

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Горные работы»

С. Г. Оника
В. И. Стасевич
А. К. Кузьмич

РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ВЗРЫВОМ

Пособие
для студентов специальности 1-51 02 01
«Разработка месторождений полезных ископаемых»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области горнодобывающей промышленности*

Минск
БНТУ
2020

УДК 622.235(075.8)

ББК 26.31я7

О-58

Р е ц е н з е н т ы:

заведующий кафедрой «Инженерная геология и геофизика»
Белорусского государственного университета *А. Ф. Санько*;
старший научный сотрудник института энергетики
НАН Беларуси, канд. техн. наук *Ш. М. Худайбердиев*

Оника, С. Г.

О-58 Разрушение горных пород взрывом : пособие для студентов специальности 1-51 02 01 «Разработка месторождений полезных ископаемых» / С. Г. Оника, В. И. Стасевич, А. К. Кузьмич. – Минск : БНТУ, 2020. – 113 с.

ISBN 978-985-583-137-3.

В пособии приведен комплекс сведений и материалов о технике и технологии взрывных работ на открытых и подземных горных работах. Представлены рекомендации по определению параметров буровзрывных работ в различных горно-геологических условиях.

УДК 622.235(075.8)

ББК 26.31я7

ISBN 978-985-583-137-3

© Оника С. Г., Стасевич В. И.,
Кузьмич А. К., 2020

© Белорусский национальный
технический университет, 2020

ВВЕДЕНИЕ

Устойчивое развитие народного хозяйства страны предполагает рост объемов строительства в различных отраслях промышленного производства. Ускорение технического прогресса и повышение эффективности в добывающих отраслях промышленности и капитального строительства в значительной мере определяется уровнем развития техники и технологии взрывных работ. Область применения взрыва в промышленности постоянно расширяется. Взрывные работы широко применяются при сооружении подземных емкостей для хранения жидких и газообразных продуктов, строительстве транспортных коммуникаций и гидротехнических сооружений, обработке металлов взрывом. Особенно широкое распространение взрывные работы получают при разработке месторождений полезных ископаемых открытым и подземным способом.

Взрывной способ отличается высокой трудоемкостью, повышенной опасностью и негативно влияет на окружающую среду. Однако добычу полезных ископаемых, связанную с необходимостью предварительного разрушения крепких горных пород невозможно вести без применения взрывных работ. На обозримую перспективу взрывной метод разрушения горных пород не имеет альтернативы, особенно в тех случаях, когда речь идет о разрушении скальных горных пород.

Взрывные работы призваны обеспечить высокое качество подготовки горных пород к выемке, что предполагает разрушение горных пород до заданной крупности, безопасность людей, машин и механизмов.

Перечисленное требует улучшения подготовки инженеров горного профиля по курсу «Разрушение горных пород взрывом», что отражается во включении в учебные программы вопросов применения новых технологий взрывных работ, современных и более эффективных взрывчатых веществ. Совершенствование техники и технологии взрывов предполагает и соответствующее изложение современных достижений в области взрывов в читаемых курсах.

К таким, имеющим важное практическое значение вопросам, на современном этапе развития техники и технологии взрывных работ, можно отнести применение неэлектрических систем инициирования, разработку и внедрение эмульсионных взрывчатых веществ,

внедрение в теорию и практику крупномасштабных взрывов технологий, обеспечивающих независимость сейсмического и ударно-воздушного действия взрыва на объекты от общей массы взрываемого взрывчатого вещества (ВВ).

1. ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА

1.1. Общие сведения о взрыве и взрывчатых веществах

В современном представлении взрыв возникает как явление чрезвычайно быстрого перехода вещества или системы веществ из одного состояния в другое, что сопровождается выделением тепла и образованием газов или пара независимо от того, были эти газы или пар до взрыва, или они образовались во время взрыва.

В более общем виде взрыв можно рассматривать как процесс быстрого физико-химического преобразования вещества, при котором выделяется энергия и выполняется работа.

В горном деле широкое распространение получили химические взрывы с помощью взрывных веществ, под которыми понимают химические соединения, или механические смеси, способные взрываться под действием внешних импульсов. При взрыве таких веществ выделяется большое количество тепла и образовывается значительное количество газов, способных выполнять механическую работу по разрушению горных пород. Взрывчатые вещества применяют в зарядах, под которыми понимают определенную массу взрывчатого вещества (ВВ), подготовленную к взрыву.

В большинстве взрывчатых веществ горючие элементы водорода и углерода окисляются кислородом, который входит в состав самого ВВ, в отличие от процесса горения, при котором окисление происходит за счет кислорода воздуха. Это обеспечивает высокую концентрацию энергии в единице объема ВВ. Скорость распространения реакции достигает нескольких тысяч метров за секунду, которая обеспечивает значительную мощность взрыва.

При взрыве ВВ образовывается значительное количество газов (600–1000 л на 1 кг) и выделяется тепло ($2,5 \cdot 10^3$ – $7,1 \cdot 10^3$ Дж на 1 кг), которое обеспечивает нагревание продуктов взрыва до температуры 1900–4500 °С.

Отличительными признаками взрыва ВВ является высокая объемная концентрация энергии, большая скорость преобразования, образование газообразных продуктов и звуковой эффект.

Различают следующие виды химического преобразования ВВ:

1) детонацию – распространение взрыва со сверхзвуковой, постоянной для данного ВВ и диаметра заряда, скоростью (она обусловлена прохождением ударной волны);

2) горение – переменная по скорости реакция окисления (от долей сантиметра до сотен метров в секунду), протекающая при высокой температуре пламени;

3) термическое разложение – медленная реакция, которая проходит во всем объеме вещества, который находится при одинаковой температуре, близкой к температуре окружающей среды. В некоторых условиях, например при большой массе ВВ и повышенном давлении, термическое разложение может перейти из горения в детонацию.

Наиболее эффективным видом преобразования взрывчатого вещества при взрыве является детонация, которую широко используют для разрушения горных пород (хотя в определенных условиях используют и взрывное горение, например в случае применения дымного пороха).

Взрывные вещества по физическому состоянию могут быть разделены на твердые соединения и смеси (гексоген, аммиачная селитра + тротил и т. д.); смеси редких и твердых веществ (аммиачная селитра + жидкое горючее, нитроэфиры + селитра, жидкий кислород + твердое горючее и т. д.); газовые смеси (метан + воздух, ацетилен + кислород и т. д.); смеси твердых и редких веществ с газами (угольная и деревянная пыль, а также пыль других органических веществ); жидкие вещества (нитроглицерин, нитроглицоль).

В горных работах самое большое распространение получили взрывные смеси из твердых веществ. Взрывные вещества в виде химических соединений (нитроглицерин, тротил, тэн, гексоген и т. д.) содержат все элементы, необходимые для нормального прохождения реакции и взрыва. Их называют индивидуальными ВВ.

Для придания определенных свойств и характеристик смесям ВВ в их состав вводят окислители, горючие добавки, сенсибилизаторы и пламегасители.

Окислители – вещества, содержащие избыточный кислород, который расходуется при взрыве на окисление горючих элементов. В качестве окислителей используют аммиачную, калиевую и натриевую селитры, хлораты и перхлораты калия и аммония, жидкий кислород и т. д.

Горючие добавки – твердые и жидкие невзрывчатые вещества (древесная мука, твердые и редкие углеводороды, алюминиевая пудра и др.) и взрывчатые (тротил, гексоген и др.). Их используют

для увеличения количества энергии, которая выделяется при взрыве (увеличение работоспособности).

Сенсибилизаторы – мощные, высокочувствительные к начальному импульсу взрывные соединения, которые вводятся для повышения детонационной способности ВВ. В роли сенсибилизаторов широко используют тротил, нитроглицерин, гексоген и другие ВВ.

Кроме окислителей, горючих добавок и сенсибилизаторов в состав ВВ вводят ряд инертных и других добавок, которые назначаются для улучшения физико-химических, детонационных и предохранительных свойств ВВ. Стабилизаторы – вещества, которые повышают химическую и физическую стойкость ВВ. В динамитах, например, стабилизаторами являются мел и сода, в аммонитах – древесная, жмыховая и торфяная мука. Иногда эти вещества выполняют роль горючих добавок. Применяют также флегматизаторы – вещества, которые снижают чувствительность ВВ к внешним механическим влияниям. В качестве флегматизаторов используют вазелин, парафин, разные масла, тальк и т. д.

Кроме всех этих добавок в состав предохранительных ВВ вводят пламегасители (хлориды натрия и калия) для уменьшения температуры и теплоты взрыва в шахтах, опасных по газу и пыли.

1.2. Классификация промышленных взрывных веществ

Промышленные ВВ классифицируют по ряду признаков: характеру влияния на окружающую среду, агрегатному состоянию, химическому составу, условиям применения, степени опасности при сохранении и перевозке и т. д.

По характеру влияния на окружающую среду промышленные ВВ условно подразделяют на бризантные ВВ (скорость детонации $D = 2000\text{--}7000$ м/с) и метательные – пороха (скорость взрывного горения $100\text{--}400$ м/с).

По агрегатному состоянию промышленные ВВ классифицируют на порошкообразные, гранулированные, прессованные, литые, водонаполненные (лыющиеся) и эмульсионные.

По составу промышленные ВВ подразделяют на индивидуальные химические соединения и механические смеси, которые владеют взрывными свойствами. Индивидуальные ВВ с экономической точки зрения, а также в силу высокой чувствительности многих из

них, используют преимущественно как компоненты смесевых ВВ и для изготовления средств взрывания.

По условиям применения промышленные ВВ разделяют на восемь классов:

I класс – не предохранительные ВВ для взрывания только на земной поверхности;

II класс – не предохранительные ВВ для взрывания на земной поверхности и в забоях подземных выработок, в которых отсутствует выделение горючих газов или пыли, что исключает воспаление взрывоопасной среды при взрывных работах;

III класс – предохранительные ВВ для взрывания только по породе в забоях подземных выработок, в которых есть выделения метана и отсутствует взрывная пыль;

IV класс – предохранительные ВВ для взрывания: по углю и породе или горючим сланцам в забоях подземных выработок, опасных по взрыву угольной или сланцевой пыли при отсутствии выделения метана; по углю и породе в забоях подземных выработок, проведенных по угольному пласту, в которых есть выделения метана, кроме выработок с повышенным выделением горючих газов; для сотрясательного взрывания в забоях подземных выработок угольных шахт;

V класс – предохранительные ВВ для взрывания по углю и (или) породе в выработках с повышенным выделением горючих газов, проводимых по угольному пласту, когда исключен контакт боковой поверхности шпурового заряда с газовой воздушной смесью, находящейся либо в пересекающих шпур трещинах массива горных пород, либо в выработке;

VI класс – предохранительные ВВ 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 газовой воздушной смесью, находящейся либо в пересекающих шпур трещинах горного массива, либо в выработке; угольных и смешанных забоях восстающих (более 10 град.) 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;

VII класс – предохранительные ВВ и изделия из предохранительных ВВ V–VI классов для ведения специальных взрывных

работ (водораспыление и распыление порошкообразных ингибиторов, взрывное перебивание деревянных стоек при посадке кровли, ликвидация завесаний горной массы в углеспускных выработках, дробление негабаритов) в забоях подземных выработок, в которых возможно образование взрывоопасной концентрации горючего газа и угольной пыли;

специальный (С) класс – непродохранительные и предохранительные ВВ и изделия из них, предназначенные для специальных взрывных работ, кроме забоев подземных выработок, в которых возможно образование взрывоопасной концентрации горючего газа и угольной (сланцевой) пыли.

По степени опасности при хранении и перевозке взрывчатые материалы (ВВ и средства взрывания) разделяют на пять групп:

В – изделия, содержащие инициирующие ВВ;

С – метательные ВВ и другие дефлагирующие ВВ или изделия, содержащие их;

Д – вторичные детонирующие ВВ; дымный порох; изделия, содержащие детонирующие ВВ без средств инициирования и метательных зарядов;

Ф – изделия, содержащие вторичные детонирующие ВВ, средства инициирования и метательные заряды или группа без метательных зарядов – детонаторы, КЗДШ;

Г – пиротехнические вещества и изделия, содержащие их.

Взрывчатые материалы разных групп должны храниться и перевозиться отдельно. Допускается совместное хранение:

– дымных (D) и бездымных (C) порохов в соответствии с требованиями к наиболее чувствительным из них;

– взрывчатых материалов групп В, С, и D;

– детонирующего шнура (D) с изделиями группы В (КД, ЭД, РП, КЗДШ).

1.3. Индивидуальные взрывчатые химические соединения

Наиболее известными взрывчатыми химическими соединениями, которые применяются в чистом виде или используются для приготовления взрывных смесей, являются: нитроглицерин, нитроглицоль, тэн, тротил, гексоген, азид свинца, гремучая ртуть и некоторые другие. Среди них можно выделить ВВ, используемые для сна-

ражения средств инициирования и используемые в качестве компонентов смесевых промышленных ВВ.

Иницирующими называют такие ВВ, которые способны даже в малых количествах подрываться под действием начального импульса любого вида и вызывать при этом детонацию промышленных ВВ. Иницирующие ВВ имеют большую чувствительность и взрываются от незначительного внешнего влияния: легкого удара, трения, искры, нагревания. Эти свойства иницирующих ВВ делают их очень опасными в производстве, при обращении и хранении.

По чувствительности иницирующие ВВ условно разделяются на первичные и вторичные.

К первичным (более чувствительным) иницирующим ВВ относят гремучую ртуть, азид свинца и ТНРС (тринитрорезорцинат свинца). Они предназначены для инициирования более мощных, но менее чувствительных вторичных иницирующих ВВ: тетрила, гексогена, тэна, которые, обладая большой скоростью детонации и более высокой иницирующей способностью, передают детонацию основному заряду промышленного ВВ или промежуточному детонатору. Первичные и вторичные иницирующие ВВ служат для снаряжения капсулей детонаторов, электродетонаторов и детонирующих шнуров.

Гремучая ртуть представляет собой белый или серый мелкокристаллический порошок, который вспыхивает при температуре 160 °С. Быстрое нагревание до этой температуры сопровождается взрывом. Слабые удары, трения также вызывают взрыв. Гремучая ртуть – наиболее чувствительная и древнейшая (для практических целей ее стали использовать с 1815 г.) из всех применяемых ВВ. При влажности 10 % гремучая ртуть горит, но не детонирует, а при содержании влаги 30 % даже не загорается. Поэтому ее хранят в банках с водой. При изготовлении детонаторов гремучую ртуть прессуют, потому что в таком виде она менее чувствительна к внешним влияниям. Спрессованная под давлением от 0,5 до 100 МПа гремучая ртуть становится чувствительной к навалу, но плохо вспыхивает и горит без взрыва. Свойство менять чувствительность в зависимости от давления прессования называют свойством «перепрессования». При наличии влаги гремучая ртуть вступает в реакцию с медью, создавая очень чувствительное соединение – фульминат меди, – из-за чего детонаторы с медными гильзами следует охранять от влаги.

Азид свинца открыт в 1891 г. В качестве самостоятельного ВВ применяется с 1907 г. В настоящее время является одним из основных иницирующих ВВ. Это мелкий кристаллический порошок белого цвета без запаха, со сладким металлическим вкусом. Продукты его взрыва – ядовиты.

Плотность азид свинца 4,7–4,8 г/см³. Он негигроскопический, практически не растворяется в воде и потому не теряет детонационной способности при увлажнении; при взаимодействии с медью образует очень чувствительное соединение – азид меди. При снаряжении детонаторов запрессовывается в алюминиевые оболочки.

Степень уплотнения и продолжительное нагревание до температуры 100 °С не влияют на его чувствительность. Температура вспышки его около 130 °С, чувствительность ко всем видам внешних влияний в 2–3 раза ниже, чем у гремучей ртути. Детонирует от любого внешнего действия.

В сравнении с гремучей ртутью иницирующая способность азид свинца в 5–10 раз выше. Азид свинца применяется, главным образом, для изготовления детонаторов. И поскольку его чувствительность к огню (а также к удару и наколу) ниже, чем у гремучей ртути, азид свинца применяют в комбинации с другими ВВ, увеличивая тем самым надежность действия детонатора.

Тринитрорезорцинат свинца (ТНРС, тенерес) открыт в начале прошлого века. В роли ВВ его начали применять в 1914 г. Представляет собой желтый кристаллический порошок плотностью 3,8 г/см³. Не растворяется в воде, сохраняет детонационную способность при увлажнении. ТНРС – стойкое вещество, хорошо выдерживает нагревание, не раскладывается на солнечном свете. С металлами не взаимодействует. Чувствительность его к механическим влияниям почти вдвое ниже, чем чувствительность азид свинца. К огню (или искре) чувствительность повышена: он безотказно детонирует от этих видов начального импульса, хотя температура вспышки его высокая (около 270 °С).

Характерная особенность ТНРС состоит в чувствительности к электрическим разрядам и способности легко электризоваться от трения.

Иницирующая способность ТНРС намного ниже, чем у гремучей ртути и азид свинца. Самостоятельно ТНРС почти не применяется. Будучи в составе детонаторов, он используется как промежуточное ВВ.

Учитывая высокую чувствительность, инициирующие ВВ не перевозят, а перерабатывают на месте изготовления. Средства инициирования, снаряженные этими ВВ, тоже нуждаются в осторожном обращении. Хранятся они в отдельных помещениях, их следует оберегать от ударов и нагревания.

Разбирать средства взрывания категорически запрещается, потому что царапанье по заряду или незначительное нажатие на него сопровождается взрывом.

Хранилища для средств взрывания должны быть сухими: влага содействует взаимодействию инициирующих ВВ с металлами. Капсюли, которые содержат гремучую ртуть, при сохранении в сырых помещениях почти всегда не срабатывают.

Вторичные инициирующие ВВ принадлежат к бризантным, основной формой разложения которых является детонация. Через малую чувствительность к внешним влияниям они более безопасны.

Тетрил является очень распространенным ВВ, открытым в 1877 г. Представляет собой кристаллическое вещество бледно-желтого цвета, без запаха, с солоноватым вкусом, плотностью $1,73 \text{ г/см}^3$. В спрессованном виде его плотность составляет $1,58\text{--}1,63 \text{ г/см}^3$. Температура плавления – $131 \text{ }^\circ\text{C}$, при плавлении частично раскладывается. В воде и спирте почти не растворяется, с металлами не взаимодействует.

От сильного удара или трения может дать вспышку или взорваться. Прострел тетрила шаром вызывает детонацию. Загорается при температуре $190 \text{ }^\circ\text{C}$, горит со вспышками и шипением, горение может перейти во взрыв. Легко детонирует от любого капсюля. В качестве самостоятельного ВВ применяется редко в силу высокой стоимости.

Гексоген – кристаллический порошок белого цвета, применяется в качестве сердцевины детонирующего шнура компонента при изготовлении промежуточных детонаторов.

Гексоген – очень мощное ВВ, впервые полученное в 1929–1930 г. Белое кристаллическое вещество без запаха и вкуса, плотностью $1,8 \text{ г/см}^3$. Прессуется к плотности $1,66 \text{ г/см}^3$, плавится при температуре $202 \text{ }^\circ\text{C}$.

Гексоген негигроскопический, с металлами не взаимодействует. Его восприимчивость к детонации и чувствительность к механическим влияниям выше, чем в тетриле. В воде не растворяется. Температура вспышки – $230 \text{ }^\circ\text{C}$.

Тен получен в 1893 г. Это белое кристаллическое вещество, без запаха и вкуса, плотностью 1,77 г/см³. Прессованный тен имеет плотность 1,6 г/см³. Температура плавления – 141–142 °С, горит спокойно, в воде не растворяется, с металлами не взаимодействует.

По чувствительности к механическим влияниям и восприимчивости к инициированию немного превосходит гексоген. Температура вспышки – около 215 °С, в металлической оболочке детонирует от пламени.

Большинство взрывчатых химических соединений используют в качестве компонентов смесевых промышленных ВВ. В чистом виде в качестве промышленных ВВ применяют, в основном, тротил.

Тротил (тринитротолуол, тол) – кристаллический порошок желтого цвета, не растворяется в воде, негигроскопический. При влажности не теряет своих взрывных свойств. Химически стойкий. Температура плавления – около 81 °С, температура вспышки – 280–300 °С.

Тротил является взрывчатым веществом средней мощности, имеет высокую детонационную способность, малочувствительный к внешним воздействиям, водостойкий. Его широко используют в качестве компонента смесевых промышленных ВВ, а также в чистом виде. Тротил имеет резко отрицательный кислородный баланс (–74 %).

Гранулированный тротил называется гранулотолом.

Нитроглицерин (тринитроглицерин) в чистом виде – это бесцветная прозрачная маслянистая жидкость без запаха, жгуче-сладкого вкуса, которая при температуре +13 °С переходит в твердое состояние (замерзает). В обычных условиях слабо летучий, однако имеет значительную токсичность, которая вызывает сильную головную боль.

Нитроглицерин – очень чувствительное к механическим и тепловым воздействиям ВВ. Имеет высокую удельную энергию взрыва и детонационную способность. У твердого нитроглицерина последняя характеристика резко снижается, а чувствительность к механическим влияниям, наоборот, возрастает.

Кислородный баланс нитроглицерина близкий к нулю (+3,5 %). Плотность 1,6 г/см³.

Нитрогликоль (динитрогликоль) – прозрачная без запаха жидкость сладковатого вкуса. Имеет значительно большую, чем нитроглицерин, летучесть и токсичность. Температура замерзания –22 °С. Плотность 1,49 г/см³.

Нитрогликоль – мощное ВВ с нулевым кислородным балансом. По взрывным характеристикам близок к нитроглицерину. Нитрогликоль применяют в смеси с нитроглицерином при изготовлении смешанных ВВ (динамитов, детонитов).

К индивидуальным взрывчатым соединениям можно также отнести аммиачную селитру. Это кристаллический порошок белого цвета с плотностью $1,7 \text{ г/см}^3$.

Аммиачная селитра очень гигроскопическая и легко растворяется в воде. При температурах -16 и $+32$ °С происходит переход аммиачной селитры с одной кристаллической формы в другую, что сопровождается спеканием. В результате этого она из рыхлой превращается в комковатую и твердую массу. При продолжительном хранении аммиачная селитра слеживается.

Аммиачная селитра является основным компонентом многих промышленных ВВ.

Аммиачная селитра – чрезвычайно малочувствительное ВВ, имеет небольшую мощность и детонационную способность. Кислородный баланс аммиачной селитры ± 20 %.

Для изготовления ВВ применяют, в основном, водостойкую аммиачную селитру, которую получают, прибавляя в обычную аммиачную селитру $0,3$ – $9,5$ % солей железа и жирных кислот. Такая водостойкая аммиачная селитра и ВВ, что готовятся на ее основе, имеют индекс ЖВ. Гранулированная аммиачная селитра имеет значительно большую водостойкость и меньше склонна к слеживанию, чем порошкообразная.

Калиевая и натриевая селитры не принадлежат к взрывным веществам. Они являются только носителями кислорода и широко применяются при изготовлении многих ВВ.

1.4. Простейшие промышленные ВВ, не содержащие тротила

Простейшие взрывчатые вещества – смеси гранулированной селитры с жидкими или легкоплавкими нефтепродуктами, не содержащие взрывчатых компонентов (нитросоединений). К простейшим взрывчатым веществам относятся игданит и гранулиты.

Простейшие взрывчатые вещества отличаются низкой чувствительностью к механическим воздействиям, невысокими взрывчатыми и детонационными свойствами. Они малочувствительны к капсулю-

детонатору и детонирующему шнуру, надежно детонируют от промежуточного детонатора-патрона – аммонита или тротиловой шашки. Давление детонации простейшего взрывчатого вещества в идеальном режиме в 1,6 раза ниже, чем у аммонита, а импульс взрыва более растянут. Ширина зоны химической реакции простейшего взрывчатого вещества значительно больше ширины зоны химической реакции аммонита. Это приводит к более «мягкому» нагружению горных пород при взрывании. Недосток простейших взрывчатых веществ – низкая водоустойчивость (при длительном пребывании в воде селитра растворяется и смесь теряет взрывчатые свойства).

Простейшие взрывчатые вещества изготавливают в основном на месте применения (игданит), реже на специализированных заводах (гранулиты).

Простейшие взрывчатые вещества используют при зарядании шпуров и скважин на открытых и подземных работах в сухих или осушенных выработках (кроме шахт, опасных по газу или пыли). Благодаря малой чувствительности к механическим воздействиям и малому пылению простейшие взрывчатые вещества пригодны для механизированного транспортирования и зарядания. При пневматическом зарядании достигается плотность $1000\text{--}1200\text{ кг/м}^3$, вследствие чего простейшие взрывчатые вещества по силе взрыва не уступают более мощным патронированным аммонитам и детонитам.

