от консистенции ВВ.

В полевых условиях пластичность ВВ субъективно можно оценить по способности патронов разминаться в руке и сплющиваться в шнуре или скважине при нажатии забойником.

Текучесть водонаполненных акваторов в лабораторных условиях устанавливают измерением скорости их истечения из стеклянных калиброванных пробирок, наклоненных под определенным углом к горизонту. Текучесть ВВ измеряют при комнатной или при более низкой температуре.

При лабораторном исследовании **экссудации** нитроэфирных ВВ из патрона вырезают цилиндрик высотой 30 мм, помещают его на лист пергаментной бумаги и выдерживают в термостате при температуре 30–33 °С в течение 6 сут. ВВ считается выдержавшим испытание, если под цилиндриком на бумаге нет следов от капель нитроэфира. Допускается лишь едва заметное пятно на месте цилиндрика. При испытании пластичного динамита высота цилиндрика не должна уменьшаться больше чем на 25 % от первоначальной величины. При испытании ВВ с низким содержанием нитроэфиров (углениты, детониты) для определения количества выделяющейся жидкости на пергаментную бумагу под цилиндрик подкладывают тарированные кружки фильтровальной бумаги, в которые она впитывается.

В полевых условиях экссудацию маслосодержащих непатронированных ВВ оценивают по степени маслянистости различных слоев содержащегося в них ВВ, степени промасливания многослойных бумажных мешков и по масляным каплям и пятнам внутри полиэтиленовых мешков-вкладышей.

Методы определения плотности ВВ распространяются на промышленные взрывчатые вещества, которые изготавливаются:

- в виде патронов из порошкообразных и эмульсионных ВВ;
- в непатронированном виде (эмульсионные ВВ, изготавливаемые на горнодобывающих предприятиях, и гранулированные ВВ);
- в виде литых и прессованных шашек и шашек-детонаторов (далее шашки).

Используются следующие методы определения плотности: по объему вытесненной воды, гидростатическим взвешиванием, путем измерения диаметра и высоты, гравиметрический, пикнометрический.

Метод определения плотности ВВ по объему вытесненной воды основан на установлении объема ВВ в патроне по объему воды, вытесненной патроном, масса которого предварительно определена. Метод применяется для патронированных порошкообразных и эмульсионных ВВ. При использовании этого метода плотностями бумажной гильзы, полиэтиленовой оболочки и влагоизолирующего покрытия пренебрегают.

Метод определения плотности ВВ гидростатическим взвешиванием основан на установлении разности массы шашек в воздухе и воде. Метод применяется для литых и прессованных шашек как без оболочки, так и в оболочке или в полимерном корпусе.

Метод определения плотности ВВ путем измерения диаметра и высоты основан на установлении объема ВВ в предварительно взвешенном патроне. Метод применяется для определения плотности ВВ в патронах диаметром 45 мм и более в бумажной оболочке. При использовании этого метода взвешивают патрон, записывая результат в граммах до целого грамма. Затем ВВ высыпают из патрона, очищают гильзу кисточкой от остатков ВВ и взвешивают ее, записывая результат в граммах до целого грамма. Разность между массой каждого патрона и массой его гильзы составляет массу ВВ в патроне.

Гравиметрический метод определения плотности ВВ основан на установлении массы ВВ при известном объеме. Метод применяется для патронированных эмульсионных ВВ, содержащих газогенерирующую добавку, и непатронированных эмульсионных ВВ, изготавливаемых на горнодобывающих предприятиях, а также для неводоустойчивых ВВ.

Пикнометрический метод определения плотности ВВ основан на установлении массы воды, вытесненной навеской ВВ, масса которой предварительно определена. Метод применяется для гранулированных непатронированных ВВ, не растворяющихся в воде.

Все предохранительные ВВ в зависимости от области и условий их применения испытывают на безопасность по газу и пыли по методикам со своими нормативными показателями. Каждая партия любого предохранительного ВВ (валового или опытного изготовления) при выпуске с завода подвергается обязательным приемочным **испытаниям на предохранительные свойства**. Кроме того, образцы заводской валовой продукции ВВ всех видов не реже одного раза в год подвергаются официальным контрольным испытаниям на предохранительные свойства и другие нормируемые показатели ее качества в государственной контролирующей организации (МакНИИ или ВостНИИ). Сюда же могут поступать образцы отдельных партий ВВ из шахт при необходимости в контрольной их проверке, например, по истечении гарантийного срока годности партии или возникновении сомнения в ее доброкачественности, арбитражных споров и по другим причинам.

Мерой оценки предохранительных свойств ВВ служит минимальная масса одиночного их заряда (предельный заряд), не воспламеняющего газ или пыль при всех последовательных опытах, число которых обычно доходит до 10. По установленным нормам ВВ I и II классов не должны воспламенять метан зарядом массой 600 г, а ВВ IV класса – и пыль зарядом массой 700 г.

ВВ V и VI классов, предназначенные для взрывания в особо опасных условиях угольных шахт, подвергают штрековым испытаниям по метану в более жестких условиях. Их заряды взрывают в свободно подвешенном состоянии во взрывной камере штрека. При таких испытаниях ВВ V класса не должны воспламенять метано-воздушную смесь зарядом массой 200 г, а ВВ VI класса – зарядом массой 1 000 г. МакНИИ разработал и предложил также метод испытаний ВВ V и VI классов подрывом в мортире с удлиненным каналом, рассчитанным на заряд до 1 000 г.

В лабораторной практике для **определения объема и состава газообразных продуктов взрыва**, в том числе и ядовитых газов, используют бомбу Долгова емкостью 60 л, в которой взрывают заряд испытуемого ВВ, после чего измеряют давление и отбирают пробы газа на анализ. Помимо названного метода для окончательного принятия решения о допустимости исследуемого ВВ на подземные работы прибегают к производственным испытаниям на образование ядовитых газов при взрывании шпуровых зарядов в тупиковой горной выработке.

Бомба Долгова представляет собой толстостенный стальной цилиндрический сосуд с массивной герметически закрывающейся крышкой, снабженной вентилями для откачки воздуха из бомбы и замера давления газов после взрыва, а также для вывода наружу концов проводов ЭД. С нижней стороны крышки имеется крючок для подвески заряда в вертикальном положении в центре объема бомбы. Заряд представляет собой 100-граммовый патрон ВВ в бумажной парафинированной оболочке диаметром 32 или 36 мм, в котором утоплен ЭД. В бомбе имеется прилив с гнездом для термометра, предназначенного для замера температуры тела бомбы в момент измерения давления.

После герметичного закрывания крышки с подвешенным к ней зарядом бомбу с помощью насоса вакуумируют до остаточного давления 20–40 мм рт. ст., производят взрыв и дают охладиться газам в течение 30 мин. После этого измеряют избыточное давление и отбирают пробы газа для анализа.

Вышеописанные условия подрыва свободно подвешенного заряда в вакуумированной бомбе не соответствуют практическим условиям применения ВВ и поэтому не воспроизводят в достаточной мере истинные условия газообразования при взрывных работах в шахтах. Для выполнения

взрывными газами работы, в процессе которой они резко охлаждаются и наступает как бы «закалка» равновесного их состояния, 100 г заряда ВВ взрывают в окружении песка. Для этого патрон в парафинированной бумажной оболочке помещают в жестяную банку и заполняют 400 г прокаленного песка и в таком состоянии его подвешивают в вакуумированной бомбе.

По П. А. Парамонову (МакНИИ), взрывают заряд массой 10 г в свинцовом блоке, помещенном в бомбу Долгова, заполненную азотом под избыточным давлением (150–200 мм рт. ст.). Блок диаметром 100 мм и такой же высоты имеет канал диаметром 25 мм и глубиной 75 мм для размещения заряда ВВ с песчаной забойкой. Взрываемый заряд совершает работу по расширению канала блока, как в пробе Трауцля при испытании на работоспособность. В присутствии азота в бомбе не происходит окисления NO до NO₂.

В Институте горного дела имени А. А. Скочинского применяют метод взрывания ВВ (предложенный Б. Н. Кукибом) в стальной мортирке диаметром 240–290 мм и высотой 500 мм, которую помещают в бомбу Долгова, заполненную азотом. В канале мортирки, имеющей диаметр 45 мм и глубину 200 мм, располагают навеску ВВ массой 100 г с ЭД и песчаной забойкой массой 100 г.

После взрыва и охлаждения газов замеряют избыточное давление в бомбе и отбирают пробы газа на анализ. Содержание СО определяют с помощью газоанализатора Института гигиены имени Эрисмана по методу Реберга или же кондуктометрическим методом.

В основу кондуктометрического метода положено измерение электропроводности раствора едкого натра – поглотителя СО₂, которая пропорционально изменяется по мере увеличения концентрации этого газа, получаемого в результате окисления СО с помощью йодноватого ангидрида по вышеприведенной реакции. По величине полученной электропроводности рассчитывают содержание СО.

Рассмотрим производственные методы. Для решения вопроса допуска нового ВВ на подземные работы опытные взрывания выполняют непосредственно в забое глухой выработки. По одному из методов, названному камерным, в горизонтальной или наклонной под углом не более 30° выработке с сечением 4–10 м оборудуют обособленную камеру путем устройства перемычки с откидывающимся занавесом из плотной ткани на расстоянии 15–40 м от плоскости забоя. При этом расстояние от занавеса до вентиляционной выработки должно быть не менее 50 м. Брезент сразу же опускают после взрыва комплекта шнуров, пробуренных и заряженных в соответствии с паспортом буровзрывных работ. Для равномерного распределения в воздухе камеры (объемом 60–450 м³) продукты взрыва пере-

мешивают вентилятором и отбирают пробы рудничной атмосферы в различных точках камеры.

По *бескамерному методу* производственной оценки газовой ВВ определяют зависимость концентрации исследуемого газа от количества подаваемого воздуха на проветривание (от времени проветривания при постоянной подаче воздуха). После очередного опытного взрыва забоя в тупиковую выработку нагнетают свежий воздух с расстояния 50–100 м от плоскости забоя через некоторые промежутки времени (с момента подхода газа к точке замера и до полного его исчезновения) отбирают и анализируют пробы газа.

Для определения ядовитых газов в продуктах взрыва за рубежом используют герметически закрытые камеры экспериментального стального штрека объемом 10 м^3 , в которых заряды из нескольких патронов испытуемого ВВ подрывают в свободно подвешенном состоянии или в канале mortarы. Через 3–6 мин после взрыва в трех точках камеры отбирают пробы газа и анализируют с помощью автоматического газоанализатора.

Теплота взрыва – количество тепловой энергии, выделяющейся при взрывном превращении (горении или детонации) определенной массы ВВ. Размерность теплоты взрыва – кДж/кг. Для установления теплоты взрыва применяются два метода: расчетный и экспериментальный.

Экспериментальное определение теплоты взрыва производят в калориметрических установках, состоящих из толстостенной стальной бомбы объемом от нескольких сотен кубических сантиметров до 50 л и жидкостного калориметра. Перед опытом в калориметрической бомбе откачивают воздух, возможно также заполнение бомбы инертным газом, например азотом. Для определения количества тепла, выделившегося при взрыве, бомбу помещают в калориметр с точно отмеренным количеством калориметрической жидкости (обычно вода). Применение жидкостных калориметров связано с созданием сложных и дорогостоящих установок внушительных размеров. Поэтому в ряде методик в качестве калориметра используют саму бомбу, причем температуру ее измеряют термометрами Бекмана, расположенными в разных точках. Опыты проводят в стандартных бомбах Бихеля.

Расчет теплоты взрыва выполняют на основе закона Гесса, согласно которому тепловой эффект химического превращения системы зависит только от начального и конечного ее состояний и не зависит от промежуточных состояний, т. е. от пути перехода. На основании этого закона выделившаяся при взрыве теплота равна разности теплот образования исходного вещества и конечных продуктов.

Химическая стойкость – способность взрывчатых веществ сохранять химический состав и химические свойства в течение необходимого времени их хранения.

Существует целый ряд методов контроля стойкости взрывчатых веществ, с помощью которых устанавливается годность того или иного продукта для хранения и применения.

Методы испытания взрывчатых веществ на их термическую стойкость делятся на две группы. При одних методах ограничиваются лишь качественными определениями продуктов реакции: видимые на глаз окислы азота, изменение цвета индикаторной бумажки и т. д. При других же методах продукты реакции определяются количественно – объемным или весовым методом, манометрически или же потенциометрически.

Проба хранением применяется для определения стойкости бездымных порохов, аммиачно-селитренных ВВ и динамитов. Существует ряд вариантов этой пробы, в принципе все они сводятся к следующему: точная навеска испытуемого вещества нагревается при определенной температуре и отмечается время, по истечении которого появляются заметные на глаз окислы азота.

Проба с йодокрахмальной бумажкой (проба Абея) применяется главным образом для определения стойкости нитроглицерина и динамитов. В этой пробе контроль за распадом вещества осуществляется посредством взаимодействия выделяющихся окислов с йодистым калием в присутствии крахмала.

Проба с лакмусовой бумажкой (проба Вьеля) является одной из наиболее распространенных качественных проб. Для испытания по этому методу вещество помещается в герметично закрываемый цилиндр – флакончик Вьеля, по внутренней боковой поверхности которого укладывается синяя лакмусовая бумажка, а затем выдерживается в специальном термостате при $106,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Нагревание образца ведется до приобретения лакмусовой бумажкой стандартного красного цвета. При этом через каждые 15 мин производят контроль температуры, а через каждые 30 мин в журнал заносят наблюдения за изменением цвета индикаторной бумажки. Испытание проводят в течение не более 7 ч, и если за этот промежуток времени не произошло явного покраснения лакмусовой бумажки, то образец считается стойким, в противном случае стойкость выражается числом часов (с округлением до получаса), прошедших от момента введения пробы в термостат до покраснения индикаторной бумажки.

Проба взвешиванием основана на периодическом взвешивании образца, выдерживаемом при температуре $(75,0\pm 0,5)$ или $(95,0\pm 0,5)\text{ }^{\circ}\text{C}$. При подобном методе представляется возможным следить за скоростью распада вещества по потере его веса. Результаты испытания обычно выражаются в виде кривой зависимости потери веса образца от времени. На этой кривой легко находится время достижения прогрессивного распада, которое и является критерием стойкости испытуемого образца.

Проба по методу Бергмана и Юнка основана на количественном определении окислов азота, выделившихся из навески веществ при нагревании ее при температуре $(132,0 \pm 0,5)^\circ\text{C}$.

Проба по методу Обермюллера заключается в следующем: навеску испытуемого вещества в количестве 2 г помещают в пробирку, снабженную пришлифованной газоотводной трубкой; с помощью вакуумного каучука газоотводную трубку присоединяют к манометру, а затем пробирку опускают в баню с постоянной температурой 140°C . После откачки воздуха отсчитывают остаточное давление, а затем периодически (через каждые 15 мин) измеряют изменение давления. Нанося на диаграмму зависимость изменения давления от времени, можно получить динамику распада вещества, являющуюся показателем его стойкости.

Проба по методу Талиани аналогична пробе по методу Обермюллера с той лишь разницей, что процесс ведется при начальном давлении, равном атмосферному.

В работе ВВ подвергаются механическим воздействиям (удару, трению), которые при определенной степени интенсивности могут стать причиной непредвиденного взрыва. Для оценки их степени опасности ВВ испытывают в лабораторных условиях на удар и трение.

Испытание на чувствительность к удару основано на действии удара груза определенной массы, падающего с некоторой высоты на слой ВВ определенных размеров, заключенный между стальными поверхностями. Мерой чувствительности служит энергия удара, необходимая для возбуждения взрыва. Испытания выполняют на копрах разных конструкций.

Испытание на чувствительность к трению проводят на приборе путем истирания навески массой $(0,030 \pm 0,005)$ г между стальными поверхностями плоского профиля для твердых и пластичных ВВ или со сферической поверхностью (радиус сферы 5 мм), предназначенной для жидких ВВ.

Критерием чувствительности служит максимальное давление на навеску ВВ, при котором во время истирания еще не происходит разложения ВВ (потрескивания, вспышки или взрыва). Это давление, выраженное в килограмм-силах на квадратный сантиметр ($\text{кгс}/\text{см}^2$) при истирании между плоскими поверхностями и в килограмм-силах (кгс) – между сферическими, характеризует нижний предел чувствительности испытуемого ВВ.

Слеживаемость – способность взрывчатых веществ терять при хранении сыпучесть и превращаться в прочно связанную массу. Слеживаемость приводит к снижению детонационной способности и делает взрывчатое вещество неудобным или непригодным к применению.

Слеживаемость определяют на приборах Пестова в лабораторных условиях по давлению, необходимому для раздавливания образцов взрывчатых веществ, предварительно слеживающихся в специальных форсиро-

ванных условиях (попеременное увлажнение-подсыхание при циклическом изменении влажности). Взрывчатое вещество считается сильно слеживавшимся, если оно не рассыпается при раздавливании рукой.

Мерой слеживаемости служит максимальное давление раздавливания пашки (кгс/см). ВВ, которые в практических условиях сильно слеживаются, в условиях данного прибора слеживаются до давления раздавливания 10 кгс/см^2 , а малослеживающиеся ВВ – до 5 кгс/см^2 .

Обычно *сыпучесть* испытуемого ВВ характеризуют по совокупности результатов испытаний несколькими методами. Достаточно хорошо сыпучие крупнозернистые и гранулированные ВВ проверяют на сыпучесть *по времени высыпания навески* массой $0,5\text{--}1,0 \text{ кг}$ из воронки с углом конусности гладкой внутренней поверхности 60° и отверстием с закругленными краями диаметром 20 мм . Воронка может быть стеклянная или алюминиевая с полированной поверхностью. Для испытания плохо сыпучих ВВ воронку укрепляют на вибростоле с определенным, принятым за константу, числом колебаний.

Другим методом испытания сыпучести является *определение угла наклона гладкой или шершавой поверхности*, при котором начинает сыпаться ВВ, помещенное слоем определенной толщины на эту поверхность.

Третий способ установления сыпучести ВВ *по углу естественного откоса*, который можно определить насыпанием с некоторой высоты ВВ и замером угла откоса образовавшегося конуса угломером или расчетом (по высоте и диаметру основания конуса). Наконец, сыпучесть ВВ можно характеризовать способностью его транспортироваться по зарядным шлангам в процессе пневмозарядки.

Насыпная плотность определяется как отношение массы свободно насыпанного в цилиндр ВВ к занимаемому им объему цилиндра. Для этого имеется специальный прибор, но можно использовать и обычный стеклянный цилиндр с делениями 100 или 200 см . Насыпная плотность зависит от высоты столба ВВ, поэтому ее значения, полученные в лабораторных условиях, несколько отличаются от значений, например, при засыпке в глубокую скважину.

Более постоянные значения плотности испытуемого ВВ могут быть в том случае, если после засыпки навески в мерный цилиндр уплотнять ее утряской до прекращения уменьшения ее объема в цилиндре. Для этого, захватив ладонью руки верхний торец цилиндра, производят резкие, энергичные удары его дном о резиновую подкладку на твердом основании. Таким способом определяют *плотность после тряски*, которая наряду с насыпной плотностью характеризует объемные свойства ВВ.

Дисперсность тонкоизмельченных аммиачно-селитренных ВВ можно установить на специальных приборах измерением удельной поверхности.

Менее точно, но проще характеристику дисперсности можно получить ситовым анализом на наборе сит с малыми интервалами размеров ячеек между соседними ситами. Навеску ВВ массой 100 г обычно рассеивают механически в одинаковых условиях. Для этого набор сит закрепляют на встряхивающем приборе и включают его на определенное время, обеспечивающее полный высев соответствующих фракций. После этого взвешивают остатки на каждом сите и определяют процентное содержание фракций, размер частиц которых соответствует размеру ячеек вышележащего сита. В набор сит для анализа мелкодисперсных ВВ обычно включают шелковые или металлические сита с отверстиями размером 0,5; 0,22; 0,104; 0,077 мм (сита М 15, 29, 49 и 61 в соответствии с ГОСТ 4403–67). Для гранулированных ВВ применяют сита с размером отверстий 4; 0,9 и 0,5 мм (ГОСТ 3826–66).

Гранулометрический состав гранулированных ВВ с достаточной точностью определяют по ГОСТ 14839.17–69 ситовым анализом навески ВВ массой 500 г, взвешенной с точностью до 0,5 г, на соответствующем наборе сит в течение 2 мин. Результат анализа выражают процентом отдельных фракций, полученных на каждом сите, либо строят полную кривую распределения частиц по размерам.

Бризантность – это характеристика взрывчатого вещества. Служит мерой его способности к локальному дробящему воздействию на среду, в которой происходит взрыв.

Наиболее простым методом испытания на бризантность является метод на обжатие свинцовых столбиков, известный как *проба Гесса*. Согласно ГОСТ 5984–51 испытание выполняют следующим образом.

Навеску испытуемого ВВ массой $(50,0 \pm 0,1)$ г помещают в бумажную гильзу с внутренним диаметром 40 мм и закрывают сверху картонным кружком толщиной 1,5–2,0 мм, наружным диаметром 38–39 мм и с центральным отверстием диаметром 7,5 мм для помещения и центровки КД или ЭД.

