

Министерство образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Забайкальский государственный университет

А.А. ЯКИМОВ

Г.П. СИДОРОВА

БУРОВЫЕ И ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ НА КАРЬЕРЕ

Учебное пособие

Чита

Забайкальский государственный университет

2020

УДК

ББК

Рекомендовано к изданию учебно-методическим советом

Забайкальского государственного университета

Рецензенты:

Директор Забайкальского горного колледжа имени М.И. Агошкова, к.т.н., доцент Зыков Н.В.

Заместитель директора по научно-исследовательской работе Технического института (филиал) СВФУ, д.т.н., профессор Гриб Н.Н.

Буровые и взрывные работы на карьере: учеб. пособие / А.А. Якимов, Г.П. Сидорова; Забайкал. гос. ун-т. – Чита: ЗабГУ, 2013. – с.: ил

В учебном пособии рассмотрены основные вопросы производства буровых и взрывных работ в условиях открытых горных работ. Изложены данные касающиеся техники, технологии и безопасности процессов бурения и взрывания. Приведены методики выполнения основных технологических расчетов и курсового проектирования, а также необходимые справочные данные.

Учебное пособие предназначено для студентов специальностей 21.05.04 «Горное дело», 21.05.03 «Технология геологической разведки».

© Забайкальский государственный
университет, 2020

Содержание

Введение

1. Основные понятия и термины
2. Буровые работы на карьере
 - 2.1. Выбор способа бурения взрывных скважин
 - 2.2. Буровой инструмент для бурения взрывных скважин.
 - 2.3. Расчет производительности бурового оборудования
3. Общие сведения теории взрыва взрывчатых веществ
 - 3.1. Формы превращения взрывчатых веществ. Понятие детонации.
 - 3.2. Факторы, влияющие на скорость и устойчивость детонации.
 - 3.3. Баланс энергии при взрыве
 - 3.4. Расчет основных параметров взрыва ВВ
4. Промышленные взрывчатые вещества
 - 4.1. Классификация взрывчатых веществ
 - 4.2. Основные компоненты промышленных смесевых ВВ
 - 4.3. Основные рецептуры промышленных ВВ
 - 4.4. Основные требования к взрывчатым материалам
5. Способы и средства инициирования зарядов ВВ
 - 5.1. Иницирование зарядов ВВ детонирующим шнуром
 - 5.2. Иницирование зарядов ВВ волноводами низкой энергии
 - 5.3. Электрическое инициирование зарядов ВВ. расчет электровзрывных сетей.
 - 5.4. Электронные системы инициирования
 - 5.5. Основные требования безопасности при обращении с патронами-боевиками
6. Процессы разрушающего действия взрыва зарядов взрывчатых веществ
 - 6.1. Классификация зарядов ВВ
 - 6.2. Сферы действия взрыва заряда ВВ
 - 6.3. Процесс разрушения пород взрывом одиночного заряда
 - 6.4. Процесс разрушения пород при одновременном взрывании нескольких зарядов. Короткозамедленное взрывание
 - 6.5. Основные требования к результатам дробления массивов горных пород взрывом
7. Регулирование степени дробления пород взрывом. Дробление негабарита на карьере.
8. Методы ведения взрывных работ на карьерах
 - 8.1. Метод ведения взрывных работ шпуровыми зарядами
 - 8.2. Метод взрывания котловыми зарядами
 - 8.3. Метод взрывания скважинными зарядами
 - 8.4. Методы контурного взрывания

- 9. Схемы и средства механизации взрывных работ
- 10. Основы безопасности ведения взрывных работ на карьере
 - 10.1. Требования к персоналу взрывных работ
 - 10.2. Проектная документация буровзрывных работах
 - 10.3. Общие требования безопасности при ведении взрывных работ.
 - 10.4. Запретная и опасная зоны, сигнализация при взрывных работах.
 - 10.5. Требования безопасности при ликвидации отказавших зарядов
 - 10.6. Расчет безопасных расстояний при взрывных работах на карьере
 - 10.7. Расчет безопасных расстояний при хранении взрывчатых материалов
- 11. Методика курсового проектирования взрывных работ
 - Заключение
 - Список литературы

Введение

Буровзрывные работы, являясь первоначальным звеном открытой разработки месторождений, представленных скальными, полускальными и мерзлыми дисперсными породами, во многом определяют эффективность последующих процессов освоения месторождений.

Появление в IX веке первых эффективных взрывчатых веществ и средств взрывания в значительной степени способствовало интенсификации всего горного производства и увеличило его масштабы в тысячи раз. Последующее развитие науки и технологии определило использование энергии взрыва в самых разнообразных сферах деятельности человека – горном деле и строительстве, сельском и лесном хозяйстве, металлообработке, энергетике (взрывоманитные генераторы), получение новых веществ и т.д.

Наибольшие объемы взрывных работ приходятся на горное дело.

Разработанные на основе теории взрыва и разрушения горных пород новые методы и приемы ведения взрывных работ, взрывчатые вещества и средства взрывания позволили значительно повысить эффективность и безопасность взрывного дела, что, в свою очередь, определяет использование энергии взрыва как наиболее экономичного и энергоэффективного способа получения больших объемов раздробленной горной массы за относительно небольшой период времени. Однако, стоит отметить, что КПД взрыва на дробление породы все еще остается, по разным оценкам, на уровне 10...15%. Дальнейшие перспективы развития взрывного дела неразрывно связаны с решением задач повышения КПД взрыва, что позволит вести взрывные работы на качественно новом технологическом уровне.

В учебном пособии изложены краткие сведения, касающиеся основ теории взрыва, взрывчатых веществах и способах взрывания, особенностей разрушения горных пород взрывом, методов регулирования качества взорванной горной массы, а также методов и безопасности ведения взрывных работ на карьерах. Приведены примеры некоторых расчетов, выполняемых при проектировании взрывных работ. Дана ориентировочная методика курсового проектирования буровзрывных работ, выполняемого студентами ВУЗов профильных направлений подготовки.

1. Основные понятия и термины

Основная задача при ведении буровзрывных работ на карьерах состоит в эффективном разрушении массива горных пород в соответствии с требованиями Единых правил безопасности при взрывных работах, технологии ведения вскрышных и добычных работ - преимущественно заданными шириной развала и качества дробления взорванной массы, с минимальным воздействием на окружающую природную среду.

Буровзрывные работы (БВР) – совокупность технологических операций, выполняемых при буровых и взрывных работах. На горных предприятиях делятся на первичные, при которых производится отделение части породы от массива и ее дробление и вторичные, при которых производятся дробление негабарита, выравнивание неровностей подошвы уступов, ликвидации «заколов» и пр.

Буровые работы – совокупность технологических операций, включающая установку буровой машины (станка) на ось скважины, бурение ее на полную глубину, подъем бурового става и переезд к месту бурения следующей скважины.

Взрывные работы – совокупность технологических операций по подготовке и производству взрыва: составление проекта, доставка ВМ на заряжаемый блок, зарядка и забойка скважин, шпуров или камер с установкой в них детонаторов, монтаж взрывной сети (цепи) и ее инициирование.

Взрывание – процесс инициирования зарядов в заданной последовательности способами, обеспечивающими безопасность и эффективность выполнения этих работ.

Заряд ВВ – определенное количество ВВ, подготовленное к взрыву с введенным в него инициатором.

Персонал для взрывных работ – инженерно-технические работники, взрывники и вспомогательные рабочие, которые руководят подготовкой и организацией проведения взрыва, выполняют зарядку, забойку зарядов, монтаж и проверку взрывных сетей, охрану запретной и опасной зон, подачу сигналов, осматривают забой и обеспечивают приведение его в безопасное состояние, ликвидируют, в случае обнаружения, отказавшие заряды.

Скважина – искусственное цилиндрическое углубление в горной породе диаметром более 75 мм при глубине до 5 м и любого диаметра при глубине более 5 м.

Классификация горных пород по буримости и взрываемости

При бурении и взрывании эффективность разрушения горных пород определяется различными свойствами. Так, при бурении зона разрушения под лезвием инструмента имеет небольшие размеры (доли сантиметра) и зависит от микросвойств горных пород: твердости, прочности, абразивности, зернистости, вязкости и т.д. При взрывании на карьерах зарядами диаметром 100-300 мм зона разрушения имеет размеры от 3 до 10 м и эффективность дробления массива при этом зависит от макросвойств породы: прежде всего от трещиноватости массива, а также от прочности и разрушаемости при соударении отдельностей, слагающих массив, и их плотности.

Буримость - сопротивляемость горной породы разрушению при бурении, характеризуемая чистой скоростью бурения при стандартных условиях опыта.

Взрываемость - сопротивляемость горной породы разрушению при взрывании, характеризуемая расходом ВВ на 1 м³ массива, раздробленного до кусков определенной крупности, или на образование воронки выброса зарядом определенной формы.

Крепость горных пород - способность пород сопротивляться разрушению под действием внешних усилий (при бурении, взрывании, резании и пр.), характеризуемая чаще всего коэффициентом крепости.

Классификации горных пород имеют большое практическое значение при ведении горных работ с точки зрения выбора буровых машин, методов взрывных работ, определения норм выработки и расхода ВМ.

Классификации по буримости базируются, в основном, на чистой скорости бурения шпура при стандартных условиях опыта: тип бурильного молотка ПР-19 (ПР-22); давление сжатого воздуха – 4,5 кгс/см² (0,45 МПа); диаметр головки бура с крестовым лезвием – 42 мм; угол приострения лезвия - 90°; длина штанги – 1 м; глубина бурения – до 1 м.

Таблица 1.

Классификация пород по буримости

Группы пород по СНиП	Единая классификация горных пород по буримости		Классификация пород М.М. Протодяконова	
	класс	Скорость бурения, мм/мин	категория	Значение f
	1	31		
XI	2	40	I	20
	3	50		
X	4	60		
	5	75		
IX	6	90	II	15
	7	110	III	10
VIII	8	130	IIIa	8
	9	160	IV	6
	10	200	IVa	5
VII	11	250	V	4
	12	300	Va	3
VI	13	350	VI	2
V	14	400	VIa	1,5
	15	500	VII	1,0
III	-	-	VIII	0,8
II	-	-	IX	0,5
I	-	-	X	0,3

Классификации пород по взрываемости основаны на определении величины удельного расхода определенного ВВ при стандартных условиях взрывания. При этом в результате взрыва порода должна разрушаться на куски определенной крупности. МГГУ разработана общая классификация массивов пород по взрываемости для карьеров при стандартных условиях: высота уступа 12...15 м, угол откоса 65-70°, диаметр скважин 243...269 мм, ВВ - граммнит 79/21; схема взрывания МКЗВ с замедлениями по диагоналям, величина перебура 2 м, величина забойки 6 м. При взрыве должен быть обеспечен выход крупной фракции пород (свыше 1000 мм) близким к нулю.

Таблица 2.

Классификация пород по взрываемости

Категория по взрываемости	Расчетный удельный расход ВВ, кг/м ³	Расстояние между естественными трещинами в массиве, м	Содержание в массиве отдельных (%) размером		Предел прочности сжатия, Мпа	Категории пород по Единой шкале буримости
			>500 мм	> 1500 мм		
I	0,12-0,18	<0,10	0-2	0	10-30	V-VII
II	0,18-0,27	0,05-0,25	2-16	0	20-45	VII-X
III	0,27-0,38	0,20-0,50	10-52	0-1	30-65	IX-XII
IV	0,38-0,52	0,45-0,75	45-80	0-24	50-80	XI-XIII
V	0,52-0,68	0,70-1,00	75-98	2-15	70-120	XIII-XV
VI	0,68-0,88	0,95-1,25	96-100	10-30	110-160	XIV-XVI
VII	0,88-1,10	1,20-1,50	100	25-47	145-205	XIV-XVIII
VIII	1,10-1,37	1,45-1,70	100	43-63	195-250	XVII-XX
IX	1,37-1,68	1,65-1,90	100	58-78	235-300	XIX-XX
X	1,68-2,03	> 1,85	100	75-100	>285	XX

2. Буровые работы на карьере

Основные объемы взрывных работ на карьере выполняются с использованием скважинных зарядов. Бурение взрывных скважин является одним из наиболее трудоемких технологических процессов на карьерах.

Бурение осуществляется буровыми станками вращательного (шнекового), ударно-вращательного, шарошечного или термического бурения отечественного и зарубежного производства.

Выбор способа бурения, типа и типоразмера бурового станка, применительно к конкретным горно-геологическим условиям основывается на решении следующих задач:

- выбор рационального способа бурения;
- выбор рационального типа бурового инструмента;
- расчет эксплуатационных параметров буровых станков;
- расчет экономического эффекта, на основании которого выбирается рациональный тип станка.

2.1. Выбор способа бурения взрывных скважин

Для бурения скважин на карьерах наиболее распространенными способами бурения являются шарошечный, шнековый и ударно-вращательный. Выбор способа бурения осуществляется на основе физико-механических свойств пород по показателю трудности бурения.

Относительный показатель трудности бурения породы P_b рекомендуется принимать по формуле:

$$P_b = 0,07 \cdot (\sigma_{сж} + \sigma_{сдв}) + 0,7 \cdot \gamma, \quad (1)$$

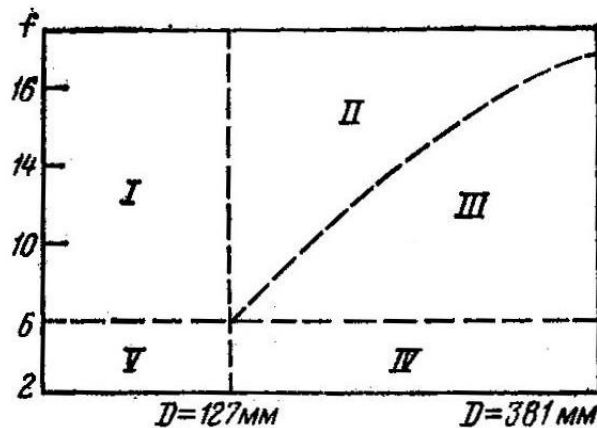
где $\sigma_{сж}$ – предел прочности на одноосное сжатие, МПа; $\sigma_{сдв}$ – предел прочности на сдвиг, МПа; γ – плотность породы, т/м³.

Горные породы при механических способах бурения в соответствии с величиной P_b подразделяется по буримости на 5 классов, в каждый из которых входят 5 категорий:

- 1 класс – легкобуримые ($P_6=1...5$);
- 2 класс – средней буримости ($P_6=5,1...10$);
- 3 класс – труднобуримые ($P_6=10,1...15$);
- 4 класс – весьма труднобуримые ($P_6=15,1...20$);
- 5 класс – исключительно труднобуримые ($P_6=20,1...25$).

Породы с показателем $P_6 > 25$ относятся к внекатегорийным.

Для определения типа необходимого инструмента можно использовать следующую диаграмму.



*I – перфораторы; II – погружные пневмударники;
 III – шарошечные долота или погружные пневмударники; IV – режущие коронки
 или шарошечные долота; V – режущие коронки*

Рис.1. Области применения различных типов инструмента в зависимости от коэффициента крепости породы f и диаметра долота D

Диаметр взрывной скважины рекомендуется определять по формуле:

$$D = \frac{(H_y \cdot ctg \alpha + c) \cdot \sqrt{\gamma}}{30 \cdot (3 - m)}, (м) \quad (2)$$

где H_y – высота уступа, м;

α – угол откоса уступа, град;

c – безопасное расстояние от скважины до бровки уступа, м;

γ – плотность породы, т/м³;

m – коэффициент сближения скважин.

Станки буровые шарошечные типа СБШ в настоящее время широко применяются на карьерах (до 80% от всего парка буровых станков) для бурения наклонных и вертикальных скважин диаметром 160-320 мм и глубиной до 32-60 м в породах с коэффициентом крепости $f=6...18$. При шарошечном бурении удары по породе наносятся вооружением шарошек (зубьями или штырями), которые свободно сидят на осях цапф долота. Зубья или штыри перекатываются по забою скважины при создании осевого усилия на долото, разрушение породы при этом происходит в результате сложного взаимодействия вооружения шарошек с породой – комбинацией удара, резания и смятия.

Как правило, эти станки являются тяжелыми и дорогостоящими. На базе шарошечных станков выпускаются станки комбинированного бурения, позволяющие бурить как режущими долотами, так и пневмоударником.



Рис. 2. Внешний вид станка СБШ-250-Д

К станкам ударно-вращательного бурения относятся станки с погружными пневмоударниками, у которых бурильная головка уходит в скважину при бурении, при этом сжатый воздух подается через

пустотелые штанги кударному механизму пневмоударника. Отработанный воздух отпневмоударника проходит к забою скважины и выносит разрушенную породу на поверхность.

Область применения этих станков – породы крепостью $f=10\dots18$. Этот вид бурения, обеспечивая разрушение породы в основном ударом, не требует большого осевого усилия на забой скважины, соответственно, крутящий момент, необходимый для вращения бурового снаряда, также незначителен; скорость бурения мало зависит от глубины скважины, так как ударный механизм с коронкой (долотом) погружается в скважину при бурении. Следует отметить, что производительность этих станков значительно ниже станков шарошечного бурения. Поэтому на карьерах станки с погружными пневмоударниками не нашли большого распространения (10% машинот всего парка бурового оборудования).



Рис. 3. Внешний вид станка пневмоударного бурения Atlas Copco Flexiroc d65

Станки вращательного бурения режущими долотами (шнековое бурение) применяются для сравнительно мягких пород с коэффициентом крепости $f < 6$. Шнековым называется вращательное бурение, при котором разрушенная на забое порода выдвигается на поверхность шнековой штангой. Этим методом бурят скважины

диаметрами 16...200 до 490 мм на глубину до 40 м в породах I—IV категорий по буримости.



Рис 4. Внешний вид станка СБР-160

Для карьеров производительностью по горной массе более 2...3 млн м³ в год рационально применение мощных станков шарошечного бурения скважин диаметром 250...320 мм, для средних карьеров производительностью 0,5...2,0 млн м³ рациональны станки для бурения скважин диаметром 200 мм, для малых карьеров станки пневмоударного и вращательного бурения с диаметром долота 105...160 мм, а также шарошечные станки для бурения скважин уменьшенного диаметра.

2.2. Буровой инструмент для бурения взрывных скважин

Шарошечные долота. Шарошечное долото представляет собой породоразрушающий инструмент, состоящий из корпуса и шарошек, свободно вращающихся на цапфах, которые, в свою очередь, через лапу долота соединяются с корпусом. Шарошка является исполнительной частью долота и представляет собой стальной корпус в виде конуса, на поверхности которого расположены зубья (штыри). Последние при перекачивании шарошек по забою скважины внедряются в породу под действием осевого усилия, прилагаемого к долоту. Разрушенную породу удаляют с забоя скважины сжатым воздухом или промывочным раствором. Верхняя часть

корпуса долота заканчивается конической резьбой, с помощью которой долото соединяется с буровой штангой. При вращении бурового става будут вращаться корпус долота и шарошки. При этом частота вращения каждой шарошки будет больше частоты вращения долота во столько раз, во сколько диаметр долота больше диаметра конуса основания шарошки.

Шарошки изготавливают из легированных малоуглеродистых цементуемых конструкционных сталей. Для увеличения твердости поверхность шарошек цементуют на глубину 1,5-2 мм, а затем закалывают до твердости HRC 57-62. После термической обработки беговые дорожки шлифуют, для того чтобы устранить деформации, возникающие в процессе закалки. Шарошки устанавливаются на цапфы долота на подшипниках скольжения или качения (роликовые или шариковые).

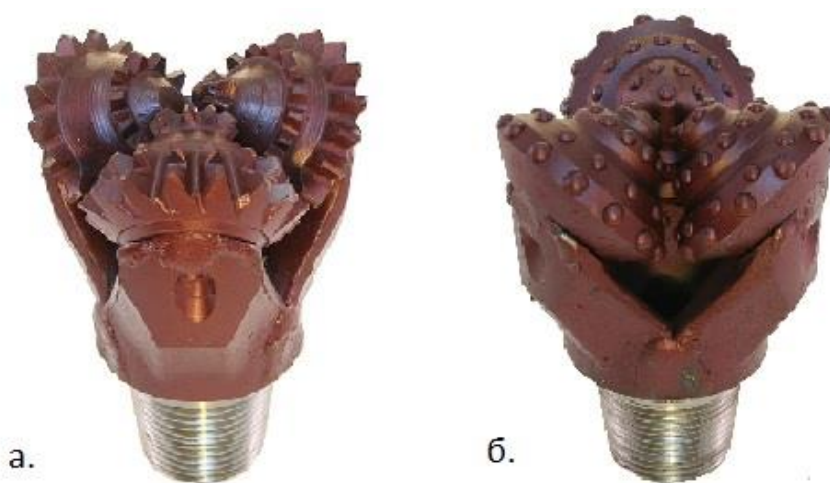


Рис. 5. Внешний вид шарошечных долот

а. Фрезерованное долото III 132 Т-ЦВ; б. Штыревое долото III 132 К-ЦВ

Долота классифицируют по числу шарошек. Известны одно-, двух-, трех-, четырех- и многошарошечные долота. Наиболее распространены на карьерах трехшарошечные долота. Они хорошо сочетают в себе достаточную динамичность работы, хорошую устойчивость на забое и механическую прочность опор. В соответствии с ГОСТ 20692-2003

«Долота шарошечные. Технические условия», промышленностью выпускается 13 типов трехшарошечных долот. Каждый тип долота предназначен для бурения пород с определенными свойствами (табл.1). В зависимости от условий применения выпускают зубчатые, зубчато-штыревые и штыревые долота. Зубчатые долота разрушают породы стальными зубьями, выфрезерованными в теле шарошек, штыревые долота штырями из твердого сплава, запрессованными и впаянными в тело шарошек. Зубчато-штыревые долота представляют собой комбинированный инструмент. Фрезерованные зубья имеют призматическую форму, а боковые грани их наплавляются твердым сплавом. Вставные штыри изготавливаются из металлокерамического твердого сплава и могут иметь клиновидную форму или полусферическую рабочую головку.

Таблица 3.

Шарошечные долота для взрывных скважин

Тип	Исполнение и условия применения	Коэффициент крепости
М	со стальными зубьями для бурения мягких пород	1-3
МЗ	с твердосплавными зубками для бурения мягких абразивных пород	5-10
МС	со стальными зубьями для бурения мягких пород с пропластками средней твердости	4-6
МСЗ	с твердосплавными зубками для бурения мягких абразивных пород с пропластками средней твердости	4-6
С	со стальными зубьями для бурения пород средней твердости	6
СЗ	с твердосплавными зубками для бурения абразивных пород средней твердости	4-6
СТ	со стальными зубьями для бурения пород средней твердости с пропластками твердых	4-6
Т	со стальными зубьями для бурения твердых пород	6-8
ТЗ	с твердосплавными зубками для бурения твердых	8-12

	абразивных пород	
ТК	со стальными зубьями и твердосплавными зубками для бурения твердых пород с пропластками крепких	8-10
ТКЗ	с твердосплавными зубками для бурения твердых абразивных пород с пропластками крепких	10-12
К	с твердосплавными зубками для бурения крепких пород	10-12
ОК	с твердосплавными зубками для бурения очень крепких пород	12-20

Долота для пневмоударного бурения. Долото для пневмоударников буровых станков представляет собой короткий стержень, который служит для передачи силового импульса от поршня-ударника к забою скважины. С одной стороны долото имеет хвостовик, с другой стороны - лезвия, которыми осуществляется разрушение забоя. Хвостовик имеет плоский торец, воспринимающий удары поршня-ударника. Кроме того, хвостовик входит в корпус пневмоударника и отделяет внутреннюю полость цилиндра ударника от атмосферы. Головная часть долота армируется пластинами или штырями твердого сплава.

Тип долота определяется числом и расположением лезвий. Различают однолезвийное долото, крестовое, с тремя боковыми лезвиями и центральным опережающим или отстающим лезвием. Наибольшее распространение получили долота с тремя боковыми лезвиями и центральным опережающим, а также Х-образные долота с отстающей центральной частью.

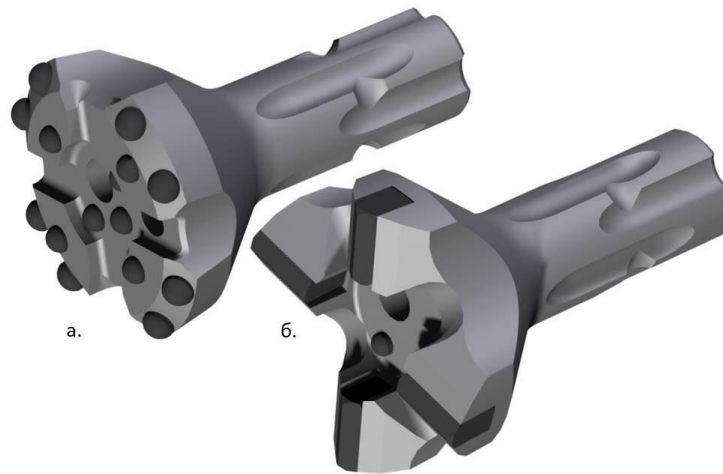


Рис. 6. Долота для пневмоударников
а. штыревого типа; б. лезвийного типа

Долота, армированные штырями с полусферической рабочей поверхностью, имеют значительно большую стойкость, чем долота, армированные пластинами.

Пневмоударники для открытых работ в обозначении имеют индекс П, цифра, стоящая за буквой, указывает на диаметр скважины в миллиметрах, а следующая за ними - ударную мощность пневмоударника в киловаттах (например, пневмоударник П-125-3,8). Для различных типов буровых станков могут применяться различные типы пневмоударников.

Материал корпус долота, армированного штырями, обычно подбирается таким образом, чтобы по мере износа штырей изнашивалась и рабочая поверхность долота, обнажая при этом штыри. Периодически головки штырей шлифуют для удаления микротрещин на их рабочих поверхностях.

Долота, армированные пластинами, обычно применяют при бурении вязких пород, штырями - при бурении хрупких пород.

Режущие долота. Буровой инструмент для шнекового бурения состоит из комплекта шнеков и породоразрушающего инструмента — долота. Порода разрушается долотами, конструкция которых зависит от

условий их использования. Применяют двух- и трехлопастные долота со ступенчатой режущей кромкой. Двух- и трехлопастные долота типа ДБШ со ступенчатой режущей кромкой армируют пластинчатыми резцами.

Шнек представляет собой трубу, к наружной поверхности которой по винтовой линии приварена стальная лента (реборда) толщиной 5—7 мм. Для бурения пород, содержащих твердые включения, используют утяжеленные шнеки с толщиной реборды 8—15 мм. Применяют шнеки длиной 1,5—3 м и диаметром до 200 мм. Шаг винтовой линии реборды принимают 0,7—0,9 диаметра шнека. Шнеки друг с другом с долотом соединяют с помощью резьбы или безрезьбового замка.

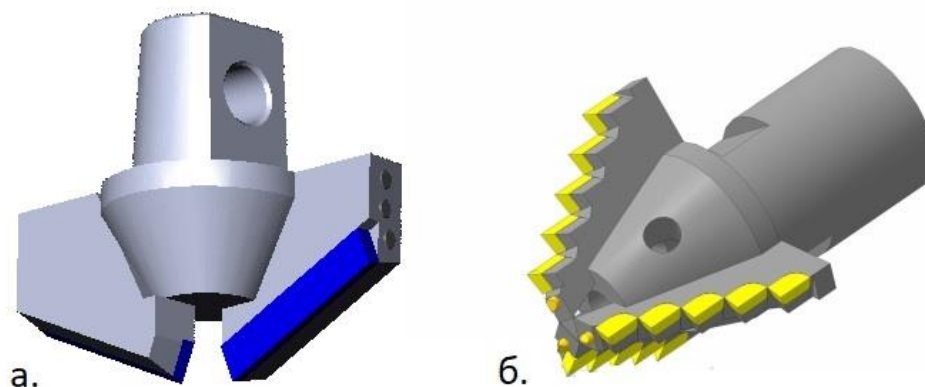


Рис. 7. Режущие долота

а. двухлопастное долото; б. трехлопастное долото.

2.3. Расчет производительности бурового оборудования.

Техническая скорость бурения станка определяется по формулам:

- для станков ударно-вращательного бурения типа СБУ

$$v_0^T = \frac{6 \cdot A \cdot n_{\text{п}}}{10^6 \cdot k_6 \cdot \Pi_6 \cdot d_{\text{п}}^2 \cdot k_{\phi}}, \text{ м/ч} \quad (3)$$

для станков шарошечного бурения типа СБШ

$$v_0^T = \frac{3 \cdot N_{\text{под}} \cdot n_{\text{в}}}{10^7 \cdot \Pi_6 \cdot D_1^2}, \text{ м/ч} \quad (4)$$

- для станков вращательного бурения резцовыми коронками типа СБР

$$v_0^T = \frac{N_{\text{под}} \cdot n_n}{4 \cdot 10^5 \cdot \Pi_0^2 \cdot D_K^2}, \text{ м/ч} (5)$$

где: A – энергия удара поршня, Дж;

n_n – число ударов поршня в минуту;

k_0 – коэффициент, зависящий от показателя буримости Π_0 , при $\Pi_0=10...14$ $k_0=1$, при $\Pi_0=15...17$ $k_0=1,05$, при $\Pi_0=18...25$ $k_0=1,1$;

d_n – диаметр буровой коронки пневмоударника, м;

k_ϕ – коэффициент, учитывающий форму буровой коронки (для трехперых коронок $k_\phi=1$, для крестовых $k_\phi=1,1$);

$N_{\text{под}}$ – усилие подачи, Н;

n_0 – частота вращения бурового става, мин^{-1} ;

D_l – диаметр скважины, м;

D_K – диаметр резцовой буровой коронки, м.

Сменная производительность бурового станка определяется по формуле:

$$V_{\text{см}} = \frac{60 \cdot T_c \cdot k_u}{\frac{1}{v_0^m} + t_0}, \text{ м/смену} (6)$$

где T_c – продолжительность смены, ч;

k_u – коэффициент использования станка по бурению в течение смены, принимают обычно в пределах $0,5...0,8$;

t_0 – удельные затраты времени на выполнение вспомогательных операций, для современных станков t_0 находится в пределах $1,5...2,5$ мин/м;

v_0^m – техническая скорость бурения станка, м/мин.

Среднегодовая производительность станка:

$$Q_0 = N_0 \cdot n_{\text{см}} \cdot V_{\text{см}}, \text{ м/год} (7)$$

где N_0 – число рабочих дней в году;

$n_{см}$ – число смен в сутки.

Годовая производительность станка по обуренной горной массе определяется по формуле:

$$Q_{Г}^{ГМ} = Q_{Г} \cdot B, \text{ м}^3/\text{год} \quad (8)$$

где B – среднегодовой выход горной массы с 1 м скважины:

$$B = 0.65 \cdot \frac{P}{q_n}, \text{ м}^3/\text{м} \quad (9)$$

P – вместимость 1 м скважины, кг/м;

q_n – расчетный удельный расход ВВ, кг/м³.

После определения сменной производительности станка и себестоимости бурения скважин можно определить следующие технико-экономические показатели работы машины.

Количество буримых метров скважин, необходимых для выполнения годового объема работ на карьере при выемке скальной горной массы:

$$L_{М} = \frac{Q}{B}, \text{ м} \quad (10)$$

где Q – заданная производительность карьера по скальной горной массе, м/год.

Количество буровых станков на карьере, необходимых для выполнения заданного годового объема:

$$n_{ст} = \frac{L_{М} \cdot \eta}{Q_{Г}}, \text{ шт} \quad (11)$$

где η – коэффициент потерь, определяющий количество метров скважин, которое не может быть использовано при взрывных работах, $\eta \approx 1,05$.

После выбора наиболее эффективного типа станка для заданных условий может быть составлен график организации буровых работ на данном предприятии. При составлении графика должны быть учтены все работы по бурению. График составляется в сменах или часах работы станка до операции замены долота (далее идет повторение операций);

время до замены долота определяется по его стойкости и производительности станка; подготовительно-заключительное время в рабочей смене может учитываться в начале и в конце смены: организационно-технические простои распределяются в течение всей смены.

3. Общие сведения теории взрыва взрывчатых веществ

Взрыв является достаточно распространенным явлением в человеческой деятельности – он может возникать при химической реакции горючих веществ, электрическом разряде, ядерных реакциях, в связи с чем взрывы разделяются на физические, химические и ядерные.

При физическом взрыве происходят только физические преобразования (увеличение давления и объема), без изменения химического состава вещества (взрыв парового котла, баллона со сжатым газом и т.п.)

При химическом взрыве протекают чрезвычайно быстрые химические реакции с образованием новых соединений и выделением большого количества тепла (до 3400...6000 кДж/кг) и газов (до 1000 л/кг). Это взрывы взрывчатых веществ, горючих газов, паров топлив, тонкодисперсной пыли твердых органических веществ и металлов.

При ядерном взрыве происходят цепные реакции деления тяжелых или слияния легких ядер с образованием новых элементов. При этом выделяется в миллионы раз больше тепла на единицу взрывающегося материала, чем при химическом или физическом взрыве.