Игданит – простейшее гранулированное ВВ средней мощности, состоящее из гранулированной аммиачной селитры и дизельного топлива. Пористая и водоустойчивая селитры (марки Р и ЖВГ) впитывают и стабильно удерживают оптимальное количество дизельного топлива (ДТ), отвечающее $K_6 = 0$ смеси и максимальной теплоте взрыва. Непористая селитра (марки А и Б) обладает более низкой впитывающей способностью, при длительном зарядании ДТ стекает в нижнюю часть заряда. Для сохранения оптимального количества ДТ в составе игданита гранулы непористой селитры частично дробят либо вводят в топливо поверхностно-активные или загущающие добавки. Игданит недостаточно чувствителен к первичным средствам инициирования и обладает низкой чувствительностью к механическим воздействиям. Игданит на непористой селитре менее чувствителен и детонирует с относительно невысокой скоростью. Чувствительность и детонационная способность игданита сильно зависит от размеров пор, влажности гранул, плотности зарядания.

Игданиты достаточно эффективны для взрывания пород слабой и средней крепости.

Благодаря простоте технологии и низкой чувствительности к внешним воздействиям игданит разрешен к производству на местах применения. Его изготавливают на стационарных смесительных установках или с помощью смесительно-зарядных машин непосредственно в процессе заряжания и расходуют в день изготовления. Скважины заряжают засыпкой или пневматической подачей из смесительно-зарядной машины.

Гранулит М изготавливается на пористых сортах селитры, содержит в качестве горючего соляровое масло, которое полностью впитывается в гранулы пористой селитры. Поэтому гранулы после смешивания почти сухие на ощупь. Физически стабилен, масло из гранул не эксудировать. Гранулит М хранится без изменения химического состава и взрывчатых свойств в течение длительного времени. Практически не слеживается, сыпуч, хорошо транспортируется по трубам с малой степенью электризации, не пылит, пригоден для пневматического заряжания. Как и игданит, характеризуется низкой чувствительностью к механическим воздействиям. Благодаря однородности смешивания имеет более высокую детонационную способность. В зависимости от плотности заряжания и диаметра заряда детонирует со скоростью 2,8–3,8 км/с. При пневматическом заряжании обеспечивается плотность до 1150 кг/м³ в шпурах и до 1050 кг/м³ в скважинах. Гранулит М предназначен для открытых и подземных работ. Для надежности взрывания гранулита М рекомендуется применять промежуточные детонаторы. Наиболее эффективен для дробления пород средней крепости.

Гранулиты АС-4 и АС-8 содержат алюминиевую пудру. При пневматическом заряжании обеспечивается плотность зарядов 1100–1200 кг/м³ в шпурах и 1000–1100 кг/м³ – в скважинах. При указанных параметрах заряжания гранулиты АС-4 и АС-8 по объемной концентрации энергии превосходят мощные патронированные аммониты и детониты. Гранулиты АС-4 и АС-8 физически стабильны, сыпучи, но при пневматическом заряжании пылят. Для снижения пыления и электризуемости их рекомендуется орошать небольшим количеством воды (2–3 %). К механическим воздействиям более чувствительны, чем неметаллизированные простейшие ВВ, но менее чувствительны, чем аммониты и граммониты. Надежно детонируют от промежуточ-

ного детонатора в виде патронов аммонита в подземных выработках, шашек-детонаторов из тротила на открытых разработках. Применяется в сухих и слабо обводненных забоях.

Гранулиты АС-4В и АС-8В в отличие от АС-4 и АС-8 вместо солярового масла в качестве органического горючего содержат легкоплавкие нефтепродукты (парафины, воски). Средний размер гранул 1,8–2 мм, прочность на раздавливание 3–8 Н на гранулу. Благодаря покрытию гранул пленкой из гидрофобного нефтепродукта могут находиться в течение 2–4 ч в шпурах и скважинах с непроточной водой без потери взрывчатых свойств. При пневматическом зарядании уплотняются в шпурах и скважинах несколько хуже, чем составы с жидкими нефтепродуктами. Для снижения электризуемости и уменьшения пыления при пневматическом зарядании гранулиты рекомендуется увлажнять из расчета 2–3 % воды.

1.5. Гранулированные тротилсодержащие ВВ

К числу основных ВВ, выпускаемых в виде гранул и содержащих в своем составе тротил, относятся: граммонит 79/21, граммонит 50/50, гранулотол, алюмотол.

Граммонит 79/21 – смесь гранул аммиачной селитры и чешуек тротила без расслоения компонентов и видимых на глаз механических примесей и комков компонентов более 5 мм. Эффективность применения граммонита близка к эффективности гранулотола, а в обводненных условиях даже выше на 10–15 % за счет растворения селитры и увеличения плотности заряда. Наличие в составе аммиачной селитры заметно снижает образование окиси углерода и токсичность продуктов взрыва. По степени опасности при хранении и транспортировании тротил относится к классу 1. Применяется для ведения взрывных работ в карьерах, рудниках и шахтах, не опасных по газу и пыли при ручном и механизированном зарядании сухих и мокрых (обезвоженных) шпуров, скважин и камер. Рекомендуется использовать для горно-взрывных работ на породах средней и высокой крепости при добыче полезных ископаемых и других целей. Граммонит 79/21 отличается от порошкообразных ВВ низкой чувствительностью к механическим воздействиям, отсутствием пыления, удобством в применении и безопасностью в обращении.

Граммонит 50/50 – смесь аммиачной селитры с тротилом, полученная напылением расплавленного тротила на гранулы аммиачной селитры. Гранулы сферической и полусферической формы размером до 5 мм без видимых на глаз механических примесей и комков компонентов более 15 мм. По степени опасности при хранении и транспортировании тротил относится к классу 1, подклассу 1.1, группе совместимости D. Применяется на открытых разработках при ручном и механизированном зарядании сухих и ограниченно обводненных (непроточной водой) скважин. Может использоваться в обводненных скважинах с непроточной водой с учетом времени пребывания граммонита в этих условиях не более 24 часов. Рекомендуется к применению на взрывных работах для пород средней и высокой крепости. Эффективность применения граммонита близка к эффективности гранулотол, а в обводненных условиях даже выше на 10–15 % за счет растворения селитры и увеличения плотности заряда. Наличие в составе аммиачной селитры заметно снижает образование окиси углерода и токсичность продуктов взрыва.

Гранулотол – гранулированный тротил.

Алюмотол – гранулированный сплав тротила и алюминиевой пудры в виде гранул размером до 5 мм серого цвета. В составе гранул 85 % тротила и 15 % алюминиевой пудры. В сухом виде химически устойчив, в кислой среде устойчивость снижается незначительно, а в щелочной – заметное снижение. В щелочной среде гранулы и раствор окрашиваются в темно-красный цвет. Под воздействием ультрафиолетового излучения гранулы буреют. Алюмотол рекомендовано применять только в обводненных скважинах, потому что эффективность в сухом виде значительно ниже, а выделение токсичных продуктов взрыва велико. Рекомендуется к применению в обводненных крепких и очень крепких породах. Так же, как и гранулотол (гранулированный тротил), алюмотол является абсолютно водостойким ВВ, не растворяется в воде, хорошо сыпуч, не слеживается. Для инициирования алюмотола нужны промежуточные детонаторы.

1.6. Порошкообразные тротилсодержащие ВВ

Аммонит 6ЖВ предназначен для проведения взрывных работ на открытых поверхностях, в подземных условиях рудников и шахт, не опасных по газу и пыли, при ручном и механизированном способе

заряжания сухих и мокрых (обезвоженных) скважин и шпуров. Относится к ВВ II класса по условиям применения и инициируется от электродетонатора, капсюля-детонатора, детонирующего шнура. Выпускается в виде смеси водоустойчивой аммиачной селитры и тротила в патронированном виде – в виде патронов диаметром 32 мм и 36 мм, длиной 208–265 мм, массой 200 г. Патроны из аммонита 6ЖВ поставляются в ящиках из гофрокартона. Вес ящика с патронами 24 кг. Поставка осуществляется ж/д и автомобильным транспортом. Аммонал скальный № 1 – взрывчатое вещество (ВВ) II класса, применяется для ведения взрывных работ по крепким и трудно взрываемым породам в шахтах и рудниках, не опасных по газу и пыли, в забоях любой степени обводненности во всех климатических зонах. Представляет собой прессованные шашки диаметром 36 мм и 45 мм, патронированные в бумажные гильзы. Патроны покрыты по всей поверхности влагоизолирующим слоем парафино-петролатумной смеси. Патрон-боевик имеет гнездо под ЭД (КД) диаметром 8 мм и глубиной 73 мм. Инициирование – от электродетонатора (капсюля-детонатора).

Детонит М – малопылящее, жирное на ощупь, порошкообразное ВВ, изготавливаемое на труднозамерзающей смеси нитроэфиров. Детонит М имеет повышенную чувствительность к механическим и тепловым воздействиям и требует более осторожного обращения, чем аммониты. Выпускается в патронах диаметром 31–32 и 36–37 мм, не слеживается. Обладает высокой водоустойчивостью и детонационной способностью. Устойчиво детонирует в зарядах малого диаметра и предназначен для весьма крепких трудно взрываемых пород в обводненных проходческих и очистных забоях на подземных горных работах при взрывании шпуровыми зарядами, в том числе патронами малого диаметра (28 мм). Может храниться и применяться во всех климатических условиях. Детонит М выпускается в патронах, покрытых смесью из парафина. Патроны по 10 штук упаковываются в пакет из полиэтиленовой пленки. Пакеты упаковываются в коробки из гофрированного картона. Хранится детонит М в закрытых складских помещениях. При хранении на перевалочно-перегрузочных пунктах и при транспортировании на всем пути следования тара должна быть защищена от воздействия атмосферных осадков и прямых солнечных лучей. При хранении и транспортировании при температуре ниже 0 °С детонит М можно применять

лишь после его оттаивания. Для этого его необходимо выдержать на расходных складах при плюсовой температуре в течение не менее двух суток при открытой крышке ящика. Допускается транспортировка всеми видами транспорта. Гарантийный срок хранения – 12 месяцев со дня изготовления.

1.7. Водосодержащие промышленные ВВ

Акватолы – гелеобразные промышленные ВВ, наиболее часто представляющие собой суспензию гранулированных тротила и аммиачной селитры в насыщенном водном растворе аммиачной селитры с различными добавками.

Общее отличие акватолов от других взрывчатых смесей в том, что они представляют собой суспензию твердых частиц взрывчатого вещества и окислителя в гелеобразной водной среде. Наименование «акватола» подразумевает, что в состав обязательно входит вода и тротил. В качестве окислителя наиболее часто используется аммиачная селитра. Окислитель находится одновременно как в виде твердых кристаллов, так и в растворенном в воде виде. Концентрация окислителя в воде является важным параметром, определяющим физические и взрывчатые свойства акватолов. Для повышения вязкости водной среды в целях улучшения эксплуатационных свойств составов в них вводят различные добавки-загустители. Наиболее часто применяются натриевая соль КМЦ, раствор полиакриламида, аммонийная соль КМЦ, золь кремниевой кислоты.

Промышленно применяемые акватолы по способу подготовки зарядов делятся на три группы:

– сухие смеси заводского изготовления, в которые на месте применения добавляется вода или раствор окислителя (акватолы марок 65/35С; М15; СВ). Буква «М» в обозначении означает наличие в составе металлических добавок;

– готовые водонаполненные смеси заводского изготовления (марки АВ; АВМ; МГ). Буква «М» в обозначении означает наличие в составе металлических добавок;

– смеси, приготавливаемые на месте применения из отдельных компонентов или их смесей. В России по состоянию на 2006 г. применяются только такие составы. Разнообразие способов подготовки и условий применения зарядов определяют достаточно

широкие пределы варьирования составов. К применению допущены марки: Т-10ВИ; Т-10МС; Т-20; Т-20Г; Т-20ГК; Т-20ГМ; Т-20М; Т-10НС и Т-15НС.

Цифра в марке обозначает среднее содержание гранулированного тротила, буквенные обозначения после цифры:

– Г – горячельющееся (температура приготовления и заряжания 95–105 °С);

– К – с использованием золя кремниевой кислоты;

– М – добавка карбамида (мочевины) для понижения кислотности состава;

– С – добавка минерального масла в качестве горючего;

– Н – добавка поверхностно-активных веществ, изменяющих свойства границы раздела твердой и жидкой фаз.

Ифзаниты Т-20, Т-60, Т-80 – водосодержащие промышленные ВВ, представляющие собой суспензию гранулотола и гранулированной аммиачной селитры (иногда в сочетании с металлическим порошком или другим горючим) в ее насыщенном водном растворе. Ифзаниты всех марок не чувствительны к первичным средствам инициирования и мало чувствительны к механическим воздействиям. Необходим промежуточный детонатор. Ифзаниты применяются при открытой разработке для дробления пород различной крепости. Для изготовления ифзанитов на горных предприятиях используются механизированные комплексы. Заряжание сухих и осушенных скважин ведут отдельной загрузкой твердых компонентов и незагущенного горячего раствора ифзанита, взятых в соотношении, при котором обеспечиваются физическая стабильность зарядов. При заряжании скважин, обводненных непроточной водой, загущенный и структурированный в смесительно-зарядной машине ифзанит выдавливают в устье скважины или закачивают насосом под столб воды. Загущенные и структурированные заряды способны сохраняться в непроточной воде несколько суток без существенного снижения своих свойств. Цифра в марке означает температуру готового ифзанита. По составу они практически одинаковы: гранулированная селитра, концентрированный раствор селитры и гранулированный или чешуйчатый тротил. Главный недостаток – отсутствие контроля качества ВВ, подаваемого или образуемого в скважине.

Карбатылы (ГЛ-10В, ГЛ-15Т) – горячельющееся взрывчатые вещества, отвердевающие после охлаждения в скважинах. Изготавли-

ваются на низкоплавкой (почти безводной) смеси карбамида и селитры и смешиваются с гранулолом при зарядании в скважину. Полученная суспензия до момента твердения не расслаивается, так как плотность расплава равна плотности гранул тротила. Для повышения энергии взрыва в карбатылы дополнительно вводится порошок алюминия. Применение карбатылов для дробления крепких пород на 20–30 % экономичнее и эффективнее применения гранулола или алюмотола.

1.8. Эмульсионные ВВ

Современной тенденцией является падение спроса на дорогостоящие тротилсодержащие ВВ и им на смену приходят эмульсионные ВВ. Мощности по производству ЭВВ ежегодно увеличиваются. Эмульсионные ВВ превосходят тротилсодержащие по таким основным характеристикам, как безопасность, экологичность и стоимость. Тротил запрещен к использованию в промышленных целях в большинстве стран мира. Однако в странах СНГ уровень потребления тротильных ВВ остается еще довольно высоким, но учитывая тенденцию сокращения объемов потребления тротилсодержащих ВВ, сложившуюся в последние годы, можно прогнозировать, что их доля постепенно сократится до 8–10 %. Предприятия стремятся выпускать эмульсионные ВВ вблизи мест применения. В настоящее время около 70 % потребляемых ВВ производится и потребляется на местах применения.

К основным типам эмульсионных ВВ относятся: нитрониты, гранэмиты, сибириты.

Нитрониты – промышленные ВВ, предназначенные для ведения взрывных работ на земной поверхности при отбойке горных, в том числе серосодержащих, пород с коэффициентом крепости до 20 по шкале М. М. Протодяконова. Нитронит марки Э-20 применяется для зарядания сухих и осушенных скважин; нитронит марки Э-50 – для зарядания слабо обводненных скважин (высота столба воды не более 1 м) и нитрониты марок Э-70 и Э-100 – для зарядания обводненных скважин любой степени обводненности. Изготовление нитронитов производится в смесительно-зарядной машине на месте применения при зарядании сухих или обводненных скважин с рН среды от 4,0 до 9,0 при температуре окружающей среды от минус

40 °С до плюс 40 °С с соблюдением требований «Единых правил безопасности при взрывных работах».

Гранэмиты (Гранэмит И-30, Гранэмит И-30А, Гранэмит И-50А) – промышленные взрывчатые вещества, представляющие собой смесь гранулированной аммиачной селитры или игданита с эмульсией. Изготавливаются на местах применения в процессе заряжания с использованием специальных смесительно-зарядных машин. Применяются для механизированного заряжания на карьерах сухих и обводненных скважин в породах средней крепости.

Сибириты – эмульсионные промышленные взрывчатые вещества, предусматривают возможность использования при производстве ЭВВ как отечественных, так и импортных сырья и материалов. Абсолютно водостойчивы и химически совместимы с горными породами. Обладают низкой чувствительностью к механическим воздействиям, что позволяет полностью механизировать процессы их производства и заряжания. Минимальный уровень воздействия на окружающую среду и здоровье человека при их изготовлении и применении. Вариации рецептуры и структурного состава сибиритов позволяют использовать их в вязких, высокопрочных, трещиноватых и слоистых горных массивах. ЭВВ сибириты сертифицированы для применения в странах Евросоюза.

1.9. Пороха

Порохами называют ВВ, способные в определенных условиях к взрывному горению и детонации. В горном деле порох стали применять в XVII в. Пороха представляют собой твердые многокомпонентные системы, которые содержат горючие вещества и окислители. Вид и мощность начального импульса существенным образом влияют на начальную скорость взрывного горения порохов.

Во взрывном деле находят применение дымный и бездымный порох. В горной промышленности применяют так называемый минный порох, который специально выпускают для горных работ и который является разновидностью дымного пороха. Он представляет собой зернистую массу, диаметр зерна крупного пороха – 3–8,5 мм, мелкого – 1,5–3 мм.

Дымный порох составляется из калиевой селитры, древесного угля и серы. Он гигроскопический, чрезвычайно чувствительный к

огню. Дымный порох раскладывается при взрывном горении со скоростью до 400 м/с. Его взрыв влияет на среду менее жестко, чем взрыв бризантных ВВ. Поэтому его применяют при добыче искусственного камня и в тех случаях, когда нужно обеспечить минимальное нарушение массива, который отбивается, а также для изготовления огнепроводных шнуров.

Бездымными порохами называют ВВ, изготовленные из нитратов целлюлозы с разным содержанием азота путем растворения их во взрывных и невзрывчатых растворителях. В состав этих порохов вводятся пламегасительные примеси, от чего при использовании не видно пламени и дыма.

Бездымные пороха с самой большой эффективностью используются при взрывании на выброс в породах средней крепости.

1.10. Предохранительные взрывчатые вещества

Предохранительные ВВ предназначены для ведения взрывных работ в шахтах, опасных по газу и пыли. Основными представителями анализируемых ВВ являются, например, предохранительные аммониты, которые принадлежат к взрывным веществам III и IV классов.

Защитные свойства этих ВВ достигаются за счет введения в состав взрывных смесей пламегасителей (хлориды натрия или калия). При этом содержание активных компонентов в единице массы ВВ снижается, что уменьшает удельную теплоту взрыва.

При взрыве данных ВВ пламегасители поглощают тепло от продуктов взрыва. В результате уменьшения удельной теплоты взрыва и поглощения тепла на нагревание температура взрыва значительно снижается. Это существенно образом уменьшает опасность загорания метано- или пылевоздушной смеси.

Современные предохранительные взрывчатые вещества разделяются на следующие ВВ:

– классического типа – Аммонит АП-5ЖВ, Аммонит ПМС-1Т, Аммонит ПЖВ-20, Аммонит Т-19, – в которые для снижения энергетических характеристик введены невзрывчатые соли-пламегасители (хлористый натрий или хлористый калий). Разновидностью взрывчатых веществ этого типа являются патроны в предохранительных оболочках, в которых часть пламегасителей размещена в цилиндрической оболочке на патронах взрывчатых веществ.

Соли-пламегасители в предохранительных взрывчатых веществах поглощают часть тепла, выделяющегося при взрыве, снижая температуру газообразных продуктов взрыва и каталитически подавляют реакцию окисления горючих газов, приводящую к подземному газовому взрыву;

– селективно-детонирующие: ионит, угленит П12ЦБ-2М, угленит 13П, угленит 13П/1. Селективно-детонирующие взрывчатые вещества состоят из смеси двух, реже нескольких компонентов с малой реакционной способностью и небольшого количества мощного бризантного взрывчатого вещества-сенсibilизатора, обычно нитроглицерина (до 10 %), придающего смеси способность к детонации. Взрывчатые вещества данного типа полностью разлагаются с максимальным выделением тепла только при взрыве в замкнутом объеме (например, в шпуре с внутренней забойкой). Ингибиторы в этих взрывчатых веществах образуются в процессе самого взрыва, например, в виде твердых частиц хлористого натрия, как продукта взаимодействия натриевой селитры и хлористого аммония. Предохранительные взрывчатые вещества применяют в угольных, сланцевых, серных и других шахтах, в атмосферу которых выделяются горючие газы или пыль, способные с воздухом образовывать взрывоопасные смеси.

1.11. Начальный импульс и чувствительность взрывных веществ

Вызвать взрыв определенного количества ВВ (заряда ВВ) можно разными видами внешнего влияния: быстрым нагреванием, механическим ударом, трением, взрывом другого заряда ВВ. Энергия теплового влияния, необходимая для нарушения взрыва заряда ВВ, является начальным импульсом, а сам процесс – инициированием.

ВВ по-разному реагируют на разные виды внешнего влияния. Так, при нагревании не все ВВ детонируют, некоторые сгорают без взрыва или дают взрывное горение. Много ВВ легко детонируют при ударе. Сильное воздействие необходимо для детонации заряда бризантных ВВ. Иницирующий заряд, который возбуждает детонацию, называют детонатором. Взрыв детонатора является одной из форм начального импульса.

Минимально необходимая величина начального импульса отличается для разных ВВ и зависит от чувствительности ВВ, степени вос-

приимчивости ее к внешним влияниям. Наиболее чувствительными являются так называемые инициирующие ВВ, рассмотренные выше. Промышленные ВВ имеют более низкую чувствительность, безопасны при изготовлении, транспортировке, сохранении и применении при соблюдении определенных правил. Однако только совокупность испытаний к разным видам внешних влияний может дать всестороннюю характеристику чувствительности и опасности ВВ.

Самое большое значение для оценки чувствительности ВВ к механическим и физическим влияниям имеет чувствительность к тепловому влиянию, к удару, трению и инициирующему действию взрыва другого ВВ.

Чувствительность к тепловому действию можно определить по температуре вспышки ВВ – минимальной температуре, при которой на протяжении небольшого промежутка времени (5 мин) в навеске ВВ, размещенной в нагретой среде, происходит вспышка со звуковым эффектом.

Чувствительность ВВ к удару определяется на специальных вертикальных или дуговых копрах. На навеску ВВ массой 0,05 г, заключенную между двумя металлическими поверхностями, бросается груз массой 10 кг с высоты 0,4 м и определяется процент взрывов, которые состоялись в 25 опытах. Этот показатель и служит сравнительной характеристикой чувствительности ВВ к удару.

Чувствительность ВВ к трению определяют на специальном маятниковом копре, в котором с помощью гидравлического пресса через поршень навеска ВВ сжимается между подвижным и неподвижным роликами. Боковой удар по подвижному ролику осуществляется грузом маятника. Характеристикой чувствительности к трению служит нагрузка на ролик, при котором сдвиг боковым ударом вызывает определенный процент взрывов.

Чувствительность ВВ к инициирующему действию взрыва другого ВВ называется еще чувствительностью к детонации, то есть способностью его взрываться от действия ударной волны другого ВВ. Чувствительность ВВ к детонации определяется предельным инициирующим зарядом, то есть минимальным зарядом инициирующего ВВ для вызова детонации вторичного заряда.

Детонация наиболее легко возбуждается при воздействии на ВВ ударной волны достаточной интенсивности. Другие виды влияния (удар, трение и др.) с трудом вызывают в бризантных ВВ детона-

цию, потому что для этого должна образоваться ударная волна достаточной амплитуды, которая способна вызвать самоподдерживающийся детонационный процесс.

1.12. Физическая сущность процесса детонации. Влияние разных факторов на скорость детонации

Для объяснения явления детонации, которая проходит с очень большой (сверхзвуковой) скоростью, в разное время были выдвинуты разные предположения и теории. Одной из современных теорий детонации является теория, согласно которой детонация обусловлена распространением по ВВ ударной волны, которая вызывает мгновенное возмущение среды, когда все параметры состояния вещества на фронте волны меняются скачкообразно (плотность, температура, давление). Скорость распространения этой волны превышает скорость распространения звука в среде. Ударная волна разрушает молекулы ВВ. Атомы горючих элементов вступают в реакцию окисления с атомами кислорода. При этом на фронте волны происходит интенсивное разогревание тонкой прослойки ВВ и проходит ускоренная химическая реакция, за счет энергии которой поддерживается постоянство параметров волны и стационарный характер детонационного процесса в целом.

Ударная волна и прилегающая к ней зона реакции взрывного преобразования обобщаются под названием «детонационная волна». Энергия химической реакции непрерывно поддерживает детонационную волну и не дает ей гаснуть.

От звуковых ударные волны отличаются однократностью и асимметричностью амплитуды давления. Наблюдается зависимость скорости распространения ударной волны от величины ее амплитуды. Кроме того, среда поступательно движется за фронтом волны.

Следует отметить, что по условиям ведения взрывных работ иногда невозможно применить предельные диаметры зарядов, и это не всегда выгодно из технико-экономических соображений. Поэтому при использовании шпуров уменьшенного диаметра целесообразно для их заряжания выбирать ВВ с небольшими значениями критических диаметров. Чтобы достичь стойкой детонации, применяя в таких условиях ВВ с большим критическим диаметром, необходимо повышать плотность заряжания.