Заряд в специальной матрице вручную подпрессовывают до плотности, заданной условиями испытания, с помощью пуансона, имеющего на конце сосок диаметром 7,5 мм и длиной 25 мм для образования гнезда под КД. В гнездо временно вставляют деревянную пробку и сверху на картонный кружок подгибают свободные края бумажной гильзы. Гильзу для заряда готовят из листа плотной бумаги размером 150×65 мм. Дно гильзы должно быть ровным.

Изготовленный заряд на подрывной площадке устанавливают на свинцовый столбик, который помещают на ровную стальную плиту толщиной не менее 20 мм, уложенную горизонтально на прочном основании.

Столбик, торцевые поверхности которого обработаны до чистоты V_4 , должен иметь диаметр $(40,0 \pm 0,2)$ мм, высоту $(60,0 \pm 0,5)$ мм. Между зарядом

и столбиком помещают стальной диск для обеспечения равномерного обжатия свинца со стороны торцевой поверхности при взрыве. Диск должен иметь диаметр $(41,0 \pm 0,2)$ мм, толщину $(10,0 \pm 0,2)$ мм, твердость по Бринеллю в пределах 150–200 ед. Заряд плотно прижимают к стальному диску и крепят на плите растяжками из шпагата. После установки, центровки и закрепления заряда вынимают из его гнезда деревянную пробку и вместо нее вставляют ЭД или КД, соединенный с отрезком ОШ длиной 300–350 мм, и производят взрыв. В результате резкого удара продуктов детонации по стальному диску свинцовый столбик приобретает грибообразную форму, имеющую твердость 150–200 ед.

Описанный метод является основным для контроля качества изготовления порошкообразных аммонитов и для контроля большинства патронированных ВВ. В измененном виде его применяют для испытания гранулированных и водонаполненных ВВ, имеющих критический диаметр больше 40 мм и нечувствительных к КД № 8. В таких случаях навеску ВВ массой 50 или 100 г помещают при собственной его плотности в стальное кольцо с внутренним диаметром 40 мм и толщиной стенок 2,5–3,0 мм, имеющее соответствующую длину, и инициируют с помощью прессованной тротиловой или тетриловой шашки массой 5–10 г. Массу заряда до 100 г рекомендуется увеличивать при испытании гранулированных ВВ с большим участком разгона скорости детонации. Чтобы полностью исключить влияние на результаты бризантности промежуточного детонатора и участка разгона детонации, рекомендуется брать заряды длиной, равной четырем диаметрам.

Если при испытании на бризантность свинцовый столбик разрушается полностью и таким образом не удается установить степень его обжатия, то между зарядом и столбиком помещают вместо одного два стальных диска. Деформация свинца ударной волной через два столбика сильно снижается, и сравнивать испытуемое ВВ с другим можно только в таких одинаковых условиях испытания.

Бризантное действие ВВ можно оценивать и другими методами, например, *испытанием на дробление оболочки заряда из толстостенной стальной трубы или горной породы*: чем бризантнее ВВ, тем мельче в результате взрыва заряда осколки его оболочки, изготовленной из однородного материала.

Хорошие результаты оценки бризантного действия можно получить *измерением импульса ударной волны на специальном баллистическом маятнике*. В этом случае диаметр и массу заряда можно увеличить в несколько раз, чтобы обеспечить условия полной детонации с максимальной скоростью зарядов любых ВВ, в том числе и малочувствительных. Необходимым условием проведения испытания должно быть плотное прижатие

торца цилиндрического заряда к носку маятника со стальным диском, предохраняющим носок от нежелательной деформации. Чтобы боковой разлет продуктов детонации не сказывался на отклонении маятника, между зарядом и телом маятника предусмотрен броневой щит.

Импульс взрыва ВВ возрастает с увеличением диаметра и плотности заряда и помещением его в прочную оболочку.

Гигроскопичность – это способность ВВ поглощать влагу из воздуха или при искусственном впрыскивании в него воды. В основном определяется гигроскопичными свойствами аммиачной селитры. Пониженная гигроскопичность гранулированной аммиачной селитры марки ЖВ имеет особенно важное значение при бестарном ее хранении на складах и в пунктах приготовления игданитов, а также при бункерном и бестарном хранении гранулированных ВВ, так как увлажняемость, как правило, связана со слеживаемостью ВВ.

Водоустойчивость – способность ВВ противостоять проникновению воды в массу заряда, растворению компонентов и устойчиво детонировать в окружении воды. Следует отдельно рассматривать это свойство для порошкообразных, гранулированных и водосодержащих ВВ.

Для *порошкообразных ВВ* водоустойчивость оценивают по величине давления столба воды, необходимого для ее проникновения внутрь заряда в течение определенного времени.

Испытаниями на водоустойчивость предусмотрена выдержка патронов ВВ на глубине 1,0 м в течение определенного времени. Все порошкообразные ВВ имеют слабую водоустойчивость, особенно при повышенном гидростатическом давлении (в обводненной скважине при высоте столба воды 6–10 м, в шахтах, где из шпуров вытекает вода под давлением).

Для *гранулированных ВВ* это способность гранул не растворяться в воде и детонировать в водосодержащем состоянии. Повышения водоустойчивости гранулированной аммиачной селитры достигают покрытием гранул водоустойчивыми составами (например, вязкими горючими добавками типа мазута, тротилом, пленкой полиэтилена). Однако при малейшем нарушении покрытия при транспортировке и зарядке происходит вымывание селитры и снижение детонационной способности заряда.

Для *водосодержащих ВВ* водоустойчивость определяют способностью к растворению или размыванию сплошной структуры заряда, образованию в нем водных промежутков. Большинство водосодержащих ВВ достаточно водоустойчиво при нахождении заряда в непроточной воде. Однако при зарядании обводненных скважин сквозь слой воды водоустойчивость этих ВВ резко снижается, уменьшается она также при их нахождении в скважинах с проточной водой.

Метод испытания на передачу детонации основан на возбуждении детонации двух патронов ВВ взрывом третьего патрона. Для проведения испытаний три патрона ВВ укладывают на одинаковом расстоянии друг от друга, на ровной поверхности грунта (песка) так, чтобы ось каждого следующего патрона являлась продолжением оси предыдущего. В один из крайних патронов (боевик) вставляют капсулю-детонатор с огнепроводным шнуром или ЭД, причем последний должен быть помещен в патрон на всю длину с внешней стороны.

О передаче детонации судят по наличию углублений в грунте после взрыва патрона-боевика и по отсутствию остатков невзорвавшегося ВВ. Если на месте расположения патронов в грунте образовались три углубления и длина каждого из них не менее длины патрона, то детонация передается, и патроны полностью взрываются.

ВВ считается выдержавшим испытание, если при двух опытах детонация от взрыва патрона-боевика передается к остальным патронам, а также если все три патрона полностью взрываются. При наличии хотя бы одного отказавшего патрона при расстоянии между патронами, соответствующем требованиям ГОСТа или ТУ, выполняют повторное испытание с удвоенным числом опытов. Если при повторном испытании не происходит полной передачи детонации хотя бы в одном из четырех опытов, то ВВ бракуется и не допускается для ведения взрывных работ. Испытание на передачу детонации водостойчивых ВВ проводят после выдержки патронов в воде, на глубине 1 м от нижнего торца в вертикальном положении в течение 1 ч.

Метод испытания на полноту детонации является простейшим методом проверки детонационной способности патронированных и непатронированных ВВ. На открытом воздухе испытывают одиночные патроны или группы патронов в бумажной оболочке, уложенных на грунте соосно один к другому торцами впритык. Число патронов в одном испытании может соответствовать их числу в шпуровом или скважинном заряде. В один из крайних патронов с торца вставляют детонатор необходимой мощности. О полноте детонации судят по наличию следа (вмятины, канавки) на месте укладки патронов и отсутствию их остатков.

Гранулиты и граммониты на полноту детонации испытывают по ГОСТ 14839.19–69.

6.2. Методы испытания средств инициирования

Испытания капсулей-детонаторов включают проверку правильности упаковывания, проверку внешнего вида, проверку размеров и испытания на устойчивость к тряске.

Проверку правильности упаковывания капсюлей-детонаторов, их количества в упаковках, наличия этикеток, а также правильности нанесения маркировки тары осуществляют визуальным осмотром.

Проверку внешнего вида капсюлей-детонаторов проводят визуальным осмотром и сравнением с контрольными образцами.

Проверку размеров капсюлей-детонаторов выполняют с помощью калибров или универсальных измерительных инструментов, обеспечивающих требуемую конструкторской документацией точность.

Испытание на устойчивость к тряске проводят на приборе, изготовленном по нормативно-технической документации, при 60 ударах (падениях) доски прибора в минуту с высоты 150 мм.

Испытания огнепроводного шнура включают наружный осмотр, испытания на скорость, полноту и равномерность горения, водоустойчивость, тепло- и морозостойкость.

От каждой поступившей партии вскрывают не менее одного ящика, в котором все бухты ОШ подвергают *наружному осмотру*. При этом устанавливают такие дефекты, как переломы, трещины в оболочке, разломачивание концов, следы подмочки и пр. В случае обнаружения указанных дефектов всю партию бракуют. Все бухты шнура, имеющие дефекты, бракуются и подлежат уничтожению.

Для *испытания на скорость и полноту горения* отбирают 2 % общего количества кругов и отрезают от каждого круга по 60 см. Эти отрезки поджигают, проверяя по секундомеру длительность горения. Она должна быть для нормально горящего шнура в пределах 60–69 с. Остальную часть каждого круга поджигают, проверяя на полноту и равномерность горения. Не должно быть затухания, проскоков пламени сквозь оболочку и ее воспламенения.

При *испытаниях на водоустойчивость* шнур марки ОША испытывается после выдерживания в воде в течение 1 ч, а марок ОШДА и ОШП – в течение 4 ч. Выдерживание производится на глубине 1 м, причем концы бухт заделываются водоустойчивой мастикой. Шнур, давший хотя бы одно затухание после замачивания, может допускаться только для работ в сухих забоях.

Испытания на теплостойкость проводят выдерживанием в течение 2 ч в термостате бухт шнура марок ОША и ОШДА при температуре (45 ± 1) °С, а шнура марки ОШП – при температуре (50 ± 1) °С. После извлечения из термостата бухты ОШ выдерживают от 20 до 25 мин при (20 ± 5) °С, после чего витки шнура в бухте отделяют один от другого. Не допускается слипание витков шнура в бухте и нарушение оболочки шнура.

Испытания на морозостойкость проводят выдерживанием в течение часа в термостате бухт шнура марок ОША и ОШДА при температуре

(-25 ± 2) °С, а шнура марки ОШП – при температуре (-35 ± 2) °С. ОШ каждой бухты перегибают в трех местах полным оборотом вокруг деревянного стержня диаметром (75 ± 2) мм для шнура марок ОША и ОШДА и диаметром (25 ± 2) мм для ОШП. На шнуре не должно быть видимых трещин и внутренних переломов.

Шнур, давший при испытании хотя бы одно затухание, не выдержавший испытания на водостойкость или показавший время горения для нормально горящего шнура менее 60 с или более 70 с на 60 см, бракуется.

Испытания электродетонаторов включают наружный осмотр, определение сопротивления и испытания на групповой подрыв.

От поступившей на базисный склад партии ЭД, состоящей из двух ящиков и не менее чем из 20 коробок, отбирают 200 ЭД, которые подвергают *наружному осмотру*.

Если ЭД снаряжены в металлические гильзы, то на гильзах не должно быть окисления, загрязнений, трещин или помятостей. У ЭД, снаряженных в бумажные гильзы, не должно быть отслаивания бумаги в местах склеивания, а также разломачивания бумажных гильз и сколов тетрила у дна гильзы ЭД. Не допускается слабая обжимка детонатора, нарушение изоляции проводов, загрязнение и окисление защитных концов проводов.

В случае обнаружения дефектов при осмотре отобранных ЭД составляют рекламационный акт, который направляют заводу-изготовителю, вышестоящей хозяйственной организации и ведомственному институту по безопасности работ для принятия соответствующих мер. При этом всю партию бракуют. Забракованные ЭД следует уничтожать в установленном порядке.

При *определении сопротивления ЭД* на расходных складах электродетонатор помещают в специальное предохранительное (защитное) устройство для того, чтобы в случае взрыва ЭД осколки не могли травмировать проверяющего. Сопротивление ЭД должно соответствовать сопротивлению, указанному на этикетках коробок. При отклонении сопротивлений от указанных на этикетках ЭД бракуют, не допускают к применению и составляют рекламационный акт, экземпляры которого высылают заводу-изготовителю, вышестоящей хозяйственной организации, ведомственному институту по безопасности работ, а также ведомству-изготовителю ВМ.

Для *испытания на групповой подрыв* от каждой партии берется 60 ЭД, которые располагают на грунте на расстоянии 0,3–0,5 м один от другого и соединяют последовательно в три группы по 20 шт. в каждой.

Затем металлическим шилом против каждого ЭД в грунте делают углубления, в которые помещают ЭД на всю длину гильзы. В зимнее время ЭД на время можно помещать в специальные металлические стаканы (отрезки металлических труб диаметром не менее 10 см).

Сопротивление каждой группы ЭД с безопасного места определяется при помощи омметра Р-353. На расстоянии не менее 50 м производится взрывание каждой группы ЭД током не более 2 А.

При включении источника тока вся группа ЭД должна взорваться. О полноте их взрыва судят по воронкам в грунте, где они были вставлены и взорваны, или по отсутствию остатков в металлических стаканах.

Испытания детонирующего шнура проводят на безотказность взрывания, водонепроницаемость, термостойкость, маслостойкость.

Для испытания ДШ на безотказность взрывания берут три бухты и от каждой из них отрезают пять отрезков по 1 м, а оставшиеся 95 м служат в качестве магистральных линий. К каждой из трех магистральных линий присоединяют отрезки ДШ, располагаемые в направлении по ходу детонации. При всех соединениях применяется тип сростка, принятый на данных работах, но не отличающийся от схем, указанных в ГОСТе на ДШ. Шнур, давший при взрыве в трех схемах более одного отказа на магистрали или более двух отказов в детонации в подсоединенных пяти отрезках, бракуется.

Испытание на водонепроницаемость проводится для ДШ, которые применяются в сырых или мокрых забоях. Испытания выполняются после замачивания бухт в воде на глубине 1 м. При этом концы бухты заделываются водостойкой мастикой. Если шнур предназначен для сырых работ, замачивание ведется в течение 1 ч, для работ в воде – в течение 4 ч. Если образцы шнура не выдерживают испытания на водостойкость, они могут быть испытаны без замачивания, но тогда данная партия шнура может быть допущена только к применению в сухих забоях.

Испытание при высоких температурах проводится для ДШ, применяемых при температурах до 60 °С. ДШ испытывают после предварительного нагревания образцов в термостате или в естественных условиях при температуре, при которой он будет использоваться, но не выше 60 °С. Нагревание выполняется в течение 4 ч. Шнур, не выдержавший испытания на высокую температуру, следует защищать от влияния такой температуры при его использовании. При невозможности выполнения этого требования, его нельзя применять в данных условиях.

Испытание при низких температурах проводится для шнуров, предназначенных для взрывных работ при температуре ниже –15 °С. ДШ должен быть испытан на безотказность взрывания схем, смонтированных после выдержки шнура в течение 2 ч при температуре его применения. Шнур, не детонирующий в этих условиях, не следует использовать при пониженных температурах.

В связи с расширением объемов использования игданитов и простейших ВВ заводского изготовления с жидкими горючими добавками

(соляровым маслом) необходим ДШ, предназначенный для их инициирования, *испытывать на маслостойкость*. Испытания проводятся в цилиндрическом сосуде с соляровым маслом на глубине не менее 1 м. Шнур опускается в сосуд в виде петли со связанными узлами в соответствии с условиями его применения в зарядах. Шнур (три отрезка) выдерживается в сосуде столько, сколько времени он находится в заряде до взрыва в реальных условиях, после чего он извлекается из сосуда, подвергаясь наружному осмотру, выполняется его инициирование. Шнур считается выдержавшим испытание на маслостойкость, если происходит полная детонация всех отрезков.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Значение специальных видов взрывных работ в народном хозяйстве и объем их из года в год растут в связи с расширением области применения взрывных работ в промышленности [1, 2].

Одним из специальных видов взрывных работ является *взрывание скальных перемычек*.

Скальные перемычки используют в гидротехническом строительстве для изоляции котлована от водоема или реки. Они могут быть скальными в виде участков естественного массива и насыпными или грунтовыми с камненабросной пригрузкой.

Для ликвидации перемычек составляют специальный проект и применяют взрывы: *на рыхление* с последующей выемкой грунта экскаваторами; *на выброс* – для создания первоначальной прорези, которая расширяется водным потоком; *на выброс и рыхление* – для образования первоначальной прорези и облегчения сноса оставшейся части перемычки; *на полный выброс*, когда удаляется взрывом вся масса породы.

Для бурения скважин в скальных перемычках применяют легкие шарошечные или пневмоударные станки. В грунтовых перемычках бурение скважин производится с обсадкой металлическими трубами.

На взрывание перемычки составляют проект, в котором обосновывают метод взрывания и выбор бурового оборудования.

При взрывании на рыхление применяют, как правило, вертикальные скважины. Для лучшей проработки подошвы их бурят по сближенной в 1,5 раза сетке скважин. Расчетная глубина рыхления принимается на 0,5–1,0 м ниже дна.

Следующий вид специальных ВР – *обрушение неустойчивых частей массивов*.

Под *неустойчивыми* понимают нависающие части скальных массивов в крутых склонах, подсеченные тектоническими трещинами, трещинами напластования, или крупные глыбы, способные к обрушению.

Принудительное обрушение неустойчивых частей массивов проводится путем подрезки его сверху контурными скважинами или подбоя понизу. Если массив имеет большие размеры и состоит из крупных блоков, выполняется также дробление его обрушаемой части зарядами в скважинах,

пробуренных сверху или (при большой мощности массива) из буровых подземных выработок.

На взрывное обрушение неустойчивых частей массива составляется специальный проект.

При выполнении буровых работ в верхней части массива создается полка для установки буровой рамы (при использовании станков БМК-4) или горизонтальной трубы, укрепленной на забетонированных в почву стойках (при использовании станков НКР-100м). В основании массива, с двух сторон которого бурят скважины подбоя, прокладывают тропы или полувыемки.

Если массив представляет собой небольшой по высоте разбитый трещинами блок, обычно достаточно одного ряда контурных скважин с усиленным зарядом в нижней части. При взрывании мощных и крупно-блочных массивов кроме контурных скважин с верхней площадки в массиве бурят скважины рыхления.

Взрывное образование камуфлетных полостей применяется при сооружении подземных емкостей для хранения жидкостей и газов, ям под столбы и опоры.

Сущность работы по образованию камуфлетных полостей заключается в том, что в скважине или шпуре на требуемой глубине размещают и взрывают заряд ВВ. При этом в массиве образуется камуфлетная полость. Образование полостей целесообразно только в пластичных породах (глинах, суглинках), имеющих показатель прорываемости свыше $100 \text{ дм}^3/\text{кг}$.

Для выполнения работ необходимо опытным взрывом уточнить показатель прорываемости пород, в которых предполагается выполнить взрывы. Если выше пласта, в котором намечено образовать полости, расположены сыпучие или неустойчивые породы, бурение скважин следует вести с полной обсадкой металлическими трубами, чтобы исключить возможность прорыва неустойчивых грунтов в созданную взрывом полость.

С целью **посадки насыпей на твердое дно торфяных болот** при пересечении их строящимися шоссейными и железными дорогами взрывом необходимо:

- разрушить или удалить плотный верхний слой (кору) болота до отсыпки насыпи для обеспечения свободного ее погружения. Это выполняется взрыванием зарядов, выбросом расположенных в этом слое болот;
- удалить торф, расположенный между насыпью и твердым дном. Взрывы этих зарядов разжижают и выбрасывают торф из-под насыпи, а также поднимают насыпь, обеспечивая при обратном ее падении динамический удар, необходимый для выжимания из-под нее остатков разжиженного торфа.

При глубине болот до 2,5–3,0 м при снятии коры выбрасывается практически весь торф и дополнительного взрывания под насыпью не требуется.

Если болото имеет глубину более 3 м и сложено слаборазложившимся торфом, то при отсыпке в траншею насыпь зависает, не достигнув дна болота, и для окончательной ее посадки необходимо производить взрывание под насыпью.

В случае продольной отсыпки насыпей (с железнодорожного транспорта) вначале создают взрывом осевую траншею. Вдоль траншеи на сваях настилают путь и с него в осевую траншею отсыпают насыпь. После этого путь переносят на созданную насыпь и взрывают боковые траншеи, в которые также производят отсыпку насыпи. Если три траншеи не обеспечивают полную ширину насыпи, взрывают дополнительные боковые траншеи.

Взрывные работы в лесном хозяйстве используются при корчевке пней для очистки площадей, тушении лесных пожаров. Как правило, тушение лесных пожаров ведется в аварийном порядке в соответствии со специальной инструкцией, поэтому на эти работы проекты не составляют.

На корчевку пней составляют паспорт буровзрывных работ. Величина заряда и глубина бурения зависят от породы дерева, давности рубки и толщины пня. Расположение заряда: при стелющейся системе корней (ель, ольха и др.) – под центром пня, при редькообразном корне (сосна, береза, дуб и др.) – у центрального корня.

Для очистки площадей глубину скважины принимают равной полутора диаметрам пня, двум диаметрам – при заготовке древесины пней. При корчевке пней в каменистом грунте глубина скважины может быть уменьшена на 15–20 %, в песке ее увеличивают на 15–20 %. Если диаметр пня превышает 1 м, делают две скважины.