Наибольшее применение в промышленности имеют химические взрывы, в частности, взрывы взрывчатых веществ.

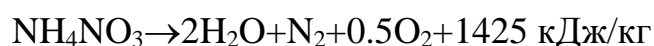
Взрывчатые вещества (ВВ) – это химические соединения или механические смеси определенных химических веществ, представляющие собой высококонцентрированный и экономичный

химический источник потенциальной энергии, способной выделиться без участия в реакции какого-либо другого вещества.

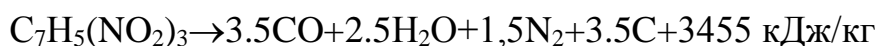
Взрывчатые вещества при реакции не расходуют кислород воздуха, а содержат его в связанном виде в своем составе, в основе процесса взрывчатого превращения лежат экзотермические внутри- и межмолекулярные окислительно-восстановительные реакции.

Энергия при взрыве ВВ выделяется в результате химической реакции окисления водорода в воду, углерода в оксид или диоксид углерода, металлов в их высший окисел.

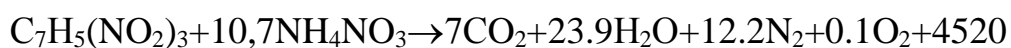
Избыток или недостаток кислорода в составе ВВ определяется значением кислородного баланса K_6 – отношением количества кислорода в составе ВВ к его количеству, необходимому для полного окисления горючих элементов. При положительном значении кислородного баланса, кислорода в составе ВВ в избытке, он выделяется в свободном виде, могут образовываться ядовитые окислы азота. Например, реакция разложения аммиачной селитры ($K_6=+20\%$):



При отрицательном значении кислородного баланса кислорода не хватает для полного окисления горючих элементов, выделяется окись углерода СО и чистый углерод в виде сажи. Например, реакция взрывчатого разложения тротила будет следующей ($K_6=-74\%$):



При нулевом кислородном балансе кислород расходуется полностью, при этом выделяется максимальное количество энергии. Обычно рецептуру ВВ подбирают таким образом, чтобы общий кислородный баланс смеси был равен нулю. Например, реакция разложения аммонита 6ЖВ, состоящего из 79% аммиачной селитры и 21% тротила:



кДж/кг

Высокая скорость распространения реакции взрыва (2...9 км/с), предопределяет чрезвычайно большую мощность этого явления. Механическая работа взрыва производится газообразными продуктами взрыва, первоначально сжатыми до давления порядка $10^6 \dots 10^{10}$ Па и имеющими температуру до 4500°C – расширяясь, сжатые газы уплотняют окружающую среду и вызывают в ней образование волн сжатия с резким перепадом на фронте волны.

3.1. Формы превращения взрывчатых веществ. Понятие детонации

Химическая реакция во взрывчатых веществах может проходить в нескольких формах.

1. *Термическое разложение.* Это медленный распад ВВ при нагреве ниже температуры вспышки. Обычно возникает при неблагоприятных условиях хранения ВВ и недостаточной химической стойкости, когда преобладает тепловыделение при реакции разложения ВВ над отводом тепла в окружающую среду, приводит к ускорению процесса и возникновением теплового взрыва.

2. *Горение* – это процесс экзотермического химического превращения вещества, происходящий на фронте возникающего пламени. Распространение горения, в данном случае, происходит за счет теплопередачи, скорость горения может варьироваться от сантиметров до метров в секунду. Горение может быть вызвано либо самовоспламенением ВВ в результате термического разложения, либо зажиганием.

3. Основной формой химического превращения ВВ является детонация. *Детонация* – это процесс химического превращения

взрывчатых веществ, сопровождающийся освобождением энергии и распространяющийся по веществу в виде волны со скоростью, превышающей скорость звука в данном веществе. У промышленных ВВ детонация, как правило, вызывается ударной волной, образующей передний фронт волны детонации. P_1, T_1, ρ_1

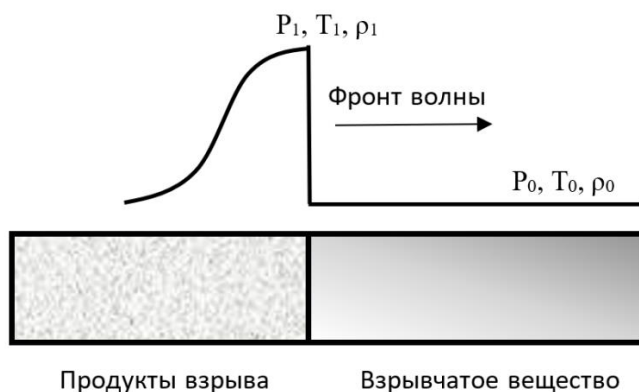


Рис. 8. Схема детонационной волны

Фронт детонации представляет собой сильную ударную волну, которая разрушает молекулы ВВ. Освободившись от первоначальных связей, нагретые до высокой температуры атомы горючих элементов и кислорода вступают в зоне за фронтом волны в бурную химическую реакцию с выделением тепла и превращением ВВ в газообразное состояние. Фронт детонационной волны движется со скоростью несколько километров в секунду. За фронтом ударной волны движется фронт расширения продуктов взрыва, а к центру (оси) заряда – фронт волны разрежения. Условия стабильности процесса детонации обеспечиваются наличием зоны не расширившихся газов.



Рис. 9. Схема прохождения детонации по заряду ВВ

Энергия, освобождающаяся в зоне химической реакции, непрерывно поддерживает высокое давление в ударной волне.

Детонация чувствительных инициирующих ВВ возбуждается простым механическим или тепловым импульсом (ударом, искрой, пламенем, трением и т.д.). Сила воздействия, необходимая для возбуждения детонации, зависит от химической природы взрывчатых веществ.

Кроме этого, от природы взрывчатых веществ, а также их состояния зависит и механизм протекания детонации. Как было ранее отмечено, плоский фронт детонационной волны, распространяясь по заряду, сжимает лежащие впереди слои ВВ, вызывая их химические превращения - такой механизм детонации называется гомогенным, он характерен для однородных мощных ВВ при скоростях детонации более 6-7 км/с, например, в гексогене, тетриле и т.п.

Промышленные ВВ являются физически и химически неоднородными системами, поэтому механизмы детонации,

Типичной для промышленных многокомпонентных ВВ схемой взрывчатого превращения является первоначальное разложение или газификация в детонационной волне исходных компонентов (первичные реакции) и последующее взаимодействие продуктов разложения между собой или с веществами, не претерпевшими на первой стадии

химических или физических превращений (вторичные реакции), химическая реакция в детонационной волне начинается и развивается в отдельных гранулах или частицах ВВ и завершается подобием вспышки.

В ходе вторичных реакций продукты разложения гранул разнородных веществ взаимодействуют между собой. При диаметрах скважин 150...200 мм гранулированные и водосодержащие ВВ детонируют с максимальной скоростью, а в шпурах скорость не достигает максимума, т.е. детонация идет не в оптимальном режиме.

Таким образом, происходит горение отдельных зерен, воспламенение которых может быть вызвано адиабатическим сжатием газовых включений в ВВ (механизм горячих точек) или сверхзвуковыми струями раскаленных газов взрыва, проникающих между частицами ВВ (пробойно-струйный механизм детонации).

Механизм горячих точек характерен для эмульсионных ВВ. Пузырьки в эмульсии, при воздействии начального импульса (детонационной волны), адиабатически сжимаются с повышением в них давления и температуры – газ в пузырьке сжимается, его объем уменьшается в 10 раз, а давление, сжимающее пузырьки, достигает 7...200 тыс.атм, при этом генерируется теплота с повышением температуры до 3-7 тыс.°С. Такие непрерывно происходящие в ВВ процессы, подпитывают детонацию, которая становится стабильной. Таким образом, сжатые пузырьки газа являются “горячими точками” для инициации химической реакции в эмульсионной основе.

В грубодисперсных ВВ распространение детонации по заряду ВВ объясняется пробойно-струйным механизмом возбуждения реакции. Суть его заключается в том, что струи газов из зоны реакции пробивают впереди лежащие слои непрореагировавшего ВВ перед фронтом детонации, вызывая опережающую газификацию гранул и улучшая

условия прохождения детонационной волны, наличие пор и воздушных включений при этом облегчает развитие процесса.

3.2. Факторы, влияющие на скорость и устойчивость детонации

На скорость и устойчивость детонации в заряде ВВ влияет ряд важных факторов, определяющих возможность прохождения детонационной волны в оптимальном режиме или отказов.

Следует отметить, что чем выше скорость детонации, тем сильнее разрушительное действие взрыва. Так, для ВВ, имеющих малую скорость детонации, характерно метательное действие и более крупное дробление.

Наиболее значимым фактором является *диаметр заряда*. Для каждого ВВ можно найти два характерных диаметра заряда: критический диаметр, при дальнейшем уменьшении которого детонация заряда ВВ становится неустойчивой; с увеличением диаметра заряда больше критического скорость детонации увеличивается до определенного значения диаметра, называемого предельным, при дальнейшем увеличении которого скорость детонации заряда не увеличивается.

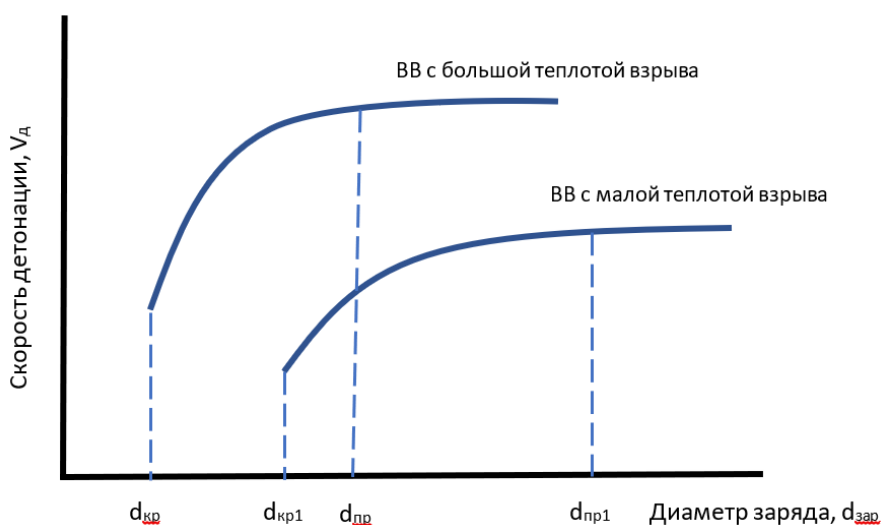


Рис.10. Зависимость скорости детонации от диаметра заряда

Оболочка, затрудняющая разлет продуктов взрыва, уменьшает критический диаметр заряда. Например, порошкообразная аммиачная селитра при взрыве в стеклянной трубке имеет критический диаметр 100 мм, а в стальной трубе с неразрушаемыми стенками уже 7 мм. Оболочка не оказывает заметного влияния на скорость детонации индивидуальных ВВ большой плотности, и, наоборот, сильно сказывается на скорости детонации зарядов средней плотности, а также смесевых ВВ. При небольшой плотности заряда устойчивость детонации оказывает влияние прочность оболочки – она позволяет снизить величину критического диаметра и достигнуть устойчивой детонации при меньших диаметрах. При диаметрах зарядов близких к предельным, скорости детонации открытых зарядов и зарядов в оболочках становятся примерно одинаковыми. Поэтому при применении ВВ в зарядах небольшого диаметра необходимо обеспечить тщательное заполнение полости шпура, чтобы последний выполнял роль оболочки, а также качественную забойку заряда. При взрывах зарядов большего диаметра эти факторы меньше влияют на устойчивость детонации.

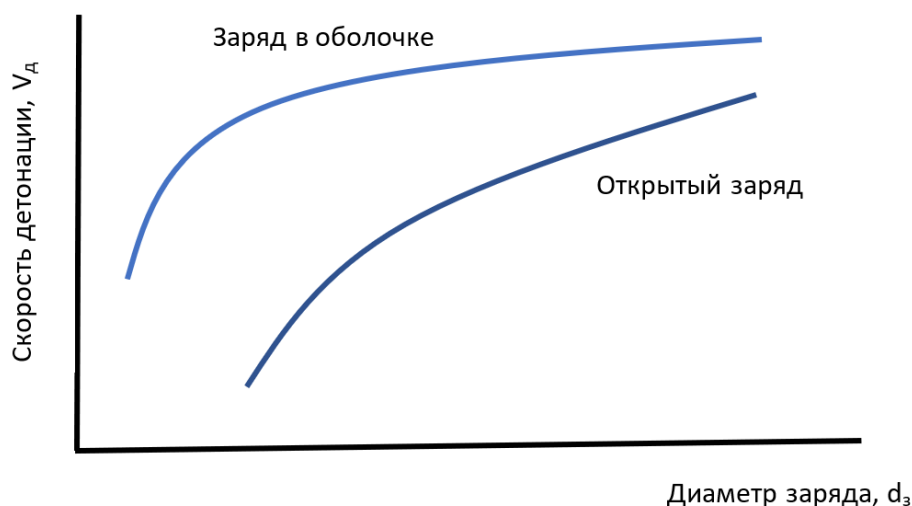


Рис. 11. Изменение скорости детонации заряда при увеличении его диаметра

Плотность заряда. Для индивидуальных ВВ скорость детонации увеличивается с увеличением плотности до максимальных значений.

Смесевые ВВ имеют критическую плотность 1,4-1,6 г/см³, при которой скорость детонации максимальна. При дальнейшем увеличении плотности детонация в заряде прекращается ввиду того, что при изменении плотности ВВ химическое превращение компонентов ВВ и химическое взаимодействие продуктов взрыва изменяются, и, как следствие, ухудшаются условия протекания химических реакций. Так при сильном уплотнении аммиачная селитра в аммонитах ведет себя как инертное вещество и, поглощая энергию, делает невозможным распространение детонации по заряду.

Дисперсность характеризует размер частиц ВВ и влияет на величину критического диаметра. Так, у тротила при дисперсности 0,01 мм критический диаметр составляет 9 мм, а при дисперсности 0,5 мм увеличивается до 28 мм, т.е. с уменьшением размера частиц растет чувствительность.

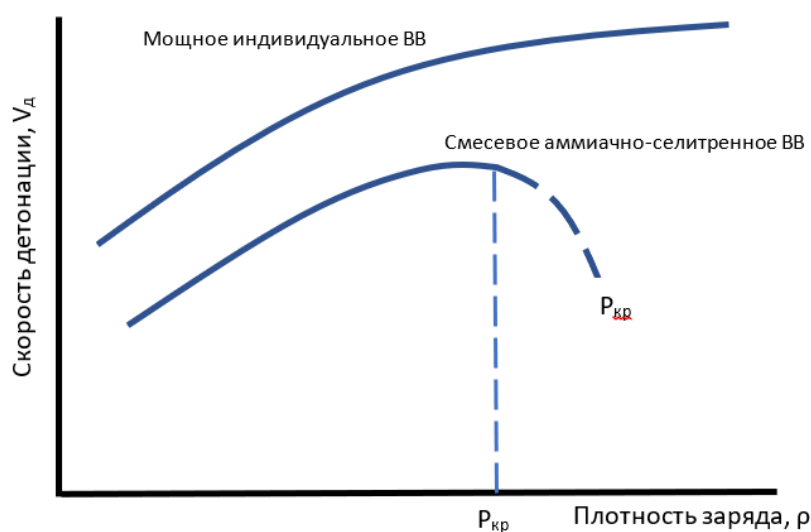


Рис. 12. Зависимость скорости детонации заряда от плотности

Тип и состав ВВ. С увеличением теплоты взрыва скорость детонации ВВ увеличивается, а критический диаметр уменьшается. Критический диаметр для смесевых ВВ зависит и от процентного соотношения компонентов.

Влияние мощности (скорости детонации) инициатора сказывается лишь на начальном участке развития детонации в 1-2 диаметра – она может быть выше или ниже характерной для данного диаметра заряда, а затем стабилизируется. Таким образом, для иницирования любого заряда необходимо иметь достаточно мощный точечный источник, который вызовет начальную детонацию в критической массе иницируемого заряда, способной своей энергией обеспечить самораспространение детонации всему заряду с характерной для него скоростью.

3.3. Баланс энергии при взрыве

Потенциальная энергия взрыва, способная выделиться (перейти в кинетическую форму) в результате детонации заряда ВВ, учитывается схемой баланса энергии при взрыве. Полной фактической тепловой энергией взрыва, называют потенциальную энергию ВВ, за вычетом химических потерь.

Полной фактической работой взрыва, называют полную фактическую тепловую энергию, за вычетом идеально тепловых потерь и потерь тепла на нагревание окружающей среды.

Полезной формой механической работы взрыва, называют полную фактическую работу взрыва, за вычетом бесполезных форм механической работы взрыва.

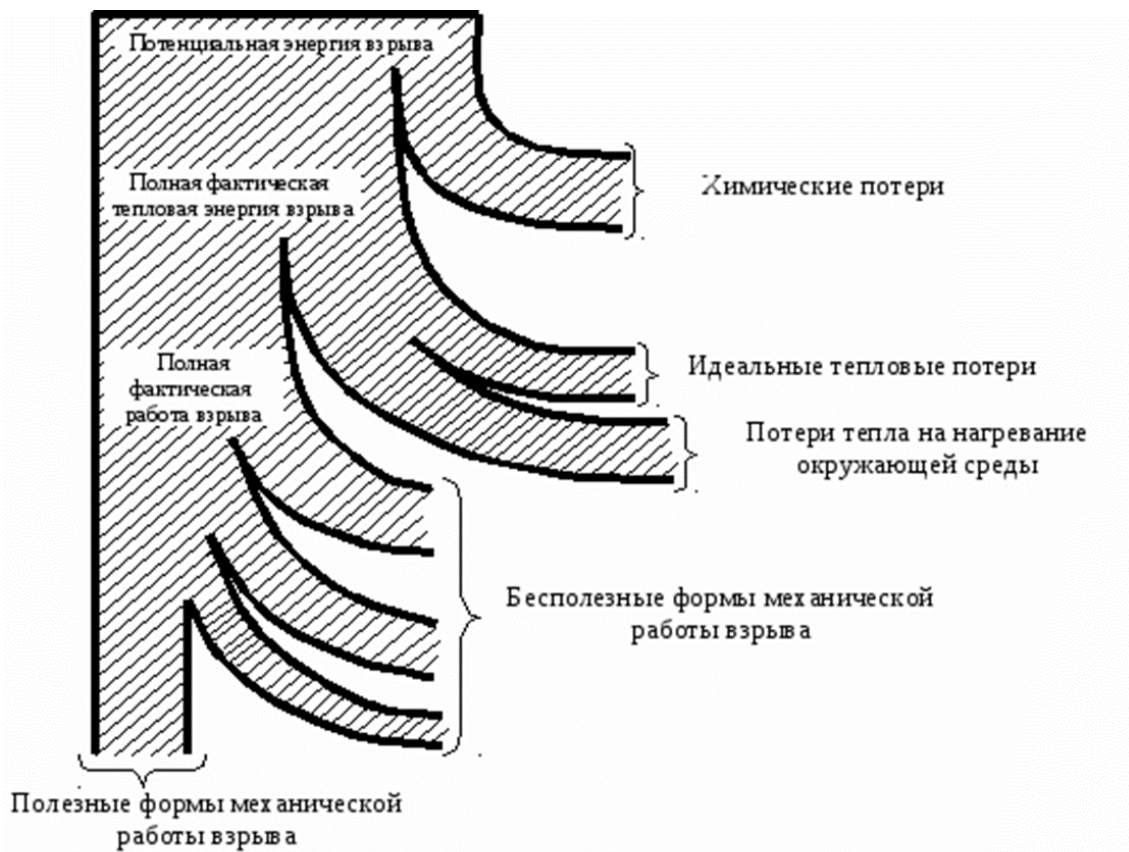


Рис.13. Баланс энергии при взрыве

После взрыва промежуточного детонатора в заряде, формируется ударная волна, распространяющаяся выше скорости звука равной 2800-5000 м/с. в зависимости от типа промышленных ВВ. Однако часть заряда ВВ, не успевает полностью детонировать и под действием газов взрыва, через забоечное пространство, выбрасывается наружу, и составляет химические потери.

В результате детонации промышленных ВВ выделяется большое количество тепла, часть его уходит вглубь массива, а другая - через забойку в окружающую среду. Потери тепла называют идеальными тепловыми потерями и потерями тепла на нагревание окружающей среды.

При разрушении массивов горных пород взрывом имеют место бесполезные формы механической работы взрыва связанные с избыточным переизмельчением породы, повышенным разбросом разрушенной горной массы и возникновением воздушных ударных волн

и сейсмических колебаний, а также других воздействий на окружающую среду.

Энергия, затраченная при взрыве на разрушение, перемещение горной массы, образование сейсмических и воздушных волн, нагревание породы и воздуха, характеризуют полную работу взрыва.

Работа взрыва совершается за счет теплоты, выделившейся при взрыве, поэтому общая энергия при взрыве равна:

$$E = E_y \cdot Q, \text{ кДж(12)}$$

где: E_y – удельная теплота взрыва, кДж/кг;

Q – масса заряда, кг.

Работу, произведенную взрывом по разрушению и перемещению массива породы, называют полезной работой взрыва $A_{п}$.

Полезная работа взрыва составляет часть полной энергии взрыва:

$$A_{п} = E \cdot \eta_{п}, \text{ кДж(13)}$$

где: $\eta_{п}$ – КПД взрыва.

Коэффициент полезного действия энергии взрыва на рыхление и на выброс по разным оценкам составляет, соответственно 10...20% и 3...6%.

3.4. Расчет основных параметров взрыва ВВ

Определение кислородного баланса ВВ:

Если ВВ записать в виде $C_aH_bN_cO_d$, то кислородный баланс находится:

$$K_{\text{б}} = \frac{16 \cdot [d - (2a + \frac{b}{2})]}{M_{\text{ВВ}}} \cdot 100, \% \quad (14)$$

где d , a , b – это количество атомов кислорода, углерода и водорода соответственно;

$M_{\text{ВВ}}$ – молекулярная масса ВВ.

Если ВВ смесевой, т.е. состоит из нескольких компонентов, то кислородный баланс можно определить по следующей формуле:

$$K_{60} = K_{61} \cdot P_1 + K_{62} \cdot P_2 + \dots + K_{6n} \cdot P_n, \% \quad (15)$$

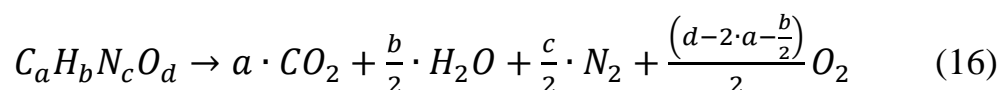
где K_{61}, K_{62}, K_{6n} – кислородный баланс компонентов ВВ, %.

P_1, P_2, P_n – содержание компонентов в составе ВВ, доли ед.

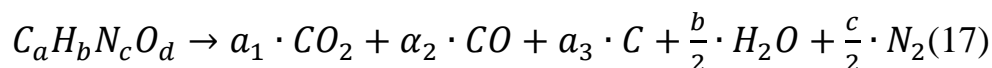
Составление реакций взрывного превращения:

Реакции взрывчатого превращения составляются на основе кислородного баланса, при этом пользуются следующими правилами.

При положительных и нулевом кислородном балансе, уравнение реакции имеет вид:



При отрицательном кислородном балансе уравнение реакции:



При этом, в зависимости от величины K_6 возможны 3 случая:

- часть углерода окисляется до CO_2 , другая до CO ;
- весь углерод окисляется до CO ;
- часть углерода окисляется до CO , другая выделяется в свободном виде C .

Для определения вида окислов находят коэффициент f :

$$f = d - (a + \frac{b}{2}) \quad (18)$$

Если $f > 0$, то $a_1 = f$; $a_2 = a - f$; $a_3 = 0$;

$f = 0$, то $a_1 = a_3 = 0$; $a_2 = a$;

$f < 0$, то $a_1 = 0$; $a_2 = a - |f|$; $a_3 = |f|$.

Расчет объема газов взрыва ВВ.

Объем газов взрыва определяется на основе закона Авогадро, т.е. один моль любого газа при нормальных условиях занимает объем 22,4 л. Отсюда объем газов составит:

$$V_0 = 0,00224 \cdot \sum n_i, \text{ м}^3/\text{моль} \quad (19)$$

где n_i – количество молей газообразных продуктов взрыва.

Удельный объём газов:

$$V'_0 = \frac{V_0 \cdot 1000}{m_1 M_1 + m_2 M_2 + \dots + m_n M_n}, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (20)$$

где m_n – количество молей компонентов ВВ;

M_n – молекулярная масса компонентов ВВ.

Расчет теплоты взрыва ВВ.

Температуру взрыва рассчитывают по закону Гесса, в соответствии с которым тепловой эффект реакций зависит только от начального и конечного состояния системы и не зависит от ее промежуточного состояния. Количество теплоты, получающееся при взрыве равно суммарной теплоте образования продуктов взрыва, за вычетом теплоты образования самого ВВ.

$$Q_T = Q_K - Q_H, \text{ кДж/моль} \quad (21)$$

где Q_K – теплота образования конечных продуктов взрыва, кДж/моль;

Q_H – теплота образования ВВ, кДж/моль.

$$Q_K = n_1 q_1 + n_2 q_2 + \dots + n_n q_n, \text{ кДж/моль} \quad (22)$$

где q_n – теплота образования продуктов взрыва, при этом необходимо учитывать, что теплота образования простых веществ (O_2 , N_2 , C и т.д.), $q_n=0$;

n_n – количество молей продукта взрыва.

$$Q_H = m_1 Q_1 + m_2 Q_2 + \dots + m_n Q_n, \text{ кДж/моль} \quad (23)$$

где Q_n – теплота образования компонентов ВВ, кДж/моль;

m_n – количество молей компонентов ВВ.

Полученное значение Q_T (теплоты взрыва при постоянной температуре) будет меньше теплоты взрыва при постоянном объеме на величину работы, расходуемой на расширение газов, поэтому, теплота взрыва при постоянном объеме (в момент взрыва), будет определяться:

$$Q_v = Q_T \cdot 2,391 \cdot \sum n_i, \text{ кДж/моль} \quad (24)$$

Удельная теплота взрыва:

$$Q'_v = \frac{Q_v \cdot 1000}{m_1 M_1 + m_2 M_2 + \dots + m_n M_n}, \text{ кДж/кг.} \quad (25)$$

Расчет температуры взрыва ВВ.

Температуру взрыва можно определить по формуле:

$$t = \frac{Q_v}{\sum n_i \cdot C_{vi}}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (26)$$

где C_{vi} – мольная теплоемкость, Дж/моль.

$$C_{vi} = C_{oi} + \Delta C_{oi} \cdot t_i, \text{ Дж/моль} \quad (27)$$

где C_{oi} – мольная теплоемкость при 0°C , Дж/моль;

ΔC_{oi} – приращение мольной теплоемкости при повышении температуры на 1°C , Дж/моль $\cdot^\circ\text{C}$.

Таблица 4

Значение мольной теплоемкости продуктов взрыва и ее приращение

Продукт взрыва	Мольная теплоемкость при 0°C C_{oi} , Дж/моль $\cdot^\circ\text{C}$	Приращение мольной теплоемкости ΔC_{oi} , Дж/моль $\cdot^\circ\text{C}$
Двухатомные газы ($\text{O}_2, \text{N}_2, \text{CO}$)	20,1	0,00188
Трехатомные (CO_2)	37,7	0,00243
Многоатомные газы	41,9	0,00188
Вода H_2O (пар)	16,76	0,009
Твердые продукты (С)	26,8	-

После подстановки формулы (24) в выражение (23), получим:

$$t = \frac{-\sum n_i \cdot C_{oi} + \sqrt{(\sum n_i \cdot C_{oi})^2 + 4 \cdot (\sum n_i \cdot \Delta C_{oi}) \cdot Q_v \cdot 1000}}{2 \cdot \sum n_i \cdot \Delta C_{oi}}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (28)$$

где: $\sum n_i \cdot C_{oi}$ – суммарная мольная теплоемкость всех газов при 0°C , кДж/моль

$$\sum n_i \cdot C_{oi} = n_1 \cdot C_{o1} + n_2 \cdot C_{o2} + \dots + n_i \cdot C_{oi} \quad (29)$$

$\sum n_i \cdot \Delta C_{oi}$ – суммарное приращение мольной теплоемкости при повышении температуры на 1°C , кДж/моль

$$\sum n_i \cdot \Delta C_{oi} = n_1 \cdot \Delta C_{o1} + n_2 \cdot \Delta C_{o2} + \dots + n_i \cdot \Delta C_{oi} \quad (30)$$

Определение давления продуктов взрыва ВВ.

Расчет давления газов взрыва можно произвести из выражения:

$$P = \frac{P_0 \cdot V_0' \cdot T \cdot \Delta_3}{(1 - \alpha \cdot \Delta_3) \cdot 273}, \text{ Па} \quad (31)$$

где P_0 – атмосферное давление, Па;

T – температура газов взрыва, К;

Δ_3 – плотность заряжания ВВ, кг/м³;

α – коволюм газов взрыва (собственный объем молекул).

Коволюм α составляет:

- при плотности заряжания $\Delta_3 > 1000$ кг/м³, $\alpha = 0,0006 \cdot V_0'$;

- при плотности заряжания $\Delta_3 \leq 1000$ кг/м³, $\alpha = 0,001 \cdot V_0'$.

Расчет скорости детонации ВВ.

Скорость детонации зависит от теплоты взрыва ВВ и его плотности и может быть определена по формуле:

$$D = \sqrt{2 \cdot (n^2 - 1)} \cdot Q_v', \text{ м/с} \quad (32)$$

где n – показатель политропы, зависящий от начальной плотности ВВ.

Однако, для конденсированных ВВ расчет скорости детонации по данной формуле дает завышенный результат. Для приближенной оценки скорости детонации ВВ используют выражение:

$$D = D_{\text{эт}} \sqrt{\frac{Q_v'}{Q_{\text{эт}}}}, \text{ м/с} \quad (33)$$

где $D_{\text{эт}}$ – скорость детонации эталонного ВВ при плотности заряжания $\Delta_3 = 1000$ кг/м³, м/с;

$Q_{\text{эт}}$ – теплота взрыва эталонного ВВ, кДж/кг.

Скорость детонации эталонного ВВ при других плотностях определяется:

$$D_{\text{эт}} = D'_{\text{эт}} + 3,5(\rho_0 - 1000), \text{ м/с} \quad (34)$$

где ρ_0 – плотность применяемого ВВ, кг/м³

$D'_{\text{эт}}$ – скорость детонации эталонного ВВ при плотности $\Delta_3 = 1000$ кг/м³/

4. Промышленные взрывчатые вещества

4.1. Классификация взрывчатых веществ

В настоящее время известно огромное число химических веществ, способных к реакциям взрывного разложения, их количество постоянно увеличивается. По своему составу, физико-химическим свойствам, по способности к возбуждению в них реакций взрыва и по ее распространению эти вещества существенно отличаются друг от друга. В связи с этим их объединяют в те или иные группы по различным признакам.

Классификация ВВ по применению.

Все ВВ по применению делятся на 3 группы:

- иницирующие;
- бризантные;
- метательные.

Иницирующие взрывчатые вещества (ИВВ) – это вещества, способные детонировать от действия простого начального импульса: искры, нагрева, удара, луча огня даже в очень малых количествах. Основная форма химического превращения ИВВ – детонация, горение таких веществ, как правило, сразу переходит во взрыв. Применяют в конструкциях систем инициирования для возбуждения детонации бризантных ВВ. Делятся на первичные и вторичные иницирующие ВВ.

Первичные иницирующие ВВ. Чрезвычайно чувствительны к простому начальному импульсу. Применяются только в конструкциях детонаторов в качестве первичного заряда. Основными представителями являются гремучая ртуть $\text{Hg}(\text{ONC})_2$, азид свинца $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$, тринитрорезорцинат свинца (ТНРС) $\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3\text{O}_2\text{Pb}$.

Вторичные иницирующие ВВ по сути являются мощными бризантными ВВ. Основными представителями являются следующие ВВ.

Тетрил $C_6H_2(NO_2)_3N(CH_3)NO_2$, применяется для снаряжения детонаторов в качестве вторичного заряда, является одним из самых мощных ВВ, загорается от огня, причем горение может перейти во взрыв.

Гексоген (циклотриметилентринитрамин) $(CH_2)_3N_3(NO_2)_3$. Применяют для изготовления детонаторов, детонирующих шнуров, волноводов, шашек, кумулятивных зарядов, а также входит в состав смесевых промышленных ВВ в качестве сенсibilизатора, является основой пластичных ВВ.