Эксперименты, проведенные для определения зависимости скорости детонации от диаметра заряда ВВ, показали, что их работоспособность, которая измеряется возможностью создавать напряженное состояние, снижается при уменьшении диаметра заряда в большей мере, чем уменьшается скорость детонации.

Большое влияние на критический диаметр влияет дисперсность ВВ. С увеличением размера долек ВВ критический диаметр возрастает. Поэтому все крупнодисперсные ВВ (гранулиты, грамониты) имеют значительно большие критические диаметры, чем ВВ того же состава, но порошковой структуры.

Критический диаметр для смешанных ВВ существенным образом зависит от процентного соотношения компонентов. Так, с уменьшением содержимого тротила в аммонитах с 21 % до 5 % их критический диаметр увеличивался с 12 до 25 мм.

Критический диаметр заряда можно существенным образом уменьшить, если заряд поместить в оболочки, которые замедляют распад продуктов детонации благодаря своей прочности. Поэтому детонационная способность ВВ резко возрастает в стальных трубах, а также в шпурах и буровых скважинах, которые пробурены в скальных породах, и мало меняется в сравнении с зарядами, размещенными в сыпучих и пластических средах.

Так, при одинаковой плотности аммиачная селитра, упакованная в стеклянную оболочку, имеет критический диаметр, близкий к 100 мм, а при упаковке ее в стальную оболочку толщиной 20 мм критический диаметр уменьшается до 7 мм. Установлено, что оболочка позволяет обеспечить более высокие скорости детонации, особенно при диаметрах зарядов, близких к критическому. С увеличением диаметра зарядов различие в скоростях детонации открытого заряда и заряда в оболочке становится малозаметным. Однако роль оболочки этим не ограничивается. Размещение заряда, который стойко детонирует в воздухе, в оболочку с небольшим зазором, которое возможно на практике при зарядании патронированными ВВ, в отдельных условиях приводит к затуханию детонации. Это явление известно как «канальный эффект». В зазоре оболочки под влиянием продуктов детонации возникает ударная волна, фронт которой распространяется со скоростью большей, чем скорость детонации. Ударная волна в зазоре имеет возможность повлиять на ВВ перед фронтом детонации и уплотнить его. В аммиачно-селитровых

ВВ это приводит к затуханию детонации, в мощных ВВ наблюдают пульсирующую детонацию с повышенной скоростью.

На размер критического диаметра в значительной мере влияет прочность оболочки на разрыв. Она возрастает с увеличением толщины стенок, которые и дают видимую зависимость от массы оболочки. Непрочные, но массивные оболочки сравнительно слабо влияют на величину критического диаметра.

Диаметр заряда, при котором параметры детонации близки к максимальным, называют предельным диаметром детонации.

Критический диаметр рекомендованных к применению промышленных ВВ определяется в открытых (в бумажной или полиэтиленовой оболочке) цилиндрических зарядах не меньше пяти их диаметров. В крепкой или массивной оболочке (горной породе) критический диаметр детонации всех ВВ в 2–3 раза меньше, чем диаметр открытых зарядов. Кроме того, в процессе пневматического заряжания грубодисперсных ВВ происходит частичное размельчение гранул, которое приводит к некоторому увеличению скорости детонации и уменьшению критического диаметра.

Скорость детонации при прочих равных условиях зависит от плотности заряжания. В свою очередь, плотность заряжания зависит как от плотности самого ВВ, так и от его способности хорошо заполнять объем зарядной полости.

Для однородных мощных ВВ (гексоген и т. п.) с увеличением плотности уменьшается критический диаметр заряда. Это объясняется увеличением давления продуктов реакции и скорости реакции.

Для смесевых ВВ (аммониты и т. п.) с увеличением плотности критический диаметр заряда сначала уменьшается, а потом увеличивается.

Сыпучие гранулированные ВВ довольно хорошо заполняют нисходящие шпурсы и буровые скважины и позволяют получать плотность заряжания, которая почти равняется насыпной плотности. При механизированном заряжании можно достичь более высоких плотностей заряжания вплоть до критических значений, превышение которых может привести к затуханию детонации.

Все аммиачно-селитренные ВВ имеют сравнительно невысокие критические плотности. Величина их зависит от рецептурного состава, степени дисперсности и однородности. Однако даже небольшие изменения плотности существенным образом меняют скорость детонации.

При заряджании буровых скважин и шпуров граммонитами и гранулитами можно не опасаться переуплотнения, поскольку достигнутые плотности заряджания всегда будут ниже, чем критические.

1.13. Методы определения скорости детонации

Скорость детонации может быть определена разными методами – фотографическим, осциллографическим и методом Дотриша, основанным на сравнении неизвестной скорости детонации ВВ со скоростью детонации детонирующего шнура (ДШ), которая является известной. В полевых условиях наиболее удобен метод Дотриша.

Сущность метода Дотриша (рис. 1.1) состоит в том, что на боковой поверхности на оси заряда диаметром 31 ± 1 мм и длиной 300 мм делают два отверстия на расстоянии 200 мм, в которые вставляются концы отрезков ДШ. Расстояние от отверстия до капсюля-детонатора должно быть 80–100 мм.

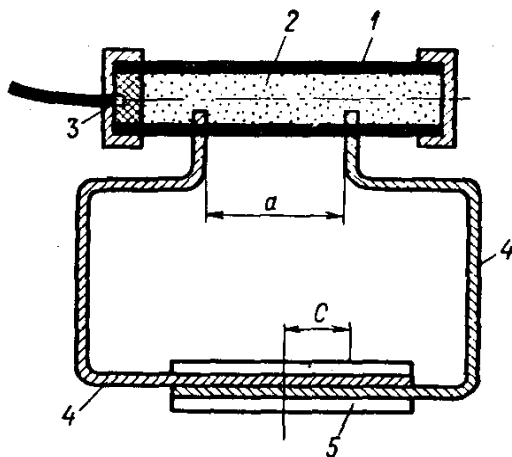


Рис. 1.1. Схема для определения скорости детонации (по Дотришу):

1 – оболочка; 2 – заряд ВВ; 3 – инициатор; 4 – отрезки ДШ;

5 – свинцовая пластинка

Два других конца шнура прикрепляют изоляционной лентой к жестяной пластинке толщиной 0,3–0,5 мм с прокладкой толщиной 10 мм.

При взрыве детонация распространяется по заряду и по обеим веткам ДШ. Длина отрезков шнура (как правило, 0,6–1,1 м) рассчитывается так, чтобы встреча волн детонации состоялась в пределах свинцовой пластинки, на которой в этом месте остается вмятина.

Скорость детонации (м/с) рассчитывается по формуле (1.1).

$$v_{\text{ВВ}} = \frac{D \cdot a}{2c}, \quad (1.1)$$

где D – скорость детонации ДШ, м/с;

a – длина отрезка ВВ, на котором определяется скорость детонации, мм;

c – отклонение места встречи детонационных волн от середины пластинки, мм.

Скорость детонации зависит от плотности ВВ, поэтому в опытах необходимо обеспечить такую плотность, которую имеют ВВ в промышленных условиях.

1.14. Плотность, работоспособность, бризантное и фугасное действие взрывных веществ

Одной из основных характеристик ВВ является их плотность. Повышение плотности приводит к концентрации энергии взрыва ВВ и позволяет повысить эффективность разрушения горных пород.

Различают плотность ВВ, плотность патронов ВВ и плотность заряжания.

Плотность ВВ – масса единицы объема ВВ без учета оболочки, в которой она находится. Для сыпучих ВВ плотность, полученную при свободном засыпании, называют насыпной или гравиметрической, а для сплошных (редких, прессованных или уплотненных в патроне порошков), когда вещество занимает весь объем, без пустот или воздушных промежутков, – действительной плотностью или просто плотностью ВВ.

Под плотностью патронов ВВ, зарядов или других изделий из ВВ понимают отношение их массы к занимаемому объему с учетом оболочки.

Плотность заряжания представляет собой отношение массы заряда ко всему объему зарядной камеры, включая все пустоты, не

заполненные ВВ. Плотность заряжения зависит от плотности ВВ и способности к уплотнению.

Плотность ВВ в заряде оказывает большое влияние на скорость детонации. Для большинства промышленных ВВ с увеличением плотности заряда скорость детонации возрастает. Однако следует иметь в виду, что для каждого ВВ существуют свои оптимальные значения плотности, за пределами которых происходит ухудшение взрывных характеристик ВВ вплоть до полного затухания детонации. Плотность, при которой невозможно стойкое распространение детонации по ВВ в зарядах заданного диаметра, называют критической. С увеличением диаметра заряда и с размещением его в оболочке критическая плотность возрастает.

Тепловая энергия, выделяющаяся при взрыве через расширяющиеся газообразные продукты взрыва, способна превращаться в механическую работу разрушения и перемещения горных пород. Мерой работоспособности ВВ в первом приближении может быть его теплота взрывного преобразования или потенциальная энергия. Вместе с тем превращение тепла в механическую работу происходит со значительными потерями. Поскольку точная теоретическая и экспериментальная оценка полезных форм работы взрыва пока невозможна, то разные ВВ между собой сравнивают несколькими практическими средствами.

Наиболее распространенными являются испытания на работоспособность по методу Трауцля и испытание на бризантность по методу Гесса.

Практическую способность продуктов взрыва выполнять работу при своем расширении – работоспособность ВВ – оценивают расширением канала свинцовой бомбы при взрыве стандартной навески ВВ (проба Трауцля), а также образованием воронки взрыва в грунте или в твердой породе при стандартных условиях.

Свинцовую бомбу Трауцля в виде цилиндра диаметром и высотой 200 мм изготавливают из рафинированного свинца. По оси бомбы просверливают канал диаметром 25 мм на глубину 125 мм. Стандартная навеска ВВ массой 10 мг с электродетонатором помещается в канал бомбы и засыпается сухим кварцевым песком без уплотнения. После взрыва канал бомбы приобретает грушевидную форму, объемом которой, за исключением начального объема отверстия (61 см^3)

и расширение, произведенного электродетонатором (30 см³), характеризует размер относительной работоспособности ВВ.

Кроме рассмотренного, используется также метод баллистического маятника. Основой баллистического маятника является груз, подвешенный на твердых тросах к неподвижной опоре (рис. 1.2).

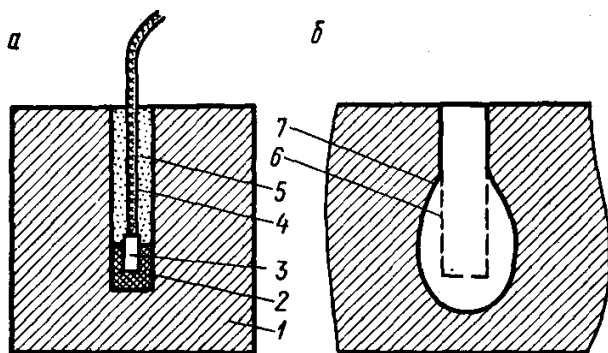


Рис. 1.2. Устройства для определения работоспособности ВВ до взрыва (а) и после него (б):

- 1 – свинцовый цилиндр; 2 – заряд испытываемого ВВ; 3 – капсюль-детонатор;
4 – огнепроводный шнур; 5 – забойка (кварцевый песок);
6 – контур канала до взрыва; 7 – канал после взрыва

При действии на маятник продуктов взрыва зарядов ВВ или ударной волны он получает некоторое количество движения и отклоняется на некоторый угол. Зная массу маятника M , длину подвески ℓ и угол отклонения φ , можно определить работу, произведенную продуктами взрыва заряда ВВ по формуле (1.2)

$$A = 2Mg(\ell - \cos \varphi). \quad (1.2)$$

Очень удобным является метод определения работоспособности ВВ по воронке выброса. Отличительная особенность этого метода состоит в возможности использования зарядов ВВ значительной массы, которые имеют большой критический диаметр (гранулированные, водосодержащие, эмульсионные), для которых другие лабораторные методы малопригодны. Сущность метода сводится к взрыванию в песчаном грунте серии испытываемых и эталонных

сосредоточенных зарядов, расположенных на глубине 530 мм. После взрыва каждого заряда измеряют глубину и диаметр воронки и рассчитывают ее объем, исходя из того, что воронка имеет правильную коническую форму. По результатам взрывов зарядов эталонного ВВ (аммонита 6ЖВ) определяют зависимость объема воронки выброса от массы заряда.

Критерием относительной работоспособности называют отношение работоспособности эталонного заряда к работоспособности испытуемого ВВ. В качестве относительной работоспособности рассматриваются также отношение полной идеальной работы либо удельной энергии (теплоты) взрыва эталонного заряда и испытуемого ВВ.

Бризантность ВВ – способность ВВ к местному разрушительному действию в результате удара продуктов взрыва в среде, которая прилегает к заряду. Бризантность ВВ оценивают по размеру сжатия свинцового цилиндра (проба Гесса).

Для опыта по методу Гесса на столбик из рафинированного свинца высотой 60 мм и диаметром 40 мм помещают стальную пластину толщиной 10 мм и патрон с массой испробованного ВВ 50 г. В заряде делают отверстие под капсюль-детонатор или электродетонатор. Гильза с детонатором закрепляется на плите. Бризантность (в мм) оценивают различиями средних высот свинцового столбика до и после взрыва, измеренных в четырех точках, расположенных на взаимно перпендикулярных осях.

Бризантное действие взрыва ВВ можно также определить на баллистическом маятнике по измеренному отклонению маятника.

Профессор Л. И. Бароном предложен метод оценки бризантного действия промышленных ВВ по дроблению кубиков из горной породы (рис. 1.3).

Испытываемый заряд ВВ массой 20 мг располагают в цилиндрической полости кубика диаметром 25 мм и глубиной 105 мм в его центре с размером грани 150 мм. Свободную часть канала заполняют забойкой. Перед началом опыта кубики взвешивают, а потом подрывают в крепком стальном сосуде. После взрыва весь разрушенный материал подвергают ситовому анализу и определяют суммарный процентный выход фракции крупностью 5–7 мм, который принимают в качестве показателя бризантности.

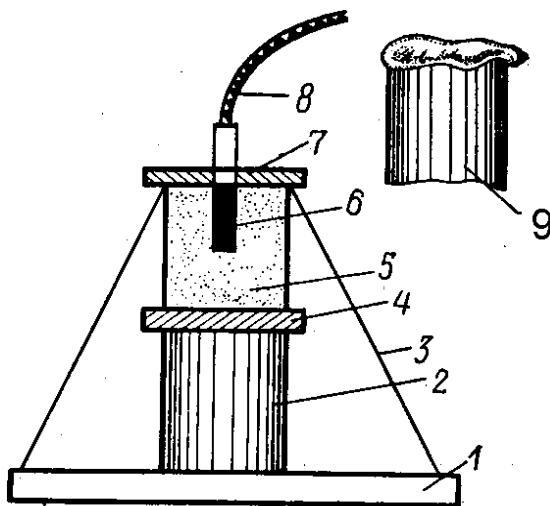


Рис. 1.3. Устройство для определения бризантности ВВ:
 1 – стальная плита; 2 – свинцовый столбик; 3 – крепление (шпагат);
 4 – стальной диск; 5 – заряд испытываемого ВВ; 6 – капсюль-детонатор;
 7 – картонный кружок; 8 – огнепроводный шнур;
 9 – свинцовый столбик после взрыва

Различают также фугасное, метательное действие взрыва, которое проявляется в перемещении или отбрасывании породы на определенное расстояние.

1.15. Кислородный баланс взрывчатых веществ. Отравляющие газообразные продукты взрыва

При взрывных работах образовывается значительное количество газов. Учитывая то, что взрыв, как правило, основан на окислении кислородом горючих веществ (углерода, водорода, метана), рецептуру промышленных ВВ составляют с таким расчетом, чтобы в результате взрыва образовались продукты, которые создают наименьшую опасность для горняков. Это возможно в том случае, когда ВВ изготовляют с нулевым или близким к нему кислородным балансом, под которым понимают отношение количества кислорода, который входит в состав ВВ, к его количеству, необходимому для полного окисления всех горючих компонентов, которые входят в состав этого ВВ.

В зависимости от излишка или недостатка кислорода, который фактически вмещается во ВВ, различают нулевой, положительный и отрицательный кислородные балансы.

Нулевым называют такой кислородный баланс, при котором кислорода в составе ВВ достаточно для полного окисления всех горючих элементов, которые входят в состав ВВ, то есть имеет место полное соответствие количества кислорода количеству горючих компонентов. Если в составе ВВ есть избыток кислорода, то кислородный баланс считается положительным, а если его недостаточно – отрицательным.

Следует отметить, что, добавляя к ВВ с положительным кислородным балансом горючие добавки (например, к аммиачной селитре древесную муку), можно получить взрывную смесь большей работоспособности.

При взрыве ВВ с нулевым кислородным балансом теоретически должно происходить полное окисление горючих элементов с максимальным выделением энергии. При взрыве такого ВВ образуется минимальное количество отравляющих газов. В таком случае ВВ с нулевым кислородным балансом является наиболее эффективным. При недостатке кислорода наряду с продуктами неполного окисления (СО, Н₂ и др.) часть углерода выделяется в свободном виде, который резко снижает образование газов, а при избытке кислорода, наряду с оксидами азота (NO, NO₂, N₂O₃), в продуктах взрыва может находиться азот в свободном состоянии.

Числовое значение кислородного баланса вычисляется по формуле (1.3).

$$k = \left(\frac{16n}{M} \right) 100 \%, \quad (1.3)$$

где n – число избыточных (недостающих) атомов кислорода до полного окисления горючих элементов в одной молекуле ВВ;

M – молекулярная масса ВВ.

Состав большинства промышленных ВВ (как однородных, так и смесей) может быть выражен общей формулой C_aH_bN_cO_dAl_e, где a , b , c , d и e – соответственно количество атомов углерода, водорода, азота, кислорода и алюминия в молекуле ВВ. Поэтому избыточ-

ное (недостаточное) количество атомов кислорода можно определить из выражения (1.4).

$$n = d - \left(2a + \frac{1}{2}b + \frac{3}{2}e \right). \quad (1.4)$$

Пример 1. Определить кислородный баланс аммиачной селитры, химическая формула которой NH_4NO_3 .

Решение. Горючим элементом в аммиачной селитре является водород. Для окисления четырех атомов водорода необходимо два атома кислорода. В молекуле же есть три атома кислорода. Итак, кислородный баланс является положительным, а количество избыточных атомов кислорода равняется $n = 3 - 2 = 1$. Молекулярная масса аммиачной селитры равняется 80. Подставляя значение n и M в формулу, определяем кислородный баланс аммиачной селитры.

$$k = \frac{16 \cdot 1}{80} 100 \% = 20 \%$$

Пример 2. Определить кислородный баланс тротила, химическая формула которого $\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$.

Решение. Горючими элементами в тротиле являются углерод и водород. Для окисления семи атомов углерода и пяти атомов водорода необходимо $14 + 2,5 = 16,5$ атомов кислорода. В молекуле есть только шесть атомов кислорода. Итак, кислородный баланс тротила отрицательный, а недостающее число атомов кислорода в молекуле составляет $16,5 - 6 = 10,5$, то есть $n = 10,5$. Молекулярная масса тротила равняется 227. Подставляя значение n и M в формулу, определяем кислородный баланс тротила.

$$k = \frac{16(-10,5)}{227} 100 \% = -74 \%$$

Как видим, тротил владеет резко выраженным отрицательным кислородным балансом. В связи с этим он и ему подобные ВВ не могут быть применены в подземных горных выработках, потому что выделяют много отравляющих газов.

Кислородный баланс определяется не только для ВВ, но и для других веществ, которые можно использовать как компоненты ВВ.

Кислородный баланс взрывных смесей можно определять по формуле

$$k = k_1 p_1 + k_2 p_2 + k_3 p_3 + \dots + k_n p_n,$$

где $k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$ – кислородный баланс каждого из компонентов взрывчатой смеси;

$p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ – содержимое каждого из компонентов в долях единицы.

Пример 3. Определить кислородный баланс ВВ, состоящего из 50 % тротила и 50 % аммиачной селитры.

Решение. Согласно условию задачи содержание аммиачной селитры и тротила составляет $p_1 = p_2 = 0,5$. Кислородные балансы аммиачной селитры и тротила соответственно равняются $k_1 = 20\%$ и $k_2 = 74\%$ (см. примеры 1 и 2). Подставляя значение p_1, p_2, k_1, k_2 в формулу, получаем кислородный баланс смеси.

$$k = (20 - 74)0,5 = -27\%.$$

Поскольку при нулевом кислородном балансе выделяется минимальное количество токсичных газов, для промышленных целей преимущественно выпускаются ВВ с нулевым кислородным балансом, а в подземных условиях допускаются к применению только ВВ, которые имеют нулевой кислородный баланс.

Для получения взрывчатой смеси с нулевым кислородным балансом к основному компоненту, кислородный баланс которого значительно отличается от нулевого, прибавляют один или больше компонентов, которые имеют кислородный баланс, противоположный кислородному балансу первого компонента. Соотношение компонентов должно быть четко определенным.

Пример 4. Определить рецептуру ВВ с нулевым кислородным балансом на основе аммиачной селитры и тротила.

Решение. Согласно условию задачи уравнение можно записать в следующем виде.

$$O = k_1 p_1 + k_2 p_2,$$

где $k_1 = +20\%$ – кислородный баланс аммиачной селитры;

$k_2 = -74\%$ – кислородный баланс тротила;

p_1 и p_2 – соответственно содержащее аммиачной селитры и тротила во взрывчатой смеси в долях единицы.

Поскольку смесь составляется из двух компонентов, то $p_2 = (1 - p_1)$ и уравнение приобретает вид.

$$O = k_1 p_1 = k_2 (1 - p_2).$$

Подставляя значение k_1 и k_2 в это уравнение (см. пример 3) и решая его, получаем $p_1 = 0,79$. Тогда $p_2 = 1 - 0,79 = 0,21$. Итак, ВВ с нулевым кислородным балансом на основе аммиачной селитры и тротила должны складываться из 79% аммиачной селитры и 21% тротила. Такому составу смеси отвечает взрывчатое вещество граммонит 79/21 и аммонит 6ЖВ.

Как уже отмечалось, при взрыве ВВ выделяются отравляющие газы. В основном, это оксид углерода и оксиды азота. Однако при разрушении горных пород, которые содержат серу и сернистые соединения, образовывается также сернистый ангидрит и сероводород во много раз более токсичные, чем оксид углерода.

При подсчете наличия отравляющих газов их приводят к так называемому условному оксиду углерода, предельное содержание которого в рудничной атмосфере не должно превышать 0,008% по объему.

Оксид углерода – газ без цвета, вкуса и запаха, и в этом его значительная опасность. Лишь при наличии его содержания менее 0,0016% по объему он не вызывает какого-нибудь вредного влияния на организм человека. При больших концентрациях появляются утомление, потеря сознания и может наступить смертельное отравление.

В случае отравления оксидом углерода, потерпевшего нужно вынести на свежий воздух, дать подышать кислородом, а в случае потери сознания – делать искусственное дыхание до оказания специальной медпомощи.

Оксид азота – газ красно-бурого цвета. Он опасен тем, что разрушает слизистую оболочку дыхательных путей и легких. Вдыхание оксида азота вызывает кашель, слезоточивость, одышку. Предельно допустимая концентрация оксида азота – 0,0001 % по объему. Этот газ коварен тем, что имеет скрытый период действия (4–6 ч), после которого может наступить отек легких.

Сероводород – бесцветный газ, имеет запах тухлых яиц. Он вызывает острое раздражение дыхательных путей, слизистой оболочки глаз и носа. При сильных отравлениях наблюдаются судороги и потеря сознания. Предельно допустимая концентрация сероводорода – 0,00066 % по объему.

Сернистый ангидрид – бесцветный газ, отличается резким раздражающим запахом, который вызывает чиханье, кашель, спазмы в горле. При сильных отравлениях могут наблюдаться воспаление бронхов и отек легких. Предельно допустимая концентрация – 0,0007 % по объему.

Во всех случаях отравления отравляющими газами нужна срочная медпомощь.

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется взрывом?
2. Что называется взрывчатым веществом?
3. Какие компоненты содержат взрывчатые вещества, с какой целью они вводятся в состав ВВ?
4. Что такое плотность ВВ, плотность заряжения ВВ? На какие процессы взрыва они воздействуют?
5. Чем отличается работоспособность ВВ от бризантности?
6. Назовите способы определения работоспособности и бризантности ВВ.
7. Что называется кислородным балансом ВВ, как он определяется?
8. Охарактеризуйте влияние кислородного баланса ВВ на виды и количество образующихся при взрыве ядовитых газов.
9. Какие виды ядовитых газов образуются при взрыве зарядов ВВ?
10. Перечислите, от каких факторов зависят скорость и устойчивость детонации промышленных ВВ.
11. Какие требования предъявляются к промышленным ВВ?

12. Укажите признаки, по которым классифицируются промышленные ВВ.

13. Какие взрывчатые химические соединения называются иницирующими?