Взрывные работы в сельском хозяйстве ведутся для взрывного плантажа почвы на косогорах с целью посадки виноградников и других культур, выращиваемых на горных склонах, для дробления валунов при расчистке полей.

Взрывной плантаж почвы предусматривает рыхление и перемешивание слоев без разброса грунта. На взрывной плантаж почвы в удаленных от населенных пунктов местах составляют паспорт буровзрывных работ, при работе вблизи населенных пунктов – проект.

Перед выполнением взрывных работ определяют мощность слоя грунта, подлежащего рыхлению, основные физико-технические свойства грунта, угол наклона, на котором предстоит работать, наличие в опасной зоне зданий, дорог, ЛЭП и т. д. Шпуры располагаются рядами вдоль склона. Расстояние между рядами шпуров и между шпурами принимают равным $1,5 H$. Глубину шпуров считают равной заданной глубине рыхления H (обычно 0,8–1,0 м), диаметр шпуров – 44–50 мм.

Взрывание может быть замедленное или короткозамедленное по-рядное.

Для расчистки полей валуны дробят на приемлемые для погрузки куски. Если валуны заглублены в почву, их необходимо выбросить на поверхность взрывом заряда в подкопке.

Применяют шпуровой метод с бурением шпуров легкими бурильными молотками, работающими от передвижных компрессоров, и (если валунов мало или расположены они редко) метод накладных зарядов.

Подводное взрывание – одна из многочисленных областей применения энергии взрыва, позволяющая дробить и перемещать горные породы под водой. Необходимость этой операции связана с разработкой месторождений твердых полезных ископаемых на дне морей и океанов, со строительством и углублением портов и каналов, проходкой подводных траншей для трубопроводов и с другими видами работ. Подводный взрыв может служить как для дробления горных пород с последующей экскавацией, так и для перемещения их (взрывы на выброс). Часто, несмотря на высокий расход ВВ и повышенный объем бурения, взрывы на выброс более экономичны, так как исключают дорогостоящие в подводных условиях выемочные и транспортные работы. К примеру, при расчистке русла р. Ангары в 1965–1967 гг. взрывами на выброс было удалено 5 000 м³ диабазовых пород X–XI групп по СНиП. Взрывание выполнено на глубине 0,5–1,5 м при скорости течения до 5 м/с. Удельный расход ВВ (алюмотола) – до 14,1 кг/м³, что превышает максимальный удельный расход ВВ при обычном подводном взрывании. Но несмотря на увеличение расхода бурения и ВМ при сближенной сетке скважин, стоимость работ по новой технологии ниже, чем при механизированной уборке породы. Влияние воды на размеры и форму образующихся при взрыве полостей огромно.

Взрывные работы применяются *при добыче штучного камня*, предназначенного для изготовления тесаных и полированных изделий, не допускающих наличия в них волосяных трещин.

Для обеспечения наибольшего выхода блоков из горной массы нужно соблюдать следующие основные правила:

- взрывание шпуровых зарядов проводить при трех открытых поверхностях;
- шпуры располагать вдоль вертикальных трещин или параллельно направлению наилучшего раскола породы.

Расстояние между шпурами в ряду подбирается опытным путем, начиная с 0,2–0,3 м. Диаметр шпура следует принимать не более 35 мм. Недопустимы недобур и перебур по отношению к горизонтальной трещине, являющейся подошвой монолита.

Обработка и разрушение металла взрывом еще один вид специальных взрывных работ.

Импульсные нагрузки, возникающие при взрыве, позволяют реализовать при обработке металлов физические процессы, не используемые в традиционных методах сварки, штамповки, упрочнения, плакирования, дробления и др.

Сварку и штамповку металла взрывом осуществляют при непосредственном контакте ВВ и металла или при передаче энергии взрыва через промежуточную среду (вода, масло, воздух).

Взрывом сваривают однородные и разнородные металлы, которые не соединяются обычными способами (сталь с медью, алюминий со сталью и другие сочетания). С помощью взрыва можно получать как биметаллические, так и многослойные соединения различных металлов. Соударение металлов при сварке взрывом происходит при значительных скоростях и сопровождается волновыми процессами на поверхности контакта. Сварку массивных деталей осуществляют контактным методом, а листы металла и фольгу соединяют, как правило, дистанционным методом с использованием промежуточной среды. Для сварки металлические пластинки устанавливают на некотором расстоянии параллельно или под углом $5-15^\circ$ друг к другу. Нижнюю пластинку располагают на массивном основании, а на верхнюю помещают заряд ВВ. Сварку применяют для многослойных и композиционных материалов. Характерной особенностью сварки взрывом является соединение деталей по всей поверхности соприкосновения.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Практическая работа 1

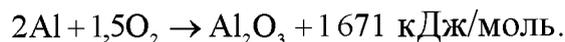
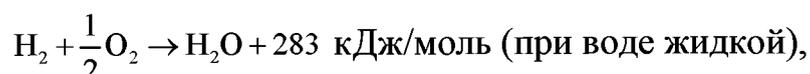
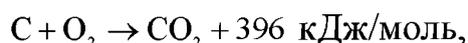
РАСЧЕТ КИСЛОРОДНОГО БАЛАНСА И СОСТАВЛЕНИЕ РЕЦЕПТУРЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Цель работы: получение практических навыков по расчету кислородного баланса взрывчатых веществ и изучение основных принципов составления рецептуры промышленных ВВ.

Краткие теоретические сведения

Кислородный баланс – это отношение избытка или недостатка кислорода в составе ВВ, необходимого для полного окисления всех горючих элементов (водорода, углерода, металлов и т. п.), к массе данного ВВ. Кислородный баланс измеряется в долях единиц или процентах.

Под *полным окислением* в процессе взрывчатого превращения ВВ понимается окисление водорода до получения воды, а углерода – до получения углекислого газа. При этом выделяются молекулярный азот и кислород. Если в составе ВВ находится металл, то образуется его высший окисел. Запишем реакции полного окисления:



Следовательно, если ВВ имеет состав $\text{C}_a\text{H}_b\text{N}_c\text{O}_d$, то кислородный баланс рассчитываем по формуле (2):

- при $d > 2 \cdot a + 0,5 b$ он положительный;
- при $d = 2 \cdot a + 0,5 b$ – нулевой;
- при $d < 2 \cdot a + 0,5 b$ – отрицательный.

Здесь a, b, c, d – числа атомов углерода, водорода, азота и кислорода соответственно.

ВВ с нулевым кислородным балансом выделяют максимальное количество энергии и минимальное количество ядовитых газов.

ВВ с отрицательным кислородным балансом образуют при взрыве ядовитую окись углерода (угарный газ) или выделяют чистый углерод в виде сажи.

При *положительном кислородном балансе ВВ* выделение энергии уменьшается, так как образуется ядовитая окись азота, поглощающая тепло по реакции



В случае, когда ВВ – смесь нескольких химических веществ, кислородный баланс определяется по формуле

$$\bar{K}_6 = q_1K_{61} + q_2K_{62} + \dots + q_nK_{6n} = \sum_{i=1}^n q_iK_{6i}, \quad (53)$$

где K_6 – кислородный баланс ВВ, представленного смесью нескольких химических веществ, %; $i = \{1, \dots, n\}$ – индексы химических веществ, входящих в состав ВВ; q_i – весовая доля i -го химического вещества в составе ВВ, доли ед.; K_{6i} – кислородный баланс i -го химического вещества, %.

Рассмотрим примеры расчетов кислородного баланса для однокомпонентного ВВ и для ВВ, представленного смесью химических веществ.

Примечание. Обычно состав промышленных ВВ подбирается с нулевым кислородным балансом. При изготовлении патронированных ВВ принимается небольшой положительный кислородный баланс для окисления материала оболочки патронов. ВВ, предназначенные для подземных работ, не должны образовывать ядовитых газов более 40 л в пересчете на условную окись углерода при взрыве 1 кг. Если образуются окислы азота и сернистый газ, то для перевода их в условную окись углерода принимаются поправочные коэффициенты 6,5 и 2,5 соответственно.

Пример 1. Определить кислородный баланс тротила $C_7H_5(NO_2)_3$, относительная молекулярная масса которого равна 227.

Решение. Для полного окисления необходимо $2a + b/2$, или $2 \cdot 7 + 5/2 = 16,5$ атомов кислорода.

В наличии имеется 6 атомов кислорода, следовательно, расчет ведем по формуле (2):

$$K_6 = \frac{(6 - 16,5) \cdot 16}{227} \cdot 100 = -74 \text{ \%}.$$

Пример 2. Определить кислородный баланс граммонита 30/70, если известно, что он состоит из 30 % аммиачной селитры NH_4NO_3 и 70 % тротила $C_7H_5N_3O_6$.

Р е ш е н и е. Кислородный баланс аммиачной селитры, определенный вышеуказанным способом, равен +20 %, кислородный баланс тротила равен –74 % (см. пример 1). Рассчитаем кислородный баланс граммонита 30/70:

$$0,3 \cdot 20 + 0,7 \cdot (-74) = -45,8, \%$$

Требования к кислородному балансу ВВ для открытых горных работ в обводненных условиях не столь жестки.

Порядок определения рецептуры смесевых ВВ и их химической формулы приведен в примерах 3–5.

П р и м е р 3. Составить рецептуру игданита с нулевым кислородным балансом на основе аммиачной селитры и дизельного топлива с кислородным балансом –320 %.

Р е ш е н и е. Определим количество весовых частей аммиачной селитры для окисления одной части дизельного топлива:

$$n = \frac{[K_6 ДТ]}{[K_6 АС]} = \frac{320}{20} = 16.$$

Рассчитаем содержание дизельного топлива во взрывчатом веществе:

$$x = \frac{100}{1+n} = \frac{100}{1+16} = 5,9 \%$$

Соответственно, содержание аммиачной селитры

$$100 - x = 100 - 5,9 = 94,1 \%$$

Следовательно, формула игданита будет иметь вид

$$94,1 \% АС + 5,9 \% ДТ.$$

П р и м е р 4. Определить рецептуру и химическую формулу ВВ с нулевым кислородным балансом на основе аммиачной селитры и тротила $C_7H_5(NO_2)_3$.

Р е ш е н и е. Кислородный баланс тротила составляет –74 % при относительной молекулярной массе 227. Кислородный баланс аммиачной селитры равен +20 %, а ее относительная молекулярная масса – 80. Состав смеси должен отвечать следующему условию:

$$x \cdot (-74 \%) + (100 - x) \cdot (+20 \%) = 0,$$

где x – содержание в смеси тротила, %; $(100 - x)$ – содержание в смеси аммиачной селитры, %.

Значит, $x \approx 21 \%$; $(100 - x) = 79 \%$.

Такому составу смеси отвечают граммонит 79/21 и аммонит 6ЖВ. Обозначим число молей аммиачной селитры через y , число молей тротила – через z . Тогда из соотношения

$$\frac{y \cdot 80}{z \cdot 227} = \frac{79}{21}$$

выразим

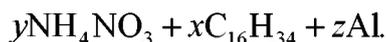
$$y = \frac{79 \cdot z \cdot 227}{21 \cdot 80} = 10,7z.$$

Приняв $z = 1$, найдем, что $y = 10,7$. Следовательно, молекулярное уравнение граммонита имеет вид



Пример 5. Определить молекулярную формулу гранулита АС-8, имеющего следующий состав: 89 % аммиачной селитры NH_4NO_3 ; 3 % солярового масла $C_{16}H_{34}$ (относительная молекулярная масса 226); 8 % алюминиевой пудры А1 (относительная молекулярная масса – 27).

Решение. Обозначив число молей солярового масла через x , аммиачной селитры – через y , алюминиевой пудры – через z , напишем химическую формулу



В соответствии с весовым составом вычислим искомые величины по соотношениям:

$$\frac{y \cdot 80}{x \cdot 226} = \frac{89}{3}; \quad \frac{z \cdot 27}{x \cdot 226} = \frac{8}{3}.$$

Таким образом, $y = 83,9x$; $z = 22,4x$. Примем $x = 1$, тогда молекулярное уравнение гранулита АС-8 имеет вид $83,9NH_4NO_3 + C_{16}H_{34} + 22,4Al$.

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. Определить кислородный баланс акватола 65/35 (65 % аммиачной селитры и 35 % тротила).

Задача 2. Определить кислородный баланс динитронафталина $C_{10}H_6(NO_2)_2$, имеющего относительную молекулярную массу 218.

Задача 3. Определить кислородный баланс тэна $C(CH_2O \cdot NO_2)_4$, относительная молекулярная масса которого равна 316.

Задача 4. Определить кислородный баланс ифзанита, состоящего из 40 % аммиачной селитры, 16 % алюминиевой пудры и 44 % тротила.

Задача 5. Определить кислородный баланс алюмотола, представляющего собой сплав гранулированного тротила с 15 % алюминиевой пудры.

Задача 6. Определить кислородный баланс предохранительного аммонита ПЖВ-20, содержащего 64 % аммиачной селитры, 16 % тротила и 20 % хлористого натрия.

Задача 7. Определить кислородный баланс предохранительного ВВ, состоящего из 56 % аммиачной селитры, 9 % тротила, 3 % древесной муки и 32 % хлористого натрия.

Задача 8. Определить кислородный баланс угленита, представляющего смесь следующего состава: 14,2 % нитрогликоля $C_2H_4N_2O_6$; 2,5 % древесной муки $C_{15}H_{22}O_{10}$; 7 % хлористого калия KCl ; 46,3 % натриевой селитры $NaNO_3$; 29 % хлористого аммония NH_4Cl ; 1 % стеарата кальция $C_{36}H_{70}O_4Ca$.

Задача 9. Определить кислородный баланс предохранительного аммонита АП-5ЖВ, имеющего в составе 70 % аммиачной селитры, 18 % тротила и 12 % хлористого натрия.

Задача 10. Определить кислородный баланс аммонита скального № 1, имеющего в составе 66 % аммиачной селитры NH_4NO_3 ; 5 % тротила $C_7H_5(NO_2)_3$ (относительная молекулярная масса равна 227); 24 % гексогена $C_3H_6O_6N_6$ (относительная молекулярная масса равна 222); 5 % алюминия Al (относительная молекулярная масса равна 27).

Задача 11. Определить кислородный баланс коллоидного хлопка $C_{22,5}H_{28,8}O_{36}N_{8,7}$ (относительная молекулярная масса составляет 1 000).

Задача 12. Определить кислородный баланс пироксилина $C_{24}H_{29}O_9(ONO_2)_9$ (относительная молекулярная масса равна 1 243).

Задача 13. Составить молекулярное уравнение граммонита 50/50 (50 % аммиачной селитры и 50 % тротила).

Задача 14. Определить химическую формулу предохранительного аммонита ПЖВ-20, имеющего в составе 64 % аммиачной селитры, 16 % тротила и 20 % поваренной соли.

Задача 15. Составить молекулярную формулу граммонита 30/70 (30 % аммиачной селитры и 70 % тротила).

Задача 16. Определить процентное соотношение компонентов динамона с нулевым кислородным балансом на основе аммиачной селитры и древесной муки.

Задача 17. Определить молекулярную формулу ифзанита (состав приведен в задаче 4).

Задача 18. Определить химическую формулу алюмотола (состав приведен в задаче 5).

Задача 19. Определить химическую формулу предохранительного аммонита АП-5ЖВ (состав приведен в задаче 9).

Задача 20. Определить химическую формулу гранулита АС-4, имеющего в составе 92,8 % аммиачной селитры, 4 % алюминиевой пудры и 4,2 % солярового масла.

Задача 21. Составить молекулярную формулу угленита Э-6 (состав приведен в задаче 8).

Задача 22. Определить химическую формулу аммонита скального № 1 (состав приведен в задаче 10).

Задача 23. Определить процентное содержание алюминия и аммиачной селитры для получения ВВ с нулевым кислородным балансом.

Задача 24. Определить химическую формулу гранулита С-2, имеющего в составе 92,8 % аммиачной селитры, 4 % алюминиевой пудры и 3 % солярового масла.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение понятия «кислородный баланс».
2. В чем заключается причина образования ядовитых газов при взрыве?
3. Какой кислородный баланс считается положительным, отрицательным, нулевым?
4. Какие токсичные вещества выделяются при положительном и отрицательном кислородном балансе?
5. Как влияет полнота взрывчатого превращения на образование ядовитых газов? Назовите неблагоприятные условия взрывания.
6. При каком кислородном балансе в продуктах взрыва находится кислород?
7. Как рассчитать объем продуктов взрыва?
8. Назовите свойства ядовитых газов, содержащихся в продуктах взрыва.
9. В каком случае в продуктах взрыва образуется сернистый ангидрид SO_2 , сероводород H_2S , пары ртути и свинцовые соединения?
10. Охарактеризуйте оксид углерода CO как химическое соединение. При какой концентрации CO в атмосфере наступает отравление в организме человека?
11. Перечислите азотосодержащие ядовитые вещества, образующиеся при взрыве. Дайте характеристику токсичности этих газов.
12. Назовите профилактические и радикальные меры борьбы с образовавшимися ядовитыми газами.

Практическая работа 2

ВЫБОР И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ НЕГАБАРИТОВ

Цель работы: получение навыков по выбору способов дробления негабаритов взрывом, определению основных параметров взрывных работ (массы зарядов ВВ, диаметра шпуров, расхода бурения, типа кумулятивного заряда, способа инициирования заряда); формирование представления о кумулятивных зарядах.

Краткие теоретические сведения

На карьерах и шахтах при подготовке горной массы к выемке с помощью буровзрывных работ не удастся избежать негабаритных кусков породы, которые необходимо дробить для осуществления экскавации и транспортирования. До настоящего времени основной способ дробления негабарита – вторичное взрывание.

Разработано много способов и средств разрушения негабаритов: взрывные, механические, термические, электрофизические, гидравлические, гидровзрывные и комбинированные.

Наиболее универсальны и в меньшей степени зависят от свойств горных пород взрывные технологии дробления негабарита накладными шпуровыми и кумулятивными зарядами ВВ (см. пп. 3.2.6, рис. 41).

Метод накладных (наружных) зарядов (см. рис. 41, б) подробно описан в пп. 3.2.6. Общая масса заряда ВВ для разрушения негабарита

$$Q_{\text{общ}} = q_p \cdot V_n, \text{ кг}, \quad (54)$$

где q_p – расчетный (нормативный) удельный расход ВВ, зависящий от крепости пород, типа ВВ и вида зарядов (см. табл. 18), кг/м^3 ; V_n – объем негабаритного куска, м^3 .

При всех достоинствах (ненужность буровых работ, маневренность, простота, доступность) способ наружных зарядов характеризуется низким эффектом и большим удельным расходом ВВ (в 5–10 раз больше, чем при шпуровом способе).

Шпуровой метод (см. рис. 41, б) подробно описан в пп. 3.2.6. Затраты на бурение приведены в табл. 24.

Для бурения шпуров диаметром 32 мм затраты на 10–15 % меньше. Основные расчеты заключаются в определении глубины шпуров, их количества, расстояния между ними и величины заряда.

Затраты на бурение шпуров диаметром 36–42 мм, руб./м

Коэффициент крепости горных пород	Затраты	Коэффициент крепости горных пород	Затраты
3–4	12	11–14	20
5–6	15	15–18	25
7–8	16	19–20	30
9–10	18		

Глубина шпура

$$L_{\text{шп}} = (0,3-0,75) H, \text{ м}, \quad (55)$$

где H – толщина (средний линейный размер) негабарита, м.

Величина заряда ВВ в одном шпуре

$$Q_{\text{шп}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \Delta \cdot L_3, \text{ кг}, \quad (56)$$

где d – диаметр шпура, м; Δ – плотность заряжения ВВ в шпуре, кг/м³; L_3 – длина заряда в шпуре, м.

При коэффициенте заполнения шпура взрывчатым веществом $K = 2/3$ длина заряда ВВ в шпуре составляет

$$L_3 = L_{\text{шп}} \cdot K = 2/3 \cdot L_{\text{шп}}, \text{ м}. \quad (57)$$

Число шпуров на негабаритный кусок большого размера определяется по формуле

$$N = Q_{\text{общ}} / Q_{\text{шп}}. \quad (58)$$

Расстояние между шпурами

$$a = (0,7-1,0) L_{\text{шп}}, \text{ м}. \quad (59)$$

Кумулятивные заряды (см. рис. 41, в) подробно описаны в пп. 3.2.6. Их можно взрывать группами по 2–12 шт., соединяя ниткой ДШ.

Для выбора типа ЗКП и ЗКН можно использовать данные табл. 19 и ориентировочно рассчитывать величину кумулятивного заряда

$$Q_k = 0,73 H^2, \text{ кг}, \quad (60)$$

где H – толщина разрушаемого предмета.

В последние годы получило распространение механическое дробление негабарита пневматическими и гидравлическими молотками (бутобойми). Их часто используют в качестве сменного оборудования самоходных экскаваторов и одноковшовых погрузчиков.

Пример. Определить массы накладных, шпуровых и кумулятивных зарядов ВВ и расход бурения для дробления негабаритного куска по-

роды с коэффициентом крепости $f = 19-20$, толщиной $H = 2$ м, объемом $V = 3 \text{ м}^3$. Для шпуров и наружных зарядов применить ВВ типа аммонит БЖВ.

Решение:

1. Расчет шпуровых зарядов.