ТЭН (тетранитропентаэритрит) $(CH_2ONO_2)_4$ Мощное бризантное взрывчатое вещество, воспламеняется с трудом, в малых количествах сгорает спокойно с шипением. В чистом виде используется для снаряжения капсулей-детонаторов, детонирующих шнуров, волноводов. В сплаве с тротилом используют для изготовления шашек, кумулятивных зарядов. Также используют для изготовления пластичных и эластичных ВВ

Бризантные ВВ. Являются наиболее обширным классом взрывчатых веществ. Как правило, устойчивы к простым начальным импульсам. Детонация в бризантных ВВ возбуждается только действием взрыва инициирующих ВВ, приподжигании устойчиво горят. Для осуществления перехода горения в детонацию бризантных ВВ требуются специальные условия (прочные толстостенные стальные трубы) или большие количества ВВ. Имеют выраженное бризантное (дробящее) действие, применяют для дробления горных пород, строительных конструкций, металлоизделий, взрывов на выброс и т.д.

Основными представителями бризантных ВВ являются
- сложные эфиры азотной кислоты (нитраты): нитроглицерин – $C_3H_5(ONO_2)_3$; нитроцеллюлоза – $C_{24}H_{29}O_9(ONO_2)_{11}$.

- нитросоединения: тринитробензол $C_6H_3(NO_2)_3$; тринитротолуол (тротил) $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$.

- смесевые ВВ – это огромный ассортимент аммиачно-селитренных ВВ, а также пластичные и эластичные ВВ на основе мощных бризантных ВВ и высокомолекулярных соединений.

Метательные ВВ – преимущественно это пороха. Основная форма взрывчатого превращения – горение, могут детонировать при наличии мощного начальной импульса или горения в замкнутом объеме. Пороха подразделяются на две группы: механические смеси (черный или дымный порох) и бездымные пороха, состоящие из нитроклетчатки и в зависимости от растворителя подразделяющиеся на пироксилиновые, баллистные. Применяют в огнепроводных шнурах, в чистом виде при отбойке штучного камня, а также в качестве компонента смесевых ВВ, чаще всего из утилизируемых боеприпасов.

Классификация ВВ по характеру воздействия на окружающую среду.

- высокобризантные, скорость детонации более 4,5 км/с;
- бризантные, скорость детонации 3,5...4,5 км/с;
- низкобризантные, скорость детонации 2,0...3,5 км/с;
- метательные, со скоростью взрывного горения до 2 км/с.

Классификация ВВ по составу и химическому строению

По составу ВВ делятся на:

- индивидуальные взрывчатые вещества;
- смесевые взрывчатые вещества, которые в свою очередь могут

подразделяться на:

а) смеси невзрывчатых компонентов (черный порох и др.)

б) смесь взрывчатого компонента с невзрывчатой добавкой (алюмотол, игданит, пластичные ВВ и др):

в) смеси взрывчатых компонентов (аммониты, сплавы тротил+ТЭН и др.)

По химическому строению ВВ делятся на:

- взрывчатые вещества – эндотермические соединения, не содержащие кислород, при взрыве разлагаются на свои составные элементы. Обладают слабой молекулярной структурой и повышенной чувствительностью к начальному импульсу это, например, азид свинца;
- кислородосодержащие органические соединения, способные к внутримолекулярному окислению.

Классификация ВВ по физическому состоянию.

- порошкообразные (аммониты, детониты и т.д.);
- гранулированные (граммониты, гранулиты и т.д.);
- прессованные (тротилловые шашки Т-400 и т.д.);
- литые (литые шашки ТГ-500 и т.д.);
- водонаполненные и водосодержащие (гелеобразные, суспензионные и эмульсионные ВВ).

Классификация взрывчатых материалов по группам совместимости.

Федеральными нормами и правилами в области взрывных работ предписывается раздельное транспортирование взрывчатых материалов различных групп совместимости в пределах опасного производственного объекта. Исключение составляет случай, когда взрывчатые материалы группы совместимости N могут транспортироваться с взрывчатыми материалами группы совместимости S, а также средства инициирования группы совместимости S допускается транспортировать совместно со средствами инициирования группы совместимости B.

Таблица 5.

Классификация ВМ по группам совместимости

Группа совместимости (опасности)	Вещества, изделия
B	Изделия, содержащие инициирующие взрывчатые вещества, и имеющие менее двух независимых предохранительных устройств. Включаются также такие изделия, как капсулы-детонаторы, сборки детонаторов и капсулы, не содержащие инициирующего взрывчатого вещества
C	Метательные взрывчатые вещества и изделия (бездымный порох)
D	Взрывчатые вещества и изделия на их основе без средств инициирования и метательных зарядов; изделия, содержащие инициирующие взрывчатые вещества и имеющие два или более независимых предохранительных устройства
E	Изделия, содержащие взрывчатые вещества без средств инициирования, но с метательным зарядом (кроме содержащих легковоспламеняющуюся жидкость или гель или самовоспламеняющуюся жидкость)
F	Изделия, содержащие вторичные детонирующие взрывчатые вещества, средства инициирования и метательные заряды, или без метательных зарядов
G	Пиротехнические вещества и изделия, содержащие их
N	Изделия, содержащие взрывчатые вещества чрезвычайно низкой чувствительности
S	Вещества или изделия, упакованные или сконструированные так, что при случайном срабатывании любое опасное проявление ограничено самой упаковкой, а если тара разрушена огнем, то эффект взрыва или разбрасывания ограничен, что не препятствует проведению аварийных мер или тушению пожара в непосредственной близости от упаковки

В зависимости от условий применения в промышленности, взрывчатые вещества и материалы подразделяются на 8 классов, каждый класс имеет свою, строго регламентированную область применения, и имеет цветное отличительное обозначение, нанесенное на тару или патрон ВВ.

Таблицаб.

Классификация ВВ по условиям применения

Клас с ВВ	Группа ВВ	Вид ВВ и условия применения	Цвет отличительной полосы или оболочек патронов
I		Непредохранительные взрывчатые вещества для взрывания только на земной поверхности	Белый

II		Непредохранительные взрывчатые вещества для взрывания на земной поверхности и в забоях подземных выработок, в которых либо отсутствует выделение горючих газов или взрывчатой угольной пыли, либо применяется инертизация призабойного пространства, исключающая воспламенение взрывоопасной среды при взрывных работах	Красный
III		Предохранительные взрывчатые вещества для взрывания только по породе в забоях подземных выработок, в которых имеется выделение горючих газов, но отсутствует взрывчатая угольная (сланцевая) пыль	Синий
IV		Предохранительные взрывчатые веществ для взрывания; по углю и (или) породе или горючим сланцам в забоях подземных выработок, опасных по взрыву угольной (сланцевой) пыли при отсутствии выделения горючих газов; по углю и (или) породе в забоях подземных выработок, в которых имеется выделение горючих газов, кроме выработок с повышенным выделением горючих газов; для сотрясательного взрывания в забоях подземных выработок угольных шахт	Желтый
V		Предохранительные взрывчатые вещества для взрывания по углю и породе в выработках с повышенным выделением горючих газов, проводимых по угольном пласту, когда исключен контакт боковой поверхности шпурового заряда с газовой душной смесью, находящейся либо трещинах массива горных пород, либо в выработке	Желтый
VI		Предохранительные взрывчатые вещества для взрывания: по углю и (или) породе в выработках с повышенным выделением горючих газов, проводимых в условиях, когда возможен контакт боковой поверхности шпурового заряда с газо-воздушной смесью, находящейся либо в пересекающих шпур трещинах горного массива, либо в выработке; в угольных и смешанных забоях восстающих (более 10°) выработок, в которых выделяется горючий газ, при длине выработок более 20 м и проведении их без предварительно пробуренных скважин, обеспечивающих проветривание за счет общешахтной депрессии	Желтый
VII		Предохранительные взрывчатые вещества и изделия из предохранительных взрывчатых веществ V-VI классов для ведения специальных взрывных работ (водораспыление и распыление порошкообразных ингибиторов, взрывное перебивание деревянных стоек при посадке кровли, ликвидация зависания горной массы в утлеперепускных выработках, дробление негабаритов) в забоях подземных выработок, в которых возможно образование	Желтый

		взрывоопасной концентрации горючего газа и угольной пыли	
Специальные (С)		Непредохранительные и предохранительные взрывчатые вещества и изделия из них, предназначены для специальных взрывных работ, кроме забоев подземных выработок, в которых возможно образование взрывоопасной концентрации горючего газа и угольной (сланцевой) пыли).	
	1	Взрывные работы на земной поверхности: импульсная обработка металлов; инициирование скважинных и сосредоточенных зарядов; контурное взрывание для заоткоски уступов; разрушение мерзлых грунтов; дробление негабаритных кусков горной массы; сейсморазведочные работы в скважинах; создание заградительных полос при локализации лесных пожаров, другие специальные работы	Белый
	2	Взрывные работы в забоях подземных выработок, не опасных по газу и (или) угольной (сланцевой) пыли; взрывание сульфидных руд; дробление негабаритных кусков горной массы; контурное взрывание, другие специальные работы	Красный
	3	Прострелочно-взрывные работы в разведочных, нефтяных, газовых скважинах	Черный
	4	Взрывные работы в серных, нефтяных и других шахтах, опасных по взрыву серной пыли, водорода и паров тяжелых углеводородов	Зеленый

4.2. Основные компоненты промышленных смесевых ВВ

Смесевые ВВ состоят из двух или нескольких компонентов, каждый из которых несет определенную функцию.

Окислители – вещества, содержащие избыточный кислород, расходующийся при взрыве на окисление горючих компонентов. В качестве окислителя применяют селитры (аммиачную, калиевую, натриевую), перхлораты калия и аммония и т.д.

В основном для производства ВВ используется аммиачная селитра (АС), которая является слабым взрывчатым веществом, полностью газифицируется и имеет невысокую стоимость и неограниченную ресурсную базу (получение методом Габера).

Для изготовления водостойчивых аммиачно-селитренных ВВ выпускается водостойчивая аммиачная селитра марки ЖВ. При

высокой влажности воздуха аммиачная селитра слеживается, превращаясь в камнеобразную массу. Этого недостатка нет у гранулированной селитры.

Примеси к аммиачной селитре органических веществ (нефтепродукты, органическая мука) являются сенсбилизаторами и, даже в небольших количествах, значительно повышают восприимчивость к детонации и энергию взрыва аммиачной селитры.

Калиевая и натриевая селитры хотя и содержат кислорода больше чем в АС, однако, ввиду отсутствия взрывчатых свойств, также как и перхлораты, применяются лишь для уравнивания кислородного баланса.

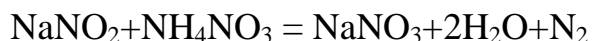
Горючие добавки – твердые или жидкие вещества, богатые углеродом и водородом или пудры легковоспламеняющихся и выделяющих при этом большое количество тепла металлов. Горючие добавки вводятся в состав ВВ для увеличения количества тепла, выделяемого при взрыве. Роль горючих добавок выполняют также взрывчатые компоненты, содержащие в своем составе недостаточное количество кислорода для полного окисления содержащихся в них горючих компонентов (тротил, гексоген и др.).

Из жидких горючих добавок применяется соляровое и минеральное масло. Твердые горючие добавки входят в состав ВВ в тонкоизмельченном виде, чтобы увеличить поверхность соприкосновения с селитрой (древесная мука, мука хлопкового жмыха и т.д.). В качестве металлической горючей добавки применяется алюминий в виде пудр и порошков, которые повышают теплоту взрыва за счет большого количества тепла, выделяемого при окислении алюминия, и повышает объемную концентрацию энергии ВВ благодаря увеличению плотности ВВ. Алюминий в составе ВВ можно заменить

недорогими ферросплавами, содержащими кремний, ферросилиций и силикокальций.

Сенсибилизаторы – вещества, вводимые в состав ВВ для повышения его чувствительности к восприятию и передаче детонации. Это, как правило, мощные ВВ (тротил, гексоген, нитроэфир: нитроглицерин, нитроглицоль и др.), чувствительные к инициатору, которые в смеси с малочувствительными (аммиачная селитра и т.п.) и с невзрывчатыми веществами (древесная или хлопковая мука, алюминиевая пудра и т.п.) обеспечивают нормальную чувствительность такого смесового ВВ к инициированию его капсулом-детонатором, детонирующим шнуром (ДШ) или промежуточным детонатором и одновременно повышают взрывчатые характеристики этого смесового ВВ. Роль сенсибилизатора могут выполнять и невзрывчатые вещества – алюминиевая пудра, соляровое масло, древесная мука, мелкодисперсный уголь.

В качестве сенсибилизаторов в современных эмульсионных ВВ применяют специальные газогенерирующие добавки (ГГД) для образования микропузырьков в матричной эмульсии и полые пористые стеклянные или пластмассовые микросферы диаметром до 0,1 мм, играющих роль т.н. «горячих точек». При использовании в качестве ГГД нитрида натрия образование микропузырьков азота при взаимодействии с раствором аммиачной селитры, входящей в состав эмульсии, происходит по следующей реакции:



Стабилизаторы вводят в состав ВВ для повышения их химической и физической стойкости. В качестве стабилизатора в аммонитах используют древесную муку, тальк также играющих роль горючих добавок и разрыхлителей, уменьшающих слеживаемость и повышающих стабильность свойств ВВ. В нитроэфирных ВВ

(содержащих нитроглицерин, нитрогликоль и др.) – мел, сода которые нейтрализуют «следы» кислот (азотной, сернистой), используемых при синтезе нитроэфиров. Кроме этого, введение нитрогликоля в состав ВВ, содержащих нитроглицерин, позволяет создать труднозамерзающие ВВ.

Пламегасители вводят в состав только предохранительных ВВ, применяемых для взрывных работ на шахтах и рудниках опасных по газу и пыли, для снижения температуры продуктов взрыва и уменьшения вероятности воспламенения метановоздушных и пылевоздушных смесей в шахтах и рудниках, опасных по газу и пыли. В качестве пламегасителей применяют хлористый натрий (NaCl), хлористый калий (KCl), хлористый аммоний (NH₄Cl). Пламегасители поглощают часть тепла, выделяющегося при взрыве, на свое нагревание и испарение (сублимацию), тем самым снижаются теплота взрыва и температура газообразных продуктов взрыва. Кроме того, пламегасители играют роль отрицательных катализаторов (ингибиторов), которые задерживают реакцию воспламенения метана горячими газами взрыва.

Загустители (пластификаторы) применяются в водосодержащих ВВ с целью получения заданной консистенции растворов аммиачной селитры. За счет увеличения вязкости раствора аммиачной селитры снижается степень расслоения ВВ и вытекание (вымывание) раствора селитры по трещинам из скважины. В качестве загустителей применяют гелеобразующие агенты – природные и синтетические полимеры: натриевую соль карбоксилметилцеллюлозы (КМЦ), полиакриламид, гуаргам и др. Для создания поперечных связей макромолекул загущающих полимеров в ВВВ применяются структурирующие добавки («сшивки»). Для этой цели используют сульфат хрома Cr₂(SO₄)₂·18H₂O, бихромат натрия Na₂Cr₂O₇, калиевые квасцы хрома KCr(SO₄)₂·12H₂O и др.

Эмульгаторы используются в современных эмульсионных ВВ. Представляют собой поверхностно-активные вещества, обеспечивающие стабильность матричной эмульсии в эмульсионных ВВ. В качестве эмульгаторов применяются эфиры сорбита и жирных кислот (стеариновой, олеиновой), эфиры глицерина, неорганические соли высших алкаминонов и полимерные соединения, обладающие эмульгирующими свойствами.

4.3. Основные рецептуры промышленных ВВ

Порошкообразные ВВ. Как правило, это патронированные ВВ заводского изготовления, неводоустойчивые, восприимчивы к первичным средствам инициирования (капсюль-детонатор).

Аммониты. Порошкообразные ВВ на основе аммиачной селитры и нитросоединений. Обычно состоят из 61...97% аммиачной селитры и 3...21% тротила. Предохранительные аммониты содержат до 20% пламегасителя. Для уменьшения слеживаемости добавляют разрыхляющие горючие добавки. Для увеличения восприимчивости к детонации могут содержать до 15% ТЭНа, гексогена, нитроэфиров, нитрометана. Примеры рецептур аммонитов: аммонит скальный №1 (АС – 66%, тротил – 5%, гексоген – 24%, АІ– 5%), применяется для разрушения крепких и особо крепких горных пород; аммонит №6ЖВ – эталонное ВВ(АС – 79%, тротил – 21%).



Рис. 14. Патронированный аммонит 6ЖВ

Аммоналы. Порошкообразные смеси, содержащие 66...80.5% АС, мелкодисперсный алюминий в количестве 4.5...10%, повышающий теплоту взрыва и фугасное действие. Чувствительны к огню. Например, аммонал М-10 предназначен для разрушения крепких пород, состав: АС – 76%, тротил – 14%; пудра алюминиевая – 10%.



Рис. 15. Патроны аммонала скального

Детониты. Мощные порошкообразные аммиачно-селитренные ВВ, содержащие 6...15% нитроглицерина и других нитроэфиров, водоустойчивы. Например, детонит М (патронированный) предназначен для взрывных работ на открытых участках и в шахтах, неопасных по газу и пыли, состав: АС водоустойчивая – 78%; нитроэфиры – 10%; пудра алюминиевая – 10,7%; стеарат кальция – 1%; хлопок коллоидный – 0,3%; сода – 0,2%; масло минеральное – 0,2%.

Динамоны. Простейшие порошкообразные патронированные взрывчатые вещества, смеси тонкодисперсной аммиачной селитры с легко окисляющимися горючими добавками (древесная мука, торф, сажа, мазут и т.п.). Чувствительны к огню, неводоустойчивы.

Углениты. Предохранительные взрывчатые вещества. В состав угленитов входят: жидкие нитроэфиры, окислители, горючие добавки (хлористый аммоний, карбамид и т. п.) и пламегасители (хлориды калия

Гранулированные ВВ. Имеют хорошую сыпучесть, слабо пылят, не слеживаются, от порошкообразных ВВ они отличаются меньшей чувствительностью к механическим воздействиям, пламени и начальному импульсу. Гранулированные ВВ на основе аммиачной

селитры в основном неводоустойчивы. Для инициирования требуется как правило промежуточный детонатор (патроны ВВ, шашки).

Гранулотол. Гранулированный или чешуированный тротил. ВВ средней мощности, не растворим в воде, имеет высокую химическую стойкость. При попадании в тротил песка или других твердых примесей резко возрастает его чувствительность к механическим воздействиям, что необходимо учитывать при зарядании скважин. Токсичен, особенно в тонкоизмельченном состоянии.

Алюмотол. Мощное и дорогое ВВ, гранулированный сплав 85% тротила и 15% алюминиевой пудры. Абсолютно водоустойчив, обладает стабильными взрывчатыми свойствами. Предназначен для применения в обводненных скважинах в наиболее крепких породах.



Рис. 16. Внешний вид гранулотола

Следует отметить, что при взрывании в больших количествах гранулотола или алюмотола наблюдается явление вторичных взрывов, когда через некоторый промежуток времени после взрыва в массе взорванной породы происходит сильный хлопок, который иногда сопровождается выбросом пламени, что объясняется вспышкой горючих газов (окись углерода, метан и др.), образовавшихся при взрыве и достигших в смеси с воздухом взрывоопасной концентрации. При этом, горение газов, выходящих из взорванной горной массы, может продолжаться несколько часов.

Граммониты. Смесью гранул или чешуек тротила и аммиачной селитры. Выпускается несколько рецептур граммонитов, различающихся содержанием компонентов.

Граммонит 79/21 (79% АС и 21% тротила), идентичен по составу с аммонитом 6ЖВ. Имеет нулевой кислородный баланс и наибольшую теплоту взрыва среди граммонитов. Не водоустойчив. Граммонит 79/21 ГС состоит из гранул аммиачной селитры с напыленным на поверхность слоем тротила, придающим ему некоторую водоустойчивость.



Рис. 17. Граммонит 79/21

Граммонит 50/50 (50% АС и 50% тротила), предназначен для производства взрывных работ при ручном и механизированном зарядании сухих и обводненных непроточных скважин.

Граммонит 30/70 (30% АС и 70% тротила) пригоден для зарядания скважин с непроточной водой - после зарядания в обводненную скважину образуется суспензия гранулозола в растворе селитры, что увеличивает плотность зарядания до $1,30...1,35 \text{ г/см}^3$ и скорость детонации. Однако, следует отметить, что при длительном зарядании блока граммонитом 50/50 и 30/70 (3...5 сут) в обводненных скважинах остается один тротил – забойка опускается вслед за зарядом и происходит разрыв взрывной сети, с последующим отказом.

Гранулиты.Простейшие ВВ заводского изготовления, состоящие из гранулированной аммиачной селитры, омасленной соляровым маслом и опудренной твердой мелкодисперсной горючей добавкой. Имеют низкую чувствительность к механическим воздействиям, невысокая водоустойчивость гранулитов не позволяет использовать их в обводненных скважинах. По мощности сопоставимы с тротилсодержащими ВВ.Гранулиты АС-4 и АС-8 с добавкой алюминиевой пудры пригодны для взрывания крепких пород в сухих и влажных забоях (без воды). Гранулит АС-М используется при взрывании пород ниже средней и средней крепости в сухих забоях.

Игданит.Бинарная стехиометрическая смесь гранулированной аммиачной селитры и солярового масла (около 5%), изготавливаемая,как правило, в смесительно-зарядных машинах. Относится к ВВ невысокой мощности и предназначен для взрывания сухих пород малой и средней крепости. При содержании дизельного топлива в игданите более 6 % резко снижается чувствительность его к детонации, и он не взрывается. Игданиты безопасны в обращении, имеют низкую себестоимость, однако, при длительном зарядании, происходит частичная потеря взрывчатых свойств из-за плохого удержания солярового масла гладкими гранулами селитры и расслоения заряда.

*Водосодержащие ВВ.*В составе этих ВВ находится вода в виде концентрированного раствора аммиачной селитры, который с помощью загустителя превращается в гелеобразное состояние и становится водоустойчивым. Делятся на составы заводского изготовления и составы, которые готовятся на предприятиях из исходных компонентов. Консистенция ВВ колеблется от масс типа жидкого цементного раствора до пластичных.Заполнение скважин происходит с помощью зарядных машин. Требуют промежуточного детонатора. Имеют высокие плотность зарядания, скорость детонации, мощность, низкую

чувствительность к внешним воздействиям, водоустойчивы. Однако, наряду с этим водосодержащие ВВ имеют высокую стоимость и замерзают при температуре минус 13...15°C, реже – до минус 30°C

Акваналы. Водонаполненное горячельющееся ВВ, обычно состоит из загущённого концентрированного раствора аммиачной селитры, тротила и порошкообразного алюминия. Плотность до 1,75 г/см³, теплота взрыва до 6,1 МДж/кг. По консистенции представляют собой подвижную массу или пластичный студень.

Акватолы. Представляют собой текучую медообразную смесь граммонита в загущенном водном растворе аммиачной селитры. Наиболее известный – акватол Т20, содержащий около 20% гранулозола и 20% воды. Плохо восприимчивы к детонации. Для подрыва требуют промежуточный детонатор массой 1...1,5 кг.

Карботол. Горячельющийся суспензионный состав – расплав аммиачной селитры, тротила и карбамида, после охлаждения в скважине затвердевает. Имеет высокую плотность заряжения, водоустойчивость в скважине с непроточной водой до 30 суток. К месту взрывных работ их поставляют и заряжают в скважины с помощью смесительно-зарядной машины под столб воды в скважину. Применяют в крепких и весьма крепких породах.

Эмульсионные ВВ. Современные, перспективные ВВ, состоят из водного раствора аммиачной селитры и жидкого нефтепродукта 3..7%. Для изготовления ВВ, раствор окислителя, нагретый до 60...90°C, диспергируют и эмульгируют добавкой небольшого количества эмульгатора в жидком нефтепродукте, в результате чего, каждая капелька раствора покрывается тонкой пленкой масла, предохраняющей от контакта с водой при заряжении в обводненные скважины. Охлажденное ВВ сохраняет пластичность при отрицательных температурах. Для повышения энергии взрыва в состав добавляют

твердое горючее: серу, алюминиевый порошок. Для инициирования эмульсионных ВВ необходим промежуточный детонатор. Имеют низкую чувствительность к механическим и тепловым воздействиям, отличную водоустойчивость, отсутствие пыления, возможность полной механизации процесса заряжания скважин и низкую стоимость. Выпускаются, как правило, на стационарных пунктах предприятия в патронированном виде или для снаряжения смесительно-зарядных машин.



Рис. 18. Эмульсионное ВВ

Порэмлит. Эмульсионное ВВ, изготавливаемое на стационарных пунктах. Состоит из эмульсии и газогенерирующей добавки. В состав эмульсии входит селитра аммиачная, селитра натриевая, нефтепродукты и вода.

Эмуласт. Предназначен для разрушения пород любой крепости, в том числе сульфидсодержащих. Как правило, выпускается на стационарных пунктах и заводах в виде патронов для ручного заряжания.



Рис. 19. Патроны эмуласта МФП-90

Гранэмиты (эмуланы). Являются смесью порэмитов с аммиачной селитрой или АС-ДТ. Изготавливают гранэмиты в смесительно-зарядных машинах смешением игданита с эмульсией порэмита (при температуре последней не ниже 65° С) непосредственно на месте зарядания скважин.

Эмульсолиты. Предназначен для производства взрывных работ при механизированном зарядании сухих и обводненных скважин в породах, не содержащих сульфиды. Производится на стационарных пунктах с загрузкой в смесительно-зарядные машины или в виде патронов.

Нитрониты. Капсюлечувствительные патронированные взрывчатые вещества предназначены для использования при взрывных работах в качестве патронов-боевиков для инициирования скважинных и шпуровых зарядов промышленных ВВ. Также могут использоваться в качестве накладных зарядов для дробления негабаритов, а также для формирования мощных водоустойчивых зарядов ВВ.



Рис. 20. Патроны нитронита П.

Сибириты. Предназначаются для зарядания механизированным способом взрывных скважин пород любой крепости и степени обводненности при производстве массовых взрывов в карьерах,

изготавливаются в смесительно-зарядных машинах типа МСЗ, а также в патронированном виде (сибирит ПСМ-7500).

4.4. Основные требования к взрывчатым материалам

При поступлении взрывчатых материалов на склад ВМ они должны подвергаться входному контролю согласно документации на соответствующий вид ВМ.

Все взрывчатые материалы должны подвергаться испытаниям при возникновении сомнений в доброкачественности и перед истечением гарантийного срока, если такая возможность продления гарантийного срока предусмотрена документацией на соответствующие взрывчатые материалы.

Запрещается применять и хранить взрывчатые материалы с истекшим гарантийным сроком, не прошедшие процедуру продления срока.

При обращении с взрывчатыми материалами должны соблюдаться меры предосторожности, предусмотренные инструкциями (руководствами) по их применению, меры безопасности и противопожарной безопасности.

Основные требования к уничтожению взрывчатых материалов.

О каждом уничтожении взрывчатых материалов необходимо составлять акт в двух экземплярах с указанием количества и наименования уничтоженных взрывчатых материалов, причин и способа уничтожения.

Уничтожение взрывчатых материалов целей необходимо производить на оборудованных полигонах расположенных на безопасном расстоянии до склада ВМ и иных объектов. Допускается проводить уничтожение взрывчатых материалов на подготовленных

площадках нерабочих уступов карьеров. При уничтожении ВМ должна быть определена опасная зона.

Уничтожение взрывчатых материалов должно выполняться взрывниками под контролем руководителя взрывных работ.

Уничтожение взрывчатых материалов *взрыванием* необходимо проводить при помощи доброкачественных взрывчатых материалов: патронированные взрывчатые вещества подлежат уничтожению пачками, а детонаторы, детонирующие шнуры и пиротехнические реле - в любой упаковке способами, исключающими разброс невзорвавшихся изделий.

Уничтожению *сжиганием* подлежат взрывчатые материалы, не поддающиеся взрыванию. Запрещается уничтожать сжиганием детонаторы и изделия с ними. Сжигание взрывчатых материалов разрешается проводить только в сухую погоду в количествах, установленных руководством (инструкцией) по применению. Взрывчатые вещества, огнепроводные шнуры и детонирующие шнуры необходимо сжигать отдельно, причем на костре разрешается сжигать за один прием не более 20 кг. Патроны взрывчатых веществ при сжигании необходимо раскладывать в один слой так, чтобы они не соприкасались. Запрещается сжигать взрывчатые материалы в их таре. Перед сжиганием взрывчатых веществ необходимо убедиться в отсутствии в них средств инициирования. Поджигание костра с взрывчатыми материалами должно проводиться только после окончания всех подготовительных работ и вывода людей в безопасное место. Запрещается подход к месту сжигания до полного прекращения горения костра с взрывчатыми материалами.

Растворением в воде разрешается уничтожать только неводоустойчивые взрывчатые вещества на основе аммиачной селитры,

не содержащие нитроэфира и гексогена. Растворение допускается проводить в бочках и иных аналогичных сосудах, при этом не допускается загрязнение окружающей среды. Нерастворимый осадок должен собираться и уничтожаться сжиганием.

По окончании уничтожения взрывчатых материалов персонал, выполнявший работы, обязан убедиться в полном уничтожении изделий с взрывчатыми веществами. Освободившаяся тара должна быть тщательно очищена от остатков взрывчатых веществ. непригодная к использованию тара и тара со следами экссудата должна быть уничтожена сжиганием отдельно от взрывчатых материалов.

5. Способы и средства инициирования зарядов ВВ

Импульс, необходимый для возбуждения взрыва заряда промышленного ВВ, сообщается ему взрывом заряда, инициирующего ВВ, размещенного в капсуле-детонаторе (КД), электродетонаторе (ЭД) или через более мощный промежуточный детонатор (патрон ВВ или шашку)

Детонация инициирующих ВВ возбуждается тепловым импульсом.

Процесс возбуждения детонации промышленных ВВ от внешнего начального импульса называется инициированием.

Средствами инициирования называют совокупность принадлежностей для инициирования зарядов промышленных ВВ.

Способ взрывания – совокупность приёмов взрывания зарядов ВВ в заданной последовательности и в заданный момент времени с использованием средств, обеспечивающих безопасность взрыва.

Способы инициирования зарядов ВВ можно классифицировать.

1. Способы неэлектрического инициирования зарядов ВВ:

- огневое инициирование зарядов ВВ;

- инициирование зарядов детонирующим шнуром (бескапсюльное);
- с использованием низконергетических волноводов;
- лазерное инициирование зарядов ВВ.

2. Способы электрического инициирования зарядов ВВ:

- с использованием электродетонаторов с пиротехническим замедлением;
- с использованием электродетонаторов с электронным замедлением.

Огневое (электроогневое) инициирование зарядов ВВ.

В настоящее время применение огневого и электроогневого способа инициирования запрещено, за исключением взрывных работ по ликвидации ледовых заторов и дроблению горячих массивов. В связи с чем огневое инициирование зарядов в рамках данного пособия не рассматривается.

5.1. Иницирование зарядов ВВ детонирующим шнуром

Является распространенным способом инициирования зарядов ВВ на карьерах.

Достоинствами способа являются:

- уменьшение опасности выполнения работ по заряданию,
- уменьшение опасности работ по ликвидации отказов,
- простота выполнения работ по взрыванию.

Недостатки способа:

- невозможность контроля приборами исправности сети перед взрывом,
- возможность отказов от подбоя поверхностной сети.

Средства инициирования: детонирующий шнур (ДШ), пиротехнические реле (РП).

Детонирующий шнур предназначен для передачи детонации от детонатора к заряду ВВ или от заряда к заряду на требуемые расстояния со скоростью около 6,5 км/с.



Рис. 21. Детонирующий шнур ДШВ

Сердцевину ДША изготавливают из ТЭНа или гексогена, покрывают оплетками из льняных и хлопчатобумажных ниток. Для придания водоустойчивости на наружные оплетки ДШ наносят воск или озокерит, в белые нити внешней оплетки добавляют две красные для внешнего выделения шнура (ДША). Шнур ДШВ для подводных работ дополнительно покрывают полихлорвиниловой оболочкой, а ДШЭ – кабельным полиэтиленом.

Навеска ВВ в 1 м стандартного детонирующего шнура составляет 12-13 г, шнур выпускается в бухтах по 50 м, диаметр шнура 5-6 мм. Также выпускают детонирующие шнуры малой мощности ДШН-6 с навеской ВВ 6 г/м для монтажа поверхностных сетей.

Пиротехническое реле используют для реализации короткозамедленного взрывания зарядов ВВ в сетях детонирующего шнура. Монтируются в разрывы сети ДШ между зарядами или группами зарядов.

Реле состоит из соединительной трубки, в которую с обеих сторон вставлены нитки детонирующего шнура: одна предназначена для передачи детонации от первоисточника инициирования, другая — для восприятия импульса миллисекундного замедления. Между отрезками

ДШ находится замедляющий состав, после сгорания которой взрываются первичные и вторичные заряды, инициируя ДШ. Замедляющий узел детонационного реле двухстороннего действия состоит из двух последовательно соединенных детонаторов, так что ударная волна от первого детонатора направляется в замедляющий элемент, встроенный во второй детонатор.