14. Перечислите ВВ, не содержащие тротила, укажите область их применения.

15. Какие виды пороха имеются в современном ассортименте промышленных ВВ?

16. Какие ВВ называются предохранительными? Укажите их компоненты.

17. Перечислите иницирующие ВВ, опишите их характеристики.

18. Дайте характеристику водосодержащим ВВ.

19. Какие ВВ называются эмульсионными? Укажите область их применения.

2. СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ВЗРЫВАНИЯ ЗАРЯДОВ

2.1. Классификация средств и способов инициирования взрыва

Взрыв ВВ происходит вследствие начального импульса, вызванного взрывом небольшого по массе так называемого инициирующего заряда ВВ, размещенного в специальных детонаторах. Начальный импульс можно также вызвать специальным детонирующим шнуром. Для некоторых типов промышленных ВВ, характеризующихся низкой чувствительностью, нужно, кроме упомянутых, применение промежуточного детонатора в виде дополнительного заряда ВВ, способного передавать начальный импульс основному заряду для возбуждения его взрыва.

В современной практике горного дела для возбуждения взрыва заряда инициирующих ВВ в детонаторах используют тепловой импульс с помощью искры пороховой сердцевины специального огнепроводного шнура или электровоспламенителя, а также энергию ударной волны, передаваемую с помощью специального волновода – ударно-волновой трубки. В зависимости от применяемых средств для возбуждения взрыва в детонаторах различают такие виды инициирования, как: огневой, электрический, электроогневой, с помощью детонирующего шнура и неэлектрический. Кроме того, способы взрывания основных зарядов, взрывы которых инициируются детонаторами, еще классифицируют в зависимости от интервала времени между взрывами отдельных зарядов или групп зарядов. При этом различают мгновенное, короткозамедленное и замедленное взрывание. При мгновенном взрывании все заряды ВВ подрывают практически одновременно. При короткозамедленном взрывании (КЗВ) отдельные заряды или группы зарядов взрываются в определенной последовательности (с интервалами времени – тысячные доли секунды). Как правило, интервалы времени составляют 10–500 мс. При замедленном взрывании интервалы замедления между взрывами зарядов ВВ составляют от 0,5 до нескольких секунд.

Для осуществления каждого из этих способов инициирования детонаторов и взрывания основных зарядов ВВ необходимы определенные средства, которые называют средствами инициирования (СИ) и средствами взрывания (СВ).

2.2. Средства огневого инициирования взрыва и взрывания зарядов ВВ

Средствами огневого инициирования служат капсюль-детонатор, огнепроводный шнур и средства для поджигания огнепроводного шнура.

Сущность огневого инициирования сводится к взрыву капсюля-детонатора от искры пороховой сердцевинки огнепроводного шнура, а от взрыва капсюля-детонатора подрывается основной заряд промышленного ВВ.

Капсюль-детонатор (КД) (рис. 2.1) состоит из металлической или бумажной гильзы, которая почти на две трети наполнена инициирующим ВВ прикрытого чашечкой с небольшим отверстием в центре (диаметром 2–2,5 мм). Она уменьшает опасность взрыва от трения при введении огнепроводного шнура в свободную часть гильзы. На торце КД есть кумулятивное углубление, которое усиливает его инициирующее действие. Первичное инициирующее ВВ, которое по массе в 2–3 раза меньше, чем вторичное, размещается в чашечке. Навеска ее берется такой, чтобы возбудить взрыв вторичного инициирующего ВВ.

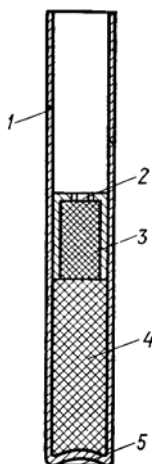


Рис. 2.1. Капсюль-детонатор:

1 – гильза; 2 – чашечка с отверстием; 3 – тетрил;
4 – вторичное инициирующее ВВ; 5 – кумулятивное углубление

Из-за высокой чувствительности инициирующих ВВ обращаться с КД надо очень осторожно. Для перенесения и работы с ними допускаются только лица, которые прошли специальное обучение и сдали экзамен квалификационной комиссии.

КД необходимо проверять, прежде всего, на чистоту внутренней поверхности гильзы. Соринки, которые туда попали, удаляют осторожным постукиванием открытого дульца ногтем пальца. Нельзя извлекать соринки из гильзы палочкой, проволочками и другими приспособлениями, а также выдувать их. Если постукиванием об ноготь посторонние частички удалить из капсуля-детонатора не удается, то его бракуют. КД плотно укладывают по 100 шт. вертикально дульцами вверх в картонную коробку. Десять таких коробок укладывают в картонный короб. Пять картонных коробов, в свою очередь, укладывают в металлический короб, который упаковывают в деревянный ящик.

Промышленность выпускает КД в бумажных гильзах таких типов: КД-8Б, КД-8С, КД-8УТС.

Для инициирования взрыва капсулей-детонаторов и воспламенения пороховых зарядов используется огнепроводный шнур (рис. 2.2).

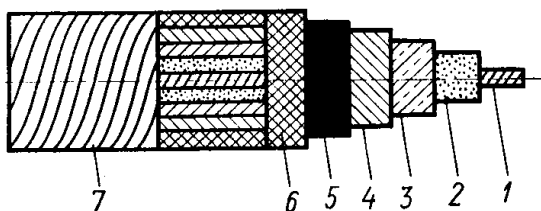


Рис. 2.2. Огнепроводный шнур:

- 1 – направляющая нить; 2 – сердцевина из дымного пороха;
- 3 – первая оплетка; 4 – вторая оплетка; 5 – пласт изолирующей мастики;
- 6 – третья оплетка; 7 – наружная оболочка

Огнепроводный шнур (ОШ) состоит из пороховой сердцевины с направляющей нитью и водоизолирующей оболочки. Для снаряжения сердцевины используют дымный порох. Оболочка шнура состоит из нескольких оплеток из льняных, джутовых, пеньковых или хлопчатобумажных нитей. Чтобы надежнее предохранить пороховую сердцевину, оплетки пропитывают разными веществами, которые не пропускают влагу. Огнепроводные шнуры выпускаются

трех типов: асфальтированный для сухих – ОША, влажных забоев – ОШДА и в пластиковой оболочке ОШП. Последний имеет ограниченное применение. Скорость горения ОШ 1 см/с. Допускается горение с меньшей скоростью. Однако отрезок ВШ длиной 60 см должен сгореть не менее, чем за 60 с, и не более, чем за 70 с.

Перед применением ОШ необходимо тщательно его осмотреть и места, на которых подмечены внешние дефекты (нарушение целостности оболочки, смятие и т. п.), вырезать.

ОШ, особенно асфальтированные, при температуре выше 28–30 °С становятся непригодными. Поэтому ОШ следует сохранять при более низкой температуре. В жарких условиях и под действием солнечных лучей держать его без упаковки продолжительное время нельзя. В подобных случаях ОШ необходимо присыпать грунтом.

В зимнее время (при низких температурах) перед заготовкой ОШ для взрывных работ его необходимо вносить в теплое помещение за 1–2 ч перед началом работы, чтобы предотвратить порчу внешней оболочки при разматывании бухт и разрезании ОШ.

При разматывании ОШ не допускаются его перегибы, ломки, петли, узлы и повреждения оболочки.

Поскольку пороховая сердцевина увлажняется, во избежание отказов при взрывных работах перед употреблением ОШ от каждого конца отрезают по 5 см.

При изготовлении зажигательных трубок нужно следить, чтобы на концах отрезка шнура не было отдельных нитей от оболочки, потому что это может закрыть пороховую сердцевину и воспрепятствовать огню достичь капсюля.

При поступлении на склад взрывчатых материалов и при хранении ОШ, кроме внешнего осмотра, они подвергаются испытаниям на водостойкость, а также на скорость, полноту и равномерность горения по методике, изложенной в «Единых правилах безопасности при взрывных работах».

Применение ОШ допускается на открытых и подземных работах, за исключением шахт, опасных по газу и пыли.

ОШ выпускается отрезками длиной 10 м, свернутыми в бухты. Бухты укладываются в пачки, а пачки в ящики. На ящиках указывается название шнура.

В качестве средств для поджигания ОШ используют зажигательный тлеющий фитиль или специальные зажигательные патроны.

Зажигательный тлеющий гнет состоит из сердцевины, которая представляет собой пучок хлопчатобумажных или льняных нитей, пропитанных раствором калиевой селитры, заключенный в хлопчатобумажную оплетку. Такой фитиль тлеет со скоростью 0,4–1 см в минуту и надежно зажигает ОШ.

Зажигательные патроны (рис. 2.3) применяют для группового зажигания отрезков ОШ.

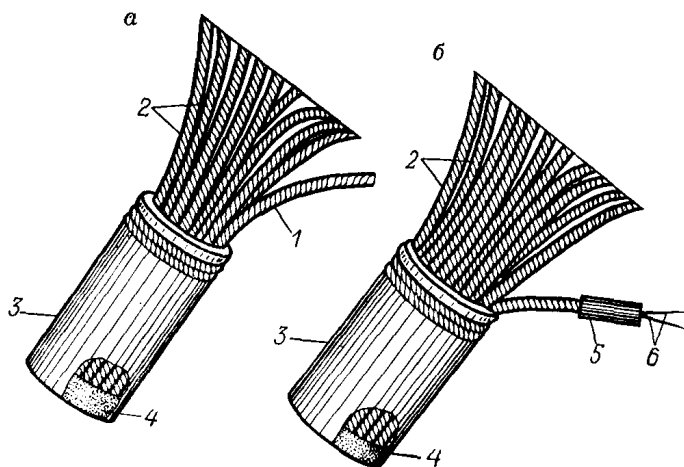


Рис. 2.3. Зажигательные патроны с зажиганием от отрезка (а) и специального электрозажигательного патрона (б):
 1 – отрезок ОШ для поджигания; 2 – пучок ОШ; 3 – бумажная гильза;
 4 – зажигательное вещество; 5 – электрозажигатель; 6 – провода

Зажигательный патрон выполнен в виде бумажной гильзы, на дне которой размещается зажигательное вещество. Собранные в пучок ОШ вводят в открытую часть патрона вплотную к зажигательному веществу. Одновременно в патрон вводят отрезок ОШ длиной 15–30 см, который используется для воспламенения (поджигания) зажигательного вещества и зажигания всех помещенных в патрон ОШ. Этот отрезок ОШ зажигают зажигательным тлеющим фитилем или спичкой. Поджигание группы ОШ осуществляется также с помощью электрозажигательного патрона (рис. 2.4). На рисунке показан электрозажигательный патрон для поджигания отрезков ОШ. Отличие его в том, что зажигательное вещество зажигается

от электрозажигателя. Такие патроны применяют при так называемом электроогневом инициировании (взрывании).

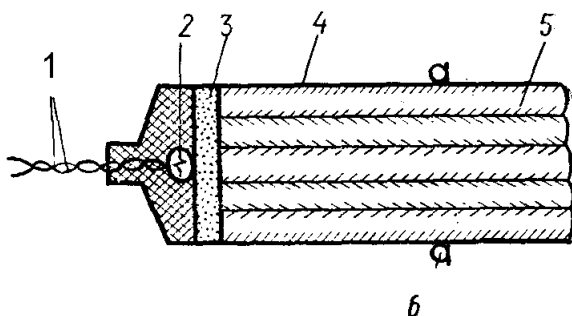


Рис. 2.4. Электрозажигательный патрон:
 1 – провода; 2 – электроподжигатель; 3 – зажигательное вещество;
 4 – бумажная гильза; 5 – отрезки ОШ; 6 – шпаягат

Для проведения взрываания огневым инициированием необходимо выполнить целый комплекс операций, который включает изготовление зажигательных и контрольных трубок, патронов-боевиков, а также собственно зарядание (размещение ВР в шпуры, буровые скважины или на поверхности горной породы, которая разрушается), засыпку (забойку) зарядов инертным материалом. Одним из описанных средств осуществить зажигание ОШ. Все эти работы выполняет взрывник, в обязанности которого входит также подача установленных сигналов до и после взрыва, счет зарядов, которые взрываются, осмотр места взрыва и, по необходимости, ликвидация отказов.

Зажигательная трубка – огнепроводный шнур, соединенный с капсюлем-детонатором. Длина зажигательных трубок зависит от числа поджиганий, применяемых средств для поджигания, времени на отход взрывника в укрытие. Минимальную длину зажигательной трубки можно определить по формуле (2.1).

$$l_{\min} = (nt + T)v, \quad (2.1)$$

где n – число поджиганий;

$t \sim 5 - 10$ с – среднее время на одно поджигание;

$T > 60$ с – время на отход взрывника в безопасное место;
 v – средняя скорость горения ОШ.

Вместе с тем следует отметить, что длина зажигательной трубки не может быть меньше одного метра и больше 10 м.

На рис. 2.5 показана конструкция зажигательной трубки. При зажигании пяти и более зажигательных трубок для контроля по времени, которое тратится на зажигание, необходимо применять контрольную зажигательную трубку.

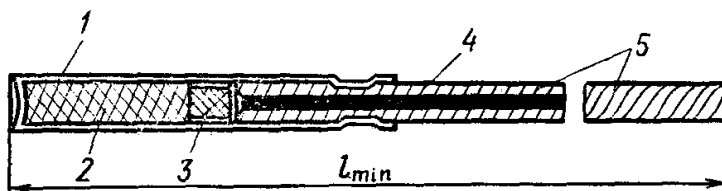


Рис. 2.5. Зажигательная трубка:

- 1 – корпус капсюля-детонатора; 2 – вторичное инициирующее ВВ;
- 3 – первичное инициирующее ВВ; 4 – пороховая сердцевина;
- 5 – оболочка ОШ

Контрольная зажигательная трубка имеет отрезок, который на 0,6 м короче, чем кратчайший шнур зажигательных трубок в заряде.

Для ее изготовления используется капсюль-детонатор с бумажной гильзой.

Зажигательные контрольные трубки изготавливают в помещении подготовки взрывных материалов. При работах передвижного характера, которые имеют место на горных работах, изготовление зажигательных и контрольных трубок решается под открытым небом за пределами опасной зоны и не ближе 25 м от места хранения взрывных материалов.

При изготовлении зажигательных и контрольных трубок от каждой бухты ОШ с обеих его концов отрезают по 5 см. ОШ для введения в капсюль-детонатор отрезают перпендикулярно его оси. Резать ОШ нужно острым инструментом. При этом припускается одновременное резание нескольких нитей ОШ.

ОШ вводят в дульце капсюля-детонатора до соприкосновения с чашечкой прямым движением, без вращения ОШ или капсюля-детонатора. После этого края металлической гильзы обжимают спе-

циальным инструментом. Нельзя надавливать на то место капсюля-детонатора, где помещается взрывчатое вещество. Если гильза бумажная, то ОШ крепят в гильзе, обвязывая ее возле дульца нитью или изоляционной лентой.

Все описанные операции выполняют на столах, которые покрыты специальной резиной толщиной не менее 3 мм. Они имеют бортики, которые предотвращают скатывание и падение капсюлей-детонаторов.

Патрон-боевик (рис. 2.6) – патрон ВВ, соединенный с зажигающей трубкой. Для изготовления патрона-боевика патрон ВВ 1 разминают, разворачивают его оболочку и деревянной палочкой 2 делают в его центре углубления 4 для капсюля-детонатора. В это углубление вводят на полную длину капсюль-детонатор зажигающей трубки 3. Края оболочки после этого собирают и завязывают шпагатом 5 вместе с ОШ. Патроны-боевики изготавливаются взрывниками на месте проведения взрывных работ на расстоянии 50 м от места заряжания.

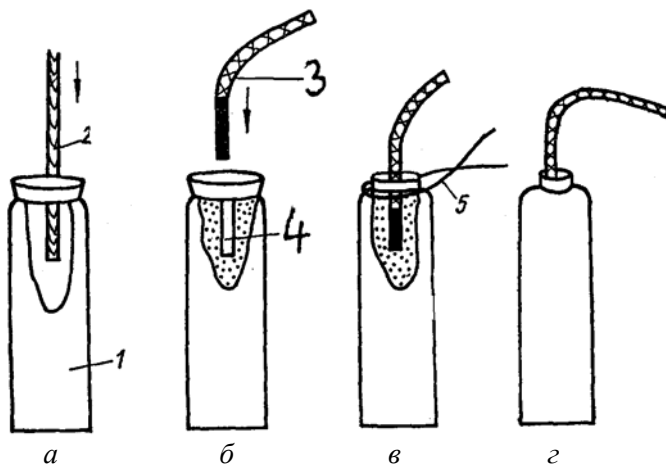


Рис. 2.6. Патрон-боевик (а-г – последовательность операций):
1 – патрон ВВ; 2 – деревянная палочка; 3 – зажигающая трубка;
4 – углубление; 5 – шпагат

Техника огневого инициирования включает выполнение следующих основных работ.

Взрывником (мастером-взрывником) подается первый звуковой сигнал – предупредительный (один продолжительный). Все люди, не занятые заряджанием и взрыванием, должны находиться за границей опасной зоны, а в местах возможного входа в опасную зону выставляются посты охраны. После этого начинается заряджание (засыпание) через воронку или с помощью специального шланга (при механизированном заряджании) в предварительно очищенный шпур (буровую скважину) расчетного количества промышленного ВВ. Потом осторожно вводят патрон-боевик. Свободная часть шпура (буровая скважина) заполняется забойным материалом (песок, буровая мелочь и т. п.) с целью увеличения сопротивления выхода газообразных продуктов, которые образуются при взрыве заряда ВВ. Нельзя в роли забойки применять горючие или крупнокусковые материалы.

После окончания забойки, проверяют и подсчитывают число зарядов, подготовленных к взрыву, подают боевой сигнал (два продолжительных). С помощью одного из описанных выше средств зажигания производят поджог первой контрольной трубки, которую помещают на земной поверхности на расстоянии не меньше 5 м от заряда, зажигательная трубка которого зажигается первой, но не на пути следования подрывника в безопасное место (укрытие).

Недостатки огневого образа инициирования: относительная опасность (пребывание подрывника непосредственно на месте производства взрыва), невозможность проверки приборами качества подготовки взрыва, затрудненность взрывания групп зарядов, образование дополнительного количества отравляющих и вредных газов в результате горения ОШ в условиях подземных выработок. Кроме того, огневой образ не исключает преждевременный подбой одного заряда другим.

2.3. Электрический способ инициирования взрыва зарядов ВВ

Средствами электрического способа инициирования служат электродетонаторы, провода, постоянный или переносной источник электрического тока, контрольно-измерительные приборы.

Сущность электрического образа инициирования сводится к взрыву электродетонатора от источника электрического тока, а от взрыва электродетонатора подрывается основной заряд промышленного ВВ или промежуточный детонатор, при использовании малочувствительного ВВ.

Электродетонатор (рис. 2.7) – это капсуль-детонатор с электровоспламенителем, который выполняет ту же роль, что и ОШ при огневом инициировании взрыва зарядов ВВ. Электровоспламенитель состоит из воспламенительной головки и проводов. Электровоспламенители бывают трех типов: с металлическим мостиком, с токопроводящим соединением и искровые. Электровоспламенители с металлическим мостиком устроены подобно электрической лампочке: они действуют от накала электрическим током тонкой металлической нити, которая расположена внутри головки. Электровоспламенители с токопроводящим соединением имеют головку, которая загорается за счет тепла, возникающего при прохождении тока через зажигательную смесь. Искровые электровоспламенители срабатывают с помощью искры, возникающей при пробое зажигательного вещества между электродами. В странах СНГ выпускаются электрические воспламенители с металлическими мостиками, изготовленными из специального сплава.

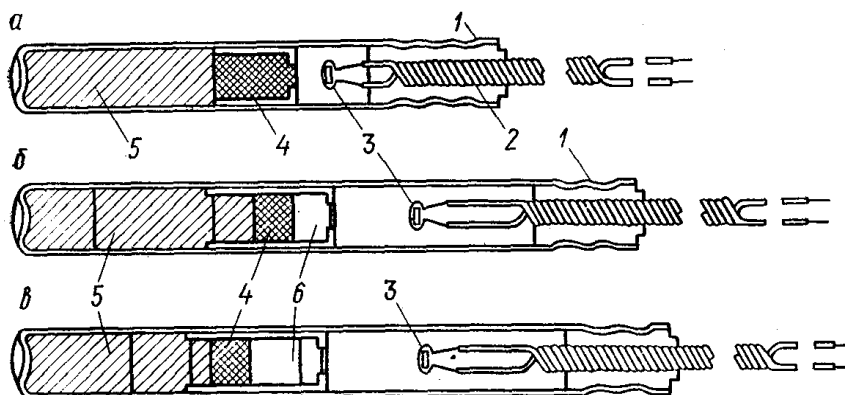


Рис. 2.7. Электродетонаторы мгновенного (а), короткозамедленного (б) и замедленного (в) действия:

- 1 – гильза; 2 – выводные провода; 3 – зажигательная головка;
4 и 5 – соответственно первичное и вторичное инициирующее ВВ;
6 – замедляющий состав

Провода применяют одножильные, медные, биметаллические или стальные. Изоляция проводов бывает полихлорвиниловой, резиновой, хлопчатобумажной и т. д. Длина проводов от 1 до 4 м.

Электровоспламенитель в гильзе детонатора крепится путем обжима гильзы по пластиковой пробочке, что создает достаточную герметизацию и прочность во время натяжения выводных проводов.

Принцип действия электродетонатора заключается в том, что при пропускании через него электрического тока мостик раскаляется, зажигательное вещество вспыхивает и своим пламенем через отверстия чашечки подрывает первичное инициирующее ВВ.

По времени срабатывания различают электродетонаторы мгновенного, короткозамедленного и замедленного действия.

У электродетонаторов мгновенного действия (ЭД) электровоспламенитель находится непосредственно перед отверстием чашечки. Поэтому взрыв происходит практически одновременно с включением тока. Промышленностью выпускается несколько марок электродетонаторов мгновенного действия: предохранительные и непридохранительные, водостойкие, термостойкие, повышенной мощности. К предохранительным относятся электродетонаторы, безопасные по взрыву метановоздушной смеси. Это достигается или применением толстостенных гильз, или прессованием на дно гильзы навески пламегасителя. В отдельных случаях на внешнюю поверхность гильз наносят защитную прослойку, которая содержит пламегаситель.

К непридохранительным ЭД мгновенного действия относятся электродетонаторы ЭД-8-Ж и ЭД-1-8-Г. Последний защищен от зарядов статического электричества до 10 кВ и от блуждающих токов силой до 1 А. Предохранительными ЭД мгновенного действия являются электродетонаторы ЕД-КС-ОП, короткозамедленного действия – ЭД-КЗ-П и ЭД-КЗ-ПМ.

2.4. Электровзрывные сети и их расчет

Совокупность электродетонаторов с проводами, которые соединяют их между собой и с источником тока (минной станцией), называется электровзрывной сетью. Электровзрывная сеть составляется из магистральной и распределительных сетей и электродетонаторов. Распределительная сеть включает концевые, участковые и соединительные провода.

Расчет электровзрывной сети сводится к определению общего сопротивления сети и расчета силы тока, который проходит через электродетонатор, который не может быть меньшим, чем гарантий-

ный ток при групповом взрывании. После этого определяют необходимое напряжение и подбирают источник тока. Если в качестве источника тока используются конденсаторные взрывные машинки, то расчетное сопротивление принятой схемы должно отвечать паспортному значению сопротивления машинки.

В электровзрывных сетях применяют три типа соединений проводов: последовательное, параллельное и смешанное.

При последовательном соединении (рис. 2.8) провода соединяют один за другим так, чтобы электрический ток последовательно проходил через все электродетонаторы, включенные в сеть.

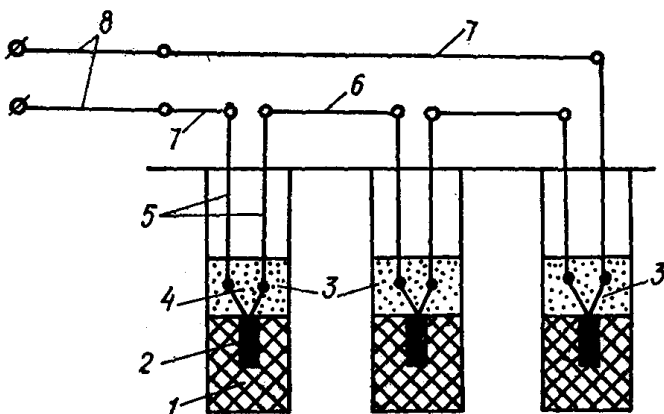


Рис. 2.8. Схема последовательного соединения проводов электровзрывной сети:

- 1 – заряд ВВ; 2 – электродетонатор; 3 – забойка;
- 4 – выводной провод электродетонатора; 5 – концевые провода;
- 6 – соединительные провода; 7 – участки проводов;
- 8 – магистральные провода

Преимуществом такой схемы является простота ее расчета, монтажа и контроля. Недостатки последовательной схемы сводятся к ограниченности числа электродетонаторов, которые подрываются одновременно, и возможности отказа всей сети в случае неисправности хотя бы одного электродетонатора (или повышенной его чувствительности), или разрыв какого-то провода в сети.