Глубина шпура $L_{\text{шп}} = 0,5H = 0,5 \cdot 2 = 1$ м.

Длину заряда в шпуре определяем с учетом коэффициента заполнения $K = 2/3$:

$$L_3 = L_{\text{шп}} \cdot K = 1 \cdot 2/3 = 0,67 \text{ м.}$$

Масса заряда одного шпура диаметром 32 мм при плотности заряжения аммонитом $\Delta = 900 \text{ кг/м}^3$

$$Q_{\text{шп}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \Delta \cdot L_3 = \frac{3,14 \cdot 0,032^2}{4} \cdot 900 \cdot 0,67 = 0,484 \text{ кг.}$$

Необходимая общая масса шпуровых зарядов

$$Q_{\text{общ}} = q_p \cdot V_n = 0,48 \cdot 3 = 1,44 \text{ кг,}$$

где q_p – удельный расход ВВ, равный $0,48 \text{ кг/м}^3$ (см. табл. 18).

Необходимое количество шпуров:

$$N = Q_{\text{общ}}/Q_{\text{шп}} = 1,44/0,484 = 2,975 \text{ ед.}$$

Принимаем три шпура.

Вычисляем расход бурения для дробления негабарита:

$$L = N \cdot L_{\text{шп}} = 3 \cdot 1 = 3 \text{ м.}$$

Скорректированная общая масса шпуровых зарядов

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{шп}} \cdot N = 3 \cdot 0,484 = 1,45 = 1,5 \text{ кг.}$$

2. Расчет накладного заряда.

Вычисляем масса накладного заряда:

$$Q_n = q_p \cdot V = 2,4 \cdot 3 = 7,2 \text{ кг,}$$

где q_p – удельный расход ВВ при наружных зарядах, $2,4 \text{ кг/м}^3$ (см. табл. 18).

Критический диаметр аммонита составляет 15–30 мм, поэтому заряд располагаем с толщиной слоя 3 см, прикрывая заряд забойкой.

3. Выбор кумулятивного заряда.

Рассчитанная величина кумулятивного заряда при $H = 2$ составляет

$$Q_k = 0,73 \cdot H^2 = 0,73 \cdot 2^2 \approx 3 \text{ кг.}$$

Согласно табл. 19 для дробления данного негабарита пригоден кумулятивный заряд ЗКН-4000, так как не превышаются предельные размеры негабарита. Масса ВВ (прессованный тротил) в кумулятивном заряде составляет 4 кг.

4. Ориентировочное сравнение способов дробления негабаритов.

Ориентировочно принимаем: стоимость аммонита 6ЖВ 45 руб./кг, заряды ЗКН, ЗКП – по табл. 19, стоимость бурения шпуров рассчитываем, используя данные табл. 24. Сравним затраты, необходимые для проведения взрывных работ с использованием различных способов дробления негабаритов (табл. 25).

Таблица 25

Затраты на производство взрывных работ при различных типах зарядов

Типы зарядов	Расход ВВ на кусок, кг	Стоимость, руб.		Общие затраты, руб.
		ВВ	бурения	
Накладной	7,2 (аммонит)	324	–	324
Шпуровой	1,5 (аммонит)	67,5	900	967,5
Кумулятивный	ЗКП, ЗКН (тротил)	300	–	300

Таким образом, если принять примерно одинаковыми затраты на средства инициирования и операции по собственно взрывным работам (монтаж взрывной сети, вывод людей, остановку работы карьера и т. д.), то наиболее рациональным является применение кумулятивных зарядов. Однако, если данный негабарит имел бы невысокую крепость, например $f = 6$, то более выгодными могут оказаться простые накладные заряды. Трудоемкость бурения крепчайших пород ($f = 19–20$) и высокие затраты делают шпуровой метод в данном случае невыгодным.

Для окончательного решения необходимо провести экономический расчет с учетом объемов вторичного дробления на предприятии, производительности, стоимости средств инициирования, затрат времени на заряджание и монтаж взрывной сети, потерь от простоев горного оборудования на период взрывных работ и т. д.

Порядок выполнения работы

После ознакомления с краткими теоретическими сведениями в соответствии со своим вариантом (табл. 26) выполнить расчеты массы зарядов ВВ для дробления негабаритов и расхода бурения (для шпурового метода).

Таблица 26

Исходные данные к практической работе 2

Номер варианта	Толщина (высота) негабарита, м	Объем негабарита, м ³	Коэффициент крепости f
1	0,5	0,8	11–14
2	0,6	0,8	11–14

Номер варианта	Толщина (высота) негабарита, м	Объем негабарита, м ³	Коэффициент крепости f
3	0,7	0,8	15–18
4	0,8	0,8	15–18
5	0,9	1,4	15–18
6	1	1,6	15–18
7	1,1	1,4	9–10
8	1,2	2	19–20
9	1,4	2,5	15–18
10	1,5	3	11–14
11	1,6	3	9–10
12	2	5	7–8
13	2,2	4,4	9–10
14	2,5	6	9–10
15	2,8	6,8	7–8
16	1,5	3	15–18
17	1,6	3,1	19–20
18	0,75	0,9	15–18
19	2	3	14–16
20	2	6	9–10
21	0,5	1,0	19–20
22	0,8	1,2	19–20
23	1	1,6	19–20
24	1,2	2	19–20
25	2	6	19–20
26	2	3	11–14
27	2,5	6	11–14
28	1,2	2	11–14
29	0,75	1	7–8
30	2	6	7–8

Примечание. Для всех вариантов общими условиями являются: аммонит 6ЖВ; $\Delta = 900 \text{ кг/дм}^3$; глубина шпуров не более $\frac{2}{3}$ толщины куска; коэффициент заполнения шпура $K = \frac{2}{3}$; диаметр шпуров 30–36 мм.

Сделать выводы по расчету. Привести схемы разрушения зарядов.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите способы разрушения негабаритов.
2. Охарактеризуйте взрывные способы разрушения негабаритов.
3. Почему взрывные способы разрушения негабаритов получили наибольшее распространение?

4. В чем заключается сущность накладного способа разрушения негабаритов?
5. Перечислите преимущества и недостатки накладного способа разрушения негабаритов.
6. Каким образом рассчитывается масса заряда ВВ для разрушения негабарита при накладном способе?
7. В чем заключается сущность шпурового способа разрушения негабаритов?
8. Назовите преимущества и недостатки шпурового способа разрушения негабаритов.
9. Каким образом рассчитывается масса заряда ВВ для разрушения негабарита при шпуровом способе?
10. В чем сущность способа разрушения негабаритов при использовании кумулятивных зарядов?
11. Каким образом подбирают марку кумулятивного заряда?
12. В чем отличие кумулятивных зарядов типа ЗКП и ЗКН?
13. От чего зависит удельный расход ВВ для разрушения негабарита?
14. Опишите устройство ЭД, КД и принцип работы.

Практическая работа 3

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЗАРЯДОВ ПРИ КОНТУРНОМ ВЗРЫВАНИИ

Цель работы: получение навыков расчета параметров контурного взрывания.

Краткие теоретические сведения

Контурное взрывание применяют для получения бортов выемок с ровными и крутыми откосами с целью снижения степени разрушения, увеличения устойчивости законтурной части массива и уменьшения сейсмического воздействия на охраняемые здания и сооружения, а также трудоемкости работ по заоткоске оснований и откосов выемок.

Контурное взрывание применяют для следующих целей:

- предварительного шелеобразования, когда по проектному контуру уступа бурят ряд сближенных скважин меньшего диаметра (100–160 мм), заряжают их гирляндами из патронов аммонита 6ЖВ диаметром 32 мм и взрывают до производства массового взрыва с опережением 50–100 мс (рис. 46);

- завершающего контурного взрыва, когда массив дорабатывается до проектного контура завершающим взрывом контурных скважин. Этот метод применяется при выполнении откосов над дорожными полками, обрушении потенциально неустойчивых массивов;

- осушения обводненного массива. Это достигается, если отрезная щель имеет связь с отработанным участком уступа, т. е. контурные скважины бурят по контуру взрываемого массива. Производят взрыв. Затем массив оставляют на время, за которое вода уходит через образовавшуюся щель. После этого приступают к заряданию и взрыванию массива.

Нормативные (эталонные) контурные скважины имеют диаметр $d_k = 110$ мм, диаметр патронов в контурных скважинах $d_{к.з} = 32$ мм.

1. Соотношение между диаметром контурной скважины и диаметром контурного заряда

$$d_k/d_{к.з} = 3/1, \quad (61)$$

где $d_{к.з}$ – диаметр заряда контурной скважины, м.

2. Для расчетов в примерах и задачах принята линейная плотность контурных зарядов (вместимость):

- в крепких породах $\rho_k = 0,5$ кг/м;
- в породах средней крепости $\rho_k = 0,3$ кг/м.

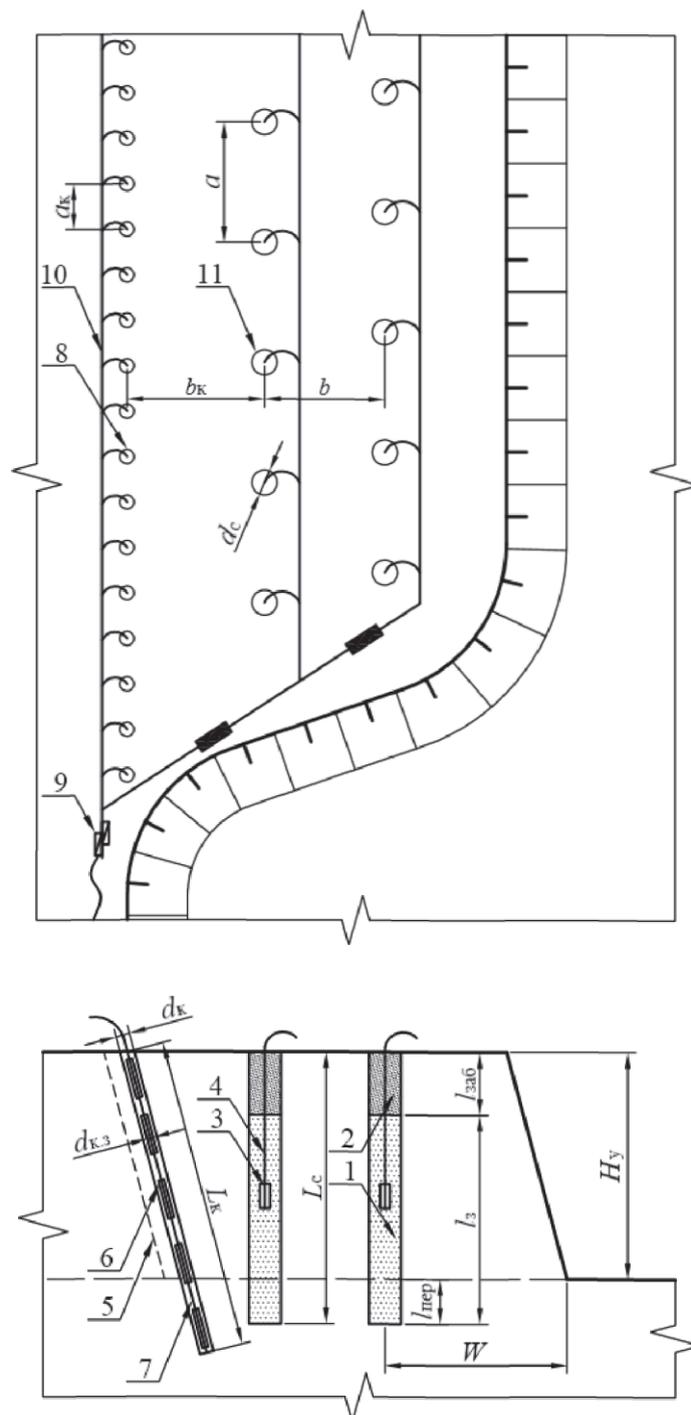


Рис. 46. Схема расположения зарядов при контурном взрывании: 1 – скважинный заряд рыхления; 2 – забойка; 3 – патрон-боевик; 4 – ДШ; 5 – линия отрыва пород; 6 – контурный заряд (заряд-гирлянда из патронов аммонита 6ЖВ); 7 – шпагат для крепления патронов; 8 – контурная скважина; 9 – ЭД; 10 – магистраль ДШ; 11 – скважина рыхления; a_k – расстояние между контурными скважинами; a – расстояния между скважинами рыхления; b_k – расстояние между рядами контурных скважин и скважин рыхления; b – расстояние между рядами скважин рыхления; W – линия сопротивления по подошве, H_y – высота уступа

3. Расстояние между скважинами контурных зарядов:
 - в крепких породах $a_k = 20d_{к.з}$ м;
 - в породах средней крепости $a_k = 25d_{к.з}$ м.
4. Расстояние между рядами контурных скважин и скважинами рыхления (d_c – диаметр скважины рыхления, м):
 - в крепких породах $b_k = 18d_c$, м;
 - в породах средней крепости $b_k = 25d_c$, м.
5. Базовый удельный расход ВВ для контурного взрывания:
 - в крепких породах $q_б = 1\ 100$ кг/1 000 м² поверхности откола;
 - в породах средней крепости $q_б = 800$ кг/1 000 м².
6. Базовый удельный расход детонирующего шнура:
 - при высоте уступа $H_y = 10$ м $q_{ДШ} = 2\ 000$ м/1 000 м² поверхности откола;
 - при $H_y = 15$ м $q_{ДШ} = 1\ 800$ м/1 000 м².
7. Длина забойки в контурной скважине $l_{заб} = a_k$, м.
8. Интервал замедления между взрывом контурных скважин и скважин рыхления в крепких породах составляет 75 мс, в породах средней крепости – 100 мс.
9. Длина контурной скважины

$$L_k = L_c + 12 d_k, \text{ м.} \quad (62)$$

Пример. Коэффициент крепости пород 12, высота уступа 10 м, диаметр скважины рыхления 200 мм, длина перебура скважины рыхления 2 м, площадь поверхности откола 2 600 м².

Определить: длину скважины рыхления, контурной скважины; расстояние между контурными скважинами, между рядами контурных скважин и основных скважин; расход ВВ на одну контурную скважину и на все контурное взрывание по поверхности откола; длину ДШ на контурное взрывание по поверхности откола.

Решение:

1. Длина скважины рыхления

$$L_c = H + l_{пер} = 10 + 2 = 12 \text{ м.}$$

2. Длина контурной скважины

$$L_k = L_c + 12d_k = 12 + 12 \cdot 0,11 = 13,32 \text{ м.}$$

Принимаем $L_k = 13,3$ м.

3. Расстояние между контурными зарядами в крепких породах

$$a_k = 20 d_{к.з} = 20 \cdot 0,032 = 0,64 \text{ м.}$$

4. Расстояние между рядами контурных и основных скважин в крепких породах

$$b_k = 18 d_c = 18 \cdot 0,2 = 3,6 \text{ м.}$$

5. Длина забойки в контурной скважине $l_{\text{заб}} = a_k = 0,64$ м. Принимаем 0,7 м.

6. Длина заряжаемой части контурной скважины

$$L_{\text{з.к}} = L_{\text{к}} - l_{\text{заб.к}} = 13,3 - 0,7 = 12,6 \text{ м.}$$

7. Масса контурного заряда по линейной плотности (вместимости)

$$Q = L_{\text{з.к}} \cdot \rho_{\text{к}} = 12,6 \cdot 0,5 = 6,3 \text{ кг.}$$

8. Расход ВВ на серию контурных зарядов по поверхности откола

$$Q_{\text{к}} = q_{\text{б}} \frac{S_{\text{o}}}{1\,000} = 1\,100 \cdot \frac{2\,600}{1\,000} = 2\,860 \text{ кг.}$$

9. Расход ДШ на контурное взрывание по поверхности откола

$$L_{\text{дш}} = q_{\text{дш}} \frac{S_{\text{o}}}{1\,000} = 2\,000 \cdot \frac{2\,600}{1\,000} = 5\,200 \text{ м.}$$

Порядок выполнения работы

Ознакомиться с краткими теоретическими сведениями. Принять длину перебура 2 м, длину забойки 5 м, угол откоса рабочего уступа 75° , угол наклона скважины рыхления к горизонту 90° , $W = a$. В соответствии со своим вариантом (табл. 27) выполнить расчеты параметров контурного взрывания.

Таблица 27

Исходные данные к практической работе 3

Номер варианта	Коэффициент крепости по шкале проф. Протодяконова	Высота уступа, м	Диаметр скважины рыхления, мм	Площадь поверхности откола, м ²	Сетка скважин $a \times b$
1	9	8	200	2 600	6×6
2	4	10	210	2 880	5×5
3	5	12	250	1 200	5,5×5,5
4	7	15	280	1 850	4×5
5	12	8	300	1 620	4,5×5,0
6	15	10	330	2 200	6,5×7,5
7	18	12	360	2 720	8×8
8	20	15	200	2 540	9×9
9	5	8	210	2 600	6,5×6,5
10	12	10	250	2 880	5,5×6,5
11	10	12	280	1 200	7×7
12	10	15	300	1 850	4×4
13	7	8	330	1 620	6×6

Номер варианта	Коэффициент крепости по шкале проф. Протодяконова	Высота уступа, м	Диаметр скважины рыхления, мм	Площадь поверхности откола, м ²	Сетка скважин $a \times b$
14	11	10	360	2 200	5×5
15	4	12	200	2 720	5,5×5,5
16	20	15	210	2 540	4×5
17	8	8	250	2 600	4,5×5,0
18	5	10	280	2 880	6,5×7,5
19	9	12	300	1 200	8×8
20	11	15	330	1 850	9×9
21	8	8	360	1 620	6,5×6,5
22	18	10	200	2 200	5,5×6,5
23	7	12	210	2 720	7×7
24	20	15	250	2 540	4×4
25	6	8	280	2 600	6×6
26	11	10	300	2 880	5×5
27	4	12	330	1 200	5,5×5,5
28	20	15	360	1 850	4×5
29	8	8	200	1 620	4,5×5,0
30	5	10	210	2 200	6,5×7,5

Сделать выводы по расчету. Привести схему контурного взрывания в масштабе 1:250 на миллиметровой бумаге.

Контрольные вопросы и задания

1. Опишите технологию контурного взрывания.
2. В чем состоит эффективность контурного взрывания?
3. Как рассчитать расстояние между контурными скважинами?
4. Как рассчитать расстояние между контурными скважинами и скважинами рыхления?
5. Каким образом производят осушение взрываемого блока за счет контурного взрывания?
6. Как рассчитать расход ВВ для производства контурного взрывания?
7. Как рассчитать расход ДШ для производства контурного взрывания?
8. Дайте определение площади откола.
9. Перечислите недостатки контурного взрывания.

Практическая работа 4

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЗАРЯДОВ
ПРИ ВЗРЫВАНИИ НА ВЫБРОС

Цель работы: получение навыков при расчете параметров взрывания на выброс.

Краткие теоретические сведения

Взрывание на выброс осуществляют для образования каналов, канав и других профильных выемок различного назначения, а также для образования насыпей плотин.

Взрывание на выброс проводится методами сосредоточенных зарядов (рис. 47), горизонтальных удлиненных зарядов и скважинных зарядов. В данной работе рассмотрим метод сосредоточенных зарядов.

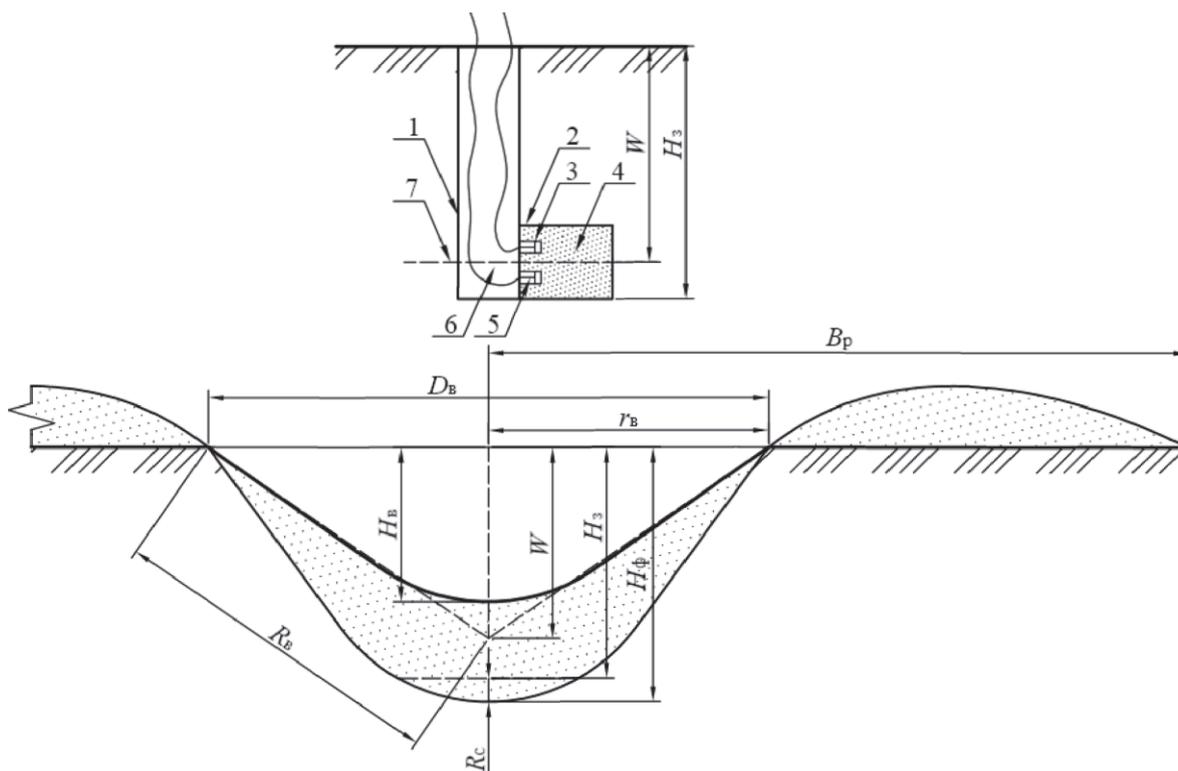


Рис. 47. Схема расположения сосредоточенных зарядов и параметры воронки выброса: 1 – шурф; 2 – зарядная камера; 3 – боевик; 4 – заряд ВВ; 5 – электродетонатор; 6 – забойка; 7 – проектный контур дна выемки; W – ЛНС; H_z – глубина заложения заряда; r_v – радиус воронки выброса; B_p – ширина навала пород; h_p – высота развала пород; H_ϕ – глубина выемки в момент взрыва; H_v – видимая глубина выемки; R_c – величина сжатия грунтов; R_v – радиус действия взрыва; D_v – диаметр воронки выброса

Сосредоточенными являются заряды ВВ, длина которых не превышает 5–7 их диаметров (ширины или высоты камер, в которых они располагаются).