Реле включается в магистральную линию в разрыв сети ДШ.

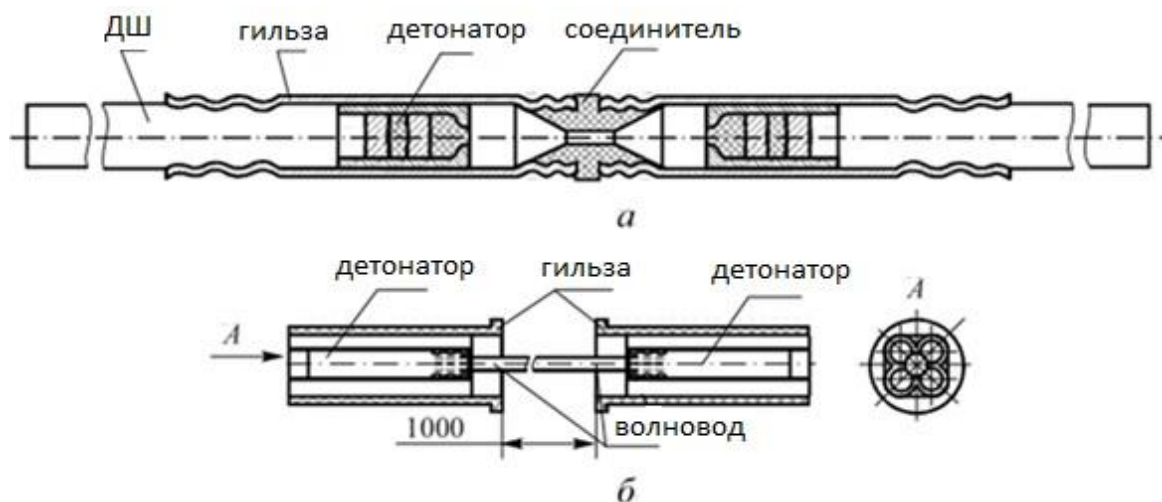


Рис. 22. Пиротехнические замедлители:

а. реле РП-Н, б. реле РП-Д.

Реле РП-Н двухстороннего действия состоит из двух капсулей-детонаторов с замедлением, соединенных между собой с помощью пластмассовой втулки методом обжимки, и отрезков детонирующего шнура, соединенных с капсулями-детонаторами с помощью обжимки.

Для идентификации времени замедления, реле имеет отличительную окраску гильз: красный – 20 мс; белый – 35 мс; черный – 50 мс.

Реле РП-Д состоит из двух капсулей-детонаторов с замедлением, размещенных в соединителях и соединенных между собой отрезком ударно-волновой трубки посредством обжимки. Основными преимуществами реле РП-Д является повышенная

стойкость к механическим воздействиям, а также простота в использовании.

Таблица 7.

Серии замедлений реле РП-Д

Обозначение серии замедления	Время замедления номинальное, мс	Маркировка
РП-Д-20	20	красновато-оранжевая
РП-Д-30	30	желтая
РП-Д-45	45	красная
РП-Д-60	60	синяя
РП-Д-80	80	зеленая
РП-Д-100	100	коричневая

Инициирование ДШ не подразумевает использование для внутрискважинного инициирования зарядов капсулей-детонаторов, поэтому этот способ иногда называют безкапсюльный. Заряды промышленных ВВ иницируют с помощью промежуточных детонаторов в виде шашек или патронов ВВ.

Наибольшее распространение получили тротилловые шашки, шашки из сплава тротила с гексогеном или ТЭНом. Для скважинных зарядов гранулированных, водосодержащих и эмульсионных ВВ промежуточный детонатор (боевик) делают из одной или двух шашек, связанных вместе детонирующим шнуром.

Прессованные шашки ТП-400 обладают недостаточной водостойчивостью и применяются в сухих и осушенных забоях.

Шашки Т-400Г – прессованные гидроизолированные тротилловые для взрывания в скважинах любой обводненности, в том числе и с проточной водой, со сроком нахождения зарядов в воде до 6 суток.



Рис. 23. Тротил-гексогеновая шашка ТГ-П850

Шашки ТГ – литые тротил-гексогеновые для взрывания в скважинах любой обводненности с неограниченным сроком нахождения зарядов в воде. Шашки ПТ-П предназначена для инициирования зарядов малочувствительных ВВв сухих и обводненных скважинах со сроком нахождения в воде до 10 суток.

Технология инициирования детонирующим шнуром.

Для взрывания массива горных пород с помощью ДШ необходимо:

- разрезать шнур на отрезки для изготовления промежуточных детонаторов;
- изготовить промежуточные детонаторы;
- выполнить зарядание изабойку зарядов;
- выполнить монтаж сети ДШ;
- подать боевой сигнал, подсоединить к магистрали капсули-детонаторы или электродетонаторы и выполнить взрыв;
- после взрыва осмотреть взорванный забой;
- при наличии отказов ликвидировать их и подать сигнал отбоя.

Длина отрезков шнура выбирается такой, чтобы после опускания боевиков в заряд на поверхности у скважины оставался отрезок ДШ длиной 1...1,5 м.

Отрезки ДШ между собой соединяют внакладку, морским узлом или внакрутку не менее 100 мм подлине и скрепляются изоляционной

лентой или шпагатом. Угол между ответвлением ДШ и магистралью по направлению детонации не должен быть более 90 град, так как при большем угле детонация может прекратиться. При монтаже сети нельзя допускать витков и скруток на шнуре. При пересечении шнуров они должны быть разделены грунтом или деревянной прокладкой толщиной не менее 100 мм. Взрывание сети ДШ производится не менее чем двумя электродетонаторами.

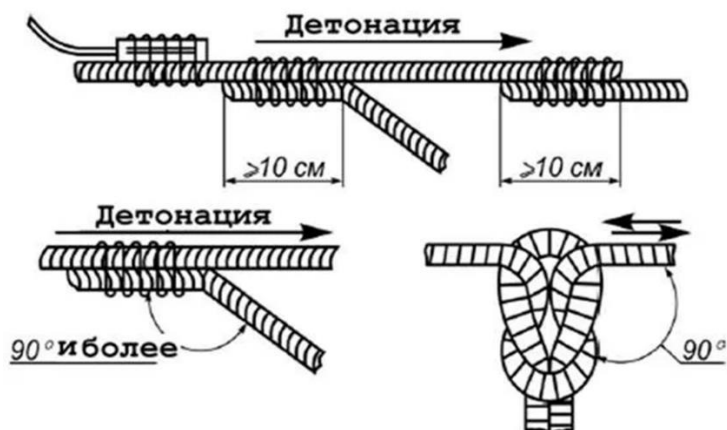


Рис.24. Схема соединения ДШ в сети

Для повышения безотказности взрывания применяют дублирование сетей ДШ, обе сети при этом взрывают от одного детонатора. Также высокую надежность взрывания дают кольцевые магистрали из ДШ.

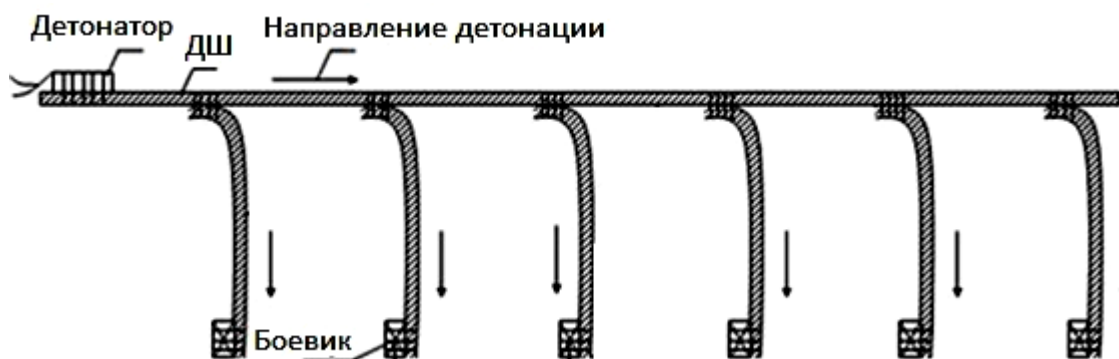


Рис.25. Схема монтажа сети ДШ

5.2. Иницирование зарядов ВВ волноводами низкой энергии

Их неэлектрических систем инициирования наиболее перспективными являются системы, использующие для передачи импульса зарядам волноводов низкой энергии и имеющие высокую безопасность, надежность и технологичность монтажа сети.

Ударно-волновая трубка (УВТ) представляет собой пластиковую трубку малого диаметра, с нанесенным на внутреннюю поверхность канала трубки тонкого слоя ВВ – ТЭНа или гексогена (около 15-50 миллиграмм на 1 п/м).

При инициировании УВТ надежно передает низкоэнергетический инициирующий импульс со скоростью до 2000 м/с от точки инициирования к противоположному концу. Ударная волна такого типа подобна взрыву пыли, которая распространяется по трубке, расположенной под любым углом и содержащей различного рода узлы и петли, при этом наружная поверхность УВТ не претерпевает никаких изменений после прохождения инициирующего импульса, а соприкосновение УВТ и их пересечение не приводит к передаче импульса от одной трубки к другой.

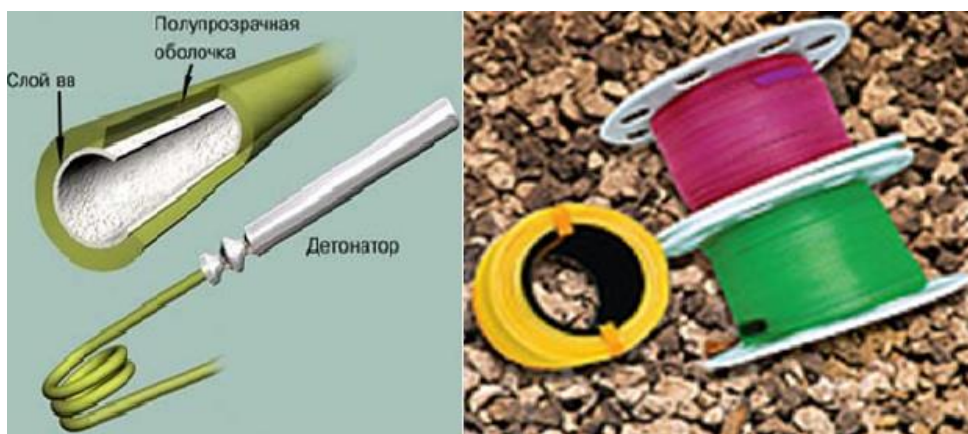


Рис.26. Внешний вид ударно-волновой трубки.

В настоящее время отечественными и зарубежными предприятиями предлагается достаточно большой ассортимент систем инициирования волноводами, отличающихся между собой в основном конструкцией отдельных элементов. В России распространение

получили системы ИСКРА, Эдилин, Примадет, Нонель, Динашок и другие.

Наиболее широко используется неэлектрическая система инициирования ИСКРА, выпускаемая АО «Новосибирский механический завод «Искра».

Система состоит из следующих устройств:

- устройство инициирующее поверхностное ИСКРА-П;
- устройство инициирующее скважинное ИСКРА-С;
- устройство инициирующее поверхностно-скважинное ИСКРА-ПС;
- устройство инициирующее шпуровое ИСКРА-Ш;
- устройство инициирующее стартовое ИСКРА-Старт.

Устройства имеют цветовую идентификацию в зависимости от времени замедления, создаваемого ими.

Стартовое устройство ИСКРА-Старт предназначено для инициирования взрывных сетей из детонирующего шнура или неэлектрических систем инициирования, длина УВТ устройства составляет 50...1000 м, что достаточно для инициирования сети с безопасного расстояния.



Рис. 27. Внешний вид устройства «Искра-Старт»

Устройство ИСКРА-С предназначено для инициирования и внутрискважинного замедления боевиков. Представлено в 16 сериях

замедления от мгновенного до 500 мс. Представляет собой волновод с закрепленным с одного конца детонатором.



Рис. 28. Внешний вид устройства «Искра-С»

Устройство ИСКРА-П предназначено для распределения инициирующего импульса и замедления его передачи на земной поверхности, представлено в семи сериях замедления. Соединитель устройства имеет встроенный капсюль-детонатор и позволяет одновременно инициировать до 6 волноводов устройств Искра-С, П или ПС.

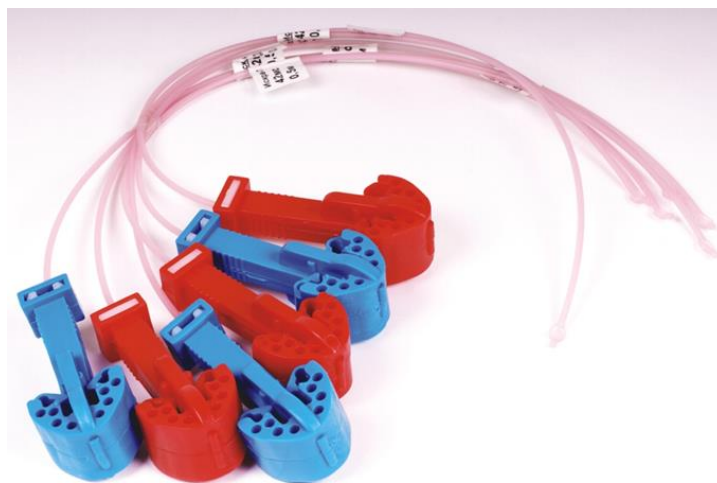


Рис. 29. Внешний вид устройства «Искра-С»

Схема монтажа устройств представлена на рисунке 30.

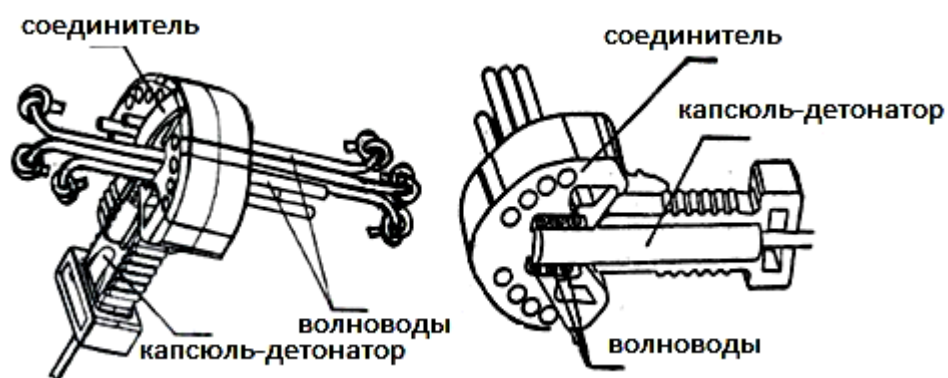


Рис.30.Схема соединения устройств «Искра-П»и «Искра-С»

Устройство ИСКРА-ПС сочетает преимущества скважинного и поверхностного устройств в одном продукте, что позволяет обеспечить надежность соединения устройств и простоту в применении.



Рис. 31. Внешний вид устройства «Искра-ПС»

Инициирования ударно-волновой трубки и изделий на ее основе осуществляется *пусковым устройством*, например, УПЭ-1,5/Х. Инициирование волновода осуществляется искровым разрядом на электроде пускового устройства. Ресурс работы устройства составляет 4000 циклов «заряд-разряд», работоспособность не менее 10 часов (200 разрядов за 10 часов).



Рис.32. Внешний вид пускового устройства УПЭ-1,5/Х.

Монтаж сети осуществляется путем соединения устройств в единую сеть от заряда до взрывной станции, согласно разработанной схемы монтажа.

Требования безопасности при применении НСИ. Работа с неэлектрическими системами инициирования с использованием низкоэнергетических волноводов должна выполняться в соответствии с инструкциями по их применению. При этом должны обеспечиваться надежные соединения элементов систем и приниматься меры по предупреждению повреждения волноводов при размещении их на поверхности. При взрывании этими системами подход взрывника к месту взрыва разрешается не ранее чем через 5 мин. Если взрыва не произошло, - то не ранее чем через 15 мин.

5.3. Электрическое инициирование зарядов ВВ. Расчет электровзрывных сетей

Электрическое инициирование является наиболее универсальным способом инициирования, ассортимент средств инициирования позволяет использовать его практически в любых условиях ведения взрывных работ.

Достоинствами электрического инициирования являются: относительная безопасность, возможность проверки сети перед взрывом, возможность осуществления любой последовательности взрывания серии зарядов.

Недостатками способа, значительно ограничивающими его применение, являются сложность монтажа сети (особенно при соединении большого количества электродетонаторов по смешанным схемам) и опасность преждевременного взрыва от «блуждающих» токов.

Средства инициирования: электродетонаторы различных ступеней замедления (ЭД), провода, источники тока, контрольно-измерительные приборы (КИП).

Электродетонаторы представляют собой небольшой по массе (1...1,5 г) заряд инициирующего ВВ, размещенный в гильзе. Заряд ЭД состоит из первичного и вторичного ИВВ и инициируется встроенным электровоспламенителем. Замедление времени срабатывания детонатора достигается наличием столбика замедляющего пиротехнического состава между электровоспламенителем и зарядом первичного инициирующего ВВ. Устройство ЭД приведено на рисунке.

Различают электродетонаторы:

1. По времени срабатывания – мгновенного действия (ЭД-8Ж, ЭД-8Э, ЭД-1-8-Т и т.д.); короткозамедленного действия, с замедлением 15-250 мс, (ЭД-КЗ, ЭД-З-Н и т.д.); замедленного действия, с замедлением 0,5-10 с.
2. По назначению – общего назначения, сейсморазведка, обработка металлов взрывом, торпедирование нефтяных скважин и пр.;
3. По условиям применения – предохранительные и не предохранительные.

5. По чувствительности к блуждающим токам – нормальной, пониженной и весьма низкой чувствительности или грозоупорные.

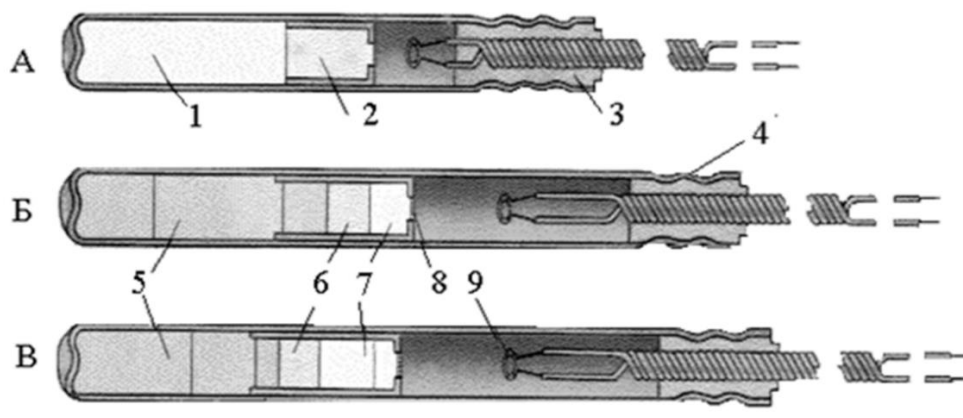


Рис. 33. Электродетонаторы мгновенного (А), короткозамедленного (Б) и замедленного (В) действия

1- тетрил, 2 - гремучая ртуть (азид свинца и ТНРС), 3- пластиковая пробка, 4 - гильза, 5 - тэн, 6 - азид свинца, 7 - замедляющий состав, 8 - сетка, 9 - электровоспламенитель.

Электродетонатор ЭД-8Ж. Непредохранительный электродетонатор с жестким мостиком накаливания, предназначен для мгновенной передачи инициирующего импульса.



Рис. 34. Внешний вид электродетонатора ЭД-8Ж

Электродетонатор ЭД-1-8-Т. Непредохранительный электродетонатор пониженной чувствительности к блуждающим токам и статическому электричеству, предназначен для мгновенной передачи инициирующего импульса. Гарантийный ток срабатывания – 5 А.

Электродетонатор ЭД-З-Н. Непредохранительный электродетонатор нормальной чувствительности к блуждающим токам, имеет 36 ступеней замедления от 20 до 10000 мс.

Электродетонатор ЭД-КЗ-ПКМ. Предохранительный электродетонатор короткозамедленного действия нормальной чувствительности к статическому электричеству и блуждающим токам предназначен для инициирования зарядов ВВ в шахтах, опасных по газу или пыли.

Проводники тока. Электровзрывная сеть состоит из ЭД с выводными проводами, концевых проводов, идущих от выводных проводов ЭД до поверхности, участковых проводов, соединяющих концевые провода с магистральными, идущими к источнику тока.

Сеть монтируют из изолированных одно- и многопроволочных медных и алюминиевых проводов. Нецелесообразно из-за недостаточной прочности монтировать сеть из провода сечением менее 0,2 мм². Для магистральных проводов сечение должно быть не менее 0,75 мм².

Взрывные приборы. Источники тока для электрического инициирования зарядов ВВ делятся на автономные и сетевые (от сети переменного тока 380 В). Наибольшее распространение получили автономные конденсаторные взрывные приборы. Источником тока в них служит конденсатор, который в течение 10...20 с заряжают от маломощного первичного источника (батареи или маломощного генератора – индуктора), вмонтированного в машинку, а затем быстро, в течение 3...4 мс, разряжают в сеть. Электрический импульс, мгновенно поступая в ЭД сети, вызывают воспламенение электровоспламенителя и инициирование заряда детонатора. Широкое применение нашли индукторные машинки КМП-3, ВМК-500, батарейные – КПВ-1/100М, ПИВ-100М и др.

Одним из достоинств электрического способа является возможность инструментальной проверки сети перед взрывом контрольно-измерительными приборами, позволяющими определить сопротивление и проводимость электровзрывной сети. По конструкции они делятся на три группы: стрелочного, звукового и светового типа. Стрелочные приборы (мост Р3043, измеритель ХН2570П и т.д.) позволяют установить факт исправности сети и получить численное значение ее сопротивления. Световые и звуковые приборы (индикатор Ю-140, испытатели ВИС-1, ВИО-3) позволяют определить только проводимость сети, но не могут обнаружить короткого замыкания в ней.

Расчет электровзрывных сетей.

Электровзрывная сеть – совокупность ЭД с проводниками, соединяющими их между собой и источником тока.

При электрическом инициировании и зарядов могут применяться последовательное, параллельное и смешанные соединения ЭД.

Наибольшее распространение получило последовательное соединение электродетонаторов, ввиду следующих преимуществ:

- простой монтаж и расчет сети;
- надежность проверки сети перед взрывом;
- требуется минимальный по мощности источник тока.

Недостатком такого соединения является возможность массового отказа при обрыве какого-либо проводника сети или неисправности ЭД.

По назначению проводники подразделяются на: детонаторные; участковые, соединительные и магистральные.

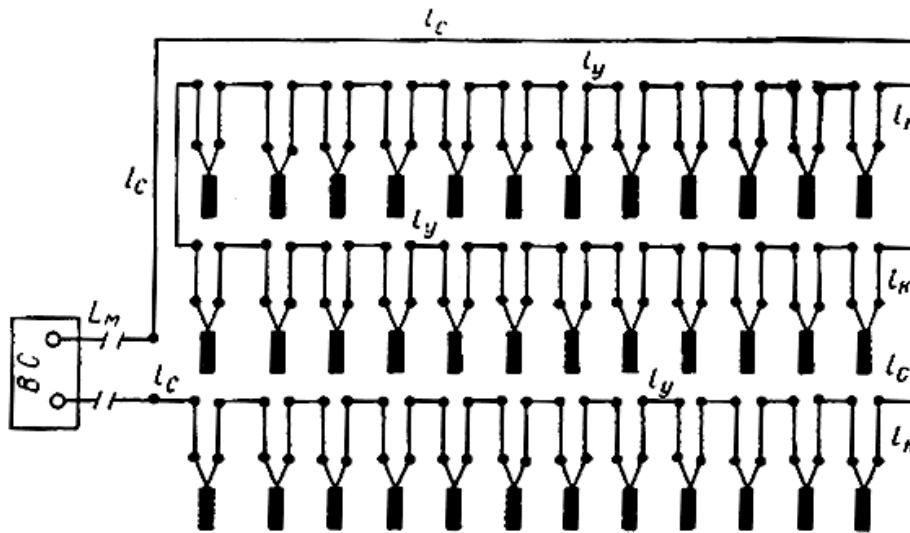


Рис.35. Последовательное соединение ЭД в электровзрывной сети.
Определение длины проводников.

Детонаторные провода непосредственно соединены с ЭД и в расчете не учитываются.

Концевые провода соединяют детонаторные провода с поверхностной электровзрывной сетью. Их длина определяется по формуле:

$$l_k = 2 \cdot l_6, \text{ м} \quad (35)$$

где l_6 – глубина заложения боевика, м.

При обратном инициировании патрон-боевик залаживается на уровне подошвы уступа. При длине заряда более 10 метров необходимо использовать двухточечное инициирование, при этом второй боевик устанавливается в верхней части заряда в 1...2 м от забойки.

Участковые провода соединяют концевые между собой. Их длина составляет:

$$l_y = 1,1 \cdot a \cdot N, \text{ м} \quad (36)$$

где a – расстояние между зарядами по поверхности, м

N – число зарядов, шт.

Соединительные провода соединяют два крайних участковых провода с магистралью. Длина соединительных проводов определяется

графоаналитическим способом по отстроенному в масштабе плану блока. Необходимо учитывать, что в соответствии с ФНП «Правила безопасности при взрывных работах», постоянная взрывная магистраль должна находиться на расстоянии не менее 100 м от места взрыва.

Длина магистральных проводов определяется расстоянием от места расположения зарядов до взрывной станции.

Взрывная станция располагается за пределами опасной зоны или, при наличии, в специализированном укрытии.

Определение сопротивления проводников.

Сопротивление проводников при постоянном токе находится по формуле:

$$r = \rho_0 \cdot \frac{l}{S}, \text{ Ом} \quad (37)$$

где l – длина проводника (для расчета используем удельное сопротивление (Ом/м), $l=1$ м),

S – площадь сечения проводника, мм²,

ρ_0 – удельное сопротивление материала проводника, Ом·мм²/м

Значения ρ_0 при +20⁰С можно принять из таблицы 8.

Таблица 8.

Характеристика материала проводника

Материал проводника	Медь	Алюминий	Сталь
Удельное сопротивление материала, Ом·мм ² /м	0,0175	0,03	0,132
Температурный коэффициент сопротивления	0,0044	0,004	0,005

При других температурах удельное сопротивление составит:

$$\rho_T = \rho_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (t - 20)], \text{ Ом·мм}^2/\text{м} \quad (38)$$

где t – температура окружающей среды, ⁰С.

Сеть монтируют из изолированных одно- и многопроволочных медных, алюминиевых или стальных проводов (для шахт, опасных по газу и пыли - только медные). Нецелесообразно из-за недостаточной прочности монтировать сеть из провода сечением менее 0,2 мм². Для магистральных проводов сечение должно быть не менее 0,75 мм².

Характеристики некоторых проводов приведены в таблице 9.

Таблица 9. Характеристика проводов для монтажа сети

Марка провода	Изоляция	Число жил	Число пров. в жиле	Сечение жилы, мм ²	Сопротивление 1 км провода при	Масса 1 км провода, кг
ЭР	Резиновая	1	1	0,2	100	6,6
ЭВ	ПХВ	1	1	0,2	100	6,5
СП-1	Резиновая в х/б оплетке	1	7	0,75	25	30,0
СП-2	Резиновая	2	7	0,75	25	60,0

Общее сопротивление электровзрывной сети при последовательном соединении определяется по формуле:

$$R_{\text{общ}} = l_m \cdot r_m + l_c \cdot r_c + l_y \cdot r_y + N \cdot (l_k \cdot r_k + r_{\text{эд}}), \text{ Ом} \quad (39)$$

где l_m, l_c – длина магистральных и соединительных проводов, м,

$r_m, r_c, r_y, r_k, r_{\text{эд}}$ – сопротивление 1 м магистральных, соединительных, участковых, концевых проводов и электродетонатора, Ом

N – число скважинных зарядов, шт.

При парно-последовательном соединении ЭД в боевиках последовательной сети, сопротивление ЭД, размещенных в одном боевике, складывается.

Общее сопротивление электровзрывной сети при последовательном соединении при использовании взрывных машинок не должно быть больше допустимого паспортного сопротивления $R_{\text{п}}$, указанного на шильдике машинки.

$$R_{\text{общ}} \leq R_{\text{п}}, \quad (40)$$

Общая сила тока в электровзрывной сети:

$$I_{\text{общ}} = \frac{U}{R_{\text{общ}}}, \text{ A} \quad (41)$$

Где U – напряжение в электровзрывной сети, В

Сила тока, поступающего в каждый детонатор при последовательном соединении, составляет:

$$i_{\text{эд}} = I_{\text{общ}}, \quad (42)$$

По условию безотказности взрывания, в электровзрывную сеть должен поступать ток больший и равный гарантийному, указанному в технических характеристиках детонатора. Если данное условие соблюдается, то взрывная машинка сможет безотказно инициировать ЭД электровзрывной сети.

Основные требования безопасности при электрическом инициировании. Перед выдачей электродетонаторы должны быть проверены по внешнему виду и электрическому сопротивлению, а также промаркированы с присвоением индивидуальных индексов.

При проверке электродетонатор должен помещаться в футерованную металлическую трубу, за щит или в специальное устройство, исключающее поражение людей в случае взрыва. Провода электродетонаторов после проверки их сопротивления должны быть замкнуты накоротко и в таком положении находиться до момента присоединения к взрывной сети.

Электровзрывные сети должны иметь исправную изоляцию, надежные электрические соединения. Концы проводов и жил кабелей должны быть тщательно зачищены, плотно соединены (срощены) и соединения (сростки) изолированы при помощи специальных зажимов.

Электровзрывная сеть должна быть двухпроводной. Использование воды, земли, труб, рельсов, канатов в качестве одного из

проводников запрещается. До начала заряжания взрывник обязан осмотреть электровзрывную сеть и убедиться в ее исправности.

Электровзрывная сеть должна монтироваться в направлении от заряда к источнику тока. Постоянная взрывная магистраль должна находиться на расстоянии не менее 100 м от места взрыва.

После монтажа и осмотра электровзрывной сети необходимо проверить ее токопроводимость. При проверке токопроводимости сети персонал должен находиться вне опасной зоны. Перед взрыванием скважинных и камерных зарядов общее сопротивление всей электровзрывной сети должно быть подсчитано и затем измерено из безопасного места электроизмерительными приборами. В случае расхождения величин измеренного и расчетного сопротивлений более чем на 10% необходимо устранить неисправности, вызывающие отклонения от расчетного сопротивления электровзрывной сети.

Концы проводов смонтированного участка электровзрывной сети должны быть замкнуты накоротко до момента подсоединения их к проводам следующего участка электровзрывной сети. Концы магистральных проводов электровзрывной сети также должны быть замкнуты до момента их присоединения к клеммам прибора или устройства, подающего напряжение для взрывания.

Со всех электроустановок, кабелей, контактных и воздушных проводов и других источников электроэнергии (в том числе источников опасных электромагнитных излучений), действующих в зоне монтажа электровзрывной сети, напряжение должно быть снято до начала монтажа электровзрывной сети. При невозможности снятия напряжения с электрооборудования должны приниматься меры защиты от блуждающих токов

Взрывные приборы (машинки) и взрывные стационарные устройства должны храниться в местах, исключающих доступ к ним

посторонних лиц. Ключи от взрывных приборов (машинок) при производстве взрывных работ должны находиться у взрывника. Запрещается проводить электрическое взрывание непосредственно от силовой, контактной или осветительной сети.

При взрывании с применением электродетонаторов выход взрывника из укрытия после взрыва разрешается только после проветривания, отсоединения электровзрывной сети от источника тока и замыкания ее накоротко, но не ранее чем через 5 мин. Если при подаче напряжения взрыва не произошло, взрывник обязан отсоединить от прибора (источника тока) электровзрывную сеть, замкнуть накоротко ее концы, взять с собой ключ от прибора (ящика, в котором находится взрывное устройство) и только после этого выяснить причину отказа.

5.4. Электронные системы инициирования

Электронные системы инициирования являются наиболее прогрессивными системами, открывающими новые возможности ведения взрывных работ. В России электронные системы инициирования представлены зарубежными системами I-Kon, Daveytronic и др., отечественной системой ЭДЭЗ, производимой Новосибирским механическим заводом «Искра».

Система ЭДЭЗ позволяет осуществлять инициирование групповых взрывов с заданной временной последовательностью. Время задержки, обеспечиваемое электронными детонаторами, составляет 0...12 секс точностью задания задержки 1 мс. При проведении групповых взрывов электронные детонаторы с помощью двухпроводной взрывной линии соединяются через согласующий адаптер с портативным управляющим компьютером. Допустимая длина взрывной линии свыше 3000 м, количество детонаторов на одной взрывной линии до 1000 шт.