Общее сопротивление электровзрывной сети (Ом) при последовательном соединении определяется как сумма сопротивлений прово-

дов – магистральных R_M , соединительных R_C , участков R_U , конечных R_K и сопротивлений электродетонаторов $R_{ДЕТ}$ по формуле (2.2).

$$R_{ЗАГ} = R_M + R_C + R_D + R_K + R_{ДЕТ} \cdot n, \quad (2.2)$$

где n – общее число электродетонаторов, включенных в сеть.

Ток, который проходит через каждый электродетонатор при последовательном соединении, определяется по формуле (2.3).

$$I = U / (R_{ЗАГ} + R_{П}), \quad (2.3)$$

где U – напряжение на зажимах источника тока;

$R_{П}$ – внутреннее сопротивление источника тока, Ом.

Параллельное соединение применяют при взрывании большого числа электродетонаторов, расположенных в одном месте. При этом нужен мощный источник тока с таким расчетом, чтобы на каждый электродетонатор подавать ток силой от 1 до 2,5 А в зависимости от числа зарядов, которые подрываются одновременно. Недостатком параллельного соединения является невозможность контроля за проводимостью всех электродетонаторов, сложность расчета электровзрывных сетей, большой расход проводов.

В схемах параллельного соединения различают два их вида: пучковое и параллельно-ступенчатое (рис. 2.9).

При пучковом соединении электродетонаторы присоединяют к магистральным проводам в двух точках, то есть один конечный провод каждого электродетонатора присоединяют к одному магистральному проводу, а другой – к другому.

Ток в сети равняется сумме токов, которые проходят по разветвлениям, то есть

$$I_{ЗАГ} = I_1 + I_2 + \dots + I_n, \quad (2.4)$$

где I_1, I_2, \dots, I_n – ток в отдельных ветвях, А.

Общее сопротивление сети (Ом) при пучковом соединении определяют из выражения (2.5).

$$R_{ЗАГ} = \frac{1}{1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n}, \quad (2.5)$$

где R_1, R_2, \dots, R_n – сопротивления отдельных ветвей, Ом.

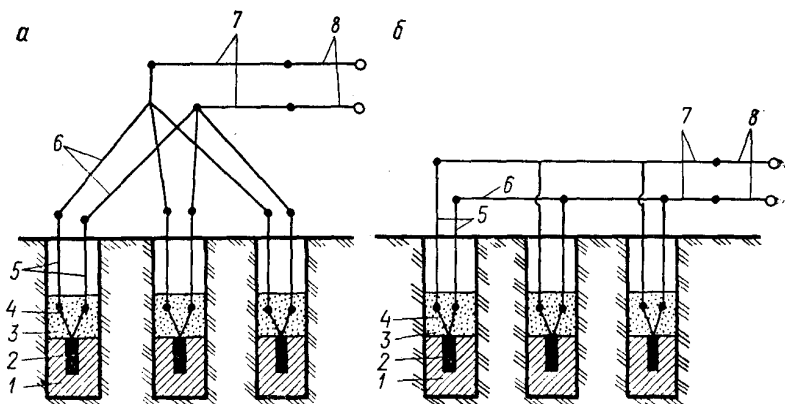


Рис. 2.9. Пучковое (а) и параллельно ступенчатое (б) соединение проводов электровзрывной сети:

- 1 – заряд ВВ; 2 – электродетонатор; 3 – забойка;
 4 – выводной провод электродетонатора; 5 – концевые провода;
 6 – соединительные провода; 7 – участковые провода;
 8 – магистральные провода

Если сопротивление ветвей одинаковое, то общее сопротивление

$$R_{\text{Общ}} = R_Q / N, \quad (2.6)$$

где R_Q – сопротивление отдельной ветви, Ом;

N – число параллельных ветвей.

При параллельно-ступенчатом соединении электродетонаторы присоединяются к магистрали в разных точках сети.

Такое соединение применяют лишь в тех случаях, когда сопротивления участковых проводов очень малые, а сопротивления электродетонаторов одинаковые. Расчет таких сетей очень сложный и рассматривается в специальных пособиях по взрывному делу.

Смешанные соединения электровзрывных сетей бывают параллельно-последовательными и последовательно-параллельными (рис. 2.10).

В практике нашли применение последовательно-параллельные соединения, которые позволяют подрывать максимальное число электродетонаторов при постоянном напряжении осветительной или силовой сети. При этой схеме электродетонаторы в группах соединяются последовательно, а группы их – параллельно.

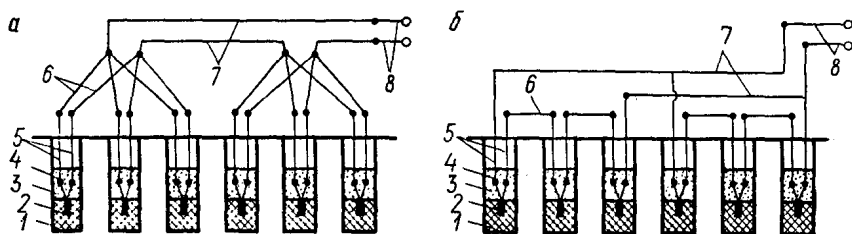


Рис. 2.10. Параллельно-последовательное (а) и последовательно-параллельное (б) соединения проводов электровзрывной сети:
 1 – заряд ВВ; 2 – электродетонатор; 3 – забойка;
 4 – выводной провод электродетонатора; 5 – концевые провода;
 6 – соединительные провода; 7 – участковые провода;
 8 – магистральные провода

Сопротивление одной такой группы (Ом) определяется по формуле (2.7).

$$R_{ГР} = nR_{ДЕТ} + R_{К} + R_{Д}, \quad (2.7)$$

где n – число последовательно соединенных электродетонаторов в группе.

Сопротивление всех групп

$$R_{ОБЩ\ ГР.} = (nR_{ДЕТ} + R_{К} + R_{Д}) / m, \quad (2.8)$$

где m – число групп электродетонаторов, соединенных параллельно.

Общее сопротивление при последовательно-параллельном соединении

$$R_{ОБЩ} = R_{М} + (nR_{ДЕТ} + R_{К} + R_{Д}) / m. \quad (2.9)$$

Согласно требованиям «Единых правил безопасности при взрывных работах», при расхождении измеренных и расчетных величин сопротивления в сети больше, чем на 10 %, необходимо устранить неисправности, которые вызывают такое отклонение (недостаточно хорошо зачищенные жилы проводов, нарушение изоляции, потеря тока и т. п.).

Технология электрического инициирования включает выполнение следующих основных работ: проверка электродетонаторов на соответствие сопротивлений, подготовка и проверка магистрали, проверка исправности и нарезка проводов, изготовление патронов-боевиков, зарядание, выставление постов охраны и запретных знаков, подача звуковых сигналов, монтаж электровзрывной сети, проверка электровзрывной сети, взрывание зарядов и осмотр места взрыва зарядов.

Сопротивление электродетонаторов проверяют на складе взрывчатых материалов (ВМ), в помещении подготовки ВМ на специальных столах со встроенной футерованной металлической трубой. Столы должны иметь бортики, которые предотвращают падение (скатывание) электродетонаторов. На одном столе не должно быть больше 100 электродетонаторов. После внешнего осмотра каждый электродетонатор помещают в футерованную трубу или за деревянный щит толщиной не меньше 10 мм, а концы выводных проводов присоединяют к клеммам измерительного прибора.

Провода электродетонаторов после проверки их сопротивлений должны быть замкнуты накоротко и в таком положении должны находиться к моменту их присоединения к взрывной сети.

ЭД, сопротивления которых отличаются от указанных на этикетках, считаются бракованными и подлежат уничтожению. Пригодные электродетонаторы укладываются в специальную коробку. Иногда их сортируют по заданным группам сопротивлений.

Подготовка и проверка магистрали состоит в отборе проводов и визуальном обзоре состояния их изоляции. Потом, присоединив два конца магистрали накоротко, измеряют с помощью прибора ее сопротивление.

Проверка исправности и нарезка проводов сводится к предыдущей проверке бухт проводов на проводимость и целостность изоляции и нарезки отрезков участков, концевых и соединительных проводов необходимой длины. Нарезанные провода связывают и свертывают в бухты, проверяют их на проводимость, прикрепляют бирки с указанием названия проводов и их длины.

Для удобства монтажа концы заготовленных отрезков проводов зачищают на длину 5–7 см.

Отрезки проводов готовят в день проведения взрыва.

Патрон-боевик при электровзрывании представляет собой патрон ВВ с введенным в него электродетонатором. Патрон-боевик

изготавливают следующим образом. Патрон ВВ разминают руками, разворачивают бумажную оболочку с торца патрона и алюминиевым или деревянным стрежнем диаметром 8 мм делают в патроне углубления для электродетонатора на 85–90 мм. Потом вводят в это отверстие электродетонатор на всю его длину, собирают края бумажной оболочки и завязывают ее шпагатом.

Заряжание сводится к заполнению шпуров расчетным количеством ВВ. В случае применения механизированного заряжания подача патронов-боевиков в шпуры и буровые скважины допускается после окончания заряжания и удаления от места заряжания зарядных устройств. Патрон-боевик необходимо располагать так, чтобы дно гильзы электродетонатора было направлено до дна шпура. Допускается расположение патрона-боевика первым от дна шпура, однако при этом дно гильзы электродетонатора должно быть направленным к устью шпура. Запрещается выдергивать и тянуть провода электродетонаторов, введенных в боевики или заряды.

Расположив патрон-боевик, с максимальной осторожностью выполняют забойку шпуров или скважин. После окончания ее и вывода связанных с этим лиц взрывники выполняют монтаж взрывной сети, а также проверку ее исправности с безопасного расстояния. Потом включают ток и производят взрыв. После этого взрывники осматривают место взрыва и подают сигнал отбоя.

2.5. Взрывание детонирующим шнуром

Взрывание с помощью детонирующего шнура в настоящее время широко применяется на открытых горных работах при короткозамедленном, реже мгновенном взрывании зарядов. В отдельных случаях взрывание детонирующим шнуром применяется и на подземных горных работах.

При этом способе взрывания передача детонации от заряда к заряду осуществляется с помощью детонирующего шнура, а для замедлений используют специальные устройства – пиротехнические реле типа РП или КЗДШ.

Детонирующий шнур (ДШ) (рис. 2. 11) состоит из оболочки и сердцевины. Сердцевиной служит слабо спрессованное бризантное ВВ, навеска которого составляет 12–13 г на 1 м шнура.

В настоящее время изготавливают ДШ с сердцевиной из тэна, реже – из гексогена. Через сердцевину пропускают две направляющие хлопчатобумажные нити, которые содействуют распределению ВВ при изготовлении шнура. Оболочка состоит из трех прослоек льняных или хлопчатобумажных нитей. Средняя и внешняя оплетки покрыты изолирующим веществом и лаком, которые защищают сердцевину от влаги и механических повреждений.

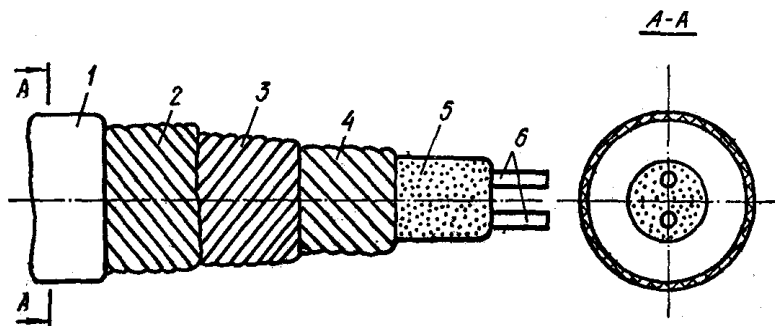


Рис. 2.11. Детонирующий шнур:
 1 – пластиковая оболочка; 2, 3 и 4 – оплетки;
 5 – направляющие нити; 6 – взрывное вещество

Внешняя белая оболочка детонирующего шнура марки ДША имеет спиральные красные нити, а водостойкий шнур марки ДШВ покрыт красной полихлорвиниловой оболочкой. Шнуры имеют диаметр 5–6 мм и выпускаются отрезками длиной 50 м, свернутыми в бухты. Бухты завертывают в бумагу, упаковывают в ящики и в таком виде отправляют потребителям. Промышленностью выпускаются ДШ следующих марок: ДША в нитяной оболочке, водостойкость 12 часов при давлении 0,005 МПа; ДШВ в полихлорвиниловой оболочке, водостойкость 24 часа при давлении 0,01 МПа; ДШЭ-6 в полиэтиленовой оболочке, водостойкий и ДШЭ-12 в полиэтиленовой оболочке, водостойкость 30 часов при давлении 0,3 МПа.

В горной промышленности наиболее широкое распространение получили шнуры, сердцевины которых изготовлены из тэна. Такие ДШ сравнительно безопасны: к удару они почти не чувствительны, от огня не взрываются. При температуре больше 30 °С гидроизоляция плавится, внедряется в сердцевину и резко снижает чувствитель-

ность ВВ к детонации. Поэтому сети из детонирующих шнуров при температуре воздуха больше $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ должны защищаться от действия солнечных лучей. При применении шнуров, которые имеют пластиковую оболочку, эта необходимость отпадает. В условиях минусовых температур при монтаже взрывной сети шнур может ломаться. Скорость детонации шнура с сердцевинной из тэна – 7000 м/с .

Отдельные отрезки ДШ, соединенные между собой внакладку, внакрутку и морской узел (рис. 2.12), безотказно работают при правильной их раскладке.

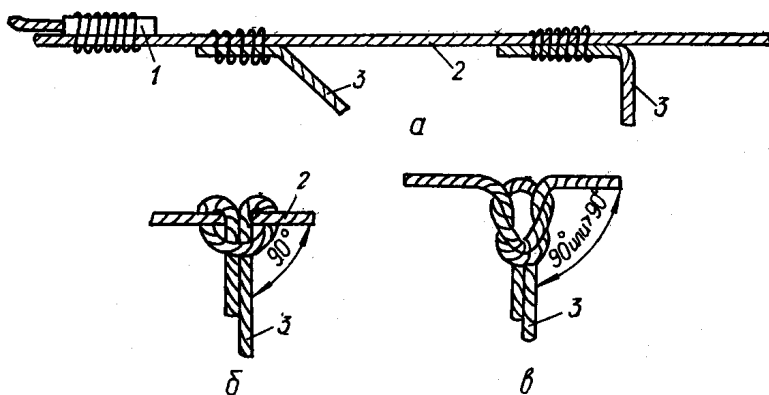


Рис. 2.12. Схемы соединения отрезков ДШ внакладку (а), внакрутку (б) и морским узлом (в) (стрелкой показано направление детонации):
 1 – капсюль-детонатор; 2 – магистральная линия с ДШ;
 3 – ответвленная линия от магистрали ДШ к заряду ВР

Пиротехнические реле типа КЗДШ (рис. 2.13) предназначены для короткозамедленного взрывания сетей с ДШ.

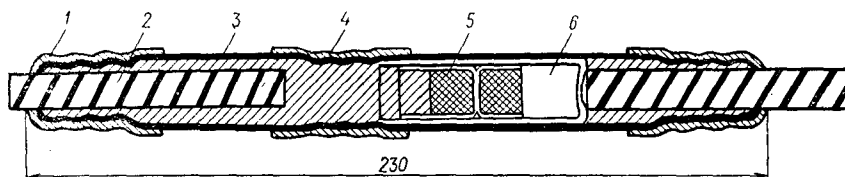


Рис. 2.13. Пиротехническое реле типа КЗДШ:
 1 – наконечник; 2 – ДШ; 3 – бумажная трубка; 4 – втулка;
 5 – пиротехнический замедлитель; 6 – капсюль-детонатор

Пиротехнические реле представляют собой жесткую бумажную трубку, снаряженную капсюлем-детонатором, замедляющим составом и выводными отрезками детонирующего шнура. Принцип действия реле заключается в том, что детонация от нити ДШ через свободное пространство трубки передается в виде снопа огня к замедляющему элементу. Продолжительность горения пиротехнического замедлителя указана на трубке. Пламя от замедлителя передается капсюлю-детонатору, который инициирует другой конец ДШ. КЗДШ-69 выпускаются с интервалами замедлений в 10, 20, 35, 50, 75, 100, 125, 150, 175 и 200 мс. РП-8 выпускается с интервалами замедлений – 25, 35, 50 мс. РП-92-0 с интервалами замедлений – 10, 20, 35, 50 мс.

Реле КЗДШ-69 передает детонацию только в направлении, указанном стрелкой, которая требует от подрывников особого внимания при подключении такого реле.

Пиротехнические реле КЗДШ имеют разброс во времени срабатывания, размер которого зависит от номинала.

Техника взрывания зарядов детонирующим шнуром состоит из выполнения таких основных операций, как: нарезка отрезков ДШ необходимой длины для изготовления патронов-боевиков, зарядание и набойка зарядов, монтаж взрывной сети, взрывание и осмотр места взрыва.

Нарезка отрезков ДШ необходимой длины проводится на гладкой сухой доске острым ножом. Запрещается резать ДШ после введения его в боевик или заряд ВВ. Патроны-боевики изготавливают введением узлов ДШ в патрон и укреплением его шпагатом или путем обвязывания патронов ДШ, либо обвязыванием специальных шашек, выполняющих роль промежуточных детонаторов. Промежуточные детонаторы изготавливают непосредственно у места ведения взрывных работ.

Зарядание сводится к засыпанию в буровую скважину определенного количества ВВ, расположению патрона-боевика или отрезка ДШ с узлом (в зависимости от чувствительности применяемого ВВ) и засыпанию другой части расчетного количества ВВ. Забойка выполняется описанным ранее образом.

Монтаж взрывной сети включает прокладывание магистрали с ДШ и присоединение к ней отрезков ДШ, которые выходят из буровых скважин так, чтобы направление распространения детонации

по отрезку ДШ совпадало с направлением распространения детонации по магистральному шнуру. При пересечении шнуров между ними следует помещать прокладку из грунта или дерева толщиной не меньше 10 см. При прокладке сетей из ДШ нельзя допускать витки и скрутки на шнуре.

После проверки правильности присоединения отрезков с ДШ на расстоянии 10–15 см от их начала присоединяют внакладку капсуль-детонатор или электродетонатор и закрепляют с помощью тесьмы или изоляционной ленты.

Инициирование взрывной сети осуществляется огневым или электрическим способом.

После взрыва подрывники осматривают место взрыва и подают сигнал отбоя.

Преимущества взрывания детонирующим шнуром: простота и относительная безопасность проведения взрывных работ, возможность одновременного взрывания большого числа зарядов, а также безопасность применения относительно блуждающих токов.

Недостатки: невозможность контроля правильности монтажа взрывных сетей с помощью прибора и сравнительно высокая стоимость работ. Следует отметить, что недостатки рассмотренного образа взрывания менее существенные, чем его преимущества. Поэтому этот способ в настоящее время широко применяется при выполнении крупномасштабных взрывов на больших карьерах.

2.6. Неэлектрическая система инициирования

Неэлектрическая система инициирования впервые была разработана шведской фирмой «Нитро Нобель» в 1973 году. Ее создатели совершили революционный прорыв в решении проблемы повышения эффективности и безопасности взрывных работ. В основе созданной системы лежит изобретение уникального детонатора без первичного иницирующего вещества, трубки-волновода для передачи энергии в виде ударной волны к детонатору без разрушения самой трубки. В состав неэлектрической системы инициирования входят также соединительные блоки, позволяющие соединять между собой отдельные трубки и другие соединительные блоки, а также размещать внутри них маломощные детонаторы, в том числе с замедлениями, для передачи детонации по взрывной сети.

Трубка Нонель представляет собой гибкую пластиковую трубку, состоящую из нескольких слоев, которая изготавливается из специальных сортов пластмассы. На внутреннюю поверхность трубки наносится порошок, состоящий из октогена и алюминия. Трубка предназначена для передачи ударной волны от источника к детонаторам. Ударная волна распространяется по трубке со скоростью 2100 м/с. Ударная волна обладает достаточной силой, чтобы инициировать замедляющий элемент детонатора, но не настолько сильной, чтобы разорвать трубку Нонель. Трубка позволяет обеспечить надежное инициирование детонатора в случае его расположения в нижней части скважины. При этом трубка не оказывает никакого воздействия и не инициирует колонку заряда. Важным преимуществом системы Нонель является возможность контакта или пересечения трубок без оказания воздействия друг на друга. Существует две разновидности трубок – стандартная (3L) и упрочненная (3L HD). Внешний диаметр стандартной трехслойной трубки – 3 мм, упрочненной – 3,7 мм. Упрочненные трубки предназначены при механизированной зарядке, подводных взрывных работах и при выполнении крупномасштабных взрывов на открытых горных работах. Внутренний слой трубки обладает хорошими адгезионными свойствами (способность к прилипанию разнородных тел), а также высокой радиальной прочностью. Средний слой придает трубке повышенную прочность на разрыв, а также устойчивость к воздействию масла и других химикатов. Наружный слой устойчив к абразивному воздействию, а также выполняет функцию косметического слоя, в который добавляется краситель для придания трубке определенного цвета.

В системе Нонель применяется детонатор NPED (без первичного инициирующего вещества) № 8.

Гильза детонатора – алюминиевая и имеет длину от 45 до 95 мм в зависимости от времени замедления. В гильзе от дна размещаются: основной заряд, инициирующий элемент, замедляющий элемент, а со стороны устья трубка Нонель. Основной заряд состоит из вторичного ВВ – гексогена, запрессованного непосредственно в алюминиевую гильзу. Иницирующий элемент, представленный вторичным ВВ – тэном, – размещен во внутренней стальной трубке. Замедляющий элемент состоит из алюминиевой трубки, заполненной пиротехническим составом. Различное время замедления до-

стигается применением элементов с разной скоростью горения и различной длины.

Назначение соединительных блоков заключается в дальнейшей передаче ударной волны через точки подсоединения. Каждый соединительный блок рассчитан максимум на 5 трубок диаметром 3 мм и на 4 трубки диаметром 3,7 мм. Иницируемые блоком трубки примыкают к нижней части детонатора, под прямым углом к нему.

К вспомогательным приспособлениям системы относятся так называемые пускатели, используемые как соединительное звено между взрывной машинкой или другим источником начального импульса и первым соединительным блоком Снэплайн на взрываемом блоке. Имеется две разновидности трубок пускателей: трубка-пускатель Динолайн и пускатель Снэплайн. Пускатель Динолайн представляет собой трубку-волновод на катушках (бобиных) длиной 750 или 1500 м. Необходимый по длине отрезок трубки подсоединяется с одного конца к первому соединительному блоку Снэплайн, а с другого – к взрывной машинке Дино Старт или другому источнику при помощи короткого отрезка трубки, действующего как соединительный патрубок и надеваемого на концы трубки-пускателя и трубки Снэплайн. Пускатель Снэплайн сконструирован аналогично соединительному блоку с детонатором без замедления (Нонель Снэплайн 0) с длиной трубки 30, 50 и 100 м.

На открытых разработках применяются две системы: Нонель Юнидет и Нонель МС. Пример реализации первой из них, обеспечивающей порядное взрывание скважин, представлен на рис. 2.14.

Система Нонель МС обеспечивает взрывы с замедлением, обеспечиваемые детонаторами с индивидуальными периодами замедлений иницирование которых осуществляется одновременно. Требуемая последовательность взрывания обеспечивается подсоединением к соединительному блоку с детонатором без замедления, трубок с внутрискважинными детонаторами, взрываемыми в разные моменты времени.

Система Нонель Юнидет состоит из внутрискважинных детонаторов с высокоточными большими замедлениями U400-U500 (пять основных замедлений) с интервалом между номиналами 25 мс, при длине трубки 6 м, а также поверхностных соединительных блоков Снэплайн 0; 17; 25; 42; 67; 109; 176 (7 замедлений) с разным цветом трубок, облегчающих их идентификацию. Номинальное время за-

медления маломощных детонаторов в блоке изменяется соответственно от 0 до 176 мс, при длине трубки 3,6 м.