В зависимости от условий производства работ сосредоточенные заряды могут располагаться в один или несколько рядов вдоль оси выемки.

При расположении зарядов в два или три ряда достигается направленный выброс пород из проектного контура выемки. В заданном направлении в этом случае может быть размещено до 60–70 % общего объема выбрасываемых пород. Направленность взрыва достигается одновременностью взрывания нескольких рядов зарядов. Для этого сначала взрывают один ряд скважин, действие которого направлено вверх. В процессе взрыва открывается боковая дополнительная поверхность для зарядов второго ряда. Через некоторое замедление взрывают заряды второго ряда, которые выбрасывают породу в сторону образованной дополнительной поверхности и отталкивают в том же направлении поднявшуюся вверх породу от взрыва зарядов первого ряда.

Для образования профильных выемок на выброс используют *удлиненные горизонтальные заряды*, расположенные в зарядных траншеях или специальных зарядных выемках. Удлиненные заряды помещают в выработки, предварительно пройденные вдоль оси выемок. Этот метод используют для получения выемок до 8–10 м. При большей глубине используют *штольневые заряды*. Преимуществом по сравнению с методом сосредоточенных зарядов является получение почти готовых выработок с более ровными поверхностями. Недостатки: повышенный объем горнопроходческих работ, увеличение расхода ВВ.

Расчет параметров сосредоточенных зарядов и воронки выброса при однорядном взрывании выполняют следующим образом.

1. Находят радиус воронки выброса:

$$r = n \cdot W, \text{ м}, \quad (63)$$

где n – показатель действия взрыва; W – линия наименьшего сопротивления ЛНС, м.

2. Вычисляют показатель действия взрыва:

- для воронки выброса

$$n = r/W, \quad (64)$$

- для профильных выемок

$$n = \frac{B}{2W}, \quad (65)$$

где B – ширина выемки по верху, м.

3. Определяют массу сосредоточенного заряда для взрывания на выброс:

- при ЛНС менее 25 м

$$Q_B = q_H \cdot W^3(0,4 + 0,6n^3), \text{ кг}, \quad (66)$$

где q_H – удельный расход ВВ для нормального выброса, кг/м³ (табл. 28);

- при ЛНС более 25 м

$$Q_B = q_H \cdot W^3(0,4 + 0,6n^3) \cdot \sqrt{\frac{W}{25}}, \text{ кг}. \quad (67)$$

4. Вычисляют видимую глубину воронки выброса:

- для нескальных и скальных пород при $n \leq 2$

$$H_B = 0,33W(2n - 1), \text{ м}, \quad (68)$$

- в сжимаемых грунтах при $n > 2$

$$H_B = W + R_c, \text{ м}, \quad (69)$$

где R_c – радиус сжатия грунта при взрыве сосредоточенного заряда, м,

$$R_c = 0,062 \cdot \sqrt[3]{U \cdot Q_B}. \quad (70)$$

Здесь U – коэффициент пропорциональности, учитывающий свойства взрывааемых грунтов к сжатию при воздействии взрыва (для сжимаемых скальных пород $U = 10$, для нескальных пород средней крепости $U = 150$, для глин $U = 250$); Q_B – масса сосредоточенного заряда, кг.

Таблица 28

Удельный расход ВВ для нормального выброса

Грунты	Коэффициент крепости по шкале проф. М. М. Протоdjeяконова	Расчетный удельный расход ВВ, кг/м ³ грунта
Песок	0,3	1,6–1,8
Плотный или влажный песок	0,4	1,2–1,3
Тяжелый суглинок	0,5	1,3–1,8
Ломовая глина	0,6	1,2–1,8
Лёсс	0,7	0,9–1,2
Мел, выщелоченный мергель	0,8–1,0	0,9–1,2
Гипс	1,0–1,5	1,1–1,5
Известняк-ракушечник	1,5–2,0	1,4–1,8
Опока, мергель	1,0–1,5	1,0–1,3
Трещиноватые, плотные туфы, тяжёлая пемза	1,5–2,0	1,2–1,5
Конгломерат, брекчии на известковом и глинистом цементе	2–3	1,1–1,4

Грунты	Коэффициент крепости по шкале проф. М. М. Протодьяконова	Расчетный удельный расход ВВ, кг/м ³ грунта
Песчаники на глинистом цементе, сланец, глинистый серицитовый мергель	3–6	1,2–1,6
Доломит, известняк, магнезит, песчаник на известковом цементе	5–6	1,2–1,8
Известняк, песчаник, мрамор	6–9	1,2–2,2
Гранит, гранодиорит	6–12	1,7–2,1
Базальт, диабаз, андезит, габбро	6–20	1,7–2,2
Кварцит	12–14	1,6–2,0
Порфирит	16–20	2,0–2,3

5. Находят линию наименьшего сопротивления:

$$W = H_3 - h_3/2, \text{ м}, \quad (71)$$

где H_3 – глубина заложения заряда, равная расстоянию от поверхности земли до подошвы зарядной камеры, м; h_3 – высота заряда в камере, м.

6. Определяют ширину развала:

$$B_p = 5n \cdot W, \text{ м}. \quad (72)$$

7. Рассчитывают высоту развала:

$$h_p = 0,6W/n, \text{ м}. \quad (73)$$

8. Радиус действия взрыва в воронке выброса вычисляют по формуле

$$R_B = W\sqrt{n^2 + 1}, \text{ м}. \quad (74)$$

9. Расстояние между сосредоточенными зарядами выброса в ряду

$$a = 0,5W(n + 1), \text{ м}. \quad (75)$$

10. Объемы взорванной и выброшенной породы рассчитывают по табл. 29.

Таблица 29

Объемы взорванной и выброшенной породы в зависимости от показателя действия взрыва

Показатель	Показатель действия взрыва n			
	1,5	2	2,5	3
<i>При коэффициенте крепости по шкале проф. М. М. Протодьяконова $f = 1-9$</i>				
Взорванный объем породы, м ³	$0,77Q_B/q$	$0,58Q_B/q$	$0,61Q_B/q$	$0,6Q_B/q$
Выброшенный объем породы, м ³	$0,5Q_B/q$	$0,58Q_B/q$	$0,61Q_B/q$	$0,6Q_B/q$
<i>При коэффициенте крепости по шкале проф. М. М. Протодьяконова $f = 10-18$</i>				
Взорванный объем породы, м ³	$0,77Q_B/q$	$0,58Q_B/q$	$0,45Q_B/q$	$0,36Q_B/q$
Выброшенный объем породы, м ³	$0,5Q_B/q$	$0,58Q_B/q$	$0,45Q_B/q$	$0,36Q_B/q$

Пример. Взрывом ряда сосредоточенных зарядов требуется образовать выемку шириной 60 м, длиной 525 м в известняковых породах крепостью по шкале проф. М. М. Протодяконова 9. Высота заряда в скважине 4 м. ЛНС = 12 м.

Определить глубину заложения, общую массу сосредоточенных зарядов и расстояние между зарядами. Составить схему расположения скважинных зарядов и схему параметров профиля выброса.

Решение:

1. Показатель действия взрыва для профильных выемок

$$n = B/(2W) = 60/(2 \cdot 12) = 2,5 \text{ м.}$$

2. Глубина заложения заряда

$$H_3 = W + h_3/2 = 12 + 4/2 = 14 \text{ м.}$$

3. Масса сосредоточенного заряда при ЛНС менее 25 м

$$Q_B = q_H \cdot W^3 (0,4 + 0,6n^3) = 2,2 \cdot 12^3 \cdot (0,4 + 0,6 \cdot 2,5^3) = 37 \ 161 \text{ кг.}$$

4. Видимая глубина воронки выброса:

• при $n > 2$ в сжимаемых грунтах

$$H_B = W + R_c,$$

$$R_c = 0,062 \cdot \sqrt[3]{U \cdot Q_B} = 0,062 \cdot \sqrt[3]{10 \cdot 37 \ 161} = 4,5 \text{ м,}$$

$$H_B = 12 + 4,5 = 16,5 \text{ м;}$$

• при $n \leq 2$ используется расчетная формула (68).

5. Расстояние между зарядами выброса

$$a = 0,5W(n + 1) = 0,5 \cdot 12 \cdot (2,5 + 1) = 21 \text{ м.}$$

6. Число зарядов $N = L_B/a = 525/21 = 25$ ед., где L_B – длина выемки, м.

7. Общая масса зарядов $Q_{\text{общ}} = Q_B \cdot N = 37 \ 161 \cdot 25 = 929 \ 025$ кг.

8. Ширина развала $B_p = 5n \cdot W = 5 \cdot 2,5 \cdot 12 = 150$ м.

9. Высота развала $h_p = 0,6W/n = 0,6 \cdot 12/2,5 = 2,9$ м.

10. Радиус действия взрыва в воронке выброса

$$R_B = W \cdot \sqrt{n^2 + 1} = 12 \cdot \sqrt{2,5^2 + 1} = 32,3 \text{ м.}$$

11. Объемы взорванной и выброшенной породы

$$V_{\text{вз}} = V_{\text{выб}} = 0,61 \cdot Q_{\text{общ}}/q = 0,61 \cdot 929 \ 025/2,2 = 257 \ 593 \text{ м}^3.$$

12. Используя полученные значения, построить схему расположения скважинных зарядов и схему параметров профиля выброса по рис. 47.

Порядок выполнения работы

После ознакомления с краткими теоретическими сведениями в соответствии со своим вариантом (табл. 30) определить глубину заложения сосредоточенного заряда, общую массу сосредоточенных зарядов, расстояние между зарядами.

Таблица 30

Исходные данные к практической работе 4

Номер варианта	Грунты	Коэффициент крепости по шкале проф. М. М. Протодьяконова	Размеры выемки, м		ЛНС, м	Высота заряда в скважине, м
			Ширина	Длина		
1	Песок	0,3	9	500	3	1,2
2	Сланец	6	15	120	5	2,0
3	Известняк	2	30	670	10	2,5
4	Мергель	1,5	45	375	15	2,5
5	Лёсс	0,7	60	450	20	3,3
6	Ломовая глина	0,6	75	780	25	3,0
7	Плотные туфы	2	10,5	120	3	1,2
8	Брекчии	3	17,5	520	5	1,8
9	Гранит	10	35	350	10	2,3
10	Базальт	12	52,5	420	15	2,5
11	Кварцит	12	70	250	20	2,8
12	Влажный песок	0,4	87,5	280	25	3,0
13	Порфирит	16	12	300	5	1,0
14	Гранодиорит	8	20	320	15	2,0
15	Песчаники на известковом цементе	6	40	870	10	2,2
16	Магнезит	5	60	500	15	2,5
17	Гипс	1	80	120	20	3,0
18	Известняк	6	100	670	25	3,1
19	Тяжелый суглинок	0,5	15	375	3	1,3
20	Конгломерат	3	25	450	5	1,8
21	Андезит	18	50	780	10	2,0
22	Габбро	20	75	120	15	2,4
23	Мел	1	100	520	20	2,8
24	Гранодиорит	12	12,5	350	25	3,2
25	Порфирит	18	18	420	3	0,75
26	Базальт	10	30	250	5	1,5
27	Кварцит	14	60	280	10	2,0
28	Сланец	3	90	300	15	2,3
29	Гранит	12	120	320	20	2,5
30	Известняк	9	150	870	25	3,4

Построить схему расположения скважинных зарядов и схему параметров профиля выброса.

Контрольные вопросы и задания

1. Каким образом осуществляется взрывание на выброс методом сосредоточенных зарядов?
2. Каким образом осуществляется взрывание на выброс методом удлиненных зарядов?
3. Перечислите преимущества и недостатки метода сосредоточенных зарядов.
4. Назовите преимущества и недостатки метода удлиненных зарядов.
5. Что подразумевается под показателем действия взрыва?
6. Каким образом достичь направленности действия взрыва?
7. Для чего используют взрывание на выброс?
8. Каким образом определить глубину заложения заряда, если известны требуемая глубина выемки и высота заряда в камере?
9. От каких факторов зависит радиус сжатия грунта?
10. От каких факторов зависит масса сосредоточенного заряда?
11. Каким образом определить глубину заложения сосредоточенного заряда?

Практическая работа 5

ПОРЯДОК ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА КАРЬЕРЕ

Цель работы: получение навыков составления проекта массового взрыва и четких представлений по организации БВР.

Краткие теоретические сведения

Каждый массовый взрыв на конкретном блоке выполняют по проекту, составленному на основании типового проекта БВР на данном карьере; геологических, гидрогеологических, горнотехнических материалов по данному блоку; анализа результатов предыдущих взрывов. Требования к содержанию типового проекта БВР и разового проекта массового взрыва, а также к безопасной организации взрывных работ определены в сборнике документов «Безопасность при взрывных работах», ведомственных и местных положениях и инструкциях по безопасности и охране труда рабочих.

Проект массового взрыва (технологическая карта взрыва) состоит из двух частей.

Первая часть содержит общие данные, технический расчет, графическую часть и распорядок проведения массового взрыва, утверждается главным инженером, имеющим право руководить взрывными работами.

Вторая часть включает наряд-инструктаж на оцепление опасной зоны и предварительную оценку результатов массового взрыва, не утверждается, но ее данные подтверждаются подписями ответственного за охрану опасной зоны и ответственного руководителя массового взрыва.

В *общих данных* указывают: цель взрыва (сброс, рыхление, встряхивание); место взрыва (забой экскаватора, борт, горизонт, пикет и другие данные); характеристику взрываемых пород в соответствии с принятыми классификациями (наименование пород, коэффициент их крепости по шкале профессора М. М. Протоdjяконова; обводненность; категории по взрываемости); диаметр, угол наклона и направление скважин; объем бурения, м; объем взрываемой породы, тыс. м³.

Технический расчет производится в соответствии с типовым проектом ведения буровзрывных работ и с учетом фактических параметров расположения скважин. Определяются масса основного и рассредоточенного зарядов в скважине, общее количество взрывчатых веществ и объем необходимого забоечного материала. Расчетные показатели взрыва заносят в таблицу показателей массового взрыва. По результатам технического расчета заполняют таблицу «Взрывчатые материалы» с указанием наиме-

нований и количества взрывчатых веществ и средств взрывания, необходимых для проведения массового взрыва. Сведения данной таблицы являются исходными для составления наряда-путевки на получение взрывчатых материалов. В этом разделе указывают безопасные расстояния для людей и механизмов, а также объекты, находящиеся в опасной зоне взрыва.

Графическая часть должна содержать эскизы, схемы, выкопировки с планов горных работ для наглядной и дополнительной информации к проведению работ по подготовке и производству эффективного и безопасного взрыва. Раздел состоит из двух частей:

- схематического изображения в поперечном разрезе взрываемого уступа, структуры залегания пород и конструкции заряда ВВ по рядам скважин;

- схем расположения скважин в плане (с указанием их номера, глубины и высоты столба воды), монтажа взрывной сети (с указанием интервалов замедления); здесь же ответственный руководитель взрыва при проведении наряда-инструктажа на оцепление опасной зоны по разлету кусков для людей и механизмов наносит места выставления постов охраны границ опасной зоны взрыва; при механизированном зарядании скважин в случае необходимости указывают маршрут движения на блоке осушающих, зарядных и забоечных машин.

Распорядок массового взрыва устанавливает:

- дату и период времени, в течение которого должен быть проведен взрыв;

- ответственного руководителя массового взрыва (должность, фамилия, инициалы); взрывника или старшего взрывника (фамилия и инициалы);

- вид транспорта для доставки ВМ к месту взрыва и лицо, сопровождающее транспорт;

- ответственного за вывод людей, внутрикарьерного транспорта и оборудования из опасной зоны;

- ответственного за охрану опасной зоны, ответственного за отключение электроэнергии, проверку и подключение ее после взрыва;

- лицо, отвечающее за подачу сигналов, производимых по распоряжению ответственного руководителя взрыва.

С подготовленной первой частью проекта массового взрыва (технологической картой взрыва) под расписку должны быть ознакомлены ответственный руководитель массового взрыва, начальник взрывного участка и взрывник (старший взрывник).

При необходимости распорядок массового взрыва согласовывают со смежными предприятиями.

Утвержденная часть проекта массового взрыва является обязательным документом для исполнения всеми работниками карьера, связанными

с проведением массового взрыва, а указания ответственного руководителя – обязательными для сменного надзора, руководителей и рабочих всех участков, цехов и служб, попадающих в опасную зону взрыва.

Наряд-инструктаж на оцепление опасной зоны массового взрыва представляют в виде таблицы, в которой приводят номера постов, краткое описание местонахождения постовых, их фамилии, инициалы, указания по выполнению охраны опасной зоны.

Ответственный за охрану опасной зоны доводит наряд-инструктаж до сведения каждого постового под расписку.

Результаты выполнения взрывов заносят в Журнал учета взрывов, который систематически анализируют руководители карьера для принятия решений по уточнению параметров заложения зарядов и дальнейшему совершенствованию БВР. Примеры заполнения документов проекта массового взрыва представлены в прил. 1, 2.

Остановимся подробнее на *расчете параметров буровзрывных работ* для проекта массового взрыва на уступе карьера.

Предлагаемая методика определения параметров БВР включает расчет зарядов ВВ и выбор их расположения на уступе, подготавливаемом к выемке.

1. *Обоснование угла откоса уступа.* По табл. 31 принять углы откосов рабочего и устойчивого уступов.

Таблица 31

Угол откоса уступа

Коэффициент крепости по шкале проф. М. М. Протоdjeяконова	Угол откоса уступа, град	
	устойчивого	рабочего
2–4	35	45
5–9	60	70
10–14	65	75
15–20	75	85

2. *Выбор и обоснование типа ВВ.* При выборе типа ВВ необходимо учитывать физико-механические свойства горных пород, их категорию по трещиноватости, степень обводненности скважин (табл. 32). Следует предусматривать возможность механизации подготовки и приготовления ВВ на стационарных пунктах вблизи предприятия, транспортирования и заряжания с использованием высокопроизводительных доставочно-зарядных и смесительно-зарядных машин. При выборе конкретного типа ВВ нужно учитывать их стоимость и характеристики (табл. 32).

3. *Расчет скважинных зарядов.* Линия сопротивления по подошве по наибольшему расстоянию, преодолеваемому зарядом,

$$W = \frac{1}{\sin \beta} \cdot 53 \cdot K_B \cdot d_c \sqrt{\frac{\Delta \cdot m}{\gamma \cdot K_{BB}}}, \text{ м}, \quad (76)$$

где β – угол наклона скважины к горизонту (60, 75, 90°); K_B – коэффициент, учитывающий взрываемость пород в массиве (табл. 33); d_c – диаметр скважины, м; Δ – плотность заряжения ВВ в скважине, кг/м³ (табл. 34); m – коэффициент сближения зарядов; γ – плотность породы; K_{BB} – переводной коэффициент от граммонита 79/21 к выбранному (табл. 34).