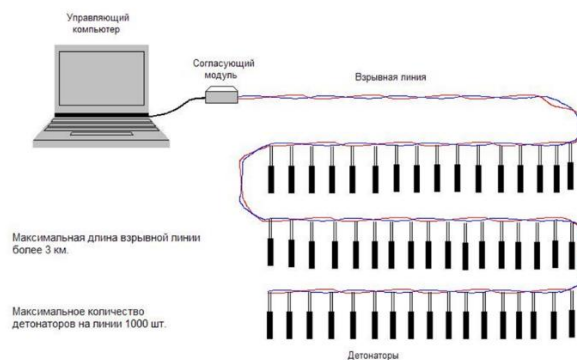


Рис. 36. Схема электронной системы ЭДЭЗ

Двухпроводная взрывная линия используется как для подачи питания к электронному детонатору, так и для передачи кодированных команд детонаторам и получения ответной информации от детонаторов. Оператор (взрывник) с помощью компьютера может тестировать детонаторы на смонтированной взрывной линии, задавать последовательность взрывания и выдавать команду "подрыв". После получения команды «подрыв» детонатор переходит в режим автономного питания, отсчитывает запрограммированное время и срабатывает даже если взрывная линия к этому моменту разрушена. Каждый детонатор имеет индивидуальный идентификационный номер, запрограммированный в процессе производства детонатора. Благодаря индивидуальному номеру оператор может обращаться к каждому детонатору независимо. Наличие у детонаторов индивидуального идентификационного номера позволяет проследить пути утечки детонаторов в случае их хищения.



Рис. 37. Внешний вид электронного детонатора ЭДЭЗ (разрез)

Высокая точность исполнения замедлений позволяет интенсифицировать дробление трудновзрываемых пород путём

двухточечного инициирования каждого скважинного заряда, при этом, взаимодействие детонационных и ударных волн создаёт взрядной камере своего рода «газодинамический затвор», значительно увеличивающий использование энергии взрыва и продолжительность действия импульса взрыва на среду.

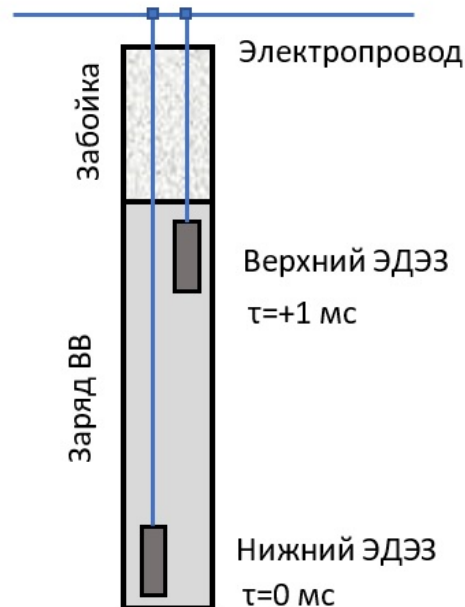


Рис. 38. Конструкция заряда с двухсторонним инициированием.

Самой совершенной системой электронного взрывания в настоящее время является система I-Kon (Orica), позволяющая взрывать до 4800 детонаторов при длине магистрали до 2 км. Система электронного взрывания I-Kon используется на многих шахтах и карьерах в 25 странах. Электронная система взрывания i-kon™ II компании Orica предназначена для инициирования боевиков в скважинных (шпуровых) зарядах с программируемым замедлением детонаторов при проведении взрывных работ на земной поверхности, а также в шахтах, не опасных по газу и пыли. Система инициирования I-Kon состоит из электронных детонаторов, устройства для регистрации и программирования детонаторов Логгер и взрывной машинки Бластер

5.5. Основные требования безопасности при обращении с патронами-боевиками

Боевики с детонаторами должны изготавливаться на местах производства работ или в специальных помещениях вблизи мест производства работ, установленных распорядительным документом организации, ведущей взрывные работы.

Изготовление боевиков с детонирующим шнуром (без детонаторов) также может осуществляться в здании подготовки взрывчатых материалов на складе ВМ.

Детонатор должен вводиться в патрон на полную глубину и надежно фиксироваться, при этом используемые для образования углублений иглы необходимо изготавливать из материалов, не дающих искр и не корродирующих от взаимодействия с взрывчатыми веществами. При глубине взрывных скважин более 15 м обязательно дублирование внутрискважинной сети – закладываются два патрона боевика – один в нижней, другой в верхней части заряда.

Боевики из прессованных или литых взрывчатых веществ с иницированием от детонаторов разрешается изготавливать только из патронов (шашек) с гнездами заводского изготовления. Расширять или углублять имеющееся гнездо запрещается.

При изготовлении промежуточных детонаторов из порошкообразных патронированных взрывчатых веществ с применением детонирующего шнура конец детонирующего шнура в патроне должен завязываться узлом или складываться не менее чем вдвое. Разрешается обматывать детонирующий шнур вокруг патрона взрывчатых веществ.

Неиспользованные боевики подлежат уничтожению взрыванием в порядке, установленном распорядительным документом организации, ведущей взрывные работы.

Запрещается пробивать застрявший боевик. Если извлечь застрявший боевик не представляется возможным, зарядание скважины необходимо прекратить, боевик взорвать вместе с другими зарядами.

При взрывании шпуровых и наружных зарядов для разделки негабаритных кусков на развалах зарядание и монтаж взрывной (электровзрывной) сети разрешается выполнять только сверху вниз.

6. Процессы разрушающего действия взрыва зарядов взрывчатых веществ

6.1. Классификация зарядов ВВ

Зарядом ВВ называется определенное количество ВВ, подготовленное к взрыву с введенным в него инициатором.

Заряды для разрушения массива горных пород с целью добычи минерального сырья классифицируются по нескольким признакам.

1. *По положению* заряды бывают:

- наружный (накладной) заряд, помещаемый на взрываемом объекте, применяют в основном для дробления негабарита, обрушения козырьков на уступах и т.д.

- внутренний заряд – размещается внутри взрываемого объекта (в скважине, камере), применяется для отбойки горных пород на карьерах и рудниках, проходки горных выработок различного профиля.

2. *По форме* заряды подразделяются:

- сосредоточенный (отношение длины или диаметра к ширине или высоте не более 3), в основном это заряды выброса;

- удлиненный, на карьерах применяют преимущественно удлиненные заряды, позволяющие более равномерно распределить ВВ во взрываемом массиве.

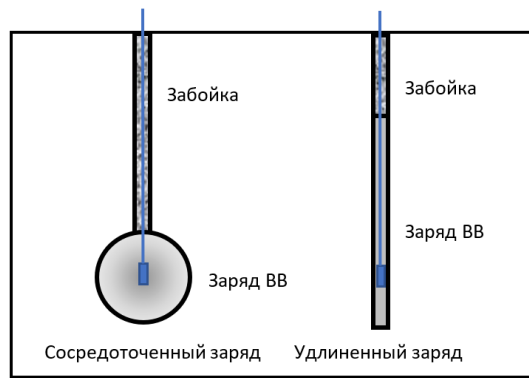


Рис. 39. Схема сосредоточенного и удлиненного заряда

3. По конструкции заряды бывают:

- сплошной;
- рассредоточенный (отдельные части заряда разделены промежутками воздуха, воды, дробленой породы и пр.).

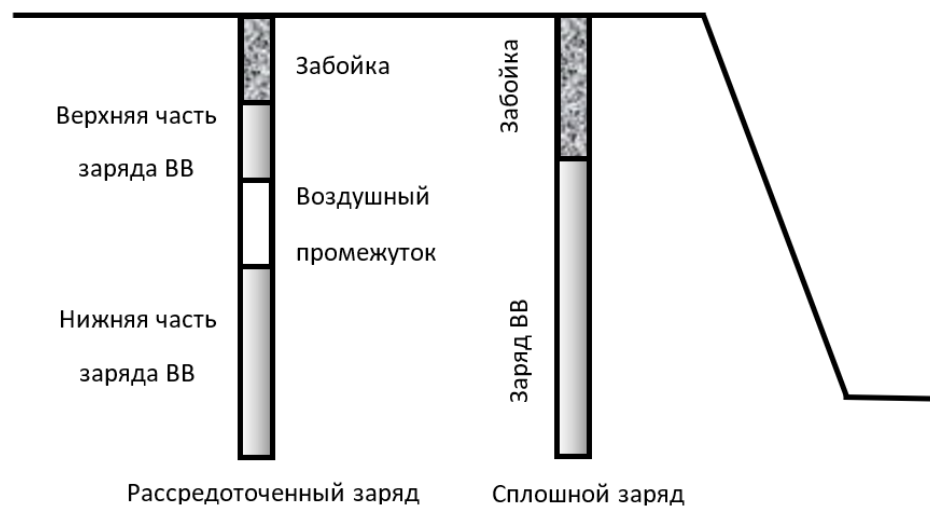


Рис. 40. Схема сплошного и рассредоточенного заряда

4. По характеру действия заряды делятся на:

- заряд камуфлета – разрушение при взрыве происходит только вокруг заряда без проявления видимых разрушений на открытой поверхности массива;
- заряд откольный – при взрыве происходит откол породы у открытой поверхности и разрушение вокруг заряда;

- заряд рыхления – вызывает дробление породы в пределах от места расположения заряда до открытой поверхности массива без ее выброса из зоны разрушения(в);

- заряд выброса – вызывает дробление и выброс породы за пределы воронки взрыва (г).

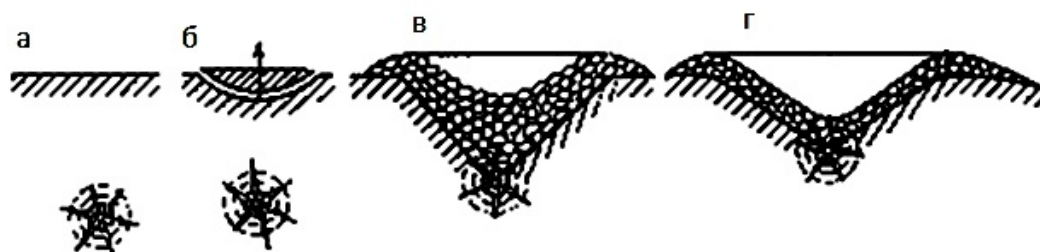


Рис. 41. Виды зарядов по характеру действия

Изменение характера действия взрыва от камуфлета до выброса можно достигнуть изменением глубины заложения или массы заряда.

6.2. Сферы действия взрыва заряда ВВ

Непосредственно в зоне заложения заряда при взрыве под действием ударной волны и сжатых газов взрыва образуется зона измельчения, где происходит раздавливание и сильное переизмельчение породы с огромной вновь образованной поверхностью, поэтому здесь поглощается основная доля энергии взрыва. За пределами зоны измельчения происходит разделение породы трещинами без изменения структуры – это зона разрыхления или трещинообразования. В совокупности эти зоны образуют зону разрушения – радиус действия взрыва заряда ВВ.

Зона разрыхления плавно переходит в зону сотрясения (сейсмического действия взрыва), где порода испытывает только колебания без разрушения.

Вырвавшиеся через образующиеся трещины в массиве газы взрыва генерируют воздушную ударную волну, формируя зону воздушного действия взрыва.

6.3. Процесс разрушения пород взрывом одиночного заряда

Все породы по механизму процесса разрушения делят на три группы: грунтовые массивы, скальные монолитные и скальные трещиноватые массивы.

Грунтовые массивы – пески, супеси, глины и суглинки разрушаются под действием запаса кинетической энергии, приобретаемой средой при расширении продуктов взрыва. Разрушение под действием волн напряжений в массиве незначительно. При взрыве заряда, в месте его расположения образуется расширяющаяся шаровая полость, заполненная сжатыми газами взрыва, которая при приближении к открытой поверхности приобретает асимметричную грушевидную форму. При дальнейшем движении вверх оболочка прорывается и порода, перемещаясь по баллистической траектории, падает вниз с образованием открытой воронки, у краев которой образуется гребень разрушенной породы, часть которого сползает под углом естественного откоса, уменьшая видимую глубину и объем воронки.

Скальные монолитные массивы разрушаются при скорости детонации ВВ значительно большей скорости деформации породы. Первоначально, детонационная волна, выходя на контакт с породой, генерирует в ней ударную волну высокой амплитуды, на порядок превышающей предел прочности на сжатие. Порода на фронте волны подвергается мелкодисперсному дроблению с интенсивной диссипацией энергии, быстрым уменьшением амплитуды ударной волны и превращением ее на расстоянии 5..6 радиусов заряда в упругую волну напряжения, распространяющуюся со скоростью звука в породе. Амплитуда упругой волны напряжения первоначально значительно выше прочности пород на раздавливание, поэтому после прохождения фронта волны по породе, наблюдается интенсивное разрушение

массива потерей им первоначальной структуры. Это *зона измельчения* или *пластического действия взрыва*, ограниченная обычно 10...12 радиусами заряда.

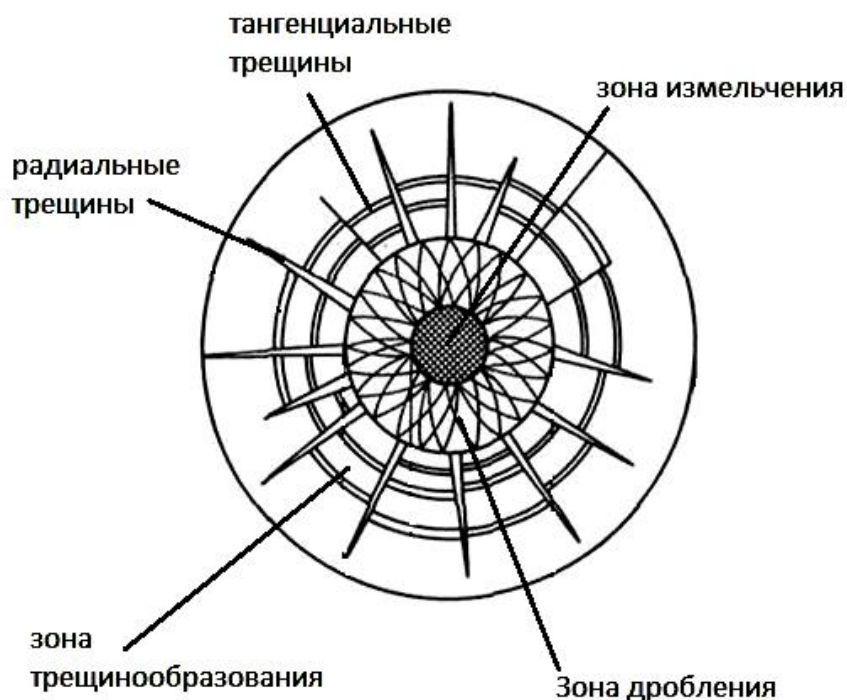


Рис. 42. Зоны разрушения скальных массивов взрывом ВВ

Давление газов в полости через раздробленную породу передается на передний фронт упругой волны, разрушающей породу, порода быстро сжимается и смещается вслед за фронтом волны напряжения, что приводит к образованию зоны сильно деформированной породы с системой многочисленных пересекающихся трещин. По мере удаления от заряда напряжения в породе от взрыва снижаются и на определенном расстоянии становятся меньше сопротивления породе раздавливанию, что меняет характер деформации и разрушений среды.

Под действием прямой волны напряжений и сжатых газов взрыва в среде в радиальном направлении возникают сжимающие напряжения, а в тангенциальном — растягивающие, вызывающие появление радиальных трещин, расширяющихся под действием газов взрыва. При дальнейшем удалении волны деформации от заряда растягивающие тангенциальные напряжения становятся меньшими величины

сопротивления породы растяжению и разрушение прекращается – имеют место только упругие колебания частиц породы.

После резкого снижения давления газов в центре взрыва вследствие прорыва газов в атмосферу через образующиеся трещины, сильно сжатая порода будет разгружаться и смещаться в сторону центра заряда, вызывая в породе напряжения растяжения в радиальных направлениях и появление кольцевых тангенциальных трещин.

При взрыве заряда вблизи открытой поверхности частицы породы, не имеющие преграды, под действием достигшей этой поверхности волны напряжений начинают свободно двигаться в сторону этой поверхности, вовлекая в этот процесс все более отдаленные слои среды. По массиву начинает распространяться отраженная волна с растягивающими напряжениями на ее фронте, представляющая собой отраженную от открытой поверхности волну сжатия с зеркальным мнимым изображением центра заряда с формированием откольной воронки.



Рис. 43. Схема формирования воронки взрыва

Трещиноватые скальные массивы разрушаются как под действием давления газов взрыва, так и под действием волны напряжений, а разрушения распространяются как от зарядной камеры, так и от открытой поверхности навстречу друг другу. Сквозные трещины массива являются поверхностями раздела, которые препятствуют распространению волны напряжений и разрушений. У поверхности каждой трещины происходит скачкообразное падение напряжений в волне за счет ее частичного отражения от трещины, поэтому

напряжения в таком массиве снижаются с расстоянием более интенсивно, чем в монолитном, а трещины от заряда распространяются на меньшее расстояние. В массе породы создается несколько очагов разрушения под действием прямых, отраженных волн, газов взрыва и соударения пород различных зон.

В трещиноватом массиве имеет место два механизма разрушения отдельностей при взрыве – с волновым характером для отдельностей, пронизанных зарядом или имеющих с ним контакт и механическим – для отдельностей за пределами зоны волнового воздействия взрыва.

В связи с этим выделяют две зоны разрушения:

- *зону регулируемого дробления (1)* с прямым воздействием на породу – изменением параметров взрывного воздействия можно менять интенсивность разрушения породы;
- *зону нерегулируемого дробления (2)*, где разрушение происходит при механическом соударении.

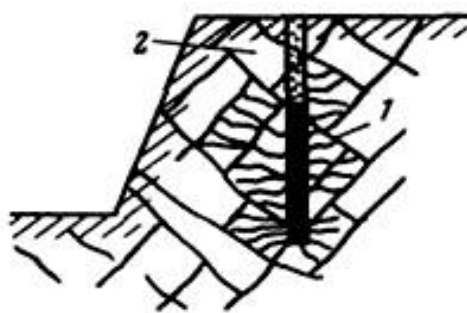


Рис. 44. Зоны дробления трещиноватого массива

6.4. Процесс разрушения пород при одновременном взрывании нескольких зарядов. Короткозамедленное взрывание

При взрыве соседних зарядов порода первоначально ведет себя как и при взрыве одиночного заряда, однако, после встречи полей напряжений возникает сложная картина интерференции волн с заметной

разницей в интенсивности дробления среды по линии, соединяющей заряды, и в направлении ЛНС.

При встрече волн напряжений от соседних зарядов в направлении, перпендикулярном линии между зарядами действуют увеличенные, по сравнению с одиночным взрыванием, растягивающие напряжения., что вызывает усиление действия взрыва с образованием магистральной трещины по линии расположения зарядов без интенсивного дробления породы вокруг нее, особенно при небольшом коэффициенте сближения. Этот эффект используют в контурном взрывании.

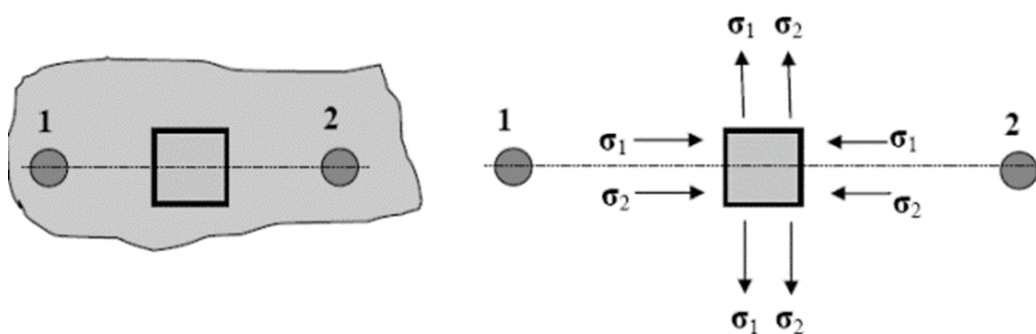


Рис. 45. Схема взаимодействия зарядов по линии между ними

В определенных объемах породы, расположенных между скважинами и открытой поверхностью в глубине взрываеваемого массива возможна взаимная компенсация напряжений от взрыва соседних зарядов и общее ослабление напряженного состояния и минимальным в этих зонах дроблением породы – в точке, находящейся на пересечении радиусов, направленных под углом 45° к плоскости зарядов, напряжение будет равно нулю.

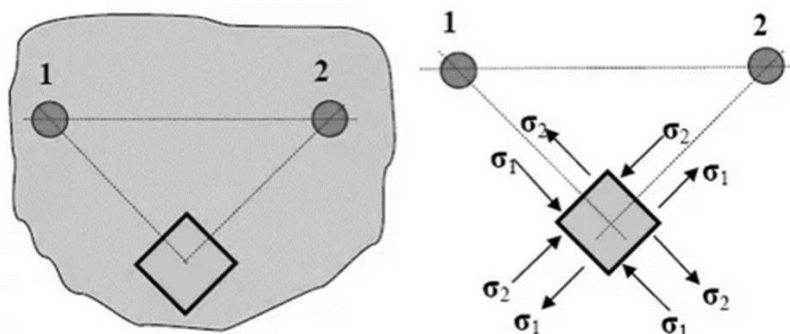


Рис. 46. Схема взаимодействия зарядов от зарядов до открытой поверхности

Короткозамедленным (КЗВ) называют последовательное взрывание серий или отдельных зарядов с интервалами в тысячные доли секунды.

В настоящее время практически все объемы рыхления массивов горных пород выполняются с использованием короткозамедленного взрывания. КЗВ позволяет значительно повысить качество дробления, снизить сейсмическое воздействие взрыва и ударную воздушную волну, получить навал разрушенной горной породы с нужными параметрами и повысить качество раздельной выемки руд и пород

Эффективность КЗВ определяется применением оптимальных интервалов замедления и последовательности разрушения участков массива.

Факторами, предопределяющие эффективность КЗВ являются интерференция волн напряжений от соседних зарядов (при интервалах замедлений τ до 5 мс), образование дополнительных открытых поверхностей (при $\tau = 15 \dots 200$ мс) и соударение разлетающихся кусков при взрыве соседних зарядов (при τ более 200 мс).

Схемы короткозамедленного взрывания

Схемы КЗВ на карьерах подразделяются на порядные и врубовые.

Порядные схемы отличаются простотой монтажа и применяются при разрушении легко взрываемых, хрупких и сильно трещиноватых пород.

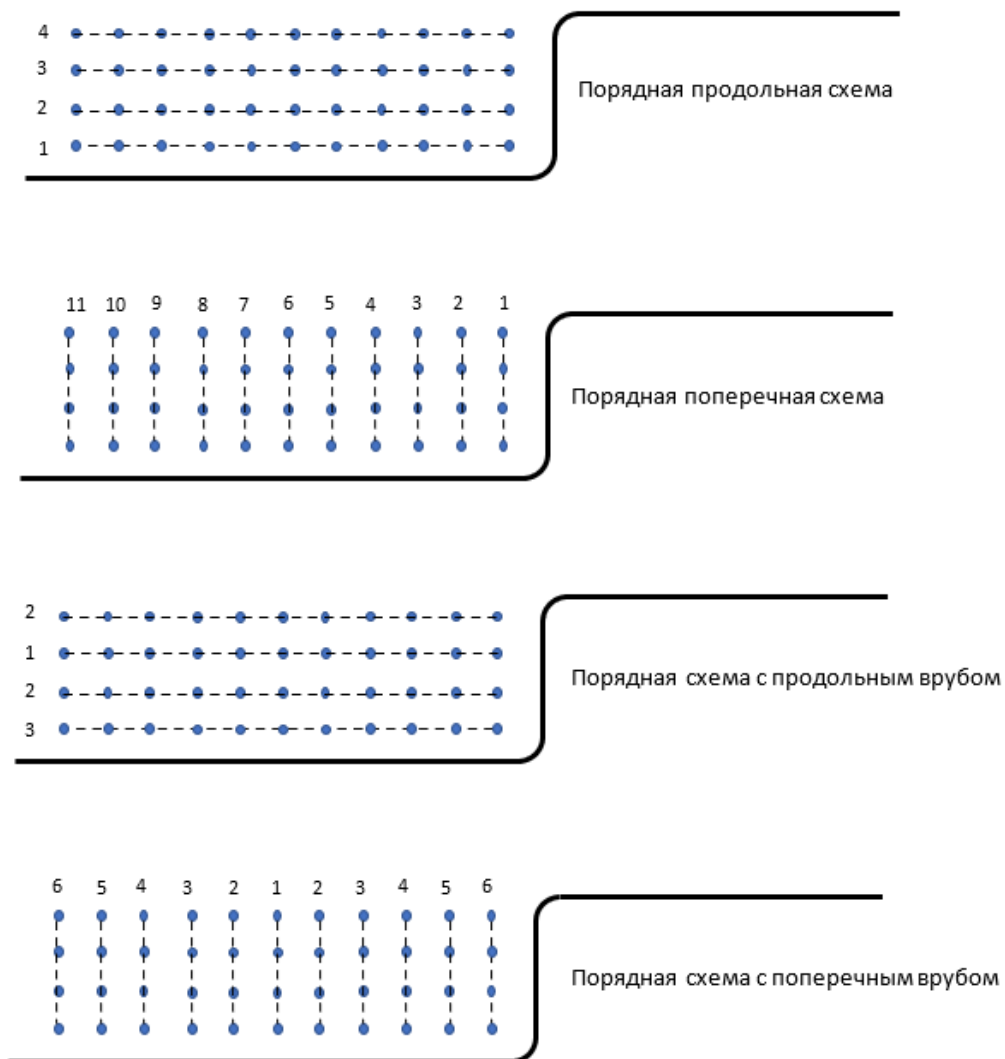


Рис. 47. Схемы короткозамедленного взрывания

Врубовые схемы более эффективны ввиду образования дополнительных открытых поверхностей, встречного соударения разлетающихся кусков породы и возможности направленного формирования развала. Врубовой ряд скважин бурится как правило с перебором на 1...2 м большим, чем у отбойных скважин. Схемы с продольным врубом применяются при проведении траншей, а также на уступах для уменьшения ширины развала в породах легко- и средневзрываемых. Схемы с поперечным (торцовым) врубом обеспечивают сокращение ширины развала на 20...30% за счет направления действия взрыва в сторону торца уступа, а также встречное

движение и соударение породных кусков при взрыве. Схемы применяют в средне- и трудно взрывае­мых породах.

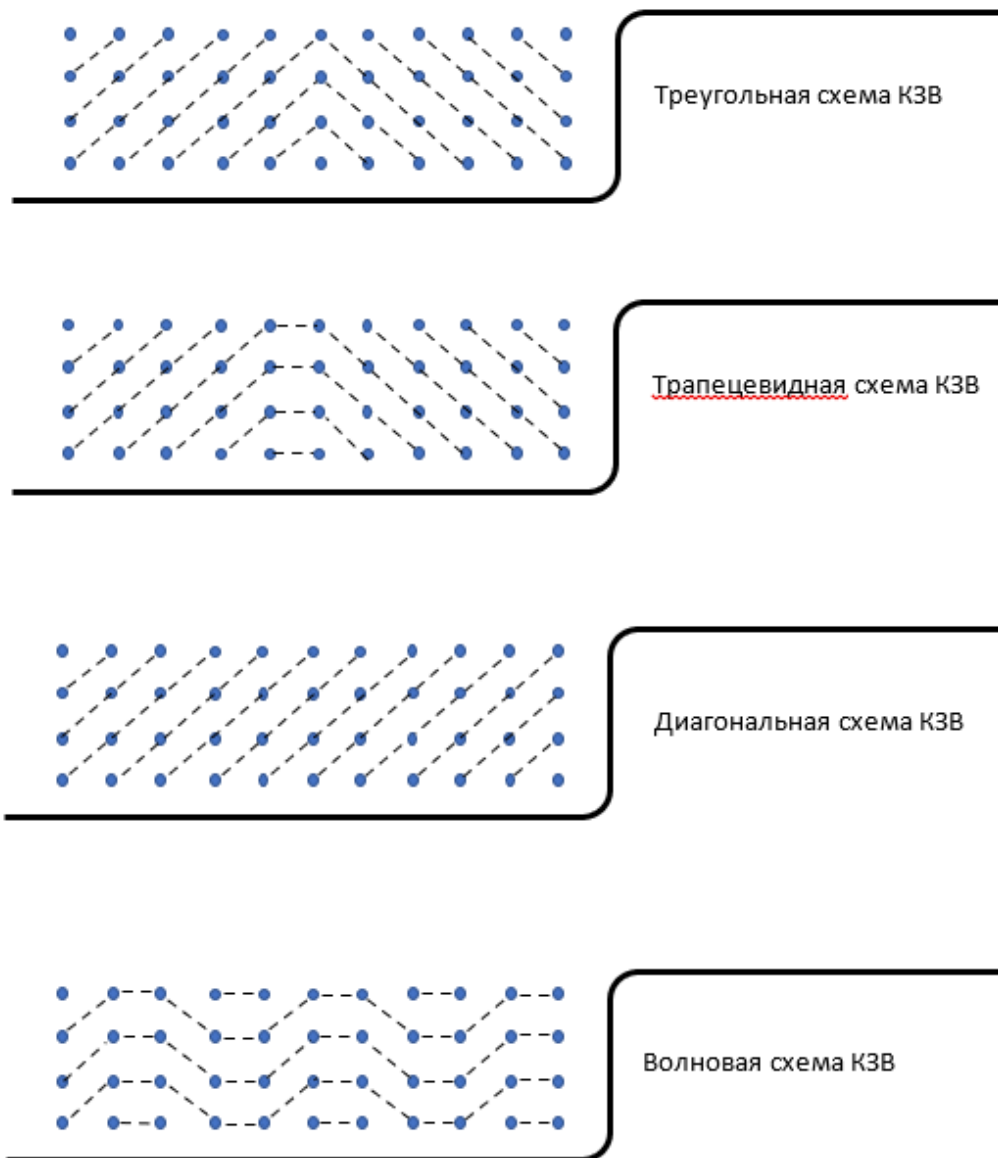


Рис. 48. Врубовые схемы короткозамедленного взрывания

Диагональные схемы, особенно пологие, позволяют резко уменьшить фактическую величину линии наименьшего сопротивления зарядов смежных рядов скважин и соответственно улучшить дробление, а также уменьшить ширину развала.

Треугольные и трапецевидные схемы КЗВ сочетают в себе достоинства врубовых и диагональных схем и применяются в трудно- и

весьма трудновзрывааемых породах. Недостатком таких схем является сложность монтажа взрывной сети.

Волновые схемы считаются эффективнее порядных и применяются в средне- и трудновзрывааемых породах.

6.5. Основные требования к результатам дробления массивов горных пород взрывом

Порода при взрыве должна быть раздроблена на кондиционные куски, выход негабаритов не должен превышать 5 %. Наличие во взорванной горной массе большого количества негабарита (более 10 %) в 1,5...2 раза снижает производительность экскаваторов и увеличивает затраты на вторичное дробление.

После взрыва на земной поверхности не должно быть завывшений подошвы уступа (порогов), а также заколов за последний ряд скважин. Выброс породы за линию скважин на верхнюю бровку уступа должен быть минимальным.

Развал взорванной породы должен быть заданной ширины и высоты, обеспечивающих высокопроизводительную и безопасную работу экскаваторов.

Запас взорванной горной массы в забое должен обеспечивать бесперебойную и высокопроизводительную работу погрузочно-транспортного оборудования.

Схема взрывной цепи и конструкция заряда должны обеспечивать полноту детонации всей заряженной массы ВВ в наиболее благоприятном для разрушения массива режиме.

При взрыве не должно происходить не предусмотренных проектом разрушений или повреждений окружающих объектов сейсмическим действием, воздушными ударными волнами, разлетающимися кусками породы.

Необходимое дробление породы обеспечивают выбором правильного метода ведения взрывных работ для конкретных условий, а также правильным сочетанием и использованием факторов, влияющих на степень дробления породы (удельный расход ВВ, параметры заряда, схема взрывания и т.п.).

7. Регулирование степени дробления пород взрывом.

Дробление негабарита на карьере

Управление дроблением горных пород является крайне важным при ведении взрывных работ на карьерах. Непрерывное изменение горнотехнических условий разработки месторождений, в том числе свойств массивов и слагающих их горных пород, предопределяет необходимость корректировки параметров взрывных работ для качественного рыхления горных пород.

Степень дробления породы можно регулировать как изменением параметров воздействия на массив взрыва отдельного заряда (в зоне регулируемого дробления), так и изменением параметров воздействия на массив взрыва группы зарядов (в зоне практически нерегулируемого дробления).

Параметры регулирования дробления можно также разделить на два класса:

1. Параметры, позволяющие получить дробление любой требуемой интенсивности – это расчетный удельный расход ВВ, тип ВВ, диаметр и сетка расположения скважин, конструкция заряда, качество забойки, направление инициирования и порядок инициирования частей заряда;

2. Параметры, позволяющие изменить интенсивность дробления в ограниченных пределах, и не позволяют исключить выход крупной негабаритной фракции породы (все остальные параметры).