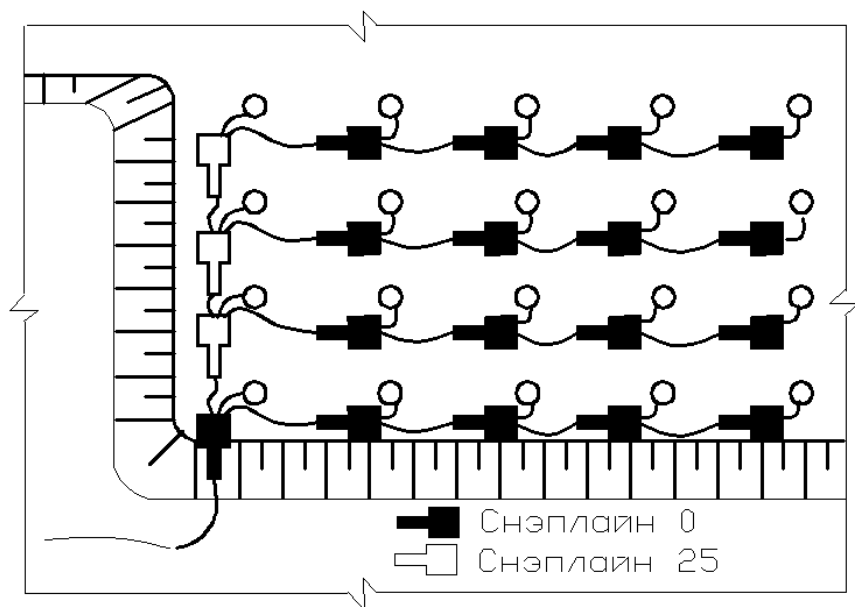


Рис. 2.14. Порядное инициирование скважин системой Нонель Юнидет

Взрывная машинка Дино Старт подсоединяется к взрывной сети блока чаще всего при помощи трубки пускателя (соединительного блока Снэплайн 0 с трубкой-волноводом, обеспечивающим инициирование взрыва из безопасного места). Детонация в волноводе обеспечивается за счет передачи в трубку высокоэнергетической искры. Комплект скважин с системой Нонель можно инициировать при помощи электрического детонатора или зажигательной трубки. Детонатор должен быть прочно закреплен на трубке соединительного блока при помощи изоляционной ленты. Концевая часть детонатора должна быть ориентирована в направлении инициирования волновода. Детонатор должен подсоединяться к трубке-пускателю только после окончания монтажа всей взрывной сети.

Аналогом шведской системы неэлектрического инициирования являются системы СИНВ и Искра российского производства.

Устройства СИНВ предназначены для инициирования скважинных и шпуровых зарядов, состоят из ударно-волновой трубки (УВТ) и капсуля-детонатора с замедлением, который не содержит инициирующих ВВ, что обеспечивает высокую устойчивость устройств к механическим воздействиям, воздействию постоянного и переменного тока, а также статического электричества. Масса ВВ в УВТ в сотни раз меньше, чем у детонирующих шнуров, что позволяет полностью исключить боковое воздействие устройств СИНВ на заряд ВВ при инициировании скважинных и шпуровых зарядов. Незначительная масса ВВ в ударно-волновых трубках, транслирующих взрывной импульс, позволяет исключить инициирование ударно-волновой трубкой других УВТ, детонирующих шнуров и т. д. Для инициирования скважинных зарядов при работе на земной поверхности применяются устройства СИНВ-С и СИНВ-П. Устройства СИНВ-С предназначены для транспортирования инициирующего импульса и инициирования с замедлением промежуточных детонаторов скважинных зарядов (создания внутрискважинного замедления) при взрывных работах на земной поверхности, имеют 11 ступеней замедления (от 100 до 500 мс). Устройства СИНВ-П состоят из ударно-волновой трубки и капсуля-детонатора с замедлением, расположенного в фиксаторе, и предназначены для монтажа взрывной сети и задержки передачи инициирующего импульса устройству СИНВ-С при взрывных работах на земной поверхности. С помощью фиксатора к устройству СИНВ-П может быть подсоединено до 6 устройств СИНВ. Устройства СИНВ-П имеют 9 ступеней замедления (от 0 до 200 мс). Применение внутрискважинного замедления позволяет обеспечить отставание взрывания скважинных зарядов от инициирующей взрывной сети и тем самым исключить подбой поверхностной сети кусками породы. Как правило, на одном блоке применяются устройства СИНВ-С с одними замедлениями. Замедление между скважинными зарядами обеспечивается замедлением устройств СИНВ-П и различными вариантами монтажа поверхностной взрывной сети.

Для инициирования взрывной сети могут использоваться стартовые устройства СИНВ-Старт. Стартовые устройства СИНВ представляют собой СИНВ-П с волноводом, длина которого позволяет вывести его конец за границы опасной зоны.

Устройства Искра-С предназначены для передачи инициирующего импульса и инициирования с замедлением промежуточных детонаторов скважинных зарядов при взрывных работах на земной поверхности, имеют 16 ступеней замедления (от 0 до 500 мс). Устройства Искра-П состоят из ударно-волновой трубки и капсуля-детонатора с замедлением, распложенного в монтажном соединителе (аналог соединительного блока системы Нонель) и предназначены для монтажа взрывной сети и задержки передачи инициирующего импульса устройству Искра-С при взрывных работах на земной поверхности. С помощью монтажного соединителя к устройству Искра-П может быть подсоединено до 8 устройств Искра-С. Устройства Искра-П по аналогии с Нонель Юнидет имеют 7 ступеней замедления (от 0 до 176 мс) с аналогичными номиналами 0; 17; 25; 42; 67; 109; 176 мс.

При взрывании низкочувствительных ВВ системами СИНВ-С и Искра-С в скважинах, имеющих специальные гнезда для внутрискважинных детонаторов, размещают промежуточные детонаторы. Роль промежуточных детонаторов выполняют шашки ТГФ-850Э, имеющие специальное посадочное место под капсуль-детонатор и сквозной канал, а также патроны из аммонита БЖВ.

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется средствами взрывания взрывчатых веществ?
2. Как осуществляется огневой способ взрывания зарядов ВВ? Укажите область применения.
3. Перечислите способы взрывания зарядов ВВ.
4. Как осуществляется электрический способ взрывания зарядов ВВ? Опишите его преимущества и недостатки, укажите область применения, перечислите средства взрывания.
5. Приведите классификацию электродетонаторов, укажите основные параметры.
6. Опишите схемы соединения электродетонаторов в электровзрывных сетях, перечислите их преимущества и недостатки.
7. Приведите расчет величины сопротивления электродетонаторов и силы тока, протекающего через них, в разных схемах электровзрывных сетей.

8. Как осуществляется электроогневой способ взрывания зарядов ВВ? Укажите его преимущества и недостатки, область применения.

9. Опишите, как осуществляется способ взрывания детонирующим шнуром.

10. Что называется зажигательной и контрольной трубкой?

11. Для чего предназначены пиротехнические реле? Их основные типы.

12. Опишите систему инициирования Нонель Юнидет.

13. Назовите принципиальные отличия неэлектрической системы инициирования от других известных способов.

Кислородный баланс. Продукты взрыва

14. Понятие о кислородном балансе.

15. Какие бывают кислородные балансы при взрыве ВВ?

16. Как можно подсчитать кислородный баланс?

17. Состав газа при различных кислородных балансах.

18. С каким кислородным балансом и почему допускается применение ВВ в подземных условиях?

19. Как воздействует на организм человека оксид углерода?

20. Как воздействуют на организм человека оксиды азота?

21. Как воздействует на организм человека сероводород?

Способы инициирования ВВ

22. Как производится инициирование зарядов ВВ при огневом способе взрывания?

23. Область применения огневого способа взрывания.

24. Достоинства и недостатки огневого способа взрывания.

25. Какие средства инициирования используются при огневом взрывании?

26. Как производится инициирование зарядов ВВ при электрическом способе взрывания?

Схемы соединения электродетонаторов

27. Как рассчитать общее сопротивление цепи при последовательном соединении ЭД?

28. Как рассчитать ток в цепи и ток, проходящий через каждый электродетонатор, при последовательном соединении ЭД?

3. МЕТОДЫ (ТЕХНОЛОГИИ, СПОСОБЫ) ВЕДЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ

При ведении взрывных работ применяются различные методы (способы, технологии) взрывных работ. Способы ведения взрывных работ в зависимости от применяемых полостей, используемых для размещения зарядов ВВ, принято называть методами взрывных работ. Технологии, отличающиеся расположением взрываемых скважин, в один или несколько рядов принято называть способами однорядного и многорядного взрывания. Способы взрывания называют также технологиями, отличающиеся применяемыми интервалами замедлений – короткозамедленное и мгновенное взрывание, – используемыми средствами взрывания – огневое, электрическое, неэлектрическое и взрывание с помощью детонирующего шнура, взрывание по радиосигналу и другие.

3.1. Требования к взрывным работам

Взрывные работы на карьерах должны обеспечить:

- допустимый размер кусков разрушенной породы;
- оптимальную форму и размеры развала взорванной породы;
- создание необходимого запаса взорванной горной массы для ритмичной и бесперебойной работы предприятия;
- высокую экономичность и полную безопасность работ.

Разное горно-геологическое строение разрушаемых пород и отличающиеся горнотехнические условия разработки месторождений полезных ископаемых требуют применения разных методов ведения взрывных работ. Каждый метод характеризуется определенным техническим процессом подготовки заряда к взрыву. В зависимости от способа размещения заряда, а также от вида применяемых зарядных камер в горном деле используют методы шпуровых, скважинных, котловых, камерных и наружных зарядов.

Выбор метода взрывных работ зависит от объема массива, который взрывается, необходимой степени измельчения пород и экономической целесообразности.

3.2. Метод шпуровых зарядов

Метод шпуровых зарядов при открытых разработках состоит в размещении удлиненных зарядов ВВ внутри объекта, который взрывается, в искусственные углубления цилиндрической формы диаметром до 75 мм и длиной до 5 м (их называют шпурами). Применяют этот метод для взрывания сравнительно небольших объемов породы при разработке маломощных залежей ценных полезных ископаемых и раздельной (селективной) выемки их на небольших карьерах с низкими уступами высотой 3–5 м и механизированной погрузкой взорванной породы, при проходке небольших канав, рыхлении мерзлоты, ликвидации нависаний и козырьков забоя. Его применяют также для сохранения структуры полезного ископаемого; добычи значительных блоков строительного и отделочного камня, при дополнительных (повторных) буро-взрывных работах и при многих других, масштабы которых не позволяют организовать более продуктивную работу другими методами. При разборке негабарита и разрушении неровностей на нижней площадке или в основе уступов на больших карьерах метод шпуровых зарядов применяется как вспомогательный. Размер линии наименьшего сопротивления (расстояние от центра шпурового заряда к кровле уступа или боковой свободной поверхности) зависит от физико-механических свойств пород, диаметра шпура, мощности ВВ и составляет 0,8–1,0 высоты уступа.

Шпуры заряжаются патронированным ВВ не больше, чем на 0,7 их длины. Для набойки шпуров используют буровую мелочь, отходы обогащательных фабрик или воду.

При взрывании шпуровых зарядов, расположенных в несколько рядов, наилучшего эффекта достигают с помощью детонаторов короткозамедленного действия с врубовыми схемами соединения зарядов.

Преимущества шпурового метода взрывных работ следующие: мелкое и равномерное измельчение пород, использование легкого мобильного бурового оборудования, а также возможность выборочной выемки маломощных пластов сложного залегания.

Недостатки метода – малый выход взорванной горной массы на 1 м шпура, большие затраты ВВ и СВ, сложная организация работ, большая стоимость горной массы по статье буровзрывных работ.

3.3. Метод скважинных зарядов

Метод скважинных зарядов в данное время чаще всего применяют в крупных механизированных карьерах. Он является основным при разработке скальных пород открытым способом. К этому методу относится отбойка пород с размещением зарядов в цилиндрических искусственных пустотах глубиной 5 м и больше или в пустотах любой глубины при диаметре больше 75 мм. Такие каналы, образованные в горной породе при механическом или физико-химическом образе ее бурения, принято называть буровыми скважинами.

Буровые скважины размещают в породе, которая взрывается, вертикально, наклонно и реже горизонтально, в один или несколько рядов, в точно определенном, наиболее рациональном для данных условий порядке, то есть по определенной буровой сетке. Сетка расположения буровых скважин характеризуется двумя расстояниями: между рядами буровых скважин и между буровыми скважинами в ряду. При *однорядном взрывании* буровая сетка определяется величиной расчетной линии сопротивления и расстоянием между буровыми скважинами в ряду. При *отбойке пород* на необработанную в забое горную массу за расчетную линию сопротивления берут расстояние между последним рядом буровых скважин прежде взорванной буровой заходки и первым рядом буровых скважин, который готовится к взрыву бурового блока. Расчетную линию сопротивления при уступной отбойке называют линией сопротивления по подошве уступа (ЛСПП), подчеркивая тем самым, что одна из основных задач взрыва – полный отрыв взорванной породы на уровне проектной подошвы уступа.

Взрывание скважинных зарядов при отработке уступов на открытых разработках должно обеспечивать полный отрыв породы и ее равномерное разрушение по всей высоте уступа на куски необходимого размера, отсутствие опасного разлета кусков, а также получение развала взорванной породы определенной высоты и ширины, которая позволяет организовать бесперебойную, высокопроизводительную и безопасную работу экскаватора. Эффективность и технико-экономические показатели скважинной зависят от правильного размещения буровых скважин в массиве, который взрывается, и пропорционального соотношения основных параметров взрывных работ: высоты уступа (мощности прослойки, которая отбивается), сопротивления по подошве уступа, диаметра буровых сква-

жин и их перебура, расстояния между зарядами, глубины заложения, размера и конструкции заряда. Параметры БВР должны отвечать условиям действия заряда в среде, физико-механическим свойствам горных пород, их структуре, мощности обрабатываемой толщи.

Кроме скважинных зарядов рыхления, на открытых разработках применяют скважинные заряды выброса, которые используются для создания канав и траншей взрывным способом.

Преимуществами метода скважинных зарядов является его высокая производительность, небольшие затраты на бурение и ВМ на единицу разрушенной горной массы, возможность одновременно взрывать неограниченное количество зарядов и применять крупнодисперсные, сравнительно более дешевые ВВ.

3.4. Метод котловых и камерных зарядов

При методе котловых зарядов забойка проводится сосредоточенными зарядами, которые помещают в особые пустоты (котлы), образованные в процессе бурения термическим способом, а также последовательным взрыванием в шпуре или скважине прострелочных зарядов бризантных ВР небольшой массы.

Котловые заряды (шпуровые и скважинные) в горной практике применяются:

а) при отбойке мелко- и среднетрешиноватых пород;

б) когда сопротивление по подошве уступа настолько большое, что расчетный заряд ВР, необходимый для разрушения нижней части уступа, не может быть целиком размещен в буровой скважине даже при перебуре;

в) когда нижняя часть уступа представлена более крепкими, вязкими породами;

г) при обрушении высоких полускальных вскрышных уступов.

Термическая горелка самостоятельно или в комбинации с другими породоразрушающими органами дает возможность по необходимости менять форму и размеры буровых скважин в любой их части по высоте.

Необходимую величину котлового заряда определяют по формуле расчета сосредоточенных зарядов нормального выброса.

Преимущество этого метода в резком снижении затрат на бурение на 1 м^3 породы, возможности преодоления больших ЛСПП

и уменьшении длины перебура буровых скважин или шпуров, что благоприятно сказывается при ведении буровых работ на нижерасположенных уступах.

Недостаток метода – высокая трудоемкость и продолжительность работ при простреливании и очищении (после простреливания) буровых скважин или шпуров и нарушения нормального режима работ на уступе при прострелочных роботах, а также неравномерность измельчения, особенно в крупноблочных породах.

Сосредоточенные заряды ВВ большого размера, массой от нескольких тонн до нескольких тысяч тонн, которые размещены в специальные выработки (камеры), называются камерными. На открытых разработках они применяются в районах, где естественные условия создают затруднение для обычных способов бурения буровых скважин, при раскрытии месторождений полезных ископаемых и образовании траншей, котлованов, каналов и т. д., а также при отбойке мелкотрециноватых пород высокими уступами. При этом различают камерные заряды выброса и камерные заряды рыхления.

Метод камерных зарядов рыхления, или, как его иногда называют, метод массовых обрушений, применяется при очень значительных объемах одновременно обваленной горной массы. Достаточно широкое распространение метод массовых обрушений находит при строительстве карьеров в горных условиях.

Для размещения зарядов в массиве породы, которая взрывается, проходят штольни или шурфы, и камеры (последние используют при массе заряда больше 10 т).

Чтобы обеспечить наиболее эффективную работу взрыва зарядов, камерам предоставляют форму близкую к кубической. При работе в неустойчивых породах камерам предоставляют форму прямоугольного параллелепипеда или используют трапециевидную форму выработок. Зарядные камеры располагают выше подошвы подготовительных выработок. Объем камеры должен равняться или превышать объем, рассчитанный для заряда ВВ камеры. Его определяют по формуле (3.1).

$$V_K = \frac{m}{\Delta}, \quad (3.1)$$

где V_K – объем камеры (в свете);

m – масса заряда;

Δ – плотность заряжания.

ВВ для камерных зарядов (за исключением боевиков) укладывают в камеру непосредственно в таре. Но иногда можно заряжать и россыпным ВВ, особенно если по каким-то причинам объем камер занижен.

Взрывные работы методом камерных зарядов представляют значительную сложность, потому что в этом случае необходимо оперировать с большими количествами ВВ, что нуждается в осторожности и расчетах, и технике проведения работы. Большое количество ВВ в одном заряде при подготовке, организации и проведении взрывов нуждается в надлежащем внимании и руководстве со стороны инженерно-технического персонала, а также предельной осторожности и строгого соблюдения «Единых правил безопасности при взрывных работах». Поэтому подготовка взрывных работ методом камерных зарядов начинается тщательной геолого-маркшейдерской съемкой массива, который подлежит отбойке. На основе данных маркшейдерской и гидрогеологической служб составляют технический проект взрыва камерных зарядов, который включает ситуационный план и рабочие чертежи в масштабе 1:200 или 1:500 с разрезами через отдельные камеры. К вынесению проекта в натуру и разметки местоположений зарядных пустот и подготовительных выработок технический проект взрыва должен быть утвержден нанимателем.

3.5. Метод наружных (накладных) зарядов

Метод наружных зарядов очень прост в выполнении и состоит в размещении плоских, сосредоточенных и кумулятивных зарядов ВР на поверхности объектов, которые разрушаются. На открытых разработках этот метод применяют в основном для разрушения негабаритных кусков, мерзлых грунтов и других объектов в случаях, когда бурение шпуров трудное или неэкономичное.

ВВ для наружных зарядов должны детонировать от капсуля без промежуточного детонатора и иметь повышенную бризантность и скорость детонации. Для плоских наружных зарядов применяют порошкообразные ВВ, которые располагают пластом толщиной 1,5–2,5 см непосредственно на поверхность объекта, который разрушается, увеличивая тем самым площадь столкновения ВВ с массивом

и полезное использование энергии взрыва на измельчение. Большое значение для повышения эффективности действия наружного заряда имеет набойка, которая плотно накладывается сверху и по бокам заряда (толщина пласта набойки должна быть не меньше толщины прослойки ВВ). Старательно выполненная боковая набойка содействует направленному действию взрыва на объект, который измельчается. В роли забойного материала используют влажную глину, песок, отходы обогатительных фабрик или буровую мелочь. В качестве набойки можно применять и полиэтиленовые мешки, которые на три четверти своего объема заполнены водой.

Сосредоточенные наружные заряды представляют собой связку патронов ВВ или кучный заряд порошкообразного ВВ в естественном углублении объекта, который взрывается. Сосредоточенные заряды покрывают забойкой, которая должна быть не меньше, чем диаметр заряда.

Наиболее эффективным из наружных зарядов является кумулятивный. Он представляет собой прессованный заряд ВВ с кумулятивной выемкой, которая образует из продуктов взрыва плотную струю, существенным образом повышающую разрушительное действие взрыва. Кроме значительного уменьшения необходимого количества ВВ, кумулятивный заряд намного снижает разлет кусков породы при взрыве.

Для измельчения негабаритных кусков на открытых работах промышленностью освоено производство наружных прессованных кумулятивных зарядов типа ЗКП и литых типа ЗКН.

3.6. Определение основных параметров при скважинной отбойке на карьерах

Для разрушения массива породы заряды ВВ размещаются в вертикальных или наклонных скважинах диаметром 100–360 мм и глубиной 5–20 м и более. На уступе скважины располагают в один (однорядное взрывание), два и более рядов (многорядное взрывание).

Расположение скважин на уступах карьеров характеризуется следующими параметрами: диаметр скважины (заряда) $d_{\text{скв}}$; высота уступа H , м; сопротивление по подошве (СПП) W , м; расстояние между скважинами в ряду a , м; расстояние между рядами b , м;

безопасное расстояние до верхней бровки уступа C , м; длина (глубина) скважины $l_{\text{скв}}$, м; длина забойки $l_{\text{заб}}$, м; длина перебура $l_{\text{пер}}$, м; угол откоса уступа α ; угол наклона скважин β (рис. 3.1).

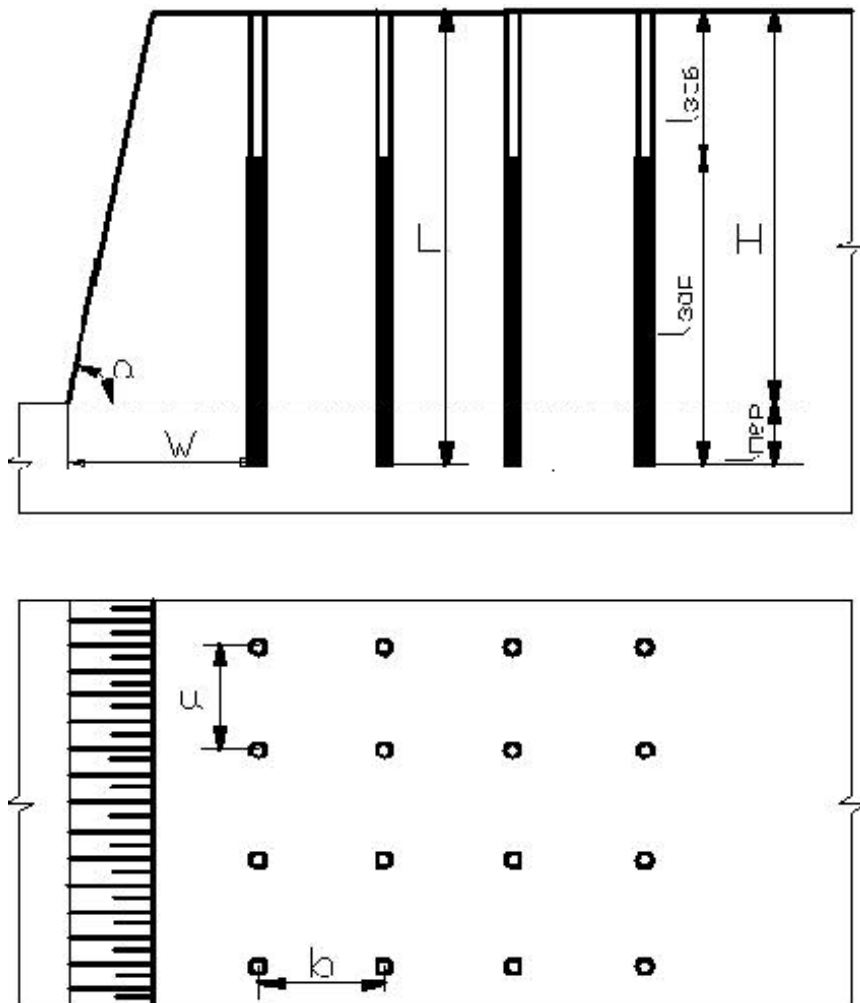


Рис. 3.1. Параметры расположения скважинных зарядов на взрываемом уступе

Массовые взрывы зарядов ВВ на земной поверхности проводятся в соответствии с требованиями и нормами проектирования: «Единых правил безопасности при взрывных работах», «Единых правил безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом», «Технических правил ведения взрывных работ на земной поверхности», «Типовой инструкции по безопасному проведению массовых взрывов на земной поверхности», «Правил перевозки опасных грузов автомобильным транспортом», «Инструкции по предупреждению, обнаружению и ликвидации отказавших зарядов взрывчатых веществ на земной поверхности и в подземных выработках» и другими нормативными документами.

На карьерах составляется и утверждается в установленном порядке Типовой проект производства взрывных работ, который периодически пересматривается с учетом меняющихся горно-геологических условий разработки и совершенствования технологии взрывных работ.

В типовом проекте приводятся: краткая геологическая характеристика пород месторождения, классификация пород (руд) по взрываемости, типы буровых станков, виды ВВ, способы взрывания, конструкции зарядов, параметры расположения скважин на уступах в зависимости от категории пород, высоты уступа и т. д., расчетные показатели взрыва (удельный расход ВВ, выход горной массы с 1 м скважины, вместимость 1 пог. м скважины, величина забойки, перебура и др.), схемы взрывной сети, интервалы замедления, расчеты зарядов ВВ, расчет сейсмически безопасных расстояний, безопасных расстояний по разлету кусков взорванной горной массы, по действию УВВ, организация ведения взрывных работ и мероприятия по вопросам безопасности.

Массовый взрыв на карьерах выполняется по проекту массового взрыва, разрабатываемого для конкретных условий на каждый взрыв на основе Типового проекта.

Для составления технических расчетов и схем расположения скважин на уступе маркшейдерской службой предприятия составляются планы разрабатываемых горизонтов и выкопировки взрываемых блоков в масштабе 1:500 (1:1000), а также профили характерных разрезов блока с указанием свойств пород и руд (трещиноватости, крепости, рудоносности и т. п.). По данным профилей выполняется первичное определение значений СПП, глубины скважины, величины

перебура, расстояний между скважинами и их рядами, удаление скважин от верхней бровки уступа, а также производится предварительный расчет зарядов. После бурения скважин на основе маркшейдерской съемки их расположения определяется фактическое значение СПП, глубины скважин и другие параметры и на основании этих данных рассчитывают заряды ВВ по тем же формулам, а после этого составляют (корректируют) проект взрыва.