Таблица 32

Рекомендуемая область применения взрывчатых веществ

Тип пород (коэффициент крепости по шкале проф. М. М. Протоdjeяконова)	Условия размещения	
	Сухие скважины	Обводненные скважины
Некрепкие (f до 4–6)	Гранулит М Игданит Граммониты (79/21, 82/18)	Граммониты (79/21ПР, 82/18ПР в полиэтиленовых рукавах) Гранулит АС-8ПР (рукава) Ифзаниты (Т-20, Т-60, Т-80) Порэмиты Гранулотол
Средней крепости ($f = 6–12$)	Гранулиты (М, АС-4, УП) Игданит Ифзаниты (Т-20, Т-60, Т-80) Карботол 15-Т Акватолы Порэмиты Аммонит 6ЖВ	Гранулотол Гранулиты (АС-4В, АС-8В, М) (рукава) Граммонит 79/21ПР (рукава) Ифзанит Сибириты Порэмиты
Крепкие и весьма крепкие ($f = 12–18$)	Граммониты (79/21, 30/70) Гранулит АС-4 Карботол ГЛ-10В Акватол АВ Порэмиты	Гранулотол Алюмотол Граммонит 79/21ПР (рукава) Ифзаниты (Т-20, Т-60) Акватол Порэмиты

Таблица 33

Коэффициенты для расчета параметров скважинных зарядов

Коэффициент	Породы		
	Легковзрываемые (f до 6)	Средневзрываемые ($f = 6–12$)	Трудновзрываемые (f более 12)
Сближения зарядов m	1,1–1,2	1,0–1,1	0,85–1,0
Учитывающий взрываемость пород K_B	1,2	1,1	1,0
Зависящий от взрываемости пород K_3	5–6	3–4	1,5–2,5

Таблица 34

Характеристика взрывчатых веществ

Тип ВВ	Теплота взрыва, кДж/кг	Плотность, кг/м ³	Скорость детонации, км/с	Переводной коэффициент
Гранулиты:				
М	3 852	0,78–0,85	2,7	0,9
АС-4, АС-4В	4 522	0,8–0,9	2,6–3,4	0,98
АС-8, АС-8В	5 200	0,87–0,92	3,0–3,6	0,9
Игданит	3 800	0,80–0,85	2,8–4,3	1,13
Аммонит БЖВ	4 330	1,0–1,2	3,6–4,8	1
Граммониты:				
79/21, 79/21ПР	4 311	0,85–0,90	3,2–3,5	1
82/18, 82/18ПР	4 300	0,9–1,0	4,2	1
30/70	3 511	0,8–0,9	3,8–4,5	1,14
50/50	3 678	0,85–0,90	3,6–4,2	1,01
Ифзаниты:				
Т-20	3 176	1,25–1,30	4,0–4,5	1,2
Т-60(40)	3 782	1,40–1,45	5,0–5,5	1,1
Т-80	3 941	1,45–1,50	5,2–5,5	1,08
Карботолы:				
ГЛ-10В	5 684	1,55–1,60	4,5–5,0	0,79
15-Т	3 427	1,4–1,6	4,5–5,0	1,42
Гранулотол	3 642	0,90	5,5–6,5	1,2
Алюмотол	5 266	0,95	5,5–6,0	0,83
Порэмиты	3 200–4 350	1,25–1,30	4,4–5,3	1,2
Акватол АВ	3 700	1,55–1,95	4,8–5,0	1,2
Сибириты	2 600	1,25	4,8–5,1	1,2

ЛСПП должна быть проверена по условию безопасного ведения буровых работ у первого ряда скважин, т. е. $W \geq W_6$:

$$W_6 = \delta_{\text{п}} + h(\text{ctg } \alpha - \text{ctg } \beta), \text{ м}, \quad (77)$$

где W_6 – значение ЛСПП по условию безопасного бурения первого ряда скважин, м; $\delta_{\text{п}}$ – ширина возможной призмы обрушения (табл. 35), α – угол откоса рабочего уступа, град.

Таблица 35

Ширина призмы обрушения (по Гипроруде)

Коэффициент крепости по шкале проф. М. М. Протодяконова	Высота уступа, м			
	10	12	15	20
2–4	4	5	6	8,5
5–9	3	3	3,5	4,5
10–14	3	3	3	4
15–20	3	3	3	4

Если условие $W \geq W_6$ не выполняется, то принимают следующие решения:

- 1) переходят на бурение наклонных скважин;
 - 2) выбирают более мощные ВВ или ВВ с повышенной плотностью заряжания;
 - 3) увеличивают диаметр скважины;
 - 4) применяют парно-сближенные скважины.
- Затем заново проверяют условие.

4. *Определение параметров размещения заряда в скважине.* Длину скважины вычисляют по формуле

$$L_c = \frac{h}{\sin \beta} + l_{\text{пер}}, \text{ м}, \quad (78)$$

где h – высота уступа, м; $l_{\text{пер}}$ – величина перебура скважины, м,

$$l_{\text{пер}} = (0,1-0,25) h, \text{ м}. \quad (79)$$

Принимают конструкцию заряда ВВ: в обводненных скважинах применяют сплошной колонковый заряд, в сухих – рассредоточенный воздушным промежутком.

Рассматривают длину заряда, м:

$$l_z = L_c - l_{\text{заб}} - l_{\text{пр}},$$

где $l_{\text{заб}}$ – длина забойки, м,

$$l_{\text{заб}} = (15-20) d_c, \text{ м}$$

(верхний предел относят к сильнотрещиноватым породам, нижний – к весьма крупноблочным, крепким породам); $l_{\text{пр}}$ – длина воздушных промежутков, м,

$$l_{\text{пр}} = (8-12) d_c.$$

5. *Определение параметров сетки скважин.* Находят расстояние между скважинами:

$$a = m \cdot W, \text{ м}.$$

Расстояние между рядами скважин, м:

- при квадратной сетке скважин $b = a$;
- при шахматной сетке скважин $b = 0,85a$.

6. *Расчет массы заряда ВВ.* Необходимую массу скважинного заряда Q_3^1 , исходя из объема породы, взрывааемой зарядом, определяют для первого ряда скважин, кг:

$$Q_3^1 = q_{\text{п}} \cdot V = q_{\text{п}} \cdot h \cdot W \cdot a, \text{ кг}, \quad (80)$$

где q_{II} – удельный расчетный расход ВВ, кг/м³ (табл. 36); V – объем породы, разрушаемой зарядом в первом ряду скважин, м³, $V = h \cdot W \cdot a$.

Необходимую массу скважинного заряда Q_3^2 , исходя из объема породы, взрываваемой зарядом, рассчитывают для второго и последующего рядов скважин, кг:

$$Q_3^2 = q_{II} \cdot V = q \cdot h \cdot b \cdot a,$$

где V – объем породы, разрушаемой зарядом во втором и последующих рядах скважин, $V = h \cdot b \cdot a$, м³.

Таблица 36

Удельный расход граммонита 79/21 для пород различной трещиноватости и крепости, кг/м³

Степень трещиноватости	Коэффициент крепости пород		
	2–5	6–10	11–18
I	0,3	0,35	0,45
II	0,4	0,5	0,6
III	0,65	0,75	0,9
IV	0,85	0,9	1,0
V	1,0	1,0	1,2

Масса заряда в скважине по условию ее вместимости, кг,

$$Q_c = P \cdot l_3,$$

где P – количество ВВ, размещаемое в 1 м скважины, кг/м³,

$$P = 7,85 \cdot d_c^2 \cdot \Delta,$$

где d_c – диаметр скважины, дм.

Необходимо проверить вместимость заряда в скважине:

$$Q_c \geq Q_3^1, \quad Q_c \geq Q_3^2.$$

При несоблюдении условия корректируют сетку скважин, увеличивают диаметр скважин, пересматривают выбор типа ВВ, а затем повторяют расчет.

Для правильного выбора параметров сетки скважин приравнивают выражение $Q_c = P \cdot l_3$ к выражениям $Q_3^1 = q_{II} \cdot V = q_{II} \cdot h \cdot W \cdot a$ и $Q_3^2 = q_{II} \cdot V = q \cdot h \cdot b \cdot a$ и получают расстояние a :

$$P \cdot l_3 = q_{II} \cdot h \cdot b \cdot a, \quad (81)$$

$$a = \sqrt{\frac{P \cdot l_3}{q_{II} \cdot h}}, \text{ м.} \quad (82)$$

Определяют массу скважинного заряда по приведенным формулам. Корректируют длину заряда и длину забойки.

7. *Выбор схемы коммутации*: рис. 48 – для системы инициирования с помощью ДШ; рис. 49 – для системы инициирования СИНВ.

Рекомендации:

- для легковзрываемых пород – порядные схемы продольными и поперечными рядами;
- для пород средней трудности взрывания – порядные поперечными рядами;
- для трудновзрываемых пород – врубовые.

8. *Расчет системы инициирования*. Расчет СИ можно выполнить либо с помощью ДШ, либо с помощью СИНВ.

При использовании ДШ вычисляют оптимальный интервал замедления, мс:

$$\tau = K_B \cdot W, \quad (83)$$

где K_B – коэффициент, зависящий от взрываемости пород ($K_B = 1,5-2,5$ для трудновзрываемых, $K_B = 3-4$ – для средневзрываемых, $K_B = 5-6$ – для легко взрываемых).

При многорядном взрывании интервал замедления увеличивают на 25 %.

По величине τ подбирают ближайшее пиротехническое реле из ряда: 20, 35, 50 мс.

Рассчитывают длину ДШ на блок, м:

$$L_{\text{ДШ}} = L_{\text{маг}} + L_{\text{ДШ блок}} + N_c(L_c + l_1 + l_2), \text{ м}, \quad (84)$$

где $L_{\text{маг}}$ – длина ДШ от места укрытия взрывников до блока, м; $L_{\text{ДШ блок}}$ – длина ДШ на блоке, м; N_c – количество скважин в блоке, шт.; L_c – длина скважины, м; l_1 – длина ДШ, необходимого для присоединения промежуточного детонатора ($l_1 = 1$ м); l_2 – длина ДШ, необходимого для соединения концевиков ДШ в скважине с ДШ на блоке, м ($l_2 = 1$ м).

Для взрыва используют два ЭД.

Количество пиротехнических реле определяют по схеме взрывания, учитывая дублирование РП.

Выбирают промежуточный детонатор (патроны аммонита 6ЖВ либо тротиловые шашки). Определяют количество промежуточных детонаторов на скважину (при глубине скважины более 15 м обязательно дублирование, при использовании рассредоточенного заряда – количество промежуточных детонаторов два). Определяют массу промежуточного детонатора в зависимости от массы заряда.

Масса ВВ в ДШ, кг,

$$Q_{\text{дш}} = L_{\text{дш}} \cdot q_{\text{дш}}, \quad (85)$$

где $q_{\text{дш}}$ – масса ВВ в 1 м ДШ ($q_{\text{дш}} = 0,15$ кг/м).

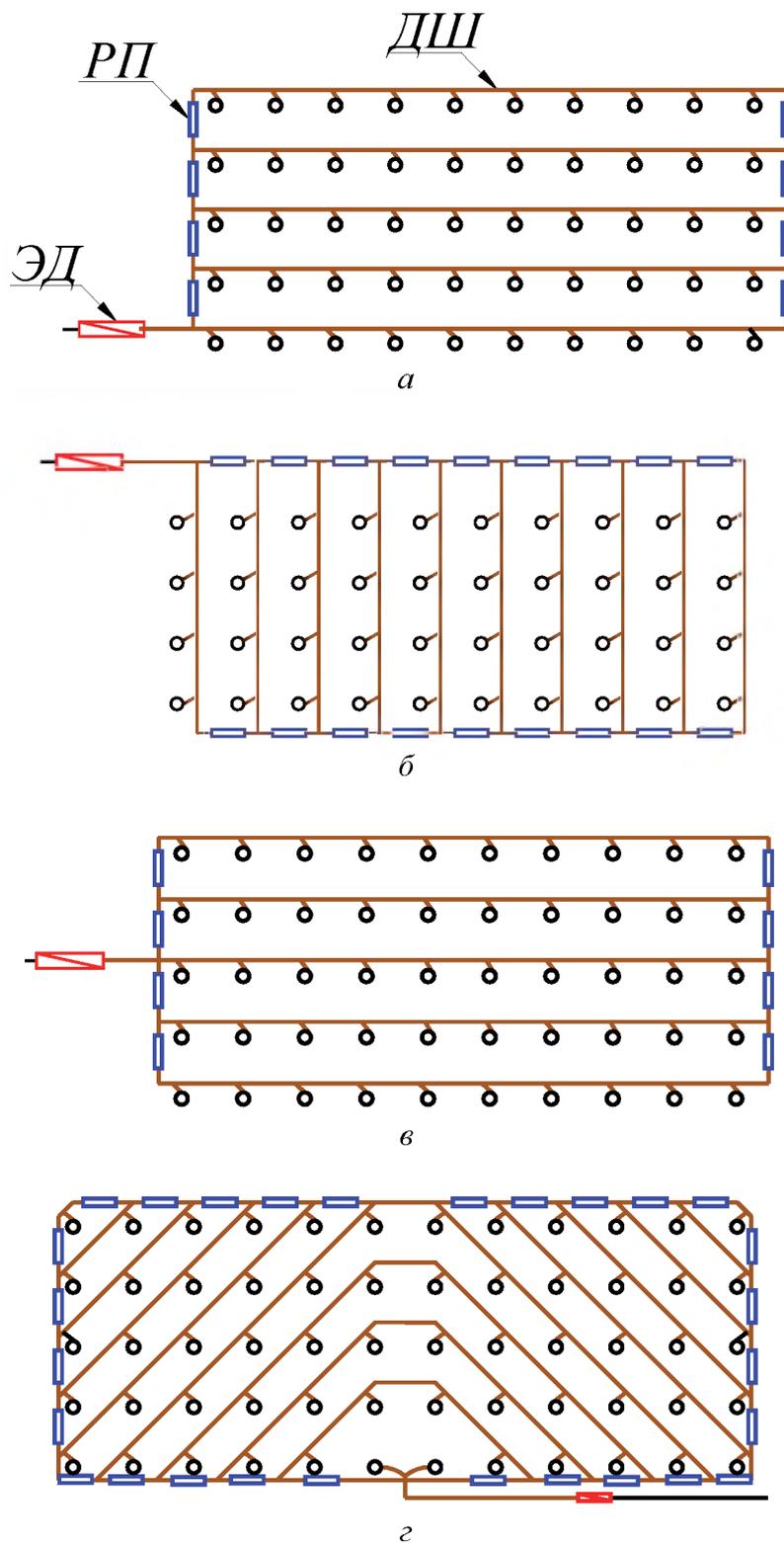
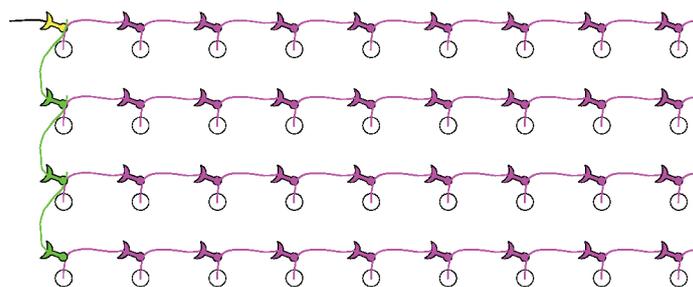
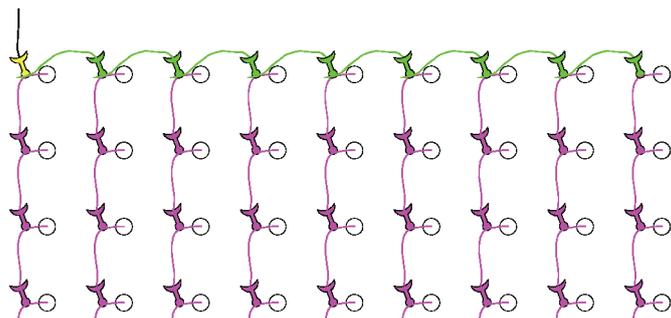


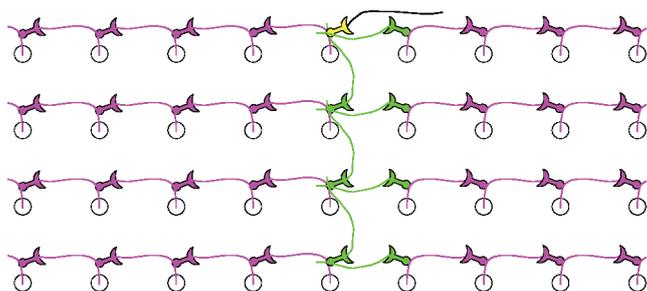
Рис. 48. Типовые схемы иницирования зарядов системой иницирования с детонирующим шнуром: *а* – порядная; *б* – порядная поперечными рядами; *в* – порядная врубовая; *г* – врубовая с трапецевидным врубом



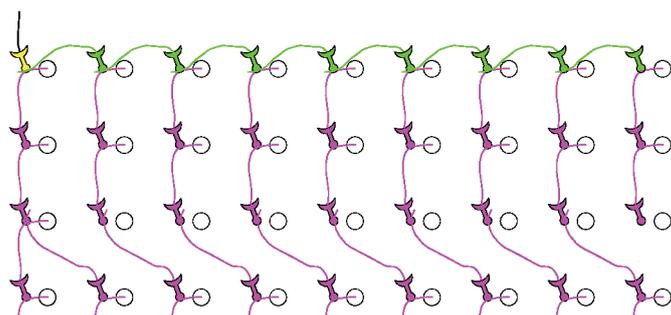
a



б



в



г

Рис. 49. Типовые схемы иницирования зарядов низкоэнергетической системой иницирования СИИВ: *a* – порядная; *б* – порядная поперечными рядами; *в* – врубовая с клиновым врубом; *г* – комбинированная;

 СИИВ-Старт
  СИИВ-П
  СИИВ-ПС

• СИНВ-С (100, 500 мс) – количество выбирают в зависимости от числа скважин в блоке и количества промежуточных детонаторов на скважину.

Количество промежуточных детонаторов рассчитывают аналогично системе инициирования с ДП.

Порядок выполнения работы

После ознакомления с теоретическими сведениями в соответствии со своим вариантом задания (табл. 37) выполнить расчет параметров БВР:

1. Обосновать выбор типа ВВ.
2. Определить параметры БВР.
3. Выбрать схему коммутации.
4. На блоке (рис. 51) нанести расположение скважин и схемы коммутации зарядов в зависимости от системы инициирования.

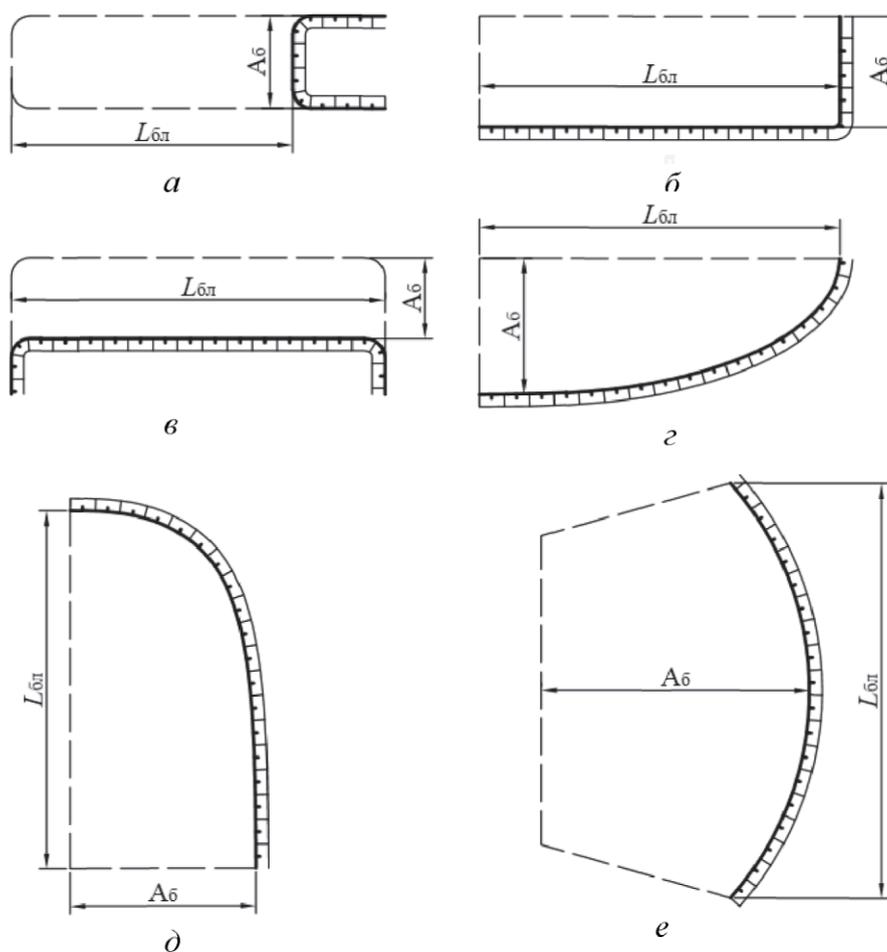


Рис. 51. Вид взрывного блока
 $L_{бл}$ – длина взрывного блока, м; $A_{б}$ – ширина взрывного блока

Таблица 37

Исходные данные к практической работе 5

Номер варианта	Характеристика пород			Высота уступа, м	Диаметр скважины, мм	Состояние скважин	Вид блока (см. рис. 51)	Длина блока $L_{\text{бл}}$, м	Ширина буровой заходки A_6 , м	Система инициирования
	Коэффициент крепости по шкале проф. М. М. Протоdjяконова	Категория трещиноватости	Плотность, т/м^3							
1	9	I	2,5	10	250	Сухие	<i>a</i>	100	30	ДШ
2	11	II	2,6	15	216	Обводненные	<i>б</i>	200	50	СИНВ
3	15	III	2,7	10	270	Сухие	<i>в</i>	140	35	ДШ
4	12	IV	2,8	12	260	Обводненные	<i>г</i>	150	40	СИНВ
5	8	V	3,1	20	250	Сухие	<i>д</i>	100	45	ДШ
6	7	I	3,0	20	320	Обводненные	<i>e</i>	120	50	СИНВ
7	16	II	2,9	20	150	Сухие	<i>a</i>	100	40	ДШ
8	18	III	2,5	12	190	Обводненные	<i>б</i>	180	40	СИНВ
9	17	IV	2,7	15	150	Сухие	<i>в</i>	150	45	ДШ
10	10	V	2,8	15	270	Обводненные	<i>г</i>	120	45	СИНВ
11	13	I	3,0	15	250	Сухие	<i>д</i>	150	30	ДШ
12	9	II	2,6	10	216	Обводненные	<i>e</i>	100	30	СИНВ
13	11	III	3,1	10	250	Сухие	<i>a</i>	180	40	ДШ
14	15	IV	2,7	10	250	Обводненные	<i>б</i>	150	50	СИНВ
15	12	V	2,5	12	270	Сухие	<i>в</i>	200	55	ДШ
16	8	I	2,6	12	270	Обводненные	<i>г</i>	150	50	СИНВ
17	7	II	2,7	12	216	Сухие	<i>д</i>	150	40	ДШ
18	16	III	2,8	15	190	Обводненные	<i>e</i>	180	45	СИНВ
19	18	IV	3,1	15	150	Сухие	<i>a</i>	200	50	ДШ
20	17	V	3.0	12	250	Обводненные	<i>б</i>	220	55	СИНВ

Окончание табл. 37

Номер варианта	Характеристика пород			Высота уступа, м	Диаметр скважины, мм	Состояние скважин	Вид блока (см. рис. 51)	Длина блока $L_{бл}$, м	Ширина буровой заходки $A_{б}$, м	Система инициирования
	Коэффициент крепости по шкале проф. М. М. Протодьяконова	Категория трещиноватости	Плотность, т/м^3							
21	10	I	2,9	10	216	Сухие	<i>в</i>	250	35	ДШ
22	13	II	2,5	10	270	Обводненные	<i>г</i>	100	45	СИНВ
23	15	III	2,7	20	250	Сухие	<i>д</i>	120	50	ДШ
24	17	IV	2,8	20	270	Обводненные	<i>е</i>	150	30	СИНВ
25	11	V	3,0	20	270	Сухие	<i>а</i>	180	40	ДШ
26	9	I	2,6	15	216	Обводненные	<i>б</i>	150	50	СИНВ
27	12	II	3,1	12	250	Сухие	<i>в</i>	200	55	ДШ
28	16	III	2,7	10	250	Обводненные	<i>г</i>	210	35	СИНВ
29	18	IV	3,0	20	150	Сухие	<i>д</i>	120	40	ДШ
30	8	V	2,7	15	270	Обводненные	<i>е</i>	150	30	СИНВ

5. Составить проект массового взрыва, используя прил. 1, 3.