Удельный расход ВВ. Для разрушения определенного объема породы до определенной крупности требуется затратить определенное количество энергии. С увеличением удельного расхода ВВ интенсивно увеличивается и степень дробления массива, но при достижении состояния насыщения массива энергией взрыва, она не может быть поглощена массивом и расходуется на повышенный разброс породы. Установление оптимального удельного расхода ВВ является сложной технической задачей - существующие методики расчета удельного расхода ВВ позволяют лишь предварительно оценить значение параметра (расчетный удельный расход), что в дальнейшем требует постоянной корректировки в соответствии с результатами взрывов (фактический удельный расход). Применяются следующие методы определения удельного расхода ВВ – по таблице Союзвзрывпрома, методики акад. В.В. Ржевского, проф. Б.Н. Кутузова, проф. Ю.И. Анистратова и др.

Метод определения удельного расхода ВВ по Союзвзрывпрому основан на обобщении многолетнего опыта ведения взрывов в различных породах и условиях. Горные породы по взрываемости подразделены на 11 категорий по классификации СНиП-82, для которых даны коэффициенты крепости по проф. М.М. Протодьяконову и расчетные удельные расходы эталонного ВВ – аммонита №6 ЖВ. В случае применения других ВВ значение удельного расхода аммонита №6 ЖВ следует умножить на переводной коэффициент.

Таблица 10.

Расчетный удельный расход аммонита 6ЖВ по Союзвзрывпрому

Порода	Группа (категория) грунтов и пород	Коэффициент крепости по шкале проф. М. М. Протодьяк	Средняя плотность породы, кг/м ³	Расчетный удельный расход ВВ, кг/м ³	
				для зарядов рыхления q_p	для зарядов выброса q_v

		онова			
Песок	I	-	1500	-	1,6—1,8
Песок плотный или влажный	I-II	-	1650	-	1,2—1,3
Суглинок тяжелый	II	-	1750	0,35— 0,4	1,2-1,5
Глина ломовая	III	-	1950	0,35— 0,45	1,0—1,4
Лес	III-IV	-	1700	0,3—0,4	0,9-1,2
Мел, выщелоченны й мергель	IV-V	0,8—1,0	1850	0,25— 0,3	0,9—1,2
Гипс	IV	1,0—1,5	2250	0,35— 0,45	1,1 — 1,5
Известняк- ракушечник	V-VI	1,5—2,0	2100	0,35— 0,6	1,4—1,8
Опока, мергель	IV-VI	1,0—1,5	1900	0,3—0,4	1,0—1,3
Туфы трещиноваты е, плотные, тяжелая пемза	V	1,5—2,0	1100	0,35— 0,5	1,2—1,5
Конгломерат, брекчии на известняково м и глинистом цементе	IV-VI	2,3—3,0	2200	0,35- 0,45	1,1 — 1,4
Песчаник на глинистом цементе, сланец глинистый, слюдистый, мергель	VI-VII	3,0—6,0	2200	0,4—0,5	1,2—1,6
Доломит, известняк, магнезит, песчаник на известняково м цементе	VII-VIII	5,0—6,0	2700	0,4—0,5	1,2—1,8
Известняк, песчаник, мрамор	VII-IX	6,0—8,0	2800	0,45— 0,7	1,2—2,1
Гранит, гранодиорит	VII-X	6—12	2800	0,5—0,7	1,7—2,1
Базальт, диабаз,	IV-XI	6—18	3000	0,6— 0,75	1,7—2,2

андезит, габбр					
Кварцит	X	12—14	3000	0,5—0,6	1,6—1.9
Порфирит	X	16—20	2800	0,7— 0,75	2,0—2.2

Акад. В.В. Ржевский предложил определять удельный расход в зависимости от физико-механических свойств взрывааемых пород. Расчетный (проектный) удельный расход ВВ определяется по формуле

$$q_{\text{п}} = q_{\text{э}} \cdot e \cdot k_q \cdot k_{\text{сз}} \cdot k_y \cdot k_{\text{п}}, \text{ г/м}^3 \quad (43)$$

где $q_{\text{э}}$ – эталонный удельный расход, рассчитывается по формуле

$$q_{\text{э}} = 0,1 \cdot k_{\text{т}} \cdot (\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{сдв}} + \sigma_{\text{раст}}) + 40 \cdot \rho, \text{ г/м}^3 \quad (44)$$

$\sigma_{\text{сж}}, \sigma_{\text{сдв}}, \sigma_{\text{раст}}$ – предел прочности пород на одноосное сжатие, сдвиг, растяжение соответственно, МПа;

$k_{\text{т}}$ – коэффициент трещиноватости,

$$k_{\text{т}} = 1,2 \cdot d_{\text{ср}} + 0,2 \quad (45)$$

$d_{\text{ср}}$ - средний размер отдельности, м;

ρ – плотность породы, т/м³;

e – переводной коэффициент типа ВВ;

k_q – поправочный коэффициент на расход ВВ с учетом требуемой степени дробления,

$$k_q = \frac{0,5}{d_{\text{ср}}} \quad (46)$$

$k_{\text{сз}}$ – поправочный коэффициент на степень сосредоточения заряда - $k_{\text{сз}} = 0,8; 1,0; 1,2$, соответственно, при $d_{\text{СКВ}} = 100, 200$ и 300 мм;

k_y – поправочный коэффициент на высоту уступа,

$$k_q = \sqrt[3]{\frac{15}{H_y}} \text{ при высоте уступа } H_y < 15 \text{ м}$$

$$k_q = \sqrt[3]{\frac{H_y}{15}} \text{ при } H_y > 15 \text{ м;}$$

$k_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий число открытых поверхностей - $k_{\text{п}} = 5 \dots 5,5$ при двух открытых поверхностях (уступ).

В МГИ под руководством проф. Б.Н. Кутузова разработан метод определения удельного расхода ВВ для массовых взрывов в зависимости от трещиноватости массива и прочностных свойств пород, основанный на сопоставлении результатов взрыва одной и той же породы, разделенной на отдельные, и в массиве (Кутузов и др.1988). Удельный расход ВВ определяется по формуле:

$$q_{\Pi} = 0,13 \cdot \rho \cdot \sqrt[4]{f} \cdot (0,6 + 3,3 \cdot d_0 \cdot d_3) \cdot \left(\frac{0,5}{d_K}\right)^{\frac{2}{5}} \cdot \sqrt[3]{\frac{0,25 \cdot d_K}{d_{CP}}} \cdot e, \quad (47)$$

где ρ – плотность породы т/м³;

f – коэффициент крепости;

d_K – кондиционный размер куска, м;

d_0 – средний кусок отдельности в массиве, м;

d_3 – диаметр заряда, м;

d_{CP} – требуемый средний кусок взорванной массы, м;

Известные формулы для расчета удельного расхода ВВ позволяют определить основные параметры типового проекта массового взрыва. Величины удельного расхода ВВ, рассчитанные по изложенным методикам, могут различаться в 1,5...1,8 раза, поэтому они затем уточняются в процессе практического проведения буровзрывных работ в конкретных условиях месторождения или его части.

Диаметр заряда, линия наименьшего сопротивления и сетка расположения зарядов. Увеличение диаметра заряда повышает выход крупных фракций при взрыве так как увеличивается и расстояние между скважинами, а следовательно, значительная часть отдельностей массива попадает при взрыве в зону практически нерегулируемого дробления. Уменьшая диаметр заряда, можно достигнуть такого расположения зарядов в массиве, при котором все отдельности попадают в зону регулируемого дробления, кроме того, снижается переизмельчение породы вокруг заряда, распространение энергии по

массиву идет с меньшим затуханием, снижается заколообразование в глубь массива.

Таким образом, при небольшом диаметре заряда (менее 150 мм) можно достигнуть нулевого выхода негабаритных фракций, а при диаметре заряда более 250 мм при любом расходе ВВ нулевой выход негабарита не может быть получен, ввиду увеличения зоны нерегулируемого дробления.

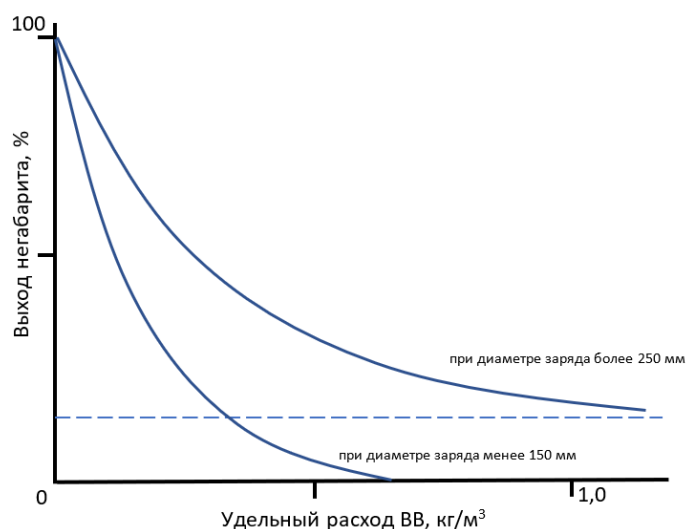


Рис.49. Зависимость выхода негабарита от удельного расхода ВВ при различных диаметрах скважин

С увеличением крепости пород с $f=6$ до 18, затраты на бурение растут в 4...6 раз быстрее затрат на взрывание, в породах небольшой крепости расходы на взрывные работы могут составлять до 70% от общих затрат на отбойку – в этом случае рационально применение дешевых простейших ВВ (например, игданита), в крепких породах необходимо снижать себестоимость буровых работ, например, расширением сетки скважин и применением мощных ВВ. Замена в крепких породах дешевых ВВ на более мощные и дорогие является целесообразной, если, вследствие этого, обеспечивается снижение себестоимости отбойки пород.

В породах 1-2 категории трещиноватости диаметр заряда следует выбирать возможно большим (250...350 мм и более) и ограничивать

лишь технологическими задачами предприятия. С целью снижения расходов на бурение в крепких абразивных породах, типа железистых кварцитов, целесообразно заряжаемую часть скважин расширять термобурением с 250 мм до 450...600 мм с расширением сетки скважин с 5,5х5,5 м до 9х9 м и более, что значительно снизит затраты на бурение.

Таблица 11.

Классификация массивов скальных пород по трещиноватости и содержанию крупных кусков

Категория пород по трещиноватости	Степень трещиноватости массива	Удельная трещиноватость, м ⁻¹	Средний размер отдельных, м	Содержание в массиве отдельных крупнее, см		
				30	70	100
I	Чрезвычайно трещиноватые (мелкоблочные)	>10	<0,1	<10	0	0
II	Сильнотрещиноватые (среднеблочные)	2...10	0,1...0,5	10...70	<30	<5
III	Среднетрещиноватые (крупноблочные)	1...2	0,5...1,0	70...100	30...80	5...40
IV	Малотрещиноватые (весьма крупноблочные)	1...0,65	1,0...1,5	100	80...90	40...80
V	Монолитные (исключительно крупноблочные)	<0,65	>1,5	100	100	100

В породах 2 категории, а также в однородных породах 3 категории на карьерах предпочтительны диаметры 200...250 мм – такие массивы являются характерными для большинства карьеров и определяют широкое использование шарошечных станков типа СБШ-200 и СБШ-250/270.

В весьма крупноблочных породах 4 категории, а также в перемежающихся породах 5 категории диаметр скважин следует уменьшать до 100...150 мм.

Для каждой категории пород также существует линейная зависимость величины линии наименьшего сопротивления (ЛНС) W (сетки скважин) от диаметра заряда D_3 следующего вида

$$W = k \cdot D_3, \text{м} \quad (48)$$

Графически данная зависимость представлена на рисунке. С увеличением диаметра заряда растет и величина ЛНС, причем, с увеличением крепости породы f , угол наклона зависимости уменьшается.

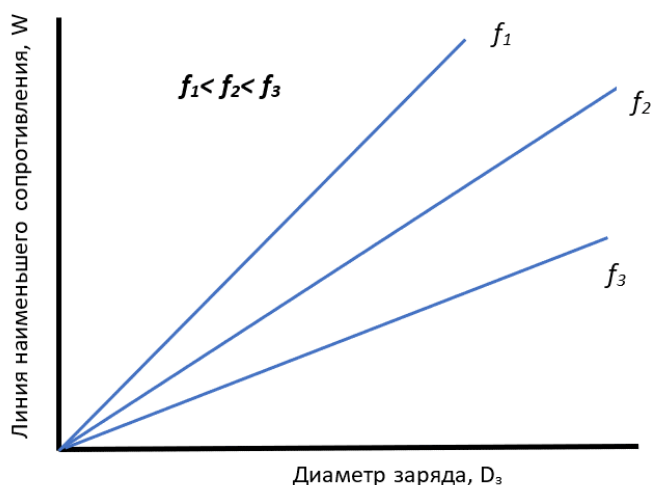


Рис.50. Зависимость величины ЛНС от диаметра заряда

Конструкция зарядов. Заряды по конструкции делятся на сплошные и рассредоточенные. Рассредоточение заряда, по сравнению со сплошным зарядом, позволяет улучшить дробление породы за счет увеличения зоны регулируемого дробления.

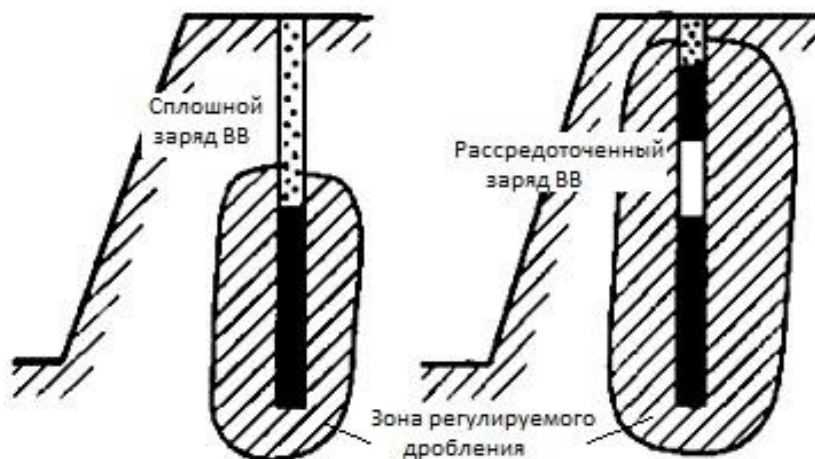


Рис.51. Действия сплошного и рассредоточенного заряда

Рассредоточение заряда целесообразно в том случае, когда емкость скважины используется не полностью, в частности, при применении в однородных породах сближенной сетки скважин и незначительной длине сплошного заряда (менее 0,5 длины скважины).

Заряд рассредоточивается породой, водой, воздухом, пенополистиролом. Рассредоточение зарядов производится с использованием специальных устройств – парашютов, рукавов, пневмозатворов и т.д., удерживающих вышерасположенную часть заряда. Институтом горного дела им. А.А. Скочинского рекомендуется при высоте уступа до 20 м рассредоточивать заряд на две-три части.

Рассредоточение скважинных зарядов воздушными промежутками улучшает дробление породы и изменяет характер действия взрыва в породе. При взрыве сплошного заряда происходит переизмельчение породы в ближней зоне за счет высокого давления газообразных продуктов в зарядной камере, в дальнюю зону передается меньшее количество энергии взрыва из-за чего порода в ней дробится на более крупные куски. Воздушные промежутки уменьшают плотность заряда и значительно снижают пиковое давление взрыва на границе заряд-порода, что сокращает переизмельчение породы около заряда и увеличивает время активного воздействия заряда на среду. При этом газы верхнего заряда запирают газообразные продукты взрыва нижнего заряда, увеличивая время его действия на массив и повышая коэффициент использования энергии на дробление в дальней зоне.



Рис. 52. Зависимость гранулометрического состава известняков от конструкции заряда скважин

При зарядании обводненных скважин рассредоточения заряда забойкой следует избегать, так как это приводит к ухудшению детонационной способности или к отказу заряда ВВ.

Недостатками применения рассредоточенных зарядов являются сложность зарядания и снижение производительности труда взрывников.

Расчет зарядов ВВ, рассредоточенных воздушными промежутками, производится в следующем порядке.

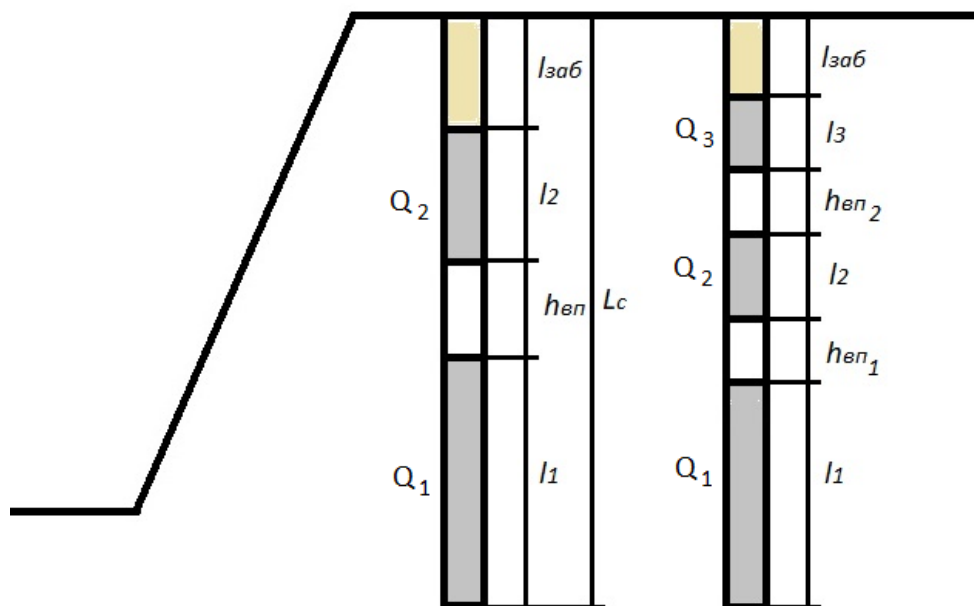


Рис.53. Параметры рассредоточенных скважинных зарядов рыхления

Параметры зарядов с воздушными промежутками рассчитывают в следующем порядке.

Длина скважины:

$$L_c = H_y + l_{\text{пер}}, \quad (49)$$

где H_y – высота уступа, м

$l_{\text{пер}}$ – величина перебура, м

Сопротивление по подошве:

$$W_{\text{спп}} = 0,9 \cdot \sqrt{\frac{P}{q \cdot m}}, \text{ м} \quad (50)$$

где q – удельный расход ВВ, кг/м³;

m – коэффициент сближения;

P - вместимость 1 м скважины:

$$P = \frac{\pi \cdot D_{\text{зар}}^2}{4} \cdot \Delta_3, \text{ кг/м} \quad (51)$$

где $D_{\text{зар}}$ – диаметр заряда, м,

Δ_3 – плотность заряжения, кг/м³.

Расстояние между скважинами:

$$a = m \cdot W_{\text{спп}}, \text{ м} \quad (52)$$

Общая масса скважинного заряда определяется по формуле:

$$Q = q \cdot H_y \cdot a \cdot W_{\text{спп}}, \text{ кг} \quad (53)$$

где q – удельный расход ВВ на рыхление, кг/м³;

H_y – высота уступа, м;

a – расстояние между зарядами, м;

$W_{\text{спп}}$ – сопротивление по подошве уступа, м.

Масса зарядов нижней части скважины:

- при одном воздушном промежутке

$$Q_1 = (0,6 \dots 0,7) \cdot Q, \text{ кг} \quad (54)$$

- при двух воздушных промежутках

$$Q_1 = 0,5 \cdot Q, \text{ кг} \quad (55)$$

Масса верхней части заряда:

- при одном воздушном промежутке

$$Q_2 = Q - Q_1, \text{ кг} \quad (56)$$

- при двух воздушных промежутках

$$Q_3 = Q_2 = (Q - Q_1)/2, \text{ кг} \quad (57)$$

Общая длина заряда в скважине:

$$l_{\text{зар}} = Q/P, \text{ м} \quad (58)$$

Общая длина воздушных промежутков в скважине:

$$h_{\text{ВП}} = \alpha_{\text{в}} \cdot l_{\text{зар}}, \text{ м} \quad (59)$$

где $\alpha_{\text{в}} = 0,17 \dots 0,35$ – значение коэффициента относительной длины воздушного промежутка.

Длина нижней и верхних частей заряда в скважине:

$$l_1 = Q_1/P, \text{ м} \quad (60)$$

$$l_2 = Q_2/P, \text{ м} \quad (61)$$

$$l_3 = Q_3/P, \text{ м} \quad (62)$$

Если в скважинном заряде несколько воздушных промежутков, то высота каждого из них определяется по формуле:

$$h_k = h_{вп} / n, \text{ м} \quad (63)$$

где n – число воздушных промежутков в заряде.

Длина забойки в скважине:

$$l_{заб} = L_c - (l_{зар} + h_{вп}), \text{ м} \quad (64)$$

Влияние забойки и направления и инициирования зарядов. Устья скважин, оставшиеся свободными после размещения зарядов, заполняют забоечным материалом: глиной, песком, буровой мелочью. В качестве забойки для шпуров и скважин нельзя применять кусковатый или горючий материал. Забойка положительно влияет на эффективность взрыва за счет следующих факторов:

- уменьшает потери энергии в процессе детонации заряда и обеспечивает более полное протекание реакции взрыва;
- длительность воздействия газов взрыва на стенки зарядной полости, что увеличивает интенсивность дробления породы;
- уменьшает силу воздействия ударной воздушной волны и разброс кусков породы.

Решающими факторами эффективности забойки являются ее вес и условия сцепления на контакте забойки и стенки скважины, в связи с чем длину забойки принимают равной 15-20 диаметров заряда. Перспективным является применение в качестве забойки тяжелых гелей плотностью до 2 г/см^3 , твердеющих составов, расширяющихся при застывании и специальных устройств – турбулизаторов, расклинивающих устройств и т.д. В обводнённых массивах используют гидрозабойку (забоячная часть скважины заполнена водой, вытесненной зарядом ВВ из нижней части скважины), которая эффективно удерживает газы взрыва и способствует подавлению пылевых выбросов в атмосферу.

Применение качественной забойки обеспечивает увеличение эффективности взрывания на 10-15%.

Существенное влияние на качество дробления оказывает *направление инициирования* – при нижнем инициировании (обратном) проработка подошвы и степень дробления улучшаются за счет увеличения продолжительности разрушения массива.

Короткозамедленное взрывание зарядов. На степень дробления оказывают влияние схема и интервал КЗВ, ориентирование зарядов относительно господствующих систем трещин и другие факторы.

Лучшие результаты дробления достигаются в тех схемах КЗВ, в которых наибольшее число зарядов взрывается одновременно, а действие их направлено навстречу друг другу, обеспечивая максимум соударения кусков. КЗВ по диагональной схеме инициирования зарядов, расположенных по квадратной сетке, позволяет значительно уменьшить фактическую величину ЛСПП для каждого заряда и увеличить расстояние между взрывающимися скважинами – фактический коэффициент сближения можно увеличить с 1 до 8, ЛСПП уменьшить в два и более раз, а каждый заряд в скважине при этом работает как одиночный.

Взрывание в зажатой среде. Является эффективным средством изменения условий взрывания на границе разрушения. При отработке развала горной массы, часть его оставляют вдоль фронта работ, формирую таким образом подпорную стенку, пригружающую откос будущего взрывного блока. Взрывание в зажатой среде позволяет повысить степень дробления массива, особенно между первым рядом скважин и откосом уступа, максимально возможно сохранить геологическую структуру массива, а также регулировать параметры развала взорванной горной массы. Опытными взрывами установлено,

что ширина подпорной стенки на известняковых карьерах составляет 10...12 м, на железорудных карьерах – 20...25 м.

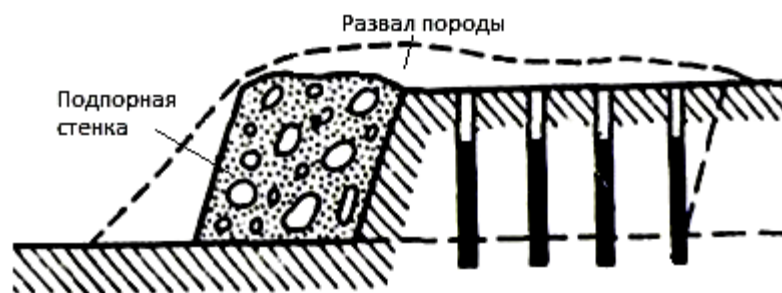


Рис.54. Схема подпорной стенки

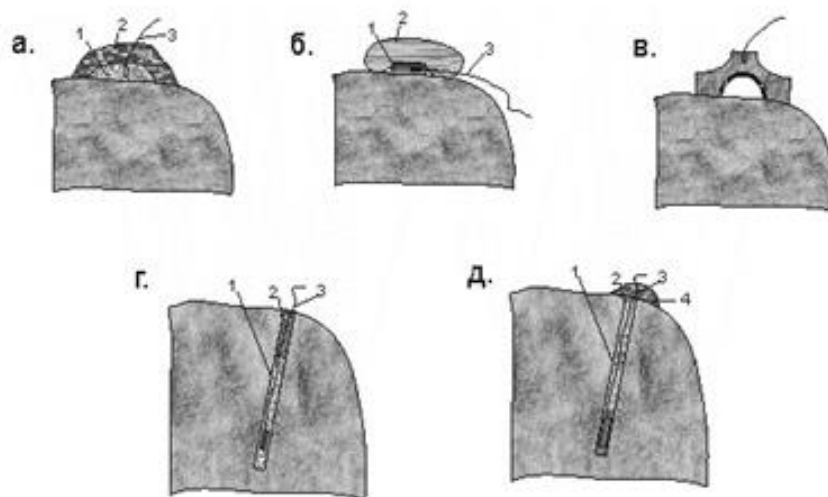
Технология взрывания в зажатой среде реализуется при следующих условиях: число взрываемых рядов должно быть не менее четырех, используют порядные врубовые и диагональные схемы, удельный расход ВВ увеличивается на 15...30% (взрывание на одну свободную поверхность).

Дробление негабарита на карьерах.

При существующей технике и технологии отбойки пород скважинными зарядами на карьерах выход негабаритных кусков, особенно в трудновзрываемых породах, достигает 10 % и более.

Для вторичного дробления негабарита разработаны взрывные, механические, термические, электрофизические и комбинированные способы.

Взрывные способы: без бурения шпуров в негабарите обычными накладными зарядами и с гидроэкранированием; кумулятивными зарядами; с бурением шпуров в негабарите шпуровыми зарядами ВВ; микрочарядами ВВ; гидровзрывные.



а. накладной заряд: 1– ВВ, 2– забойка; б. с гидроэкранированием зарядов ВВ: 1– ВВ, 2 – эластичная емкость с водой; в.кумулятивный накладной заряд; г. шпуровой заряд: 1– ВВ, 2– забойка, 3 – зажигательная трубка; д. гидровзрывание: 1– ВВ, 2 – вода в шпуре, 3 – отрезок ДШ, 4 – забойка дополнительная

Рис. 55. Способы взрывного дробления негабарита

При разрушении негабарита накладными зарядами на кусок негабарита укладывается ВВ и с помощью детонирующего шнура или детонатора производится его взрывание. Этот способ характеризуется высоким удельным расходом ВВ – по сравнению с дроблением шпуровыми зарядами в несколько раз. При этом наблюдается чрезвычайно сильный звуковой эффект и сильная воздушная волна. Опасная зона при взрывании накладных зарядов составляет не менее 300 м. Применение наружной забойки из глины или полиэтиленовых пакетов с водой сокращает расход ВВ при одинаковом эффекте разрушения, уменьшает интенсивность воздушной взрывной волны.

При взрывании наружных зарядов необходимо их размещать так, чтобы взрыв одного не нарушил соседние заряды. Если это сделать не представляется возможным, взрывание должно проводиться только одновременно (с применением электродетонаторов или детонирующего шнура). Запрещается закрывать наружный заряд или детонирующий шнур камнями, щебнем, другим кусковатым материалом.

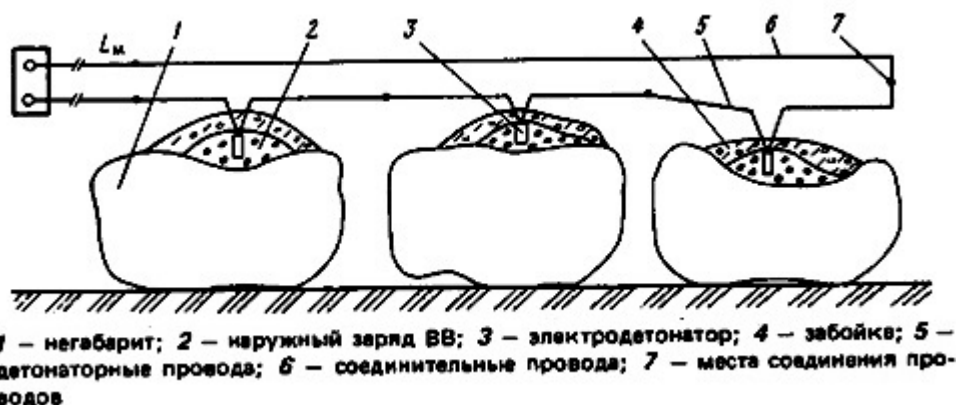


Рис.56. Схема расположения зарядов при дроблении негабарита

Применение кумулятивных зарядов типа ЗКП и ЗКН позволяет в 8...9 раз снизить удельный расход ВВ на вторичное дробление 1 м³ негабарита. В прессованном заряде ЗКП имеются кумулятивная выемка, облицованная сталью, промежуточный детонатор ПД-1, проволочная скоба для крепления ДШ. Применение кумулятивных зарядов для разрушения негабаритов позволяет уменьшить разлет осколков породы и снизить силу воздушной взрывной волны.

Таблица 12

Характеристика кумулятивных зарядов

Показатели	Заряды					
	ЗКП-50	ЗКП-100	ЗКП-200	ЗКП-400	ЗКП-1000	ЗКП-2000
Средняя масса ВВ, г	52	125	225	400...450	1000	2000
Масса промежуточного детонатора, г	5...10	5...10	10...12	10...12	40	40
Диаметр детонатора, мм	10	10	15	12	40	40
Высота детонатора, мм	14	14	14	8...10	20	20
Размеры заряда:						
диаметр	50	80	100	125	172	200
диаметр выемки	25	30	45	54...60	77	00
номинальная высота	30	38	43	55...58	68	80
Допускаемый объем негабарита, м ³	0,18	0,45	0,8	1,6	2,0	3,0

Масса наружного заряда Q_n определяется по формуле:

$$Q_n = q_n \cdot V_n, \text{ кг} \quad (65)$$

где q_n — удельный расход ВВ при методе наружных зарядов, кг/м³;

V_n — объем негабарита (валуна), м³.

Удельный расход для наружных зарядов составляет при использовании:

- аммонита бЖВ $q_n=0,7\dots2,4$ кг/м³;
- гранулированных ВВ $q_n=1,0\dots3,0$ кг/м³;
- кумулятивных зарядов $q_n=0,4\dots1,1$ кг/м³.

При способе дробления негабарита шпуровыми зарядами бурят шпуры глубиной 0,3...0,5 толщины негабарита. Бурение чаще производится легкими бурильными молотками ПР-19, ПР-22. Шпуры обычно заряжают во время подготовки массового взрыва и взрывают одновременно с ним. В шпур помещают заряд рассыпного или патронированного ВВ и вводят узел детонирующего шнура или вставляют электродетонатор. Детонирующие шнуры (провода) от негабаритов подсоединяют к основной магистрали массового взрыва. Недостатками данного способа разрушения являются высокая его себестоимость, вредные и тяжелые условия работы при бурении — вибрация, пыль, шум.

При дроблении негабарита шпуровыми зарядами удельный расход аммонита бЖВ составляет 0,15...0,5 кг/м³.

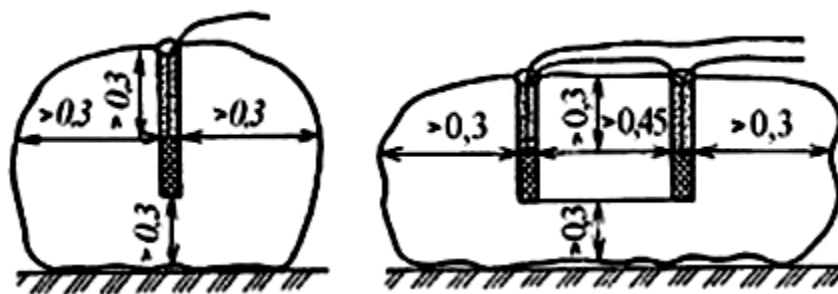


Рис.57. Схема расположения шпуровых зарядов при дроблении негабарита

Длина шнура равна 0,3...0,5 толщины куска негабарита, но не менее 0,15 м. Масса шнурового заряда при дроблении негабарита

$$Q_{\text{нш}} = q_{\text{ш}} \cdot V_{\text{н}} \quad (66)$$

$q_{\text{ш}}$ – удельный расход ВВ при дроблении негабарита шнуровыми зарядами, кг.