Диаметр скважин, при котором обеспечивается нормальная проработка подошвы уступа при заданных высоте и угле откоса уступа, определяется исходя из категории трещиноватости и возможностей бурового оборудования по его применению в породах заданной крепости.

Опыт ведения буровзрывных работ показывает, что на карьерах с производственной мощностью по горной массе 2–3 млн м³ в год и более применяются станки СБШ-250МН, СБШ-270И с диаметром применяемых шарошечных долот 244,5 и 269,9 мм. На карьерах средней мощности с $P_{\text{год}}$ от 0,5 до 2,0 млн м³ применяются станки типа 2СБШ-200Н (диаметр долот: 190, 215,9 мм) или станки БТС-150 с шарошечными долотами диаметром 160 мм. На карьерах небольшой производительности в относительно слабых породах используются станки вращательного бурения: СБВ-2, СБР-125, СБР-160, БТС-150, СБР-160Т; в крепких породах – станки ударно-вращательного бурения: СБУ-100, СБУ-125, СБУ-160.

В зависимости от трещиноватости (блочности) массива взрываемых пород при выборе бурового оборудования необходимо руководствоваться следующим.

В породах I–II категории трещиноватости диаметр заряда может выбираться возможно большим – 270–360 мм. При этом необходимо руководствоваться технологическими соображениями: производительностью станка, мощностью карьера, устойчивостью пород уступа.

В породах III–IV категории трещиноватости целесообразно использовать многорядное взрывание скважин диаметром от 200 до 250 мм.

В исключительно крупноблочных породах V категории, а также в породах IV категории при взрывании сложноструктурных, неоднородных массивов, при взрывании на узких рабочих площадках следует применять скважинные заряды уменьшенного диаметра 150–200 мм.

Зарубежный опыт свидетельствует о высокой эффективности применения в крупноблочных массивах скважин диаметром от 90 до 125 мм. Для бурения таких скважин применяются станки с выносными гидроударниками и с погружными пневмоударниками, которые выпускаются фирмами «Атлас-Копко», «Тамрок», «Гарднер-Денвер» и др.

Выбор и обоснование рационального ассортимента промышленных ВВ как заводского изготовления, так и изготавливаемых на местах, является сложной технико-экономической задачей, исходные данные в которой изменяются по мере развития горных работ на предприятии, совершенствования ассортимента ВВ, а также изменения стоимости ВМ, условий их транспортировки, складирования и т. п.

Основными свойствами массивов, определяющими выбор ВВ, являются прочностные характеристики горных пород – коэффициент крепости по шкале профессора М. М. Протодяконова или группа пород по СНиП, трещиноватость (блочность) массивов и степень их обводненности.

При использовании неводоустойчивых ВВ для заряжания обводненных скважин возможно применение гидроизолирующих оболочек – полиэтиленовых рукавов. Заряжание в рукава производится на месте взрывных работ вручную или с использованием пневматических зарядчиков, допущенных для механизированного заряжания скважин.

При заряжании скважин, в том числе частично обводненных, возможно применение комбинированных зарядов – в обводненной части скважины с перекрытием на 1–1,5 м применяется водоустойчивое ВВ, а в верхней – неводоустойчивое. При отбойке комбинированными зарядами боевик устанавливается в каждом из ВВ.

В табл. 3.1 приведены ВВ, рекомендуемые для применения на открытых горных разработках. Допускается применение других ВВ, допущенных Технадзором к постоянному применению на открытых горных работах.

Расчетный удельный расход ВВ является одной из важнейших характеристик взрывных работ. В общем виде с учетом диаметра скважинных зарядов, коэффициента крепости породы и поправки на кондиционный кусок величина расчетного удельного расхода определяется по формуле (3.2).

$$q = 0,13 \cdot \sqrt[4]{f} (0,6 + 3,3 \cdot d_0 \cdot d_3) \cdot \left(\frac{0,5}{d_n} \right)^{\frac{2}{5}} \cdot K_{\text{ВВ}} \cdot p, \quad (3.2)$$

где p – плотность взрываеваемой породы, т/м³;

f – коэффициент крепости породы по профессору М. М. Протодьяконову;

d_3 – диаметр скважины (заряда), м;

d_0 – средний размер отдельности во взрываеваемом массиве, м;

d_n – предельный размер кондиционного куска во взорванной горной массе, м;

$K_{\text{ВВ}}$ – коэффициент относительной работоспособности ВВ (табл. 3.2).

Таблица 3.1

Условие размещения ВВ	Коэффициент крепости по шкале профессора М. М. Протодьяконова, f	Рекомендуемые ВВ	
		заводского изготовления	изготавливаемые на местах ведения взрывных работ
Сухие скважины	До 12	Гранулит М Гранулит АС-4 Гранулит АС-4В Граммонит 82/18 Граммонит 79/21 Гранулит С-6М	Гранулит игданит Гранулит Игданит П Гранулит УП-1 Гранулит УП-2 Гранулит ПС-1, ПС-2 Гранулит Д-5
	Более 12	Аммонит 6ЖВ Гранулит АС-8 Гранулит АС-8В Граммонит 50/50	Акватол Т-20 Ифзанит Т-20 Карботол ГЛ-10 Порэммит 1, 1А
Обводненные скважины	До 12	Гранипор ФМ; БП-1 Граммотол 10; 15; 20 Граммонит РЗ-30ПР Граммонит 79/21ПР Граммонит 82/18 ПР	Сибирит 1200 Акватол Т-10МС; Т-10ВИ Акванал (Ипконит) Гранэммит И-70
	Более 12	Гранулотол Алюмотол Граммонит 30/70 Граммонит 50/50 Гранулит АС-8ПР	Акватол Т-20ГК; Т-20М Ифзанит Т-20; Т-60; Т-80 Порэммит 1, 1А Сибирит 1000; 1200 Гранэммиты И-30; И-50

Таблица 3.2

Расчетные коэффициенты эквивалентных зарядов ВВ
по идеальной работе взрыва (эталонное ВВ – аммонит 6ЖВ)

ВВ	$K_{ВВ} = \frac{Q_{ЭТ}}{Q_{ВВ}}$	ВВ	$K_{ВВ} = \frac{Q_{ЭТ}}{Q_{ВВ}}$	ВВ	$K_{ВВ} = \frac{Q_{ЭТ}}{Q_{ВВ}}$
Акватор М-15	0,76	Акватор АМВ	0,95	Игданит	1,13
Граммонал А-45	0,79	Гранулит АС-4	0,98	Акватор АВ	1,20
Карботол ГЛ-10В	0,79	Аммонит 6ЖВ	1,0	Гранулотол	1,2 ²
Граммонал А-8	0,80	Граммонит 79/21	1,0	Ифзанит Т-20	1,20
Аммонит скальный № 1 ¹	0,8	Граммонит 50/50	1,01	Граммонит 30/70	1,26 ³
Аммонал скальный № 3 ¹	0,8	Динафталит ¹	1,08	Карботол 15Т	1,42
Детонит М ¹	0,82	Ифзанит Т-80	1,08	Акватор Т-20	1,06
Алюмотол	0,83	Граммонал А-50	1,08	Акватор Т-10	1,17
Гранулит АС-8	0,89	Акватор 65/35	1,10	Порэммит	1,19
Аммонал водоустойчивый ¹	0,9	Ифзанит Т-60	1,10	Гранипор ФМ	1,15
Акватор МГ	0,93	Гранулит М	1,13		

Примечание:¹ – патронированные ВВ;² – $K_{ВВ} \cong 1,0$ при взрывании в обводненных условиях;³ – $K_{ВВ} \cong 1,04$ при взрывании в обводненных условиях.

Принимаемый размер негабаритного куска (максимальный размер кондиционного куска) определяется из вместимости ковша экскаватора (или погрузчика) E , м³ (3.3)

$$d_n \leq 0,75 \sqrt[3]{E} \quad (3.3)$$

или транспортного средства (кузов автосамосвала) V_T , м (3.4)

$$d_n \leq 0,5 \sqrt[3]{V_T}. \quad (3.4)$$

Допустимый размер кусков при погрузке в перегрузочные бункеры, приемные воронки дробилок, грохотов и т. п. принимают по формуле (3.5)

$$d_n \leq (0,75 - 0,85) \cdot B, \text{ м}, \quad (3.5)$$

где B – ширина приемного отверстия, м.

При взрывании пород I–II категории по МКВД для расчетов может быть принято $d_n = 0,5$ м; для III категории $d_n = 1,0$ м; для IV–V $d_n = 1,25$ м.

Вышеприведенная формула для расчета удельного расхода ВВ справедлива в диапазоне диаметров скважин 100–400 мм и размера кондиционного куска 0,25–2 м. Расчет по ней обеспечивает (при равномерном размещении ВВ в массиве) выход негабарита до 3 % от его содержания в массиве до взрыва.

Вместимость 1 пог. м. скважины определяется выражением (3.6).

$$p = \frac{\pi d_{\text{СКВ}}^2}{4} \cdot \Delta, \text{ кг/м}, \quad (3.6)$$

где $d_{\text{СКВ}}$ – диаметр скважины (заряда), м ;

Δ – плотность заряжения ВВ, кг/м³.

При известном диаметре бурового инструмента диаметр скважины определяется с учетом коэффициента разбуривания пород K_p (3.7).

$$d_{\text{СКВ}} = K_p d_{\text{инс}}, \quad (3.7)$$

где $K_p = 1,02 - 1,07$;

$d_{\text{инс}}$ – диаметр бурового инструмента, м.

С учетом разбуривания диаметры скважинных зарядов при заряжении гранулированными, водосодержащими и эмульсионными ВВ принимают равными диаметрам скважин ($d_3 = d_{\text{СКВ}}$): 110, 125, 150, 160, 190, 200, 220, 250, 270 мм.

При использовании порошкообразных ВВ типа аммонит БЖВ, гранулированных граммонитов, гранулитов, игданита плотность

заряжания принимается равной насыпной плотности ВВ $\Delta = 850\text{--}900 \text{ кг/м}^3$, откуда, например, для скважин диаметром 250 мм

$$p = \frac{\pi \cdot 0,25^2}{4} \cdot 900 = 44, \text{ кг/м.}$$

Принимаем $p \approx 44 \text{ кг/м}$.

Вместимость 1 пог. м скважины (шпура) может быть определена по табличным данным, приводимых в справочниках по буровзрывным работам.

Линия сопротивления по подошве для скважин первого ряда определяется по фактически полученной конфигурации забоя (линии скважин последнего ряда предыдущего взрыва), при этом величина максимально преодолеваемого сопротивления по подошве уступа (ЛСПП) рассчитывается по формуле (3.8).

$$W_p = \frac{\sqrt{0,56p^2 + 4qpHl_{\text{скв}} - 0,75}}{2qH}, \text{ м} \quad (3.8)$$

или по упрощенной формуле (3.9)

$$W_p = 0,9 \sqrt{\frac{p}{qm}}, \text{ м}, \quad (3.9)$$

где q – расчетный расход ВВ, кг/м;

p – вместимость 1 пог. м скважины, кг;

H – высота взрываемого уступа, м;

$l_{\text{скв}}$ – глубина скважины, м;

m – коэффициент сближения скважин. Для расчета коэффициент сближения принимается равным $m = 1$.

Для обеспечения безопасной установки буровых станков у верхней бровки уступа определяется так называемое безопасное значение ЛСПП (3.10).

$$W_6 = H \cdot \text{ctg}\alpha + 3, \text{ м}, \quad (3.10)$$

где α – угол откоса уступа, град.

Величина расчетной или фактической СПП не должна быть меньше W_6 .

$$W_p \geq W_6 \quad (3.11)$$

Когда невозможно соблюдение данного условия или когда фактическое значение СПП больше W_p , рекомендуется увеличить диаметр скважин; применить парносближенные скважины в первом ряду, применить наклонное бурение.

При взрывных работах на карьерах и добыче полезных ископаемых в подземных условиях широко применяется многорядное короткозамедленное взрывание (КЗВ). Наиболее широко применяются порядные, порядно-врубовые, диагональные схемы взрывания. На предприятиях применяется большое число разнообразных схем КЗВ: трапециевидные, клиновые, волновые, радиальные, комбинированные, которые по существу являются той или иной разновидностью вышеперечисленных схем.

Выбор схемы КЗВ для заданных в проекте конкретных условий должен быть обоснован анализом имеющихся в литературе данных и производственного опыта ведения взрывных работ в аналогичных горногеологических условиях.

Основными критериями при выборе схем взрывания являются: высокая надежность, исключающая появление отказов зарядов ВВ; обеспечение заданной степени дробления горных пород; отсутствие выброса в тыльную часть уступа и минимальный развал породы; минимальный сейсмический эффект и обеспечение сохранности объектов вблизи взрываемого блока.

Повышение надежности взрывания с помощью ДШ осуществляется дублированием главной и секционной магистралей, применением закольцованных схем (при этом расход ДШ увеличивается).

Сейсмобезопасность взрывов при короткозамедленном взрывании обеспечивается одновременным взрыванием в одной ступени замедления не более 2,5–10 т ВВ. Учитывая, что количество зарядов в одной ступени 4–8 при массе ВВ в скважине не более 500–800 кг, одновременно взрываемая масса зарядов в одной группе (секции) не должна превышать 3–5 т. Исходя из этого наиболее рациональны диагональные схемы взрывания.

При электрическом способе взрывания рассчитывается сопротивление электровзрывной сети, определяемое схемой соединения (последовательная, параллельно-последовательная, последовательно-параллельная, пучковая и др.), сопротивлениями ЭД, концевых, участков, соединительных и магистральных проводов. Исходными данными для расчета являются: количество ЭД, длина и сечения проводов, напряжение питающей сети (источника тока), гарантийный ток, сопротивления ЭД.

Некоторые схемы взрывания скважинных зарядов с использованием ДШ приведены на рис. 3.2 и 3.3. Инициирование ДШ осуществляется огневым (зажигательной трубкой) или электрическим способом.

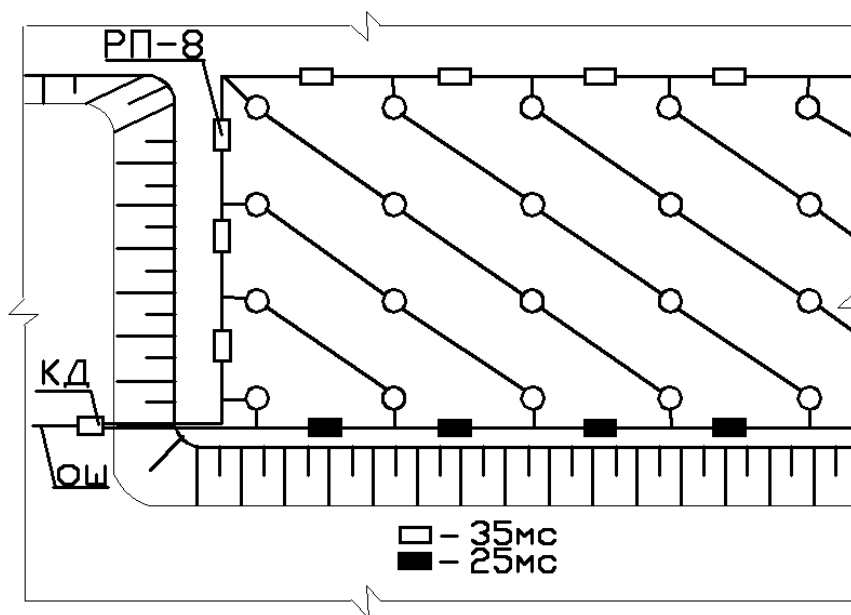


Рис. 3.2. Диагональная схема взрывания с ДШ

Для уменьшения развала взорванной горной массы и снижения сейсмического действия взрывов применяют схемы с опережающим взрыванием тыльного ряда и обратного инициирования зарядов в группах.

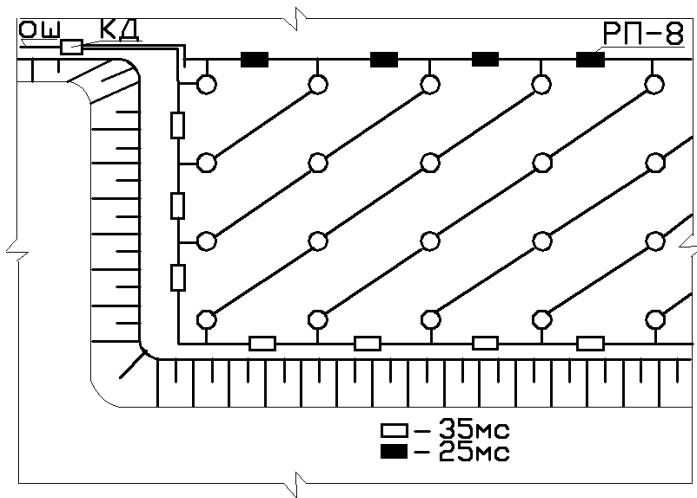


Рис. 3.3. Диагональная схема взрывания с опережающим взрыванием тыльного ряда скважин

При проведении траншей часто применяют клиновую схему взрывания (рис. 3.4). Схема обеспечивает высокое качество дробления за счет дополнительного соударения кусков.

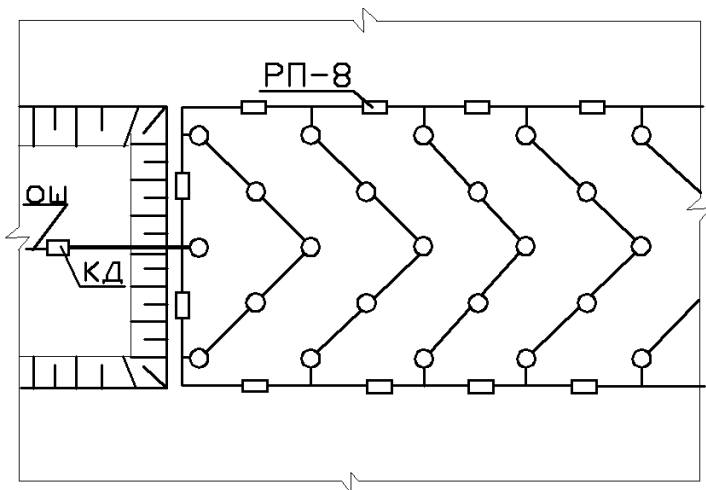


Рис. 3.4. Клиновая схема взрывания с применением ДШ

Для снижения сейсмического действия взрывов и улучшения качества дробления за счет взаимодействия волн напряжений рациональны обратные клиновые схемы взрывания (рис. 3.5). Схемы характеризуются опережающим взрыванием фланговых рядов скважин и встречным инициированием скважин в группах.

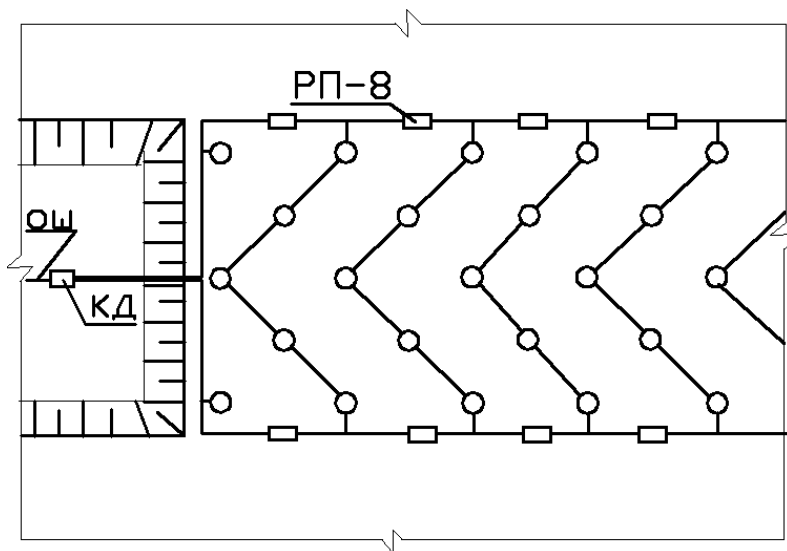


Рис. 3.5. Обратная клиновая схема взрывания

На рис 3.6 и 3.7 приведены схемы взрывания при использовании неэлектрических систем инициирования Нонель Юнидет и Нонель МС при разрушении пород уступа и проведении траншеи. В системе Нонель Юнидет все взрывающиеся скважины заряжаются детонаторами с одинаковым замедлением, а заданная очередность взрывания обеспечивается на поверхности при помощи замедлений поверхностных соединительных блоков.

Ниже приведена реализация неэлектрического способа инициирования системой Нонель МС. В отличие от системы Нонель Юнидет детонаторы, размещаемые в скважины имеют индивидуальные периоды замедления, в то время как соединительные блоки снаряжены детонаторами без замедлений.

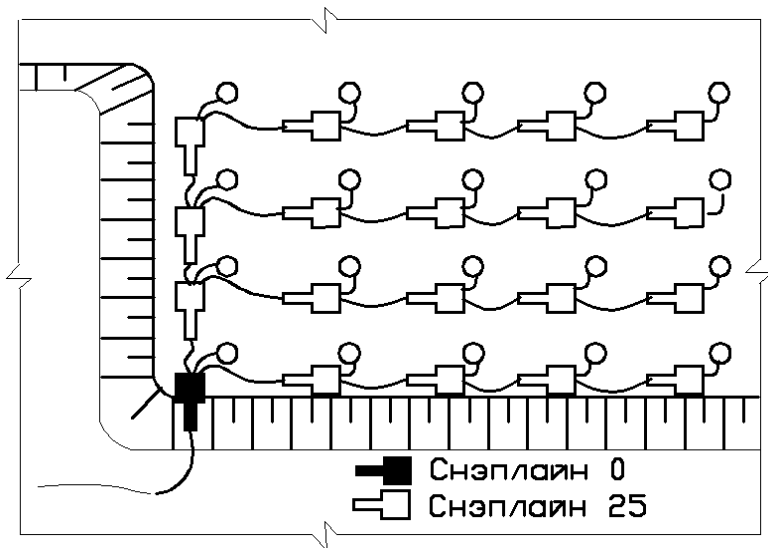


Рис. 3.6. Неэлектрический способ инициирования скважин на уступе (диагональная схема взрывания). Система Нонель Юнидет

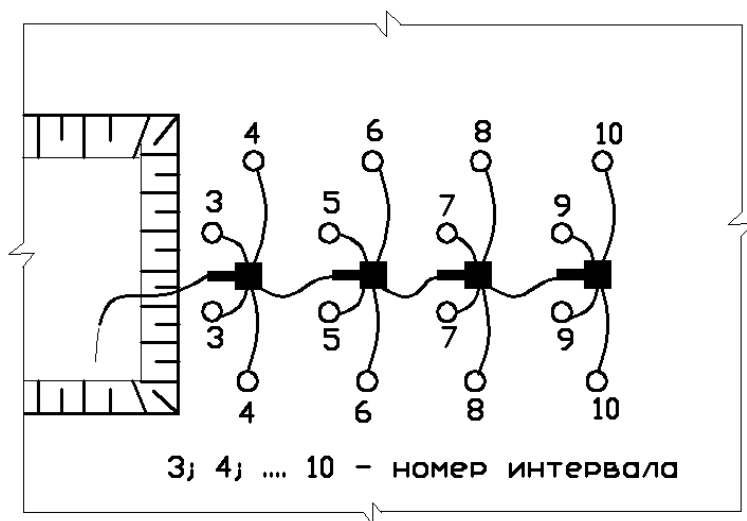


Рис. 3.7. Неэлектрический способ инициирования скважин при проведении траншей. Система Нонель MC

3.7. Определение безопасных расстояний при ведении взрывных работ на карьерах

Расстояние, опасное для людей по разлету отдельных кусков породы при взрывании скважинных зарядов, рассчитанных на разрыхляющее (дробящее) действие, определяется по формуле (3.12).

$$\gamma_{\text{разл}} = 1250 \cdot \eta_3 \cdot \sqrt{\frac{f}{1 + \eta_{\text{заб}}} \cdot \frac{d}{a}}, \quad (3.12)$$

где η_3 – коэффициент заполнения скважины взрывчатым веществом;

$\eta_{\text{заб}}$ – коэффициент заполнения скважины забойкой;

d – диаметр взрывааемых скважин, м;

f – коэффициент крепости породы по шкале проф. М. М. Протодьяконова;

a – расстояние между скважинами в ряду или между рядами скважин.

Для известной категории породы по СНиП коэффициент крепости может быть рассчитан по формуле (3.13).

$$f = \left(\frac{F}{2,5} \right)^2, \quad (3.13)$$

где F – категория породы по СНиП.