6. Составить корректировочный расчет с учетом условия, что две скважины полностью осыпаны и взрывчатое вещество, не вошедшее в эти скважины, распределяется по соседним скважинам.

Оборудование: экскаватор ЭКГ-10, буровой станок СБШ (диаметр долота указать в зависимости от диаметра скважины).

Контрольные вопросы и задания

1. Какими условиями типовой проект производства буровзрывных работ отличается от проекта на массовый взрыв?

2. Какие исходные данные используют при проектировании взрывных работ на карьере?

3. Какие параметры рассчитывают в проекте на массовый взрыв?

4. Какие материалы входят в графическую часть проекта на массовый взрыв?

5. В чем состоит организация проведения массового взрыва?

6. Какие меры безопасности должны соблюдаться при проведении взрывных работ на карьере?

Практическая работа 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕЗОПАСНЫХ РАССТОЯНИЙ ПРИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ

Цель работы: получение навыков расчета опасных зон, который выполняется на производстве при составлении проектов массовых взрывов. Закрепление знаний Единых правил безопасности при взрывных работах.

Краткие теоретические сведения

В соответствии с Едиными правилами безопасности при взрывных работах должны быть определены и соблюдены безопасные расстояния, так называемые опасные зоны, по разлету отдельных кусков породы, сейсмическому воздействию взрыва и действию ударной воздушной волны.

За безопасное расстояние необходимо принимать наибольшее из установленных по различным поражающим факторам.

Безопасные расстояния для людей при производстве взрывных работ (работ со взрывчатыми материалами) должны устанавливаться проектом или паспортом или быть такими, чтобы исключить несчастные случаи (табл. 38).

Таблица 38

Минимально допустимые радиусы опасных зон

Вид взрывных работ	Радиус, м
Взрывание на открытых работах методами:	
наружных зарядов	300
в том числе кумулятивных	По проекту
шпуровых зарядов	200*
котловых шпуров	200*
малокамерных зарядов (рукавов)	200*
скважинных зарядов	Не менее 200**
котловых скважин	Не менее 300
камерных зарядов	Не менее 300
Дробление валунов зарядами в подкопах	400
Простреливание шпуров для образования котловых зарядов	50
Простреливание скважин для образования котловых зарядов	100

* Радиус опасной зоны указан для зарядов с забойкой.

** При взрывании на косогорах в направлении вниз по склону величина радиуса опасной зоны должна приниматься не менее 300 м.

Расстояние $r_{\text{разл}}$, м, опасное для людей по разлету отдельных кусков породы при взрывании скважинных зарядов, рассчитанных на разрыхляющее (дробящее) действие, определяется по формуле

$$r_{\text{разл}} = 1250\eta_3 \sqrt{\frac{f}{1+\eta_{\text{заб}}} \cdot \left(\frac{d_c}{a}\right)}, \quad (86)$$

где η_3 – коэффициент заполнения скважины взрывчатым веществом; f – коэффициент крепости пород по шкале профессора М. М. Протоdjeяконова; $\eta_{\text{заб}}$ – коэффициент заполнения скважины забойкой; d_c – диаметр взрывае-мой скважины, м; a – расстояние между скважинами в ряду или между ря-дами, м.

Коэффициент заполнения скважин взрывчатым веществом η_3 равен отношению длины заряда в скважине $l_{\text{зар}}$, м, к глубине пробуренной сква-жины L_c , м:

$$\eta_3 = l_{\text{зар}} / L_c. \quad (87)$$

Коэффициент заполнения скважины забойкой $\eta_{\text{заб}}$ равен отношению длины забойки $l_{\text{заб}}$, м, к длине свободной от заряда верхней части скважи-ны l_n , м:

$$\eta_{\text{заб}} = l_{\text{заб}} / l_n. \quad (88)$$

При полном заполнении забойкой свободной от заряда верхней части скважины $\eta_{\text{заб}} = 1$, при взрывании без забойки $\eta_{\text{заб}} = 0$.

В Правилах безопасности предусмотрены различные поправки к формуле (86) при переменных параметрах или отклонениях от принятых проектных значений.

При ведении взрывных работ в горных породах, классификация ко-торых оценивается по нормам СНиП 1У-2-82 «Правила разработки и при-менения элементных сметных норм на строительные конструкции и рабо-ты. Приложение. Сборник 3. Буровзрывные работы», коэффициент крепо-сти определяется по формуле

$$f = (F/2,5)^2, \quad (89)$$

где F – номер группы взрывае-мых пород по СНиП.

Если взрывае-мый участок массива представлен породами с различ-ной крепостью, то следует в расчете $r_{\text{разл}}$ принимать максимальное значе-ние коэффициента крепости. При взрывании параллельно сближенных (кустов, пучков) скважинных зарядов диаметром d учитывается их эквива-лентный диаметр:

$$d_э = d \cdot \sqrt{N}, \quad (90)$$

где N – число параллельно сближенных скважин в кусте.

При определении опасных расстояний необходимо учитывать возможные в процессе производства БВР отклонения отдельных параметров взрывания скважинных зарядов α , η_z , $\eta_{заб}$ от принятых проектных значений. Поэтому расчет $r_{разл}$ по формуле (86) следует выполнять с некоторым запасом, принимая для этого минимально возможные в процессе производства взрывных работ значения параметров α , $\eta_{заб}$ и максимально возможное значение η_z .

При взрывах на косогорах, а также в условиях превышения верхней отметки взрываемого участка над участками границы опасной зоны более чем на 30 м размеры опасной зоны вниз по склону должны быть увеличены и безопасные расстояния по разлету кусков породы рассчитаны по формуле

$$R_{разл} = r_{разл} \cdot K_p, \quad (91)$$

где $R_{разл}$ – опасное расстояние по разлету отдельных кусков породы в сторону уклона косогора или местности, расположенной ниже 30 м, считая от верхней отметки взрываемого участка, м; K_p – коэффициент, учитывающий особенности рельефа местности,

$$K_p = 1 + \operatorname{tg} \beta, \quad (92)$$

где β – угол наклона косогора к горизонту, град.

В тех случаях, когда вместо угла β известно превышение места взрыва над границей опасной зоны, используют формулу

$$K_p = 0,5 \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4H}{r_{разл}}} \right), \quad (93)$$

где H – превышение верхней отметки взрываемого участка над участком границы опасной зоны, м.

Если в каком-либо направлении граница опасной зоны, рассчитанная по формуле (86) или (91), проходит по уклону (склону), следует учесть возможное скатывание отдельных кусков породы и увеличить в этом направлении безопасное расстояние. Также необходимо учитывать влияние силы ветра на возможное увеличение дальности разлета кусков породы и их скатывание по склону.

Расчетное значение опасного расстояния округляется в большую сторону до значения, кратного 50 м. Окончательно принимаемое при этом безопасное расстояние не должно быть меньше расстояний, указанных в табл. 38.

Безопасные расстояния от места взрыва до механизмов, зданий, сооружений для предотвращения повреждений их разлетающимися кусками породы определяются в проекте на взрыв с учетом конкретных условий.

Пример 1. Определить $r_{\text{разл}}$ при взрывании на карьере серии скважинных зарядов для следующих условий и параметров: коэффициент крепости взрываеваемых пород $f = 10$, высота уступа $H_y = 8$ м, диаметр скважины $d_c = 0,15$ м, число рядов скважин 3, расстояние между скважинами в ряду $a = 4,5$ м, расстояние между рядами 5 м, длина заряда $l_{\text{заб}} = 6$ м, глубина скважины 9,5 м; верхняя часть скважины заполняется до устья забойкой $l_H = l_{\text{заб}} = 3,5$ м, $\eta_{\text{заб}} = 1$.

Решение. Коэффициент заполнения скважины взрывчатым веществом $\eta_z = l_{\text{зар}} / L_c = \eta_{\text{заб}} = 6 / 9,5 = 0,63$. Расчетное значение $r_{\text{разл}}$ по формуле (86) составляет

$$r_{\text{разл}} = 1\,250 \cdot \sqrt{\frac{10}{1+1} \cdot \left(\frac{0,15}{4,5}\right)} = 321,5 \text{ м.}$$

Принимаем расчетное значение безопасного расстояния $r_{\text{разл}} = 350$ м.

Пример 2. Определить безопасное расстояние по разлету кусков породы при взрыве серии скважинных зарядов рыхления в условиях превышения верхней отметки взрываеваемого участка над участками границы опасной зоны на $H = 50$ м. Расчетное значение радиуса опасной зоны $r_{\text{разл}} = 200$ м.

Решение. Коэффициент, учитывающий рельеф местности, находим по формуле (93):

$$K_p = 0,5 \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 50}{200}}\right) = 1,21.$$

Расчетное безопасное расстояние по разлету отдельных кусков породы вычисляем по формуле (91):

$$R_{\text{разл}} = 200 \cdot 1,21 = 242 \text{ м.}$$

Окончательно безопасное расстояние $R_{\text{разл}}$ принимаем 250 м.

Расстояния, безопасные по разлету отдельных кусков породы при взрывании на выброс, сброс и взрывах сосредоточенных (камерных) зарядов рыхления, рассчитываются по другой методике, имеющейся в ЕПБ ВР.

Рассмотрим, как выполняется расчет *сейсмически безопасных расстояний для зданий и сооружений при взрыве*.

Для защиты зданий и сооружений от сейсмического воздействия при взрывных работах и работах с ВМ масса зарядов ВВ должна быть такой, чтобы при взрывании исключались повреждения, нарушающие их нормальное функционирование.

Расстояния, при которых колебания грунта, вызываемые однократным взрывом сосредоточенного заряда ВВ, становятся безопасными для зданий и сооружений, определяются по формуле

$$r_c = K_r \cdot K_c \cdot \alpha \cdot \sqrt[3]{Q}, \quad (94)$$

где r_c – расстояние от места взрыва до охраняемого объекта (здания, сооружения), м; K_r – коэффициент, зависящий от свойств грунта в основании охраняемого здания (сооружения) (табл. 39); K_c – коэффициент, зависящий от типа здания (сооружения) и характера застройки (табл. 40); α – коэффициент, зависящий от условий взрывания; Q – масса заряда, кг.

Значения коэффициента α составляют: для камуфлетного взрыва и взрыва на рыхление – 1, взрыва на выброс – 0,8, взрыва полуглубленного заряда – 0,5.

При размещении заряда в воде или в водонасыщенных грунтах значения α увеличивают в 1,5–2 раза. При взрывах наружных зарядов на поверхности земли сейсмическое действие не учитывается.

Когда характеристика грунта известна ориентировочно, принимается ближайшее большее значение K_r .

Сейсмическая безопасность зданий и сооружений при взрывах предполагает отсутствие повреждений, нарушающих нормальное их функционирование (вероятность появления легких повреждений составляет 0,1).

Таблица 39

Значения коэффициента K_r

Характеристика пород и грунтов	K_r
Скальные породы:	
плотные, ненарушенные	5
нарушенные (неглубокий слой мягких грунтов на скальном основании)	8
Необводненные песчаные и глинистые грунты глубиной более 10 м	12
Почвенные обводненные грунты и грунты с высоким уровнем грунтовых вод	15
Водонасыщенные грунты	20

Таблица 40

Значения коэффициента K_c

Характеристика зданий и сооружений	K_c
Одиночные здания и сооружения производственного назначения с железобетонным или металлическим каркасом	1
Одиночные здания высотой не более 2–3 этажей с кирпичными и подобными стенами	1,5
Небольшие жилые поселки	2

При заданном расстоянии от места взрыва до охраняемого объекта допустимая масса сосредоточенного заряда определяется из формулы (94):

$$Q = \frac{r_c^3}{K_c^3 \cdot \alpha^3}. \quad (95)$$

При одновременном (без замедления) взрывании группы из N зарядов ВВ общей массой Q в тех случаях, когда расстояния от охраняемого объекта до ближайшего заряда и до наиболее удаленного заряда различаются не более чем на 20 %, безопасное расстояние r_c , м, рассчитывается по формуле

$$r_c = N^{1/6} \cdot K_c \cdot \alpha \cdot \sqrt[3]{Q}. \quad (96)$$

При большем различии в расстояниях охраняемый объект будет находиться вне сейсмически опасной зоны, если будет соблюдаться условие

$$(K_r \cdot K_c \cdot \alpha)^3 \sum_{i=1}^N \frac{g_i}{r_i^3} \leq 1, \quad (97)$$

где N – число зарядов ВВ; g_i – масса отдельного заряда ВВ, кг; r_i – расстояние от отдельного заряда ВВ до охраняемого объекта, м.

При неодновременном (например КЗВ) взрывании N зарядов ВВ общей массой Q со временем замедления между взрывами каждого заряда не менее 20 мс безопасное расстояние рассчитывается по формуле

$$r_c = \frac{K_r \cdot K_c \cdot \alpha}{N^{1/4}} Q^{1/3}. \quad (98)$$

При определении N и Q можно не учитывать заряды, масса которых в 3 раза и более меньше массы максимального заряда взрывающейся группы.

В тех случаях, когда расстояния r_c от крайних зарядов массой Q до охраняемого объекта различаются более чем на 20 %, последний будет находиться вне сейсмически опасной зоны, если будет соблюдаться условие

$$\left(\frac{K_r \cdot K_c \cdot \alpha}{N^{1/4}} \right)^3 \cdot \sum_{i=1}^N \frac{g_i}{r_i^3} \leq 1. \quad (99)$$

При взрывании групп зарядов с замедлениями между взрывами в отдельной группе менее 20 мс каждую такую группу следует рассматривать как отдельный заряд с общей массой для группы. Сейсмически безопасное расстояние в этом случае нужно определять по формулам (98) и (99), где N – число групп.

Рассмотренные методы расчета сейсмически безопасных расстояний относятся к зданиям, находящимся в удовлетворительном техническом состоянии, и не применимы для зданий и сооружений уникальных конструкций (АЭС, башни, высотные здания) и для ответственных и сложных инженерных сооружений (мосты, радиомачты, гидротехнические сооружения и т. п.). Для таких объектов и ряда особых условий взрывания (например, при взрывании 1 000 т ВВ и более) сейсмическая безопасность должна определяться специализированными организациями.

В ЕПБ ВР особо рассматривается определение *расстояний, безопасных по действию УВВ на застекление*, при взрывах наружных зарядов

и скважинных (шпуровых) зарядов рыхления, характерных для условий открытых горных работ. Такой расчет делается в проекте ВР для случаев, когда разрушение стекол недопустимо.

При одновременных взрывах наружных и скважинных (шпуровых) зарядов рыхления безопасные расстояния r_b , м, по действию УВВ на застекление при взрывании пород VI–VIII групп по классификации строительных норм рассчитывают по формулам:

$$r_b = 200 \sqrt[3]{Q} \text{ при } 5\,000 > Q \geq 1\,000 \text{ кг,} \quad (100)$$

$$r_b = 65 \sqrt{Q} \text{ при } 2 < Q < 1\,000 \text{ кг,} \quad (101)$$

$$r_b = 63 \sqrt[3]{Q^2} \text{ при } Q < 2 \text{ кг,} \quad (102)$$

где Q – эквивалентная масса заряда, кг.

При взрывании пород IX группы и выше по СНиП радиус опасной зоны, определенный по формулам (100)–(102), должен быть увеличен в 1,5 раза, а при взрывании пород V группы и ниже r_b может быть уменьшен в 2 раза.

Эквивалентную массу заряда находят следующим образом:

а) для наружных зарядов (высотой l_3 с засыпкой слоем грунта $l_{заб}$), взрывааемых одновременно,

$$Q_{\Sigma} = K_H \cdot \Sigma Q_{зар}, \quad (103)$$

где Q_{Σ} – суммарная масса зарядов, кг; K_H – коэффициент, значение которого зависит от отношения $l_{заб} / l_3$:

$l_{заб} / l_3$	0	1	2	3	4
K_H	1	0,5	0,3	0,1	0,03

б) для группы в количестве N скважинных (шпуровых) зарядов (длиной менее 12 своих диаметров), взрывааемых одновременно,

$$Q_{\Sigma} = P \cdot l_3 \cdot K_3 \cdot N, \quad (104)$$

где P – вместимость ВВ 1 м скважины (шпура), кг; l_3 – длина заряда, м; K_3 – коэффициент, значение которого зависит от отношения длины забойки к диаметру скважины (при отсутствии забойки – от отношения длины свободной от заряда части скважины к диаметру скважины L/d_c):

$l_{заб} / d_c$	K_3	$l_{заб} / d_c$	K_3
0	1	0	1
5	0,15	5	0,3
10	0,02	10	0,07
15	0,003	15	0,02
20	0,002	20	0,004

в) для группы из N скважинных (шпуровых) зарядов длиной более 12 своих диаметров, взрываемых одновременно,

$$Q_3 = 12 P \cdot d_c \cdot K_3 \cdot N. \quad (105)$$

При инициировании зарядов ДШ к Q_3 добавляется суммарная масса ВВ сети ДШ.

В случае КЗВ под Q и N следует понимать, соответственно, массу эквивалентного заряда и число зарядов одной группы. При наличии нескольких групп зарядов, взрываемых с замедлениями, к расчету принимается группа с максимальным Q_3 . Если интервал замедления между группами 50 мс и более, безопасное расстояние определяется по формулам (100)–(102). При интервале замедления от 30 до 50 мс безопасное расстояние, рассчитанное по формулам (100)–(102), должно быть увеличено в 1,2 раза, от 20 до 30 мс – в 1,5 раза и от 10 до 20 мс – в 2 раза.

Суммарная масса зарядов и число групп замедлений не ограничиваются.

При отрицательной температуре воздуха безопасное расстояние, вычисленное по формулам (100)–(102), должно быть увеличено не менее чем в 1,5 раза.

Пример 3. Определить радиус опасной зоны по действию УВВ на застекление при взрыве серии скважинных зарядов общей массой 25 228 кг. Заряды (одной и той же массы в каждой скважине) взрывают тремя группами с интервалом замедления между ними 25 мс. В первой группе взрывают 20, во второй – 40, в третьей – 10 скважин.

Диаметр скважин 0,22 м, глубина скважин 15 м, длина забойки 4,4 м. Взрываемые породы представлены гранитами X группы по строительным нормам. Взрывные работы проводятся при отрицательной температуре воздуха.

Решение. Поскольку взрывание осуществляется с интервалом замедления между группами 25 мс, к расчету принимается группа с максимальным числом скважин $N = 40$. Длина заряда 10,6 м, что больше 12 диаметров скважин, поэтому эквивалентный заряд определяем по формуле (105). Значения расчетных параметров будут следующие: $P = 34$ кг/м; $l_{заб}/d_c = 20$; $K_3 = 0,002$.