Для дробления крупных негабаритных кусков используется несколько шнуровых зарядов. В этом случае масса одного шнурового заряда

$$Q_{1\text{ш}} = Q_{\text{нш}}/n_{\text{ш}} \quad (67)$$

$n_{\text{ш}}$ – число шнуров в куске негабарита.

8. Методы ведения взрывных работ на карьерах

В настоящее время на карьерах применяются следующие методы ведения взрывных работ.

Метод скважинных зарядов – для разрушения массива применяют вертикальные и наклонные скважины диаметром 100...300 мм и глубиной 5...20 м и более. Это основной метод взрывания на карьерах.

Метод шнуровых зарядов – для взрывания применяют вертикальные, наклонные или горизонтальные шнуры диаметром до 75 мм и глубиной до 5 м. Метод применяется на карьерах малой мощности, и для вспомогательных работ – дробление негабарита, подработка порогов, уборка навесей, козырьков и т.д.

Метод котловых зарядов – применяется в трудно взрываемых породах с целью проработки подошвы уступа. Для реализации метода увеличенный заряд ВВ размещают в нижней части скважины в так называемом «котле», получаемым простреливанием (предварительным взрывом в нижней части скважины 10...15 кг ВВ) или термобурением.

Методы контурного взрывания – применяются для постановки уступов в конечное положение, а также для создания отрезной щели с целью предохранения законтурного массива горных пород от трещинообразования.

8.1. Метод ведения взрывных работ шпуровыми зарядами

На карьерах шпуровой метод применяют при небольших объемах работ, отдельной выемке и малой мощности месторождения полезного ископаемого, добыче крупных блоков строительного и отделочного камня, разработке ценных полезных ископаемых в тех случаях, когда необходимо сохранить структуру ископаемого или не допустить излишнего его измельчения, для дробления негабаритов и рыхления мерзлоты. Шпуры на карьерах бурят ручными перфораторами или легкими буровыми установками.

Достоинствами метода являются равномерное и мелкое дробление взрывааемых пород, возможность применения в любых горно-геологических условиях и простота работ;

Основными недостатками метода являются большой объем бурения, высокая стоимость работ, необходимость зарядания и взрывания большого числа шпуров, а также сложность организации работ при необходимости отбойки значительных объемов породы.

Для лучшего отрыва породы шпуры бурят с перебуром, составляющим 10...15% высоты уступа. Если в подошве уступа залегают более слабые породы, то шпуры бурят на глубину, равную высоте уступа.

Основными параметрами расположения зарядов являются:

- сопротивление по подошве уступа W :

$$W = 0.95 \cdot \sqrt{\frac{P}{q_{\text{п}} \cdot m}}, \text{ м} \quad (68)$$

где: P – вместимость ВВ одним метром шпура, кг/м;

$q_{\text{п}}$ – удельный расход ВВ на рыхление, кг/м³;

m – относительное расстояние между шпурами.

- расстояние между шпурами:

$$a = (0.8 \dots 1.3) \cdot W, \text{ м} \quad (69)$$

- масса шпурового заряда определяется по формуле:

$$Q = q_{\text{п}} \cdot a \cdot H \cdot W, \text{ кг} \quad (70)$$

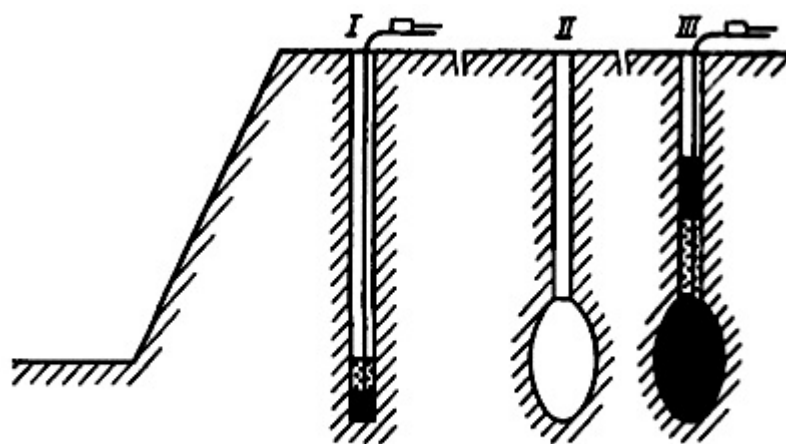
где H — высота уступа, м.

Для интенсивного дробления пород и хорошей проработки подошвы уступа значения W не должны превышать 20...25 диаметров заряда для крепких пород и 25...35 диаметров заряда для пород средней крепости.

8.2. Метод взрывания котловыми зарядами

При методе котловых зарядов на забое (дне) шпура или скважины взрывают небольшие заряды ВВ, в результате чего их нижняя часть разрушается и образуется эллипсоидная камера. В эту камеру после ее охлаждения в течение не менее 15 мин помещают значительно больший заряд ВВ. В термобуриемых кварцсодержащих породах камеры «выжигают» огнеструйными горелками станков огневого бурения.

Полученное на дне шпура скважины расширение называют котлом, а помещенный в нее заряд ВВ — котловым зарядом. Объем котла должен соответствовать массе заряда, намечаемого по расчету. Метод котловых зарядов применяют для одиночного и серийного взрывания, преимущественно при разработке трещиноватых достаточно устойчивых пород, допускающих возможность взрывного образования котловых расширений.



I — размещение прострелочного заряда; *II* — готовая котловая скважина; *III* — комбинированный заряд: удлиненный заряд в верхней части скважины, котловой — в нижней части

Рис.58. Последовательность операций при котловом взрывании

8.3. Метод взрывания скважинными зарядами

При методе скважинных зарядов во взрываемом массиве бурят вертикальные или наклонные скважины диаметром 100...300 мм, глубиной 5...20 м и более.

Скважины на уступе располагаются как в один ряд (однорядное взрывание), так в два и более рядов (многорядное взрывание).

На карьерах применяется в основном многорядное короткозамедленное взрывание скважинных зарядов, позволяющее увеличить качество дробления горной массы, получить развал породы с заданными параметрами и снизить негативное воздействие взрыва на окружающую среду.

Наклонные скважины бурят параллельно откосу уступа при большой высоте уступа в трудновзрываемых породах и при малом их диаметре. В настоящее время взрывание наклонными скважинами все шире применяется на карьерах, так как этот метод обеспечивает получение существенно лучшего дробления массива, хорошую проработку подошвы уступа, резко уменьшает заколы за линию скважин.

Перебур скважин делают для лучшего разрушения массива на уровне подошвы и размещения в нижней части массива большего заряда ВВ. С увеличением глубины перебура более 12...15 диаметров заряда преодолеваемое СПП не изменяется. Поэтому глубина перебура принимается равной для слабых пород 10 диаметрам зарядов, для трудновзрывааемых 15 диаметрам заряда. При наличии мягких пластов в подошве (уголь, глина, песок) скважины недобуривают на 0,5...1,0 м до этого пласта.

Величина забойки влияет на разлет породы при взрыве, ширину развала породы и использование энергии взрыва на разрушение. С увеличением длины забойки уменьшается разлет породы и ширина развала, повышается коэффициент использования энергии ВВ на дробление. Однако при этом уменьшается величина заряда в скважине, что приводит к сближению сетки скважин. Поэтому рекомендуется принимать минимальную величину забойки по условиям безопасности и технологичности развала. Длина забойки принимается равной 20 диаметрам скважин или половине величины сопротивления по подошве.

Основные параметры скважинных зарядов рыхления на уступе определяются по следующей методике.

Глубина скважины:

$$L_c = H_y + l_{nep}, \text{ м} \quad (71)$$

где $l_{nep} = (10...15) \times D$ – глубина перебура, м.

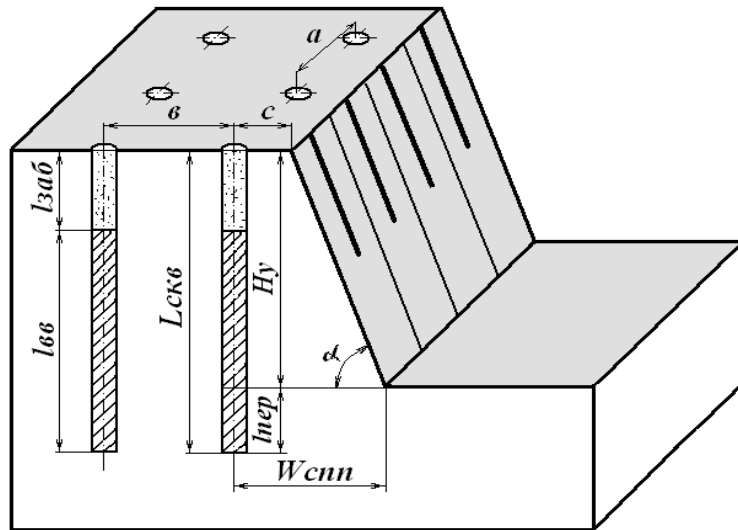


Рис.59. Схема расположения скважинных зарядов на уступе

Расчетная величина сопротивления по подошве для вертикальных скважин определяется по формуле:

$$W_{снп} = \frac{\sqrt{0,25 \cdot P^2 + 4 \cdot q_n \cdot P \cdot H_y \cdot L_c} - 0,5 \cdot P}{2 \cdot q_n \cdot H_y}, \text{ м} \quad (72)$$

где P – вместимость одного метра скважины, определяют по формуле

$$P = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \Delta_3, \text{ кг/м} \quad (73)$$

L_c – глубина скважины, м;

Δ_3 – плотность ВВ в заряде, кг/м³.

Расстояния между скважинами в ряду a и между рядами скважин b :

$$a = m \cdot W_{снп}, \text{ м} \quad (74)$$

где m – относительное расстояние между скважинами (коэффициент сближения), принимают $m=0,8 \dots 1,1$ при мгновенном взрывании и $m=0,9 \dots 1,3$ при короткозамедленном взрывании.

Расстояния между рядами скважин находят из соотношений:

- при мгновенном взрывании

$$b = 0,85 \cdot W_{снп}, \text{ м} \quad (75)$$

- при короткозамедленном взрывании

$$b = 0,95 \cdot W_{cnn}, \text{ м.} \quad (76)$$

Полученные значения сетки скважин округляют до 0,1 м.

Минимальная величина забойки по условиям безопасности и компактности развала составляет:

$$l_{заб} = 0,5 \cdot W_{cnn}, \text{ м} \quad (77)$$

при этом должно соблюдаться условие:

$$l_{заб} \geq 20 \cdot D, \text{ м.} \quad (78)$$

Расчетное сопротивление по подошве W_{cnn} должно быть меньше его предельного значения W_{np} , которое определяется по формуле С.А.

Давыдова:

$$W_{np} = 53 \cdot k_1 \cdot D \cdot \sqrt{\frac{\Delta_3}{\gamma \cdot e}} \cdot (1,6 - 0,5 \cdot m), \text{ м} \quad (79)$$

где k_1 – коэффициент трещиноватости массива ($k_1=1,0$ – монолитные породы, $k_1 = 1,1$ – трещиноватые, $k_1 = 1,2-1,3$ – сильнотрещиноватые);

e – коэффициент работоспособности ВВ, определяется по справочным данным или по формуле:

$$e = \frac{A_{эм}}{A_{вв}}, \quad (80)$$

здесь $A_{эм}$ – идеальная работа взрыва эталонного ВВ (обычно граммонит 79/21), кДж/кг;

$A_{вв}$ – идеальная работа взрыва применяемого ВВ, кДж/кг.

Величину сопротивления по подошве по условию безопасности обурирования определяют по формуле:

$$W_6 = H_y \cdot ctg\alpha + c, \text{ м} \quad (81)$$

где α – угол откоса уступа, град;

c – безопасное расстояние между устьем скважины первого ряда и верхней бровкой уступа (согласно ЕПБ – больше величины бермы безопасности, но не менее 2 м).

Расчетную величину сопротивления по подошве необходимо проверить по условию

$$W_{\bar{o}} \leq W_{cnn} \leq W_{np}. \quad (82)$$

Если условие не соблюдается, то применяют наклонное бурение, увеличивают диаметр скважины (если эти меры невозможны, скважины сдваивают или страивают, располагая их в линию на расстоянии (4...6)·Dодну от другой). Парное расположение скважин применяется при больших величинах СПП, когда одиночные скважины даже при коэффициенте сближения $m = 0,6$ не обеспечивают нормальную проработку подошвы уступа, из-за чего в нижней части образуются пороги, а за линией скважин наблюдаются интенсивные заколы.

Наклонные скважины бурят параллельно откосу уступа при большой высоте уступа в трудновзрываемых породах и при малом их диаметре. Расчетная величина сопротивления по подошве для наклонных скважин первого ряда находится по формуле:

$$W_1 = \frac{\sqrt{P^2 + 4 \cdot q_n \cdot P \cdot H_y \cdot L'_c \cdot m} - P}{2 \cdot q_n \cdot H_y \cdot m}, \text{ м} \quad (83)$$

Длина наклонной скважины:

$$L'_c = \frac{H_y}{\sin \alpha_c} + l_{nep}, \text{ м} \quad (84)$$

где α_c – угол наклона скважины к горизонту, град.

Наклонными выполняют либо первый ряд скважин (в неустойчивых, обрушающихся породах), либо все скважины взрывного блока.

Масса заряда в скважине определяется по формуле:

$$Q = H_y \cdot W_{cnn} \cdot a \cdot q_n, \text{ кг} \quad (85)$$

Величину заряда в скважине проверяют по ее максимально возможному заполнению (вместимости скважины) $Q_{max} \geq Q$:

$$Q_{max} = P \cdot (L_c - l_{заб}), \text{ кг} \quad (86)$$

Если условие не соблюдается, то изменяют величину относительного расстояния между скважинами m , применяют рассредоточение заряда ВВ.

Выход взорванной породы с одного метра скважины определяют по формуле:

$$V = \frac{0,9 \cdot \sqrt{\frac{P}{m \cdot q_n}} \cdot a \cdot H_y}{L_c}, \text{ м}^3/\text{м} \quad (87)$$

Количество рядов скважиноопределяется по формуле

$$n_p = \frac{B}{b}, \quad (88)$$

где B – ширина взрываемого блока, м.

Для обеспечения высокой степени дробления число рядов должно быть не менее четырех.

Количество скважин в ряду:

$$n_c = \frac{L_{\sigma}}{a}, \quad (89)$$

где L_{σ} – длина взрываемого блока, м.

Общее количество скважин:

$$N = n_p \cdot n_c. \quad (90)$$

Суммарная длина скважин:

$$\sum L_c = N \cdot L_c, \text{ м} \quad (91)$$

Общее количество ВВ для проведения массового взрыва:

$$Q_{\text{общ}} = Q \cdot N, \text{ кг} \quad (92)$$

Интервал замедления между взрывами скважинных зарядов определяется по формуле

$$\tau = A \cdot W_{\text{снн}}, \text{ мс} \quad (83)$$

где A – коэффициент, зависящий от крепости взрываемой породы ($A=3$ – для особо крепких пород; $A=4$ – для крепких пород; $A=5$ – для пород средней крепости; $A=6$ – для мягких пород). По результатам расчета принимаются стандартные пиротехнические реле или электродетонаторы (ЭД) с ближайшим интервалом замедления. Для получения интервалов замедления, отличающихся от номинальных, допускается включать последовательно между зарядами два пиротехнических замедлителя.

8.4. Методы контурного взрывания

Это методы направленного уменьшения разрушающего действия взрыва в желаемом направлении. Применяется с целью увеличения устойчивости откосов уступов и бортов карьеров скальных пород при их выходе на проектный контур.

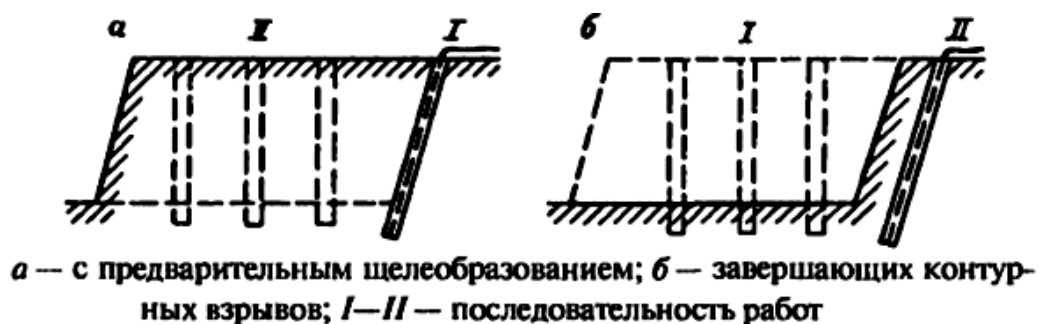


Рис.60. Схемы контурного взрывания

Существует два основных метода выполнения контурного взрывания:

а) метод предварительного щелеобразования, когда по проектному контуру борта карьера или выемки заранее бурят и взрывают ряд сближенных скважин уменьшенного диаметра;

б) метод завершающего контурного взрывания, когда производят доработку разрушаемого объема до проектного контура.

Скважины контурного ряда заряжают гирляндами рассредоточенных зарядов, шланговыми зарядами, колонковыми зарядами контурного взрывания (ЗКВК). Взрывание таких зарядов дает минимальные размеры величина зоны разрушения.

Для этого на практике создают радиальный зазор между патроном ВВ и стенками скважины, так как известно, что давление газов взрыва обратно пропорционально плотности заряжания. При одновременном взрыве двух рядом расположенных зарядов на линии, соединяющей заряды, в первую очередь образуется трещина, по которой происходит прорыв газов в атмосферу с резким снижением давления в зарядных камерах и разрушительное действие таких зарядов при небольшой

плотности заряжения будет очень ограниченным - на массиве остается 30...50% сечения скважин без видимых следов разрушения стенок.



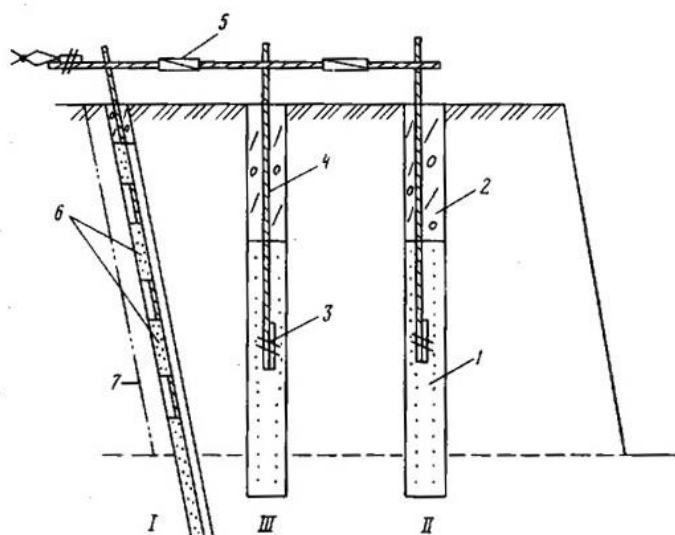
Рис.61. Результаты контурного взрывания зарядов ВВ.

Расчет параметров зарядов при контурном взрывании

Соотношение между диаметром контурной скважины и диаметром контурного заряда

$$\frac{d_{\text{к}}}{d_{\text{кз}}} = \frac{3}{1} \quad (84)$$

Нормативные (эталонные) контурные скважины имеют диаметр $d_{\text{к}}=110$ мм, диаметр патронов в контурных скважинах $d_{\text{кз}}=32$ мм.



1 - скважинный заряд рыхления; 2 – забойка; 3 - узел ДШ; 4 - детонационный отрезок ДШ; 5 — замедлитель; 6 — контурный заряд (заряд-гирлянда); 7 — линия отрыва пород.

Рис.62. Схема контурного взрывания

Для расчетов принимается линейная плотность контурных зарядов (вместимость):

- ✓ в крепких породах $p_k=0,5$ кг/м;
- ✓ в породах средней крепости $p_k= 0,3$ кг/м.

Расстояние между скважинами контурных зарядов:

- ✓ в крепких породах:

$$a_k = 20 \cdot d_{кз}, \text{ м} \quad (85)$$

- ✓ в породах средней крепости:

$$a_k = 25 \cdot d_{кз}, \text{ м} \quad (86)$$

где $d_{кз}$ – диаметр контурных скважин, м

Расстояние между рядами контурных зарядов и зарядов рыхления:

- ✓ в крепких породах:

$$b_k = 18 \cdot d_{зр}, \text{ м} \quad (87)$$

- ✓ в породах средней крепости:

$$b_k = 25 \cdot d_{зр}, \text{ м} \quad (88)$$

где $d_{зр}$ – диаметр скважины рыхления, м.

Базовый удельный расход ВВ для контурного взрывания принимается:

- ✓ в крепких породах $q_6=1100$ кг/1000 м² поверхности откола;
- ✓ в породах средней крепости $q_6= 800$ кг/1000 м² поверхности откола.

Длина контурных скважин:

$$L_k = L_c + 12 \cdot d_{кз}, \text{ м} \quad (89)$$

Длина забойки в контурной скважине:

$$l_{заб} = a_k, \text{ м} \quad (90)$$

Интервал замедления между взрывом контурных скважин и скважин рыхления:

- ✓ в крепких породах – 75 мс,
- ✓ в породах средней крепости – 100 мс.

Длина заряжаемой части контурной скважины:

$$l_{зар} = L_k - l_{заб}, \text{ м} \quad (91)$$

где l_k – длина контурной скважины, м.

Масса контурного заряда по линейной плотности (вместимости):

$$Q_k = l_{зар} \cdot p_k, \text{ кг} \quad (92)$$

Расход ВВ на серию контурных зарядов по поверхности откола:

$$Q_{кс} = q_6 \cdot \frac{S_0}{1000}, \text{ кг} \quad (93)$$

где S_0 – площадь поверхности откола, м².

9. Схемы и средства механизации взрывных работ

Механизация взрывных работ на карьерах должна исключать тяжелые ручные операции с мешками ВВ, начиная с поступления их на склад ВМ и кончая их заряданием в скважине.

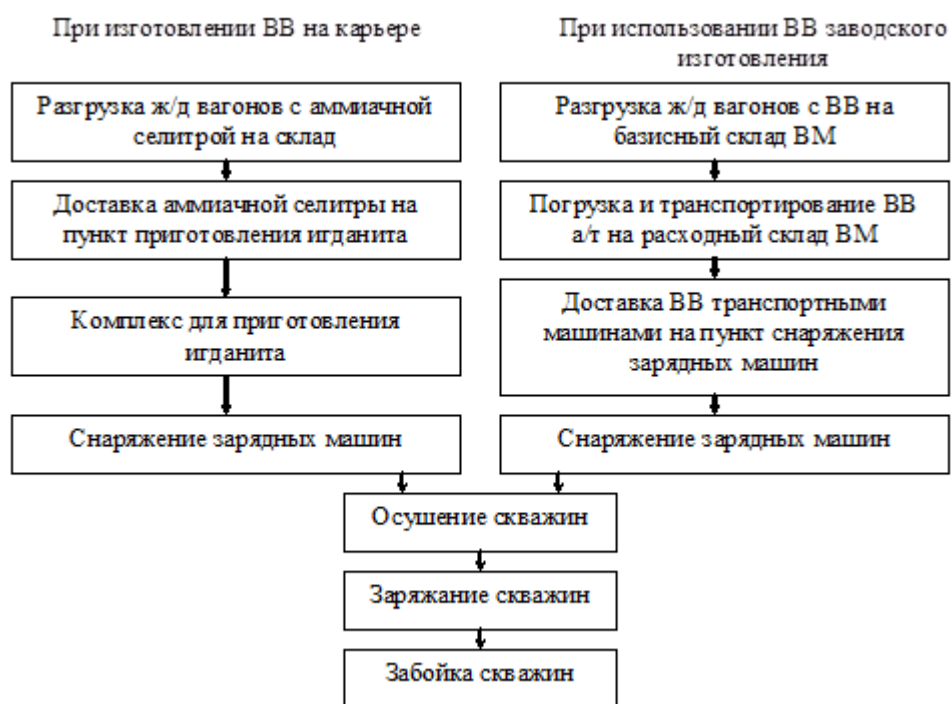


Рис.63. Технологическая цепь операций при механизации взрывных работ на карьерах большой производственной мощности

Механизация взрывных работ применяется на складах ВМ, пунктах подготовки исходных компонентов и готовых ВВ к загрузке зарядных машин, самоходное оборудование для осушения, зарядания и забойки скважин

Механизация погрузочно-разгрузочных работ с ВМ на складах. Погрузочно-разгрузочные работы на складах ВМ включают операции со средствами транспорта по выгрузке-погрузке мешков, строп-контейнеров и ящиков с ВМ, внутрискладские работы и загрузку ВВ в зарядные машины или к пункты приготовления ВВ из компонентов.

Осуществляются с помощью самоходных аккумуляторных тележек (электрокаров) и погрузчиков, оборудованных механизмами захвата, подъема и перемещения грузов к месту укладки. Для доставки ВМ, малочувствительных к внешним воздействиям применяют поддоны для размещения мешков и строп-контейнеры для размещения россыпных ВВ массой до 1 т. Также на погрузочно-разгрузочных

работах на открытой поверхности широко применяются крановые установки.

На территории базисного или расходного склада может функционировать стационарный или мобильный комплекс по растариванию и загрузке зарядных машин заводскими гранулированными ВВ или ВВ, приготавливаемыми из компонентов на местах производства работ.

Транспортировка ВМ производится специализированным транспортом, предназначенным для перевозки и временного хранения взрывчатых материалов всех подклассов и групп совместимости типа ЕХ/III по ДОПОГ (Дорожные перевозки опасных грузов). Взрывчатые вещества могут перевозиться специальными, специализированными автомобилями и автомобилями общего назначения, приспособленными для этих целей. Также допускается перевозка взрывчатых веществ в специализированных фургонах - прицепах, комплектуемых со специальными автомобилями. Автомобили для перевозки взрывчатых веществ проектируются, изготавливаются и оборудуются таким образом, чтобы взрывчатые вещества и изделия были защищены от опасности извне и от воздействия климатических условий.

Оборудование для смешения компонентов и получения гранулированных ВВ подразделяют на стационарные пункты смешения компоненте и получение готовых ВВ и мобильные автономные пункты на автомашинах, в которых обеспечивается хранение и доставка компонентов на заряжаемый блок, изготовление ВВ и его зарядание в скважины.

Стационарные пункты приготовления гранулированных ВВ отличаются производительностью и способами смешения, которые делят на барабанные, шнековые, гравитационные. Порошкообразные ВВ(аммонит) изготавливаются в барабанных смесителях,граммониты и

гранулиты в наклонных шнековых смесителях. Для горных предприятий разработаны установки с упрощенными технологическими схемами изготовления ВВ, позволяющим получать ВВ хорошего качества для заряжания скважин диаметром более 150 мм

Это транспортно-смесительно-зарядные машины. Когда на стационарном пункте производят готовые ВВ, машиной осуществляют доставку ВВ и его зарядание в скважины. Это производят с помощью более простых транспортно-зарядных машин бункерного типа с шиберными затворами. Широко применяемые зарядные машины МЗ-3, МЗ-4 и другие, загружают на складах аммиачной селитрой и жидким горючим, а на заряжаемом блоке производят приготовление смесей типа АН-FO в шнековом смесителе-податчике, которым готовое ВВ подается в зарядный рукав и в скважину.

Оборудование для приготовления водосодержащих и эмульсионных ВВ. Водосодержащие взрывчатые вещества производятся на стационарных пунктах и в смесительно-зарядных машинах. Водосодержащие ВВ типа акваторов изготавливаются следующим образом. На стационарном пункте готовится горячий насыщенный раствор ($t = 85^{\circ}\text{C}$) селитры в аппарате-растворителе вместимостью и загуститель. Приготовленный невзрывчатый раствор подается в накопительную изотермическую емкость, откуда насосом перекачивается в транспортно-смесительно-зарядные машины «Акватор-IV». Машины доставляют горячий раствор селитры на прикарьерный пункт, где из специальной емкости-бункера в емкость машины подается гранулотол. Шнековой мешалкой, расположенной в нижней части емкости, течение 20-30 мин производят перемешивание жидкого раствора и гранул тротила, а затем полученная суспензия насосом через дозатор машины подается в скважину по шлангу под столб воды.

Современные эмульсионные ВВ изготавливаются на стационарных и модульных передвижных пунктах. В настоящее время существует большое количество разнообразных высокотехнологичных схем изготовления этих ВВ, имеющих общие технологические приемы: на стационарном пункте изготавливается раствор селитр и масляный компонент, которые смешиваются в миксере до получения эмульсии, в эмульсию могут быть добавлены вспомогательные компоненты (гранулы селитры, тротила, горючие добавки). Эмульсия загружается в смесительно-зарядную машину, где активируется добавлением газогенерирующей добавки (раствора нитрита натрия). Готовое ВВ через шланг размещается в скважине, зарядание осуществляют путем опускания шланга до дна скважины и его подъемом по мере формирования заряда.

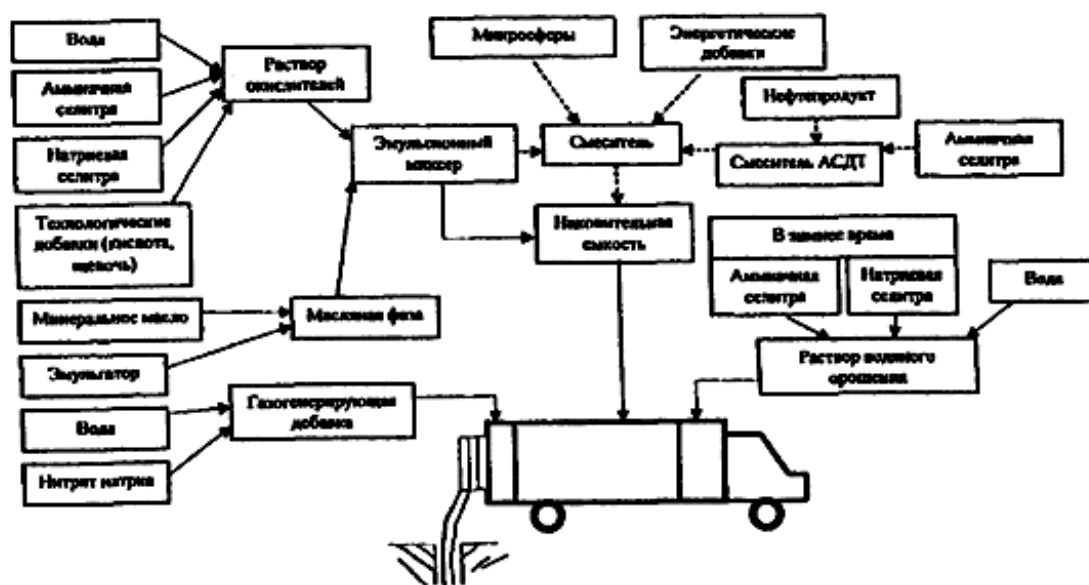


Рис.64. Схема изготовления эмульсионного ВВ.

10. Основы безопасности ведения взрывных работ на карьере

Основным документом, регламентирующим взрывные работы в промышленности, являются Федеральные нормы и правила в области

промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах». Правила устанавливают требования к изготовлению, хранению, транспортированию и применению взрывчатых материалов промышленного назначения в случае, если иные требования не установлены техническим регламентом Таможенного союза "О безопасности взрывчатых веществ и изделий на их основе".

10.1. Требования к персоналу взрывных работ

Организации, ведущие взрывные работы (работы с взрывчатыми материалами), должны иметь обученный персонал: исполнителей и руководителей взрывных работ, имеющих Единые книжки взрывника.

Взрывные работы должны выполняться взрывниками под руководством руководителя взрывных работ по письменным нарядам.

К непосредственному управлению технологическими процессами, связанными с обращением со взрывчатыми материалами на производственных объектах, а также разработке, согласованию и утверждению технических, методических и иных документов, регламентирующих порядок выполнения взрывных работ и работ с взрывчатыми материалами допускаются лица, имеющие высшее или среднее профессиональное горнотехническое образование, либо образование, связанное с обращением взрывчатых материалов, руководители взрывных работ должны иметь соответствующее квалификационное удостоверение – Единую книжку взрывника.

Персонал, связанный с обращением с взрывчатыми материалами для получения права работы с взрывчатыми материалами (право производства взрывных работ) должен проходить соответствующее обучение и не иметь медицинских противопоказаний. Профессию взрывника могут получить только лица мужского пола, имеющие среднее образование и стаж работы не менее одного года по

специальности, соответствующей профилю работ организации. Взрывники должны проходить обучение по соответствующим программам, по окончании обучения (перед стажировкой) взрывникам и персоналу, связанному с обращением с взрывчатыми материалами, выдается Единая книжка взрывника. Взрывник допускается к самостоятельному производству взрывных работ только после работы стажером в течение одного месяца под руководством опытного взрывника. Не реже одного раза в два года знание требований безопасности взрывниками должно проверяться специальной комиссией под председательством представителя Ростехнадзора.

10.2. Проектная документация буровзрывных работах

Взрывные работы необходимо осуществлять в соответствии с оформленной в установленном порядке технической документацией (проектами буровзрывных (взрывных) работ, паспортами, схемами).

Проекты (технические проекты) буровзрывных (взрывных) работ необходимо составлять для взрывания скважинных, камерных, котловых зарядов, при выполнении взрывных работ на строительных объектах и других видов специальных взрывных работ.

Каждая организация, ведущая взрывные работы с применением массовых взрывов должна иметь типовой проект буровзрывных (взрывных) работ, являющийся базовым документом для разработки паспортов и проектов буровзрывных (взрывных) работ, в том числе и проектов массовых взрывов, выполняемых в конкретных условиях.

Типовой проект производства буровзрывных работ должен выполняться с учетом утвержденного проекта разработки месторождения, результатов экспериментальных и промышленных взрывов, научно-технических разработок, передового

производственного опыта по взрывным работам в аналогичных условиях, требований Правил безопасности при взрывных работах.

В типовом проекте буровзрывных работ приводятся ситуационный план с указанием границ карьерного поля, объектов строительства, зданий, сооружений, линий электропередачи и коммуникаций, находящихся в пределах максимальной опасной зоны; краткие геологическая и гидрогеологическая характеристики пород и полезных ископаемых, их классификация по крепости, трещиноватости, буримости, взрываемости; технологические условия (ширина рабочих площадок, высота уступов); методики и общие расчеты параметров буровых и взрывных работ; обоснование выбора диаметров шпуров и скважин, взрывчатых веществ и средств инициирования, средств механизации буровзрывных работ, взрывных и контрольно-измерительных приборов; способы взрывания; схемы взрывной сети; конструкции зарядов и боевиков (промежуточных детонаторов); методика расчета интервалов замедлений и принятые интервалы; параметры расположения скважин на уступах; расходные коэффициенты и расчетные показатели взрывов (удельный расход взрывчатых веществ, выход горной массы с 1 погонного метра скважины); методика расчета безопасных расстояний, типовой паспорт дробления негабаритов.

На основе типового проекта разрабатывается проект буровзрывных (взрывных) работ (проект массового взрыва) для конкретных условий, состоящий из:

- технического расчета со схемой расположения скважин и графическими материалами
- таблицы параметров взрывных работ
- распорядка проведения массового взрыва

Технический расчет и схема расположения скважин должны состоять из пояснительной записки с расчетами и графической документации.

Указанные документы составляются с учетом фактических горных, геологических и гидрогеологических условий, а также указаний маркшейдерской службы и результатов предыдущих взрывов.

Для составления схем могут использоваться планшеты горизонтов, на выкопировках из которых указываются точки расположения скважин.

Точки расположения скважин должны быть вынесены на место.

После бурения скважин проводится маркшейдерская съемка обуренного блока и составляется план с указанием фактического положения уступов и скважин. На план наносится или составляется в виде самостоятельного документа таблица параметров взрывных работ, в которой указываются расчетные данные. В ходе или по окончании заряжания в таблице должны проставляться фактические параметры.

Подготовленный блок после маркшейдерской съемки передается для дальнейшего выполнения работ взрывному участку или цеху, производственному подразделению подрядной организации, согласно акту. Если буровзрывные работы выполняются одним участком (цехом), акт не оформляется.

На основании установленного в организации порядка подготовки и проведения массовых взрывов должен составляться распорядок проведения конкретного массового взрыва.

В распорядке проведения конкретного массового взрыва следует указывать ответственного руководителя массового взрыва. Ответственный руководитель массового взрыва обязан организовать ознакомление персонала с документами по взрыву, довести до них

порядок его подготовки и проведения, необходимые меры безопасности.

Контроль за наличием отказов после массового взрыва, их регистрация и ликвидация должны осуществляться в соответствии с установленным порядком. Результаты выполненных массовых взрывов подлежат систематическому анализу в целях принятия решений по уточнению параметров и дальнейшему совершенствованию взрывных работ.

10.3. Общие требования безопасности при ведении взрывных работ

Прием взрывчатых материалов, их погрузка и выгрузка должны выполняться на складе ВМ или в специально отведенном, охраняемом месте. К местам погрузки-выгрузки взрывчатых материалов не должны допускаться лица, не имеющие отношения к погрузке (выгрузке) взрывчатых материалов.

Погрузочно-разгрузочная площадка за исключением площадок, расположенных на территории складов взрывчатых материалов, ограждаться колючей проволокой на расстоянии не менее 15 м от места погрузки (выгрузки) транспортных средств; освещаться в темное время суток стационарным электрическим освещением или рудничными аккумуляторными светильниками, обеспечиваться необходимыми противопожарными средствами, иметь внешнюю телефонную связь, охраняться на весь период проведения погрузочно-разгрузочных работ.

Транспортирование взрывчатых материалов от склада ВМ на места работ должно проводиться по установленным маршрутам, транспортом, оборудованным и предназначенным для этой цели, присутствие в транспорте персонала, не связанного с доставкой взрывчатых материалов, не допускается. Автотранспорт, используемый

для транспортирования взрывчатых материалов, должен отвечать требованиям законодательства Российской Федерации в области обеспечения безопасности перевозки опасных грузов, а также Европейского соглашения о международной дорожной перевозке опасных грузов (ДОПОГ).

Взрывчатые материалы, доставленные к местам работ, должны находиться в сумках, кассетах, заводской упаковке или иной таре. Доставленные к местам работ взрывчатые вещества, средства инициирования и боевики должны размещаться отдельно. При этом должны соблюдаться условия, исключающие передачу детонации.

Взрывчатые материалы на местах работ, а также заряженные шпуры, скважины запрещается оставлять без охраны. При производстве взрывных работ на открытых горных разработках находящиеся на блоке взрывчатые материалы и заряженные скважины должны охраняться при обязательном искусственном освещении в темное время.

Взрывную станцию необходимо размещать за пределами опасной зоны. При невозможности выполнить это требование должны устраиваться укрытия. Искусственные или естественные укрытия должны защищать исполнителей взрывных работ от действия взрыва, в том числе ядовитых газов.

Запрещается применять открытый огонь и курить ближе 100 м от места нахождения взрывчатых материалов. Зажигательные принадлежности разрешается иметь только взрывникам, осуществляющим огневое взрывание, а огнестрельное оружие - лицам охраны.

10.4. Запретная и опасная зоны, сигнализация при взрывных работах

При производстве взрывных работ перед началом заряжания с момента доставки взрывчатых материалов к местам производства работ вводится запретная зона, в пределах которой запрещается находиться людям, не связанным с заряданием.

В запретную зону разрешается проход специалистов организации и работников контролирующих органов в сопровождении руководителя взрывных работ.

Размеры запретной зоны должны определяться в проектах буровзрывных (взрывных) работ.

На открытых горных работах запретная зона должна составлять не менее 20 м от ближайшего заряда. Она распространяется как на рабочую площадку того уступа, на котором проводится зарядание, так и на ниже- и вышерасположенные уступы, считая по горизонтали от ближайших зарядов.

Опасная зона должна определяться расчетом в проекте или паспорте буровзрывных (взрывных) работ и вводиться:

- с начала укладки боевиков при взрывании с применением электродетонаторов в боевиках;
- до начала установки в сеть пиротехнических реле (замедлителей) или детонаторов при взрывании с применением детонирующих шнуров;
- с момента подсоединения волноводов участков к магистрали при использовании в боевиках неэлектрических систем инициирования с низкоэнергетическими волноводами;
- с момента подсоединения взрывной сети участков к магистральной при взрывании с использованием электронных систем инициирования.

На границах запретной и опасной зон должны быть выставлены посты, обеспечивающие их охрану. Постовым запрещается поручать работу, не связанную с выполнением прямых обязанностей.

По окончании монтажа взрывной сети ответственный руководитель массового взрыва, а при одновременном взрывании нескольких блоков – взрывники, специально назначенные ответственными за зарядание и подготовку к взрыву отдельных блоков, проверяют соответствие монтажа взрывной сети проектным схемам коммутации, надежность узлов и соединений, правильность установки замедлителей. Обнаруженные дефекты должны быть устранены.

При производстве взрывных работ необходима подача звуковых, а в темное время суток и световых сигналов для оповещения людей.

Значение и порядок сигналов:

а) первый сигнал - предупредительный (один продолжительный).
Сигнал подается при вводе опасной зоны;

б) второй сигнал - боевой (два продолжительных). По этому сигналу проводится взрыв;

в) третий сигнал - отбой (три коротких). Он означает окончание взрывных работ.

Сигналы должны подаваться взрывником или специально назначенным работником организации, ведущей взрывные работы.

Ответственный руководитель массового взрыва дает указание о подаче боевого сигнала только после получения донесений взрывников, ответственных за зарядание и подготовку к взрыву блоков, за охрану опасной зоны и выставление постов, а также за вывод людей с территории опасной зоны, ознакомившись с заполненной таблицей параметров взрывных работ и убедившись в выполнении мероприятий, перечисленных в распорядке проведения массового взрыва.

Не ранее чем через 15 минут после взрыва ответственный руководитель массового взрыва организует осмотр взорванных блоков с принятием мер, предотвращающих отравление газами проверяющего персонала. После осмотра места взрыва при отсутствии отказов скважинных зарядов и снижении концентрации ядовитых продуктов взрыва в воздухе до установленных норм ответственный руководитель массового взрыва дает указание о подаче сигнала "Отбой". По этому сигналу посты охраны опасной зоны снимаются.

Допуск рабочих и специалистов на рабочие места после производства массовых взрывов разрешается не ранее чем через 30 минут после взрыва, рассеивания пылевого облака и полного восстановления видимости, а также осмотра мест (места) взрыва.

10.5. Требования безопасности при ликвидации отказавших зарядов

Во всех случаях, когда заряды не могут быть взорваны по причинам технического характера они рассматриваются как отказы.

Отказы подразделяются на одиночные, групповые и массовые:

- одиночный отказ - отказ одного заряда взрывчатых веществ или нескольких зарядов, присоединенных к различным участкам взрывной сети, причем, если среди зарядов, присоединенных к одному и тому же участку, отказало не более одного заряда;

- групповой отказ - отказ части (двух и более) подлежащих взрыванию зарядов взрывчатых веществ, в случае, когда все из отказавших зарядов или часть из них присоединены к одному и тому же участку взрывной сети;

- массовый отказ - отказ всех зарядов взрывчатых веществ, подлежащих взрыванию, либо отказ зарядов одного или нескольких

блоков (забоев), в случае взрывания нескольких блоков (забоев), объединенных в единую взрывную сеть.

По внешним признакам отказы разделяются на:

- открытые, обнаруживаемые при внешнем осмотре (наличие взрывчатых материалов во взорванной горной массе, характерный навал горной массы, не разрушенный массив горных пород);
- скрытые, которые нельзя обнаружить по внешним признакам при осмотре забоя после взрыва.

По периодичности появления отказы разделяются на:

- случайные, появляющиеся нерегулярно, различные по причинам появления;
- систематические, появляющиеся часто, имеющие одинаковые причины возникновения.

Для своевременного обнаружения отказавших зарядов и предупреждения их несанкционированных взрывов все места взрывных работ после проведения взрывов должны тщательно осматриваться. При обнаружении отказа на земной поверхности взрывник должен выставить отличительный знак у невзорвавшегося заряда.

В местах отказов запрещаются какие-либо работы, не связанные с ликвидацией отказов. Провода обнаруженного электродетонатора в отказавшем заряде необходимо замкнуть накоротко.

Машинист экскаватора, обнаруживший отказ (или подозревающий об отказе), обязан:

- немедленно прекратить все работы по погрузке (перегрузке) горной массы;
- дать указания машинистам локомотивов или водителям автосамосвалов вывести подвижной состав за пределы опасной зоны;
- выставить отличительный знак у невзорвавшегося заряда;

- поставить в известность диспетчера карьера об обнаружении отказа и вызвать руководителя взрывных работ;

- до прибытия лиц технического надзора лично или через помощника осуществлять контроль за исключением каких-либо работ в пределах установленной опасной зоны.

При ликвидации *отказавшего наружного заряда* следует поместить на него новый заряд и провести взрывание в обычном порядке.

При ликвидации отказов запрещается выдергивать или тянуть огнепроводный или детонирующий шнур, а также провода электродетонаторов или волноводы неэлектрических систем взрывания, введенные в боевики.

Ликвидацию отказавших скважинных зарядов разрешается проводить:

- взрыванием отказавшего заряда в случае, если отказ произошел в результате нарушения целостности внешней взрывной сети (если линия наименьшего сопротивления отказавшего заряда не уменьшилась). Если при проверке выявится возможность опасного разлета кусков горной массы или воздействия ударной воздушной волны при взрыве, взрывание отказавшего заряда запрещается;

- разборкой породы в месте нахождения скважины с отказавшим зарядом с извлечением последнего вручную. При взрывании с применением детонирующего шнура, заряда из взрывчатого вещества на основе аммиачной селитры, не содержащего в своем составе порохов, нитроэфиров или гексогена, разборку породы у отказавшего заряда допускается проводить экскаватором с исключением непосредственного воздействия ковша на взрывчатые материалы;

- взрыванием заряда в скважине, пробуренной параллельно на расстоянии не менее 3 м от скважины с отказавшим зарядом;
- при взрывании взрывчатых веществ группы совместимости D с применением детонирующего шнура - вымыванием заряда из скважины;
- при невозможности ликвидировать отказ перечисленными способами – по специально разработанному проекту, утвержденному руководителем организации, ведущей взрывные работы или назначенным им лицом.

10.6. Расчет безопасных расстояний при взрывных работах на карьере

Безопасные расстояния для людей при производстве взрывных работ должны устанавливаться проектом или паспортом и быть такими, чтобы исключить несчастные случаи. За безопасное расстояние необходимо принимать наибольшее из установленных по различным поражающим факторам.

Для защиты зданий и сооружений от сейсмического воздействия при взрывных работах и работах с взрывчатыми материалами масса зарядов взрывчатых веществ должна быть такой, чтобы при взрывании исключались повреждения, нарушающие их нормальное функционирование.

Для защиты людей, зданий, сооружений от поражающего действия ударной воздушной волны возможного взрыва на складах ВМ, площадках хранения ВМ и пунктах производства ВМ должны соблюдаться расстояния, обеспечивающие безопасность. Указанные безопасные расстояния рассчитываются от мест нахождения взрывчатых материалов на складах, площадках или пунктах

изготовления до мест нахождения людей и размещения охраняемых объектов.

Безопасные расстояния для людей при взрывных работах на земной поверхности следует принимать не менее величин, указанных в таблице.

Таблица 13.

Безопасные расстояния для людей при взрывных работах
на земной поверхности

Виды и методы взрывных работ	Минимально допустимые радиусы опасных зон, м
Взрывание на открытых работах методами:	
1. Наружных зарядов,	300
Том числе кумулятивных	По проекту
1.2. Шпуровых зарядов	200
1.3. Котловых шпуров	200
1.4. Малокамерных зарядов (рукавов)	200
1.5. Скважинных зарядов	Не менее 200
1.6. Котловых скважин	Не менее 300
1.7. Камерных зарядов	Не менее 300

Расстояние, безопасное для людей по разлету отдельных кусков породы при взрывании скважинных зарядов, рассчитанных на разрыхляющее (дробящее) действие, определяется по формуле:

$$r_{разл} = 1250 \cdot \eta_z \cdot \sqrt{\frac{f}{1+\eta_{заб}} \cdot \frac{D}{a}}, \text{ м} \quad (94)$$

где $\eta_z = \frac{l_{зар}}{L_c}$ – коэффициент заполнения скважины взрывчатым веществом;

f – коэффициент крепости пород по шкале М.М. Протоdjяконова;

D – диаметр взрываваемой скважины, м;

$\eta_{заб} = \frac{l_{заб}}{L_c}$ – коэффициент заполнения скважины забойкой (при

полном заполнении забойкой свободной от заряда верхней части скважины $\eta_{заб}=1$, при взрывании без забойки $\eta_{заб}=0$);

$l_{зар}$ – длина заряда в скважине, м;

$l_{заб}$ – длина забойки в скважине, м;

L_c – длина скважины, м;

a – расстояние между скважинами в ряду, м.

При взрывании массива пород с различной крепостью следует принимать максимальное значение коэффициента крепости f .

При взрывании параллельно сближенных скважинных зарядов диаметром D принимается их эквивалентный диаметр $D_{эkv}$:

$$D_{эkv} = D \cdot \sqrt{N_c}, \text{ м} \quad (95)$$

где N_c – число параллельно сближенных скважин в кусте.

При производстве взрывов на косогорах, а также в условиях превышения верхней отметки взрываемого участка над участками границы опасной зоны более чем на 30 м размеры опасной зоны в направлении вниз по склону должны быть увеличены и безопасные расстояния по разлету отдельных кусков породы (м) рассчитаны по формуле (м):

$$R_{разл} = r_{разл} \cdot K_p, \text{ м} \quad (96)$$

Где: K_p – коэффициент, учитывающий особенности рельефа местности.

При взрывании на косогоре

$$K_p = 1 + \tan \beta, \quad (97)$$

Где β – угол наклона косогора к горизонту

В тех случаях, когда вместо угла β известно превышение места взрыва над границей опасной зоны:

$$K_p = 0,5 \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot H}{r_{разл}}} \right), \quad (98)$$

где H – превышение верхней отметки взрываемого участка над участком границы опасной зоны, м;

Расчетное значение $r_{разл}$ округляют в большую сторону до значения, кратного 50 м.

Безопасные расстояния от места взрыва до механизмов, зданий и сооружений определяются в проекте с учетом конкретных условий.

Безопасное расстояние по действию УВВ наружного заряда на человека следует определять, если принята разделка негабарита накладными зарядами ВВ, находится по формуле

$$r_{min} = 15 \cdot \sqrt[3]{Q}, \quad (99)$$

где Q – масса взрываемого наружного заряда взрывчатых веществ, кг.

Формула (4) используется при необходимости максимального приближения персонала к месту взрыва, в других случаях полученное значение следует увеличить в 2...3 раза. При наличии блиндажей расстояние, можно сократить не более, чем в 1,5 раза.

10.7. Расчет безопасных расстояний при хранении взрывчатых материалов

Определение сейсмически безопасных расстояний при взрывах

Сейсмическая безопасность зданий и сооружений при взрывах предполагает отсутствие повреждений, нарушающих нормальное их функционирование

Расстояния, на которых колебания грунта, вызываемые однократным взрывом сосредоточенного заряда ВВ, становятся безопасными для зданий и сооружений, определяются по формуле

$$r_c = K_z \cdot K_c \cdot \alpha \cdot \sqrt[3]{Q}, \text{ м} \quad (100)$$

где K_z – коэффициент, зависящий от свойств грунта в основании охраняемого здания (сооружения);

K_c – коэффициент, зависящий от типа здания (сооружения) и характера застройки;

α – коэффициент, зависящий от условий взрывания;

Q – масса заряда, кг.

Таблица 14

Значение коэффициента K_r

Характеристика грунта	Значение K_r
Скальные породы, плотные ненарушенные	5
Скальные породы, 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 15

Значение коэффициента K_c

Тип здания	Значение 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

Таблица 16

Значение коэффициента α

Условие взрывания	Значение α
Камуфлетный взрыв или взрыв на рыхление	1
Взрыв на выброс	0.8
Взрыв полууглубленного заряда	0.5

При размещении заряда в воде или в водонасыщенных грунтах значения коэффициента следует увеличить в 1,5...2 раза.

При взрыве наружных зарядов на поверхности земли сейсмическое действие не учитывается.

При одновременном 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 находится по формуле

$$r_c = N^{\frac{1}{6}} \cdot K_r \cdot K_c \cdot \alpha \cdot \sqrt[3]{Q}, \text{ м} \quad (101)$$

При большем различии в расстояниях охраняемый объект будет находиться вне сейсмически опасной зоны, если будет соблюдаться условие

$$(K_z \cdot K_c \cdot \alpha)^3 \cdot \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{r_i^3} \leq 1, \quad (102)$$

где q_i – масса отдельного заряда ВВ, кг; r_i – расстояние от отдельного заряда ВВ до охраняемого объекта, м.

При одновременном взрывании N зарядов ВВ общей массой Q со временем замедления между взрывами каждого заряда не менее 20 мс безопасное расстояние находится по формуле

$$r_c = \frac{K_z \cdot K_c \cdot \alpha}{N^{\frac{1}{4}}} \cdot Q^{\frac{1}{3}}, \text{ м} \quad (103)$$

В тех случаях, когда расстояние r_i от крайних зарядов массой q_i до охраняемого объекта различаются не более чем на 20 %, последний будет находиться вне сейсмически опасной зоны, если будет соблюдаться условие

$$r_c = \left(\frac{K_z \cdot K_c \cdot \alpha}{N^{\frac{1}{4}}} \right)^3 \cdot \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{r_i^3} \leq 1. \quad (104)$$

При взрывании групп зарядов с замедлением между взрывами в отдельной группе менее 20 мс каждую такую группу следует рассматривать как отдельный заряд с общей массой для группы (в этом случае N – число групп).

Определение расстояний, безопасных по действию ударной воздушной волны (УВВ).

Расчет применяется для определения безопасных расстояний до зданий (сооружений) от мест изготовления взрывчатых веществ, хранения взрывчатых материалов на складах (хранилища, площадки), мест погрузки, разгрузки и переработки взрывчатых материалов, а также отстоя транспортных средств с ними, от мест взрывов наружных зарядов и зарядов выброса.

Безопасные расстояния по действию ударной воздушной волны при взрыве на земной поверхности для зданий и сооружений рассчитывают по формулам:

$$r_g = K_g \cdot \sqrt[3]{Q}, \text{ м} \quad (105)$$

$$r_g = k_g \cdot \sqrt{Q}, \text{ м} \quad (106)$$

где Q – масса заряда ВВ, кг;

K_g, k_g – коэффициенты пропорциональности, значения которых зависят от условий расположения и массы заряда, а также от степени допускаемых повреждений зданий и сооружений.

Таблица 17.

Значения коэффициентов K_b и k_b для расчета расстояний, безопасных по действию УВВ при взрыве

Ст е п е нь п о в р е ж д.	Возможные повреждения	Открытый заряд			Заряд, углубленный на свою высоту			n=3
		Q, т	k_b	K_b	Q, т	k_b	K_b	
1	Отсутствие повреждений	<10	50-	-	<20	20-	-	3-10
		>10	150	400	>20	50	200	-
2	Случайные повреждения застекления	<10	10-	-	<20	5-12	-	-
		>10	30	60- 100	>20	-	50	1-2
3	Полное разрушение застекления Частичные повреждения рам, дверей, нарушение штукатурки и внутренних легких перегородок	<10	5-8	-	-	-	-	-
		>10	-	30- 50	-	2-4	-	0.5- 1
4	Разрушение внутренних перегородок, рам, дверей, барачков, сараев и т. п.	-	2-4	-	-	1-2	-	Разр уше ние в пред елах воро нки
5	Разрушение малостойких каменных и деревянных зданий, опрокидывание	-	1.5-2	-	-	0.5-1	-	-

	железнодорожных составов							
--	--------------------------	--	--	--	--	--	--	--

Для уменьшения поражающей способности УВВ могут быть использованы следующие способы:

- засыпка (забойка) наружного заряда слоем грунта. При слое засыпки, равном не менее пяти высот заряда над всей площадью его основания, безопасное расстояние может быть уменьшено в 4 раза. Материал засыпки не должен содержать тяжелых предметов (камней, гальки);
- удаление створок оконных рам или открывание окон и закрепление их в открытом положении; закрывание оконных проемов прочными щитами;
- защита мешками или ящиками, заполненными песком.

Безопасное расстояние по действию ядовитых газов r_2 (м) при взрыве зарядов на выброс

Газоопасность взрыва учитывается при одновременном взрывании зарядов выброса общей массой более 200 т. Безопасное расстояние по действию ядовитых газов в условиях отсутствия ветра или в направлении, перпендикулярном к распространению ветра:

$$r_2 = 160 \cdot \sqrt[3]{Q}, \quad (107)$$

где Q – суммарная масса взрывааемых зарядов, т.

В направлении, противоположном распространению ветра, радиус газоопасной зоны следует принимать также равным r_2 . По направлению ветра радиус газоопасной зоны r_{21} определяется по формуле

$$r_{21} = 160 \cdot \sqrt[3]{Q} \cdot (1 + 0,5 \cdot V_e), \quad (108)$$

где V_e – скорость ветра перед взрывом, м.

По итогам расчета в разделе приводится план взрываемого блока с нанесенными границами опасной зоны.

11. Методика курсового проектирования взрывных работ

Целью курсового проекта является закрепление, углубление и обобщение знаний, полученных студентами при изучении дисциплины «Технология и безопасность взрывных работ», практическое применение этих знаний при составлении паспортов буровзрывных работ и проектов массовых взрывов на карьерах, развитие самостоятельного инженерного мышления.

В процессе проектирования студент должен использовать новейшие достижения техники и технологии буровзрывных работ, изучить необходимую техническую, справочную и нормативную литературу, приобрести навыки проектирования массовых взрывов, в том числе с использованием компьютерных технологий.

Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию руководителя курсового проектирования в сроки, предусмотренные графиком учебного процесса. Выполненный курсовой проект после проверки защищается в комиссии, назначенной на кафедре. По результатам защиты и качества выполнения проекта выставляется дифференцированная оценка.

Содержание курсового проекта.

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и графической части, включающей 2 листа формата А1.

Рекомендуется следующая структура пояснительной записки курсового проекта.

1. Исходные данные для проектирования. В описательной и табличной форме в разделе приводятся сведения о горнотехнических условиях проведения массового взрыва и физико-механических характеристиках пород и выполняется их анализ, результаты которого

служат основой принимаемых технических и технологических решений в проекте.

2. Выбор метода взрывных работ. В разделе, на основе анализа исходных данных, обосновывается наиболее рациональный метод взрывных работ для предложенных условий проектирования массового взрыва.

3. Выбор бурового оборудования. В разделе, на основе относительного показателя трудности бурения породы и принятого диаметра скважины, выбирается вид бурения, тип и типоразмер бурового станка, рассчитывается его производительность и количество бурового оборудования. Принятое буровое оборудование должно отвечать всем современным требованиям, предъявляемым к бурению взрывных скважин на карьере.

4. Определение проектного удельного расхода ВВ. В разделе, на основе исходных данных, производится расчет проектного удельного расхода ВВ по методикам, приведенным в данном пособии. Результаты расчета служат основой для выполнения дальнейших разделов курсового проекта.

5. Выбор типа ВВ и средств инициирования. В разделе, исходя из прочностных характеристик горных пород и их обводненности, выбирается взрывчатое вещество для основных зарядов и промежуточный детонатор (патрон-боевик), обосновывается конструкция заряда и конструкция патрона-боевика. Выбирается способ инициирования зарядов, указываются применяемые средства инициирования, их маркировка, рассчитываются стандартные интервалы замедления. При выборе типа ВВ, промежуточных детонаторов и средств инициирования необходимо руководствоваться актуальным «Перечнем взрывчатых материалов, оборудования и

приборов взрывного дела, допущенных к применению в Российской Федерации».

6. Определение параметров взрывных работ и выбор схемы взрывания. В разделе производится расчет основных параметров расположения взрывных скважин (шпуров) на взрывном блоке, определяется масса заряда, число скважин и общее количество ВВ и средств взрывания на массовый взрыв. При электрическом способе инициирования необходимо произвести расчет электровзрывной цепи и выбрать источник тока.

7. Дробление негабарита. В проекте обосновывается способ дробления негабаритов, производятся расчеты параметров зарядов, необходимого количества ВВ, средств инициирования и объема бурения.

8. Определение безопасных расстояний при массовом взрыве. В разделе, в соответствии с актуальной редакцией Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности при взрывных работах", определяются безопасные расстояния от взрываемых зарядов для людей и оборудования. При ведении взрывных работ в условиях карьера необходимо определить расстояние опасное по разлету отдельных кусков породы и безопасное расстояние по действию ударной воздушной волны наружного заряда на человека, если принята разделка негабарита накладными зарядами ВВ.

9. Комплексная механизация взрывных работ. Механизация взрывных работ на карьере должна исключить тяжелые ручные операции с ВВ, начиная с поступления их на склад ВМ и кончая их заряданием в скважине. В разделе выбирается схема комплексной механизации, оборудование для погрузочно-складских работ, приготовления ВВ, осушения, зарядания и забойки скважин (шпуров).

10. Выводы. В разделе в краткой форме приводятся основные технологические и технические решения выполненного проекта, даются рекомендации, касающиеся повышения эффективности буровзрывных работ в данных условиях.

Пояснительная записка выполняется на стандартных листах формата А4, сброшюрованных в папку. Первой страницей является титульный лист, который выполняется в соответствии с принятым образцом, вторая страница – бланк задания на курсовое проектирование, на третьей странице помещается содержание пояснительной записки, далее следует текст. На последней странице в алфавитном порядке помещается пронумерованный список использованной литературы.

Оформление графической части курсового проекта. Объем графической части проекта – два листа формата А1. Чертежи выполняются в полном соответствии с требованиями ГОСТ с использованием машинной графики в векторных графических редакторах. Все чертежи выполняются строго в масштабе.

На листах должны быть представлены: расположение скважин в двух проекциях с указанием проектных параметров БВР; конструкция заряда; конструкция патрона-боевика; схема монтажа взрывной сети; схема комплексной механизации взрывных работ; схема дробления негабарита; план взрывного блока с нанесёнными опасными зонами. Также могут быть представлены в табличной форме основные показатели проекта, поясняющие данные, схемы и т.д.

Степень заполнения пространства листа не менее 75 %.

Заключение

Основной задачей буровзрывных работ является получение развала разрушенных горных пород необходимой формы и параметров, методами и способами позволяющими обеспечить сохранение геологической структуры взрываемого рудного массива и высокое качество дробления, наряду с безопасностью и экономичностью ведения этих работ.

Своевременная и качественная подготовка горной массы к выемке оказывает значительное влияние на эффективность функционирования всего комплекса открытых горных работ. Имеющий место в настоящее время качественный технологический скачок во всех отраслях деятельности человека, связанный, прежде всего, с развитием искусственного интеллекта и робототехники, предопределяет широкое внедрение информационных технологий и в процессы буровзрывных работ, что особенно актуально в усложняющихся горно-геологических и горнотехнических условиях разработки месторождений.

Решение вопроса перехода буровзрывных работ на качественно новый уровень определяется возможностью оперативного получения полной достоверной геологической информации о структуре массива и физико-механических и технологических свойствах слагающих его горных пород. Такие технологии уже сейчас частично реализованы в передовых перспективных разработках крупнейших горнодобывающих и машиностроительных предприятий. Полученные массивы данных, позволят сформировать наиболее приближенную к реальности цифровую модель взрывного блока, которая будет служить основой для автоматизированного оперативного расчета оптимальных параметров ведения взрывных и добычных работ, и, как следующий шаг – полной автоматизации и роботизации взрывных работ.

Использование роботизированных буровзрывных технических систем (например, комбайнов) позволит осуществить переход на безлюдное производство и, как следствие, значительно снизить затраты на подготовку горных пород к выемке (которые в настоящее время могут составлять до 70% в себестоимости добычи) и обеспечить исключительную безопасность выполнения работ.

Список литературы

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах» (в ред. Приказа Ростехнадзора от 30.11.2017 №518.
2. Бритарев В.А., Замышляев В.Ф. Горные машины и комплексы. М.: Недра, 1984. – 288 с.
3. Хмызников К.П., Лыков Ю.В. Механическое оборудование карьеров. Буровые станки. С.-Пб: Изд-во СПбГУ, 2000, 63 с.
4. Справочник. Открытые горные работы / К.Н. Трубецкой [и др.]. – М.: Горное бюро, 1994. – 590 с.
5. Справочник взрывника: в 2 ч. II Техника, технология и безопасность взрывных работ / Б.Н. Кутузова. – М.: Изд-во Горное дело, 2014. – 304 с.
6. Гуцин В.И. Задачник по взрывным работам. М.: Недра, 1990 г. – 174 с.
7. Кутузов Б.Н. Взрывные работы. М.: Недра, 1988. – 383 с.
8. Кутузов Б.Н., Нишпал Г.А. Технология и безопасность изготовления и применения взрывчатых веществ на горных предприятиях. М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 246 с.
9. Проектирование взрывных работ (под ред. Кутузова Б.Н.). М.: Недра, 1974. – 328 с.
10. Перечень взрывчатых материалов, оборудования и приборов взрывного дела, допущенных к применению в Российской Федерации (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 сентября 2011 г. N 537).
11. Шевкун Е.Б. Взрывные работы под укрытием. Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 2013. – 249.

12. Шевкун Е.Б. Взрывные работы. Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 1998. –
139 с.