Масса эквивалентного заряда составит

$$Q_3 = 12P \cdot d \cdot K_3 \cdot N = 12 \cdot 34 \cdot 0,22 \cdot 0,002 \cdot 40 = 7,2 \text{ кг.}$$

Для определения радиуса опасной зоны воспользуемся формулой (102). При взрывании пород IX группы и выше радиус опасной зоны, рассчитанный по формулам (100)–(104), должен быть увеличен в 1,5 раза. С учетом крепости породы, интервала замедления между группами (при интервале замедления от 20 до 30 мс – безопасное расстояние должно быть

увеличено в 1,5 раза) и отрицательной температуры воздуха (увеличение расстояния в 1,5 раза) получим

$$R_b = 1,5 \cdot 1,5 \cdot 1,5 \cdot 65 \cdot \sqrt{7,2} = 589 \text{ м.}$$

Расстояние безопасное по действию на человека ударной воздушной волны наружного заряда следует определять по формуле

$$r_{\min} = 15 \cdot \sqrt[3]{Q}, \quad (106)$$

где Q – масса взрываемого наружного заряда ВВ, кг.

Эту формулу используют только тогда, когда по условиям работ необходимо максимальное приближение персонала, производящего взрывание, к месту взрыва. В остальных случаях полученное по формуле (106) расстояние следует увеличить в 2–3 раза.

При наличии блиндажей расстояние, рассчитанное по формуле (106), может быть сокращено не более чем в 1,5 раза.

За безопасное расстояние для людей принимается наибольшее из рассчитанных по действию УВВ (при наружных зарядах) и разлету кусков взорванной горной массы, но не менее минимально допустимых радиусов опасных зон, установленных ЕПБ ВР.

Порядок выполнения работы

Используя вышеизложенные краткие теоретические сведения и правила по определению безопасных расстояний для условий взрывания скважинных зарядов на уступе (см. практ. работу 5), последовательно рассчитать:

- 1) радиус опасной зоны для людей по разлету отдельных кусков породы;
- 2) сейсмически безопасное расстояние от места взрыва для зданий и сооружений;
- 3) расстояние, безопасное по действию УВВ на застекление (при скважинных зарядах рыхления).

В начале работы указать исходные данные, полученные при выполнении работы 5.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите этапы взрывных работ.
2. Приведите перечень документации на взрывные работы.

3. Перечислите организационные мероприятия по подготовке к проведению взрывных работ.
4. Каким государственным органом выдается разрешение на ведение взрывных работ?
5. Что указано в составе заявления в территориальное управление Ростехнадзора?
6. Какая графическая документация прилагается к заявлению?
7. Какую квалификацию должны иметь лица, осуществляющие производство взрывных работ?
8. Опишите порядок допуска к производству взрывных работ.
9. Кто допускается к работе мастера-взрывника?
10. Кто руководит квалификационной комиссией по приему экзамена для присвоения квалификации взрывника?
11. Кто допускается к руководству взрывными работами?
12. Опишите порядок назначения на должность заведующего складом ВМ и механизированных пунктов подготовки взрывчатых веществ.
13. Могут ли для выполнения вспомогательных работ быть привлечены рабочие другой профессии, если они работают на этом же предприятии?
14. Перечислите персонал склада ВМ.
15. Кем осуществляется охрана склада?
16. Назовите область ответственности руководителя взрывных работ.
17. Назовите область ответственности горного мастера.
18. Назовите область ответственности завскладом.
19. Назовите область ответственности взрывника.
20. Какие разделы включает в себя проект на массовый взрыв? Кем утверждается?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современная горная техника и экономические показатели разработки месторождений открытым способом выдвигают все более возрастающие и дифференцированные задачи повышения эффективности процессов взрывного разрушения горных пород на карьерах и разрезах. Для этого нужно заранее определить размеры и характеристики зон разрушения, образующихся в результате взрывания зарядов, величину удельного расхода ВВ и пр. Задачей такого инженерного расчета является обоснованное установление для данных горно-геологических и технических условий рациональных величин и конструкций зарядов определенных взрывчатых веществ, параметров расположения этих зарядов, последовательности и способа их взрывания.

Таким образом, главным в повышении качества взрывных работ становится использование рациональных методов управления энергией взрыва, прежде всего таких, как многорядное короткозамедленное взрывание; взрывание зарядами с регулируемой плотностью энергии ВВ на основе эмульсионных и комбинированных взрывчатых смесей и др.

Изложенный в пособии материал позволяет обосновать целесообразные виды и характеристики взрывчатых веществ в соответствии с заданными условиями ведения взрывных работ. Эти знания необходимы для прогнозирования действия взрыва в твердой среде, включающего различные физические процессы: детонацию ВВ, распространение волн напряжений, разрушение горного массива.

Рассмотренные основные положения теории взрыва и взрывчатых веществ указывают на большие резервы повышения коэффициента полезного использования энергии взрыва при разработке горных пород. Для их качественного взрывного рыхления в большинстве случаев целесообразно увеличение временной характеристики импульса взрыва при давлении в очаге взрыва, превышающем прочность породы. При этом снижаются потери энергии на переизмельчение и обеспечивается равномерность дробления пород. Рациональные параметры взрывного импульса могут достигаться, в частности, специальным подбором составных частей смесевых водосодержащих, эмульсионных и комбинированных взрывчатых веществ. Их характеристики должны отвечать принципам полной механизации работ.

Современные буровзрывные работы должны быть эффективными, обеспечивать безопасность и экологичность производства, соблюдение режима горных работ и экономическую целесообразность открытой разработки месторождения полезных ископаемых.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кутузов, Б. Н. Разрушение горных пород взрывом / Б. Н. Кутузов. – М. : Изд-во МГТУ, 1994. – 448 с.
2. Кутузов, Б. Н. Разрушение горных пород взрывом : учеб. для вузов / Б. Н. Кутузов. – 3-е изд. – М. : Изд-во МГИ, 1992. – 516 с.
3. Мосинец, В. Н. Разрушение горных пород / В. Н. Мосинец, А. Д. Пашков, В. А. Латышев. – М. : Недра, 1975. – 216 с.
4. Соболев, В. В. Технология и безопасность выполнения взрывных работ (краткий курс лекций) : учеб. / В. В. Соболев. – Донецк : Нац. горн. ун-т, 2008. – 164 с.
5. Проектирование взрывных работ в промышленности / под общ. ред. Б. Н. Кутузова. – М. : Недра, 1983. – 359 с.
6. Коростовенко, В. В. Технология и безопасность взрывных работ : учеб. пособие / В. В. Коростовенко, С. А. Вохмин, А. П. Андриевский ; ГУЦМиЗ. – Красноярск, 2005. – 124 с.
7. Справочник взрывника / под общ. ред. Б. Н. Кутузова. – М. : Недра, 1988. – 511 с.
8. Открытые горные работы : справ. / К. Н. Трубецкой, М. Г. Потапов, К. Е. Виницкий [и др.]. – М. : Горн. дело, 1994. – 590 с.
9. Технология и безопасность взрывных работ : справ. пособие / Л. В. Баранов, В. В. Першин, А. П. Муратов [и др.]. – М. : Недра, 1993. – 237 с.
10. Справочник по буровзрывным работам / М. Ф. Друкованный, Л. В. Дубнов, Э. О. Миндели [и др.]. – М. : Недра, 1976. – 631 с.
11. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах» : утв. приказом Федер. службы по экол., технол. и атомному надзору от 16 декабря 2013 г. № 605. – М. : Федер. служба по экол., технол. и атомному надзору, 2013. – 179 с.
12. Инструкция по безопасности работ при пневматическом зарядании гранулированных взрывчатых веществ в подземных выработках шахт и рудников / колл. авт. – М. : Науч.-техн. центр по безопасности в пром-ти Госгортехнадзора России, 2003. – Серия 13, вып. 4. – 28 с.
13. Инструкция по предупреждению, обнаружению и ликвидации отказавших зарядов взрывчатых веществ на земной поверхности и в подземных выработках / колл. авт. – М. : Науч.-техн. центр по безопасности в пр-ти Госгортехнадзора России, 2003. – Серия 13, вып. 3. – 48 с.
14. Буткин, В. Д. Технология и организация взрывных работ : практикум / В. Д. Буткин, Л. В. Нехорошева ; ГАЦМиЗ. – Красноярск, 2003. – 104 с.
15. Приборы для добывающих отраслей / ПО «Электроприбор». – Омск, 2004. – 14 с.
16. Миронкин, В. А. Технология и безопасность взрывных работ : учеб. пособие / В. А. Миронкин ; ГАЦМиЗ. – Красноярск, 2002. – 156 с.
17. Буткин, В. Д. Технология и техника разрушения горных пород на карьерах. Теория и технология взрывных работ : учеб. пособие / В. Д. Буткин, А. В. Гилев ; ГАЦМиЗ. – Красноярск, 1999. – 176 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ПРОЕКТА МАССОВОГО ВЗРЫВА

Министерство топлива и энергетики Российской Федерации

АО «Кельвин-Уголь»
Разрез «Юго-Западный»

УТВЕРЖДАЮ
Главный инженер разреза
_____ Г. П. Фёдоров
10 октября 2017 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА (ПРОЕКТ) МАССОВОГО ВЗРЫВА

I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

- 1.1. Цель взрыва – рыхление.
- 1.2. Место взрыва – забой экскаватора ЭКГ-10 № 2. Борт рабочий; горизонт +163, пикет 40–60; блок № 3.
- 1.3. Характеристика взрывных пород – $f = 8-10$, необводнены.
- 1.4. Категория пород по взрываемости – средневзрываемые.
- 1.5. Диаметр скважин, мм – 215,9.
- 1.6. Угол и направление наклона скважин, град – 90.
- 1.7. Объем бурения, м – 510.
- 1.8. Взрываемый объем породы, м³ – 1 170.

II. ТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МАССОВОГО ВЗРЫВА

- 2.1. Расчет подготовлен на основании типового проекта № 6.
- 2.2. ВВ по расчету, кг – 12 000.
- 2.3. Взрывчатые материалы:

Наименование ВВ	Масса, кг	Средство взрывания	Количество, шт.	Примечание
Граммонит 79/21	12 000	ЭД	2	
		ДШ	1 034 м	
		Т-400	60	
		РП-8	18	

- 2.4. Безопасное расстояние, м: для людей – 250, для механизмов – 60.
- 2.5. Объекты, находящиеся в опасной зоне: экскаватор ЭКГ-10 № 2.
- 2.6. Радиус сейсмобезопасной зоны для зданий и сооружений, м – 40.

Таблица параметров массового взрыва

№ ряда скважин	№ скважины	Высота уступа H_y , м	Глубина скважин/ высота столба воды, м		Расстояние первого ряда до верхней бровки уступа, м		Расстояние между скважинами в ряду и между рядами, м		Сопротивление по подошве, м		Удельный расход ВВ, кг/м ³		Масса заряда ВВ скважины основного / рассредоточенного, кг		Длина заряда / воздушного промежутка, м		Длина забойки, м	
			Р	Ф	Р	Ф	Р	Ф	Р	Ф	Р	Ф	Р	Ф	Р	Ф	Р	Ф
1	1–10	15	17	17	3	3	6	6	7	7	0,7	0,7	460	460	14	14	3	3
2	11–20	15	17	17	–	–	6	6	–	–	0,7	0,7	260/140	260/140	12/2	12/2	3	3
3	21–30	15	17	17	–	–	6	6	–	–	0,7	0,7	260/140	260/140	12/2	12/2	3	3
3	27	15	17	–	–	–	6	6	–	–	0,7	–	260/140	–	12/2	–	3	–
2	16, 17, 18	15	17	17	–	–	6	6	–	–	0,7	0,7	260/140	480	12/2	14,5	3	2,5
3	26, 28	15	17	17	–	–	6	6	–	–	0,7	0,7	260/140	480	12/2	14,5	3	2,5

Примечание. Р – расчетное значение, Ф – фактическое.

III. ГРАФИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Конструкция зарядов ВВ по рядам скважин:

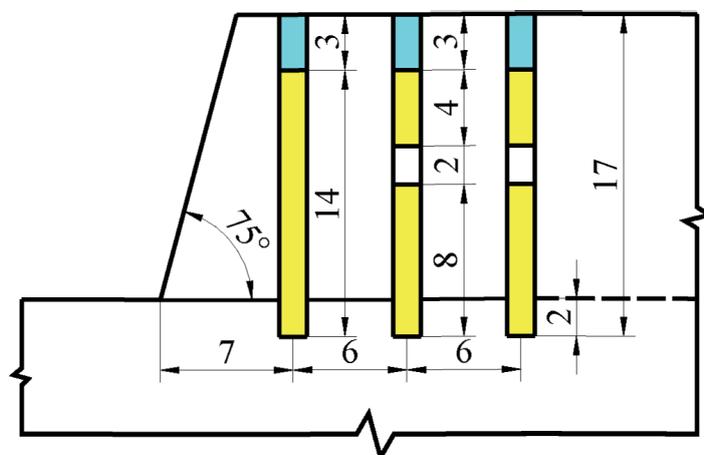
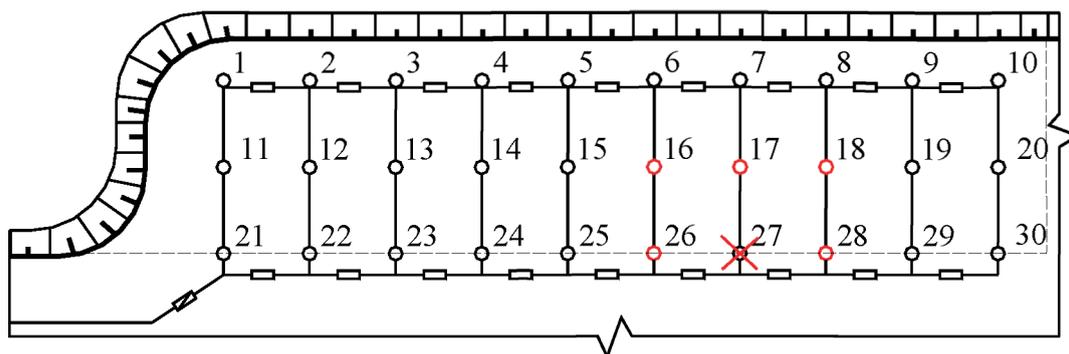


Схема расположения скважин, монтажа взрывной сети (с указанием интервала замедления):



Интервал замедления 50 мс.

IV. РАСПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ МАССОВОГО ВЗРЫВА

4.1. Дата взрыва – 20.10.2017 г. Время проведения взрыва – от 14.00 до 16.00.

4.2. Ответственный руководитель массового взрыва – начальник участка БВР И. П. Кношкин.

4.3. Взрывник – А. Д. Петров.

4.4. Подвозка ВМ к месту взрыва производится автомашиной в сопровождении взрывника А. И. Попова.

4.5. Ответственный за вывод людей, внутрикарьерного транспорта и оборудования из опасной зоны начальник вскрышного участка А. С. Сидоренко.

4.6. Ответственный за охрану опасной зоны горный мастер В. П. Кривцов.

4.7. Ответственный за отключение электроэнергии, проверку и подключение ее после взрыва – электрослесарь вскрышного участка И. П. Егоров.

4.8. Подача сигналов производится по распоряжению ответственного руководителя массового взрыва С. И. Ивановым сиреной.

Составил технолог А. А. Павлова

(подпись)

Ознакомились:

Ответственный руководитель массового взрыва И. П. Собчакин

(подпись)

Взрывник А. Д. Петров

(подпись)

V. НАРЯД-ИНСТРУКТАЖ НА ОЦЕПЛЕНИЕ ОПАСНОЙ ЗОНЫ МАССОВОГО ВЗРЫВА

Пост	Местонахождение постового (ориентиры)	Ф.И.О. постового	Наряд-инструктаж на охрану зоны	Подпись постового
1	2-й уступ, Северный участок у киоска	Петров А. Д.	Не допускать в охраняемую зону людей и транспорт	
2	Южная часть 3-го уступа около бурового станка № 9	Попов А. И.	Не допускать в охраняемую зону людей и транспорт	
3	Северная часть 3-го уступа возле столба высоковольтной линии	Сидоренко А. С.	Не допускать в охраняемую зону людей и транспорт	
4	Южная часть 3-го уступа возле экскаватора № 7	Смирнов Н. Т.	Не допускать в охраняемую зону людей и транспорт	

Ответственный за охрану опасной зоны Кривцов В. П.

(подпись)

VI. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ МАССОВОГО ВЗРЫВА

6.1. Ширина развала, м – 20.

6.2. Обнаруженные отказы – нет.

6.3. Анализ воздуха в зоне взрыва: содержание окиси азота 3 мг/м^3 , СО – $2,0 \text{ мг/м}^3$, пыли угольной – 1 мг/м^3 .

Ответственный руководитель массового взрыва И. П. Собчакин

(подпись)

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ НА БУРЕНИЕ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН

Министерство топлива и энергетики Российской Федерации

АО «Кельвин-Уголь»
Разрез «Юго-Западный»

УТВЕРЖДАЮ
Главный инженер разреза
_____ Г. П. Фёдоров
10 октября 2017 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА (ПАСПОРТ) НА БУРЕНИЕ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН

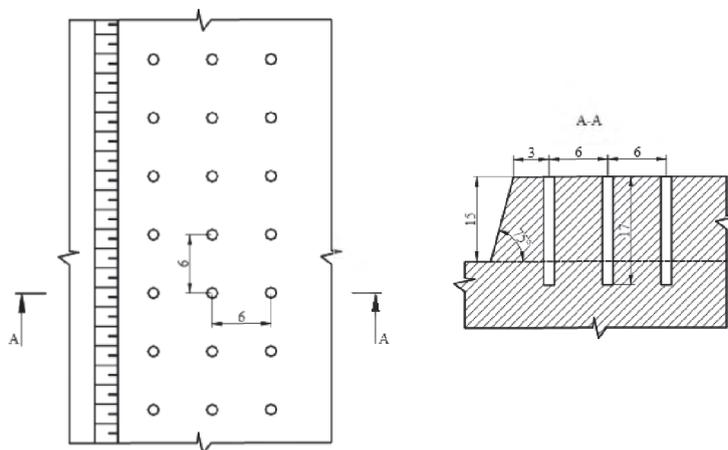
I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- 1.1. Местонахождение участка: забой экскаватора ЭКГ-10 № 2; борт рабочий; горизонт +163; пикет 40–60.
- 1.2. Буровой станок – 2СБШ-200 Н № 5.
- 1.3. Тип долота – Ш215,9-ТПВ.
- 1.4. Характеристика буримых пород – $f = 8-10$.
- 1.5. Ширина заходки, м – 25.
- 1.6. Высота уступа, м – 15.

II. ПАРАМЕТРЫ БУРЕНИЯ

- 2.1. Диаметр скважин, мм – 215,9.
- 2.2. Глубина скважин, м – 17.
- 2.3. Угол и направление наклона, град – 90.
- 2.4. Количество рядов скважин – 3.
- 2.5. Общее количество скважин – 30.
- 2.6. Расположение скважин, м: первый ряд от бровки уступа – 3,0; между скважинами в ряду – 6,0; между рядами скважин – 6,0.

III. ГРАФИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ



**IV. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ, УКАЗАНИЯ,
РЕКОМЕНДАЦИИ**

4.1. При бурении первого ряда буровой станок расположить перпендикулярно бровке уступа, вне призмы обрушения, но не ближе 3 м.

4.2. Режим бурения: частота вращения 100–120 об/мин, нагрузка на долото 200 кН.

Карту (паспорт) составил
Начальник участка

С. А. Группенюк
Р. В. Боссянский

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ АКТА О ГОТОВНОСТИ БЛОКА К ЗАРЯЖАНИЮ

Министерство топлива и энергетики Российской Федерации

АО «Кельвин-Уголь»
Разрез «Юго-Западный»

УТВЕРЖДАЮ
Главный инженер разреза
_____ Г. П. Фёдоров
10 октября 2017 г.

АКТ о готовности блока к заряданию

Мы, нижеподписавшиеся, начальник бурового участка № 1 Р. В. Боссянский и начальник взрывного участка А. П. Конько, составили настоящий акт о том, что блок № 3 полностью подготовлен к заряданию. Блок очищен от посторонних предметов. Блок обурен по следующим параметрам:

1. Диаметр скважин, мм – 215,9.
2. Глубина скважин, м – 17.
3. Угол и направление наклона, град – 90.
4. Количество скважин, шт. – 30.
5. Количество рядов скважин, м: три ряда.
6. Расположение скважин, м: между скважинами в ряду – 6,0; между рядами скважин – 6,0; первый ряд от бровки уступа – 4,0.
7. Уровень воды в скважинах, м – 0.
8. Расстояние от нижней бровки уступа до ж/д путей, м – 25.

Необходимо провести следующие мероприятия: трансформаторную подстанцию (т.п. № 10) убрать на расстояние 30 м от взрывного блока.

Начальник участка буровых работ
10.10.2017 г.

Р. В. Боссянский

Начальник участка взрывных работ
10.10.2017 г.

А. П. Конько

Учебное издание

Кирюшина Елена Владимировна
Вокин Владимир Николаевич
Кадеров Михаил Юрьевич

**ТЕХНОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ
ВЗРЫВНЫХ РАБОТ**

Учебное пособие

Редактор *Л. Г. Семухина*
Компьютерная верстка *Н. Г. Дербенёвой*

Подписано в печать 16.08.2018. Печать плоская. Формат 60×84/16
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 14,75. Тираж 500 экз. Заказ № 3608

Библиотечно-издательский комплекс
Сибирского федерального университета
660041, Красноярск, пр. Свободный, 82а
Тел. (391) 206-26-67; <http://bik.sfu-kras.ru>
E-mail: publishing_house@sfu-kras.ru