Коэффициент заполнения скважин ВВ определяется по формуле (3.14).

$$\eta_3 = \frac{\ell_{\text{зар}}}{\ell_{\text{скв}}}, \quad (3.14)$$

где $\ell_{\text{зар}}$ – длина заряда ВВ в скважине, м;

$\ell_{\text{скв}}$ – глубина скважины, м

Коэффициент заполнения скважины забойкой (3.15).

$$\eta_{\text{заб}} = \frac{\ell_{\text{заб}}}{\ell_{\text{н}}}, \quad (3.15)$$

где $\ell_{\text{заб}}$ – длина забойки, м;

$\ell_{\text{н}}$ – длина свободной от заряда части скважины, м.

При взрывании без забойки $\eta_{\text{заб}} = 0$, а при полном заполнении свободной от заряда верхней части скважины $\eta_{\text{заб}} = 1$.

При взрывании серии скважинных зарядов одинакового диаметра с переменными параметрами a , $\eta_{\text{заб}}$, η_3 расчет безопасного расстояния должен проводиться по наименьшим значениям a , $\eta_{\text{заб}}$ и наибольшему η_3 из всех имеющихся в данной серии.

Если взрываемый участок массива представлен породами с различной крепостью, следует в расчете принимать максимальное значение коэффициента крепости грунта f . При взрывании параллельно сближенных (кустов, пучков) скважинных зарядов диаметром d принимается их эквивалентный диаметр (3.16).

$$d_3 = d\sqrt{N}, \quad (3.16)$$

где N – число параллельно сближенных скважин в кусте.

При определении опасных расстояний необходимо учитывать возможные в процессе производства буровзрывных работ отклонения отдельных параметров взрывания скважинных зарядов a , $\eta_{\text{заб}}$, η_3 от принятых проектных значений. Поэтому расчет следует проводить с определенным запасом, принимая для этого минимально возможные в процессе производства взрывных работ значения параметров a , $\eta_{\text{заб}}$ и максимально возможное значение η_3 .

Ударные воздушные волны, возникающие при взрывах наружных зарядов и скважинных (шпуровых) зарядов рыхления, представляют опасность для зданий и сооружений и в первую очередь застекления. В проекте взрывных работ определяется безопасное расстояние по действию УВВ, на котором исключается разрушение стекол.

При одновременном взрывании наружных и скважинных зарядов рыхления безопасные расстояния по действию УВВ при дроблении пород VI-VIII групп по СНиП определяются формулами (3.17–3.19).

$$R_{\text{УВВ}} = 200 \sqrt[3]{Q_3}, \quad \text{м – при } 5000 > Q_3 \geq 1000 \text{ кг}, \quad (3.17)$$

$$R_{\text{УВВ}} = 65 \sqrt[3]{Q_3}, \quad \text{м – при } 1000 > Q_3 \geq 2 \text{ кг}, \quad (3.18)$$

$$R_{\text{УВВ}} = 63 \sqrt[3]{Q_3^2}, \quad \text{м – при } Q_3 < 2 \text{ кг}, \quad (3.19)$$

где Q_3 – эквивалентная масса заряда ВВ, кг.

Эквивалентная масса заряда определяется следующим образом:

– для наружных зарядов (высотой $h_{зар}$ с засыпкой слоя грунта $h_{заб}$), взрывааемых одновременно

$$Q_3 = K_H Q,$$

где Q – суммарная масса зарядов, кг;

K_H – коэффициент зависит от соотношения $h_{заб} / h_{зар}$. При взрыве без забойки $K_H = 1$.

– для условий взрывания при длине заряда более 12 своих диаметров

$$Q_3 = 12pd_{скв}K_3N, \text{ кг}; \quad (3.20)$$

– для условий взрывания при $l_{зар} < 12d_{зар}$

$$Q_3 = pl_{зар}K_3N, \text{ кг}, \quad (3.21)$$

где p – вместимость 1 пог. м скважины, кг;

$d_{скв}$ – диаметр скважины, заряда ($d_{зар}$), м;

N – число одновременно взрывааемых скважин (в группе);

K_3 – коэффициент забойки, определяемый в зависимости от отношения длины забойки к диаметру скважины (шпура) $\frac{l_{заб}}{d_{скв}}$. При отсутствии забойки зависит от отношения свободной от заряда части скважины l_H к диаметру $d_{скв}$ (табл. 3.3).

Таблица 3.3

$\frac{l_{заб}}{d_{скв}}$	0	5	10	15	20
K_3	1	0,15	0,02	0,003	0,002
$\frac{l_{заб}}{d_{скв}}$	0	5	10	15	20
K_3	1	0,3	0,07	0,02	0,004

Для случая инициирования скважинных зарядов с помощью ДШ необходимо добавить суммарную массу ВВ в поверхностной сети ДШ к значению Q_3 (при короткозамедленном взрывании определяется суммарная масса ВВ в ДШ) в одной серии замедления (3.22).

$$Q_3 = Q_{3\text{ скв}} + Q_{\text{ДШ}}, \text{ кг}, \quad (3.22)$$

где $Q_{\text{ДШ}}$ – суммарная масса ВВ в ДШ в одной серии замедления (3.23)

$$Q_{\text{ДШ}} = \sum \ell_{\text{ДШ}} \cdot p_{\text{ДШ}}, \text{ кг}, \quad (3.23)$$

где $\sum \ell_{\text{ДШ}}$ – суммарная длина ДШ в серии замедления, м;

$p_{\text{ДШ}}$ – навеска ВВ на 1 пог. м ДШ. Обычно $p_{\text{ДШ}} = 0,012$ или $0,006$ г/пог. м).

При наличии нескольких групп зарядов, взрываемых с замедлениями, к расчету принимается группа с максимальной Q_3 . Приведенные формулы для расчета безопасных расстояний используются при интервале замедления между группами не менее 50 мс.

В зависимости от интервала замедления безопасное расстояние должно быть увеличено:

- в 2 раза при интервалах замедления от 10 до 20 мс;
- в 1,5 раза при интервалах замедления 20–30 мс;
- в 1,2 раза при интервалах замедления 30–50 мс.

При взрывании пород IX группы и выше по СНиП радиус опасной зоны должен быть увеличен в 1,5 раза, а при взрывании пород V группы и ниже радиус опасной зоны может быть уменьшен в 2 раза.

Если взрывные работы проводятся при отрицательных температурах воздуха, расчетное расстояние должно быть увеличено в 1,5 раза.

Суммарная масса зарядов и число групп замедления не ограничиваются.

Безопасное расстояние по действию УВВ на человека при взрывании наружных зарядов определяется по формуле (3.24).

$$R_{\text{мин}} = 15 \sqrt[3]{Q}, \quad (3.24)$$

где Q – масса взрываемого наружного заряда, кг.

Эта формула используется в условиях необходимости максимального приближения персонала к месту взрыва. В остальных случаях полученное расстояние следует увеличить в 2–3 раза.

Пример 1. Определить радиус опасной зоны по действию УВВ при взрыве наружного заряда массой 60 кг без забойки. Взрываеемые породы – доломиты VI группы по СНиП.

Поскольку эквивалентная масса заряда $Q_3 = 60$ кг (менее 1000 кг), для определения радиуса опасной зоны воспользуемся формулой

$$R_{УВВ} = 65 \sqrt[3]{Q_3}.$$

При положительной температуре воздуха

$$R_{УВВ} = 65 \sqrt[3]{60} = 254 \text{ м.}$$

При отрицательной температуре воздуха радиус опасной зоны должен быть увеличен в 1,5 раза и $R_{УВВ}$ составит 381 м.

Пример 2. Определить радиус опасной зоны по действию УВВ при взрыве серии скважинных зарядов общей массой 25 228 кг. Заряды (одной и той же массы в каждой скважине) взрывают тремя группами с интервалом замедления между ними 25 мс. В первой группе взрывают – 5, во второй – 8, в третьей – 6 скважин. Диаметр скважин – 0,25 м глубина скважин – 14,4 м, длина забойки – 4,4 м.

Взрываеемые породы представлены гранитами X группы по СНиП. Взрывные работы проводятся при отрицательной температуре воздуха. Поскольку взрывание проводится с интервалом замедления между группами 25 мс, к расчету принимается группа с максимальным числом скважин $N = 8$.

Значения расчетных параметров будут следующие:

$$p = 44 \text{ кг/м}, \quad \frac{\ell_{\text{заб}}}{d_{\text{скв}}} = 20, \quad K_{\text{заб}} = 0,002.$$

Длина заряда 10 м то есть больше 12 диаметров скважин, поэтому эквивалентный заряд определяется по формуле (3.20)

$$Q_3 = 12pd_{\text{скв}}K_3N, \text{ кг.}$$

Откуда эквивалентный заряд без учета поверхностной сети ДШ

$$Q_3 = 528 \cdot 0,25 \cdot 0,002 \cdot 8 = 2,1 \text{ кг.}$$

С учетом крепости пород (граниты X группы), интервала замедления между группами и отрицательной температуры воздуха радиус опасной зоны по действию УВВ определяется следующим образом.

$$R_{УВВ} = 65 \cdot 1,5 \cdot 1,5 \cdot 1,5 \cdot \sqrt[3]{2,1} = 281 \text{ м.}$$

Согласно ЕПБ при одновременном (без замедления) взрывании группы из N зарядов общей массой Q в тех случаях, когда расстояния от охраняемого объекта до ближайшего и наиболее удаленного заряда различаются не более чем на 20 %, безопасное расстояние определяется по формуле (3.25).

$$R_c = N^{\frac{1}{6}} \cdot K_{\Gamma} \cdot K_c \cdot a \cdot \sqrt[3]{Q}. \quad (3.25)$$

В соответствии с ЕПБ при неодновременном взрывании N групп зарядов общей массой Q со временем замедления между взрывами каждой группы не менее 20 мс, безопасное расстояние определяется по формуле (3.26).

$$R_c = \frac{K_{\Gamma} \cdot K_c \cdot \alpha}{N^{\frac{1}{4}}} \cdot \sqrt[3]{Q}, \quad (3.26)$$

где R_c – безопасное расстояние от места взрыва до охраняемого здания (сооружения), м;

K_{Γ} – коэффициент геологических условий, зависящий от свойств грунта в основании охраняемого здания (сооружения) (табл. 3.4);

K_c – коэффициент, зависящий от типа здания и сооружения (табл. 3.5);

α – коэффициент, зависящий от условий взрывания (для зарядов рыхления $\alpha = 1$);

Q – масса заряда, кг.

Таблица 3.4

Коэффициент геологических условий, K_G

Скальные породы плотные, ненарушенные	5
Скальные породы нарушенные, неглубокий слой мягких грунтов на скальном основании	8
Необводненные песчаные и глинистые грунты глубиной не более 10 м	12
Почвенные обводненные грунты и грунты с высоким уровнем грунтовых вод	15
Водонасыщенные грунты	20

Таблица 3.5

Значения коэффициента K_c

Одиночные здания и сооружения производственного значения с железобетонным металлическим каркасом	1,0
Одиночные здания высотой не более 2–3 этажей с кирпичными и подобными стенами	1,5
Небольшие жилые поселки	2,0

С учетом реальных условий взрывания, допустимых скоростей смещения грунта для зданий и сооружений, жилых домов поселков и т. п. в проекте производства взрывных работ определяются предельно допустимые массы зарядов при мгновенном Q_{\max} , кг, и короткозамедленном взрывании в зависимости от расстояния между охраняемыми объектами и местом взрыва одновременно взрывааемых зарядов в зависимости от расстояния до охраняемых объектов R_c , м.

Расчет сейсмобезопасного расстояния по вышеприведенным формулам выполняется из предположений, что охраняемые здания и сооружения находятся в удовлетворительном техническом состоянии.

При наличии в зданиях и сооружениях повреждений (трещины в стенах, фундаменте и т. п. безопасное расстояние должно быть

увеличено, что устанавливается по заключению специализированной организации. Рассмотренная методика расчета сейсмобезопасного расстояния также неприменима для зданий и сооружений уникального характера (башни, высотные здания и т. п.) и для ответственных инженерных сооружений.

При одновременном взрывании зарядов выброса массой более 200 тонн должна быть учтена газоопасность взрыва и установлено безопасное расстояние R_{Γ} , за пределами которого содержание ядовитых газов (в пересчете на условную окись углерода) не должно превышать предельно-допустимые концентрации ПДК.

Безопасное по действию ядовитых газов расстояние в условиях отсутствия ветра или направления, перпендикулярном к распространению ветра, при взрыве зарядов на выброс определяется по формуле (3.27).

$$R_{\Gamma} = 160 \sqrt[3]{Q}, \quad (3.27)$$

где Q – суммарная масса взрываемых зарядов, т.

В направлении, противоположном распространению ветра, радиус газоопасной зоны следует принимать также равным R_{Γ} . По направлению ветра радиус газоопасной зоны определяется по формуле (3.28).

$$R_{\Gamma} = 160 \sqrt[3]{Q (1 + 0,5V_{\text{В}})}, \text{ м}, \quad (3.28)$$

где $V_{\text{В}}$ – скорость ветра перед взрывом, м/с.

Пример 3. Определить безопасные расстояния по действию ядовитых газов при взрыве серии камерных зарядов выброса с суммарной массой $Q = 500$ т. Скорость ветра перед взрывом $V_{\text{В}} = 3$ м/с.

В направлении, перпендикулярном направлению ветра, значение R_{Γ} рассчитывается по формуле

$$R_{\Gamma} = 160 \sqrt[3]{500} = 1270 \text{ м}.$$

В направлении, противоположном направлению ветра, радиус газоопасной зоны принимается также равным $R_{\Gamma} = 1270$ м.

Безопасное расстояние в направлении ветра рассчитывается по формуле

$$R_{\Gamma} = 160 \sqrt[3]{500} (1 + 0,5 \cdot 3) = 3175 \text{ м.}$$

Вопросы для самоконтроля

1. Какие методы ведения взрывных работ применяются на карьерах?
2. Как осуществляется метод шпуровых зарядов? Укажите область его применения.
3. В чем заключаются преимущества и недостатки метода скважинных зарядов? Укажите область его применения.
4. В чем заключаются преимущества метода котловых зарядов? В каких случаях целесообразно его применение?
5. Как рассчитывают объем камер при использовании метода камерных зарядов?
6. В каких случаях для взрывного дробления пород применяется метод наружных зарядов?
7. Что такое величина линии сопротивления по подошве уступа?
8. Перечислите параметры, характеризующие расположение скважин на уступе.
9. Как выбирается диаметр скважин?
10. Какие факторы учитываются при выборе ВВ?
11. Что такое удельный расход ВВ и как он определяется в проектах?
12. Как определяется вместимость одного метра скважины и величина линии сопротивления по подошве уступа?
13. Назовите основные схемы взрывания на карьерах.
14. Как определяется опасная зона по разлету кусков породы?
15. От каких факторов зависит сейсмоопасное расстояние?

4. ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

4.1. Требования к проведению подземных выработок взрывным способом. Паспорт буровзрывных работ

Подземные горные выработки проводят, в основном, в устойчивых горных породах, то есть в породах, которые позволяют свободно и на сравнительно продолжительный срок (нескольких часов) обнажить забой и боковые стенки выработок.

В зависимости от физических свойств пород, которые пересекаются забоем, существуют разные способы проведения выработок в крепких и мягких породах.

Для крепких пород применяют буровзрывной комплекс работ, при котором возникает необходимость в выборе типа взрывного вещества, массы и конструкции заряда, глубины, количества и схемы расположения шпуров. Для мягких пород проводить выработки можно и без буровзрывных работ с помощью специальных проходческих комбайнов.

При выборе параметров буровзрывных работ исходят из следующих требований:

- обеспечение высокого коэффициента использования шпуров при взрыве;
- качественное разрушение породы взрывом при минимальных объемах буровых работ, то есть при минимальном количестве и оптимальной глубине шпуров;
- порода должна быть измельчена равномерно и не разбросана на большое расстояние от забоя, то есть должны быть обеспечены благоприятные условия для погрузки породы;
- выработка должна иметь форму поперечного сечения, близкую к проектной.

В паспорте буровзрывных работ при проведении горных выработок приводятся основные сведения: наименование выработки; схема расположения шпуров в забое; площадь забоя; краткая характеристика пород; тип ВВ и средства взрывания; способ взрывания; расчетные показатели взрыва, которые включают значение коэффициента использования шпуров, перемещение забоя за один взрыв и объем взо-

рванной горной массы. Кроме того, приводятся данные о затратах взрывчатых материалов и дается характеристика шпуров и зарядов с указанием номеров шпуров, их глубины, массы заряда ВВ и длины набойки в каждом шпуре, а также очередность взрывания шпуров.

4.2. Способы проведения выработок, способы взрывания. Типы врубов

Преимущественное применение получил способ проведения выработок сплошным забоем, взрыванием шпуровых зарядов. Проведение выработок с помощью БВР включает цикл следующих работ: бурение, зарядание шпуров, взрывание, проветривание, уборку породы и крепление выработки.

Проведение выработки осуществляется заходками. Заходка – часть выработки по ее длине, проводимая за один цикл. Глубина заходки составляет часть глубины основного комплекта шпуров. Под шпурами основного комплекта понимаются все шпуры кроме врубовых. При проведении выработок забои имеют преимущественно одну обнаженную поверхность. Для размещения зарядов в породе бурят шпуры. Поскольку шпуровые заряды не разрушают породу на всю глубину шпура, продвижение забоя в результате взрыва, то есть длина заходки, будет меньшим, чем глубина шпура, под которым понимают отношение длины проекции шпура на ось выработки. Отношение длины заходки к глубине шпура называется коэффициентом использования шпура (КИШ).

Повышение КИШ достигается образованием в забое второй дополнительной обнаженной поверхности с помощью вруба.

Технология БВР предусматривает взрывание в определенной последовательности врубовых, отбойных и оконтуривающих шпуров. Врубными шпурами, располагаемыми обычно в центральной части забоя, создается первоначальная полость, наличие которых повышает эффективность взрыва зарядов отбойных шпуров. Отбойными шпурами разрушается основная часть забоя. Придание выработке проектного контура обеспечивается взрывом шпуров, размещаемых по контуру выработки.

В зависимости от требований предъявляемых к качеству оконтуривания выработки различают обычное и гладкое (контурное) взрывание.

При *обычном взрывании* в первую очередь взрываются врубовые шпуры, располагаемые в центральной части забоя выработки. На образующуюся от взрыва врубовых шпуров полость отбивается основная масса породы отбойными шпурами и последнюю очередь, взрываются шпуры, располагаемые по контуру выработки (контурные шпуры).

Технология *гладкого взрывания* направлена на обеспечение качественного оконтуривания выработки. Достижение высокого качества оконтуривания при гладком взрывании достигается большим приближением оси контурных шпуров к проектному сечению выработки, уменьшением расстояний между шпурами, применением ВВ пониженной мощности, оставлением большого радиального зазора между патронами ВВ и стенами шпура, рассредоточением зарядов в шпуре. Гладкое взрывание включает способ предварительного оконтуривания (щелеобразования) и способ последующего оконтуривания.

При предварительном оконтуривании первыми взрываются шпуры, располагаемые по контуру выработки. Они создают щель, по периметру выработки отрезая тем самым забой выработки от массива. В дальнейшем взрывают врубовые и отбойные шпуры. Взрывание зарядов по контуру при предварительном оконтуривании производят либо до бурения остальных шпуров, либо с опережением не менее 75 мс в породах VII–XI групп и не менее 100 мс в породах IV–VI групп по классификации СНиП.

При способе последующего оконтуривания последовательность взрывания шпуров такая же, как и при обычном взрывании. Отличие заключается в более близком расположении друг от друга контурных шпуров, уменьшении величины заряда в них, оставлении большого радиально зазора между зарядом и стенкой шпура, что в совокупности снижает разрушающее действие контурных зарядов на массив. Способ последующего оконтуривания называют также методом сближенных зарядов.

В общем случае различают шпуры врубовые, вспомогательные, отбойные, контурные и почвенные. Врубовые шпуры подразделяют на заряжаемые и компенсационные. Схема размещения различных типов шпуров показана на рис. 4.1.

Почвенные шпуры являются разновидностью контурных шпуров. Они размещаются по контуру близкому к почве выработки. Врубовые шпуры предназначены для образования дополнительной обна-

женной поверхности, которая облегчает работу вспомогательных и отбойных шпуров и повышает тем самым эффективность их работы. Врубовые шпуров взрывают первыми. В результате их взрыва в забое выработки образуется полость, называемая врубом. Врубом называют также совокупность врубовых шпуров. Тип вруба определяется относительным расположением оси врубовых шпуров к плоскости забоя. Наибольшее распространение на практике получили наклонные (рис. 4.2) и прямые (рис. 4.3) врубы. Наклонные врубы образуются шпурами пробуренными наклонно к плоскости забоя под углом (55–70)°. Расстояния между концами шпуров 10–20 см.

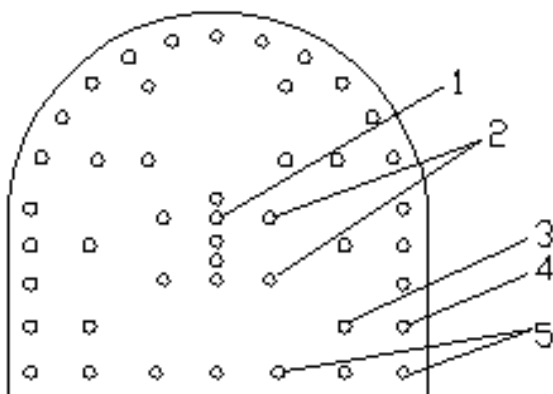


Рис. 4.1. Схема размещения шпуров:
1 – врубовые; 2 – вспомогательные; 3 – отбойные;
4 – контурные; 5 – почвенные

Различают следующие основные типы наклонных врубов.

Пирамидальный. Шпуры образуют четырехгранную пирамиду;

Вертикальный клиновидный. Шпуры образуют вертикальный клин в центральной части забоя;

Горизонтальный клиновидный. Шпуры образуют горизонтальный клин в центральной части забоя.

Наклонные врубы применяют в породах средней крепости и крепких. Пирамидальный вруб эффективен в монолитных вязких породах большой крепости. Он создает наибольшую концентрацию заряда в глубине вруба. Клиновидные врубы (вертикальный и горизонтальный) целесообразны в породах при соответствующем падении

трещин и напластований. При применении пирамидального и горизонтального клинового вруба площадь сечения выработки должна быть не менее 4 м^2 . При использовании вертикального клинового вруба – не менее 6 м^2 .

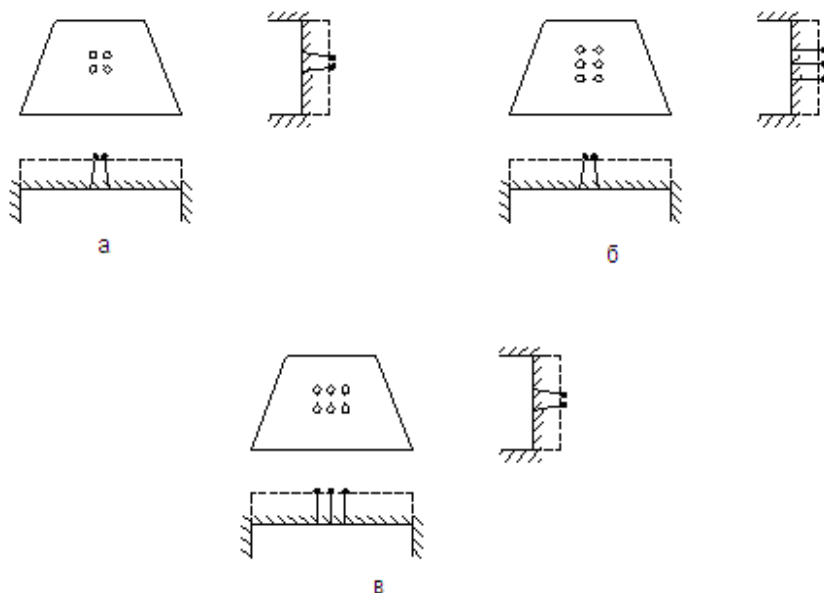


Рис. 4.2. Основные типы наклонных врубов:

а – пирамидальный; *б* – вертикальный клиновой; *в* – горизонтальный клиновой

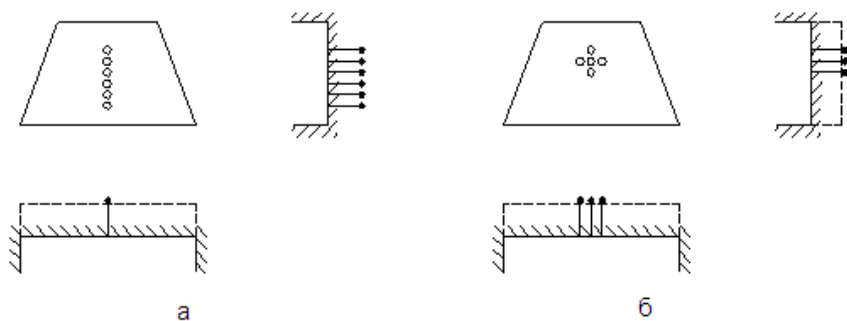


Рис. 4.3. Основные типы прямых врубов:

а – щелевой; *б* – призматический (крестообразный)

Схема к определению параметров наклонных врубов представлена на рис. 4.4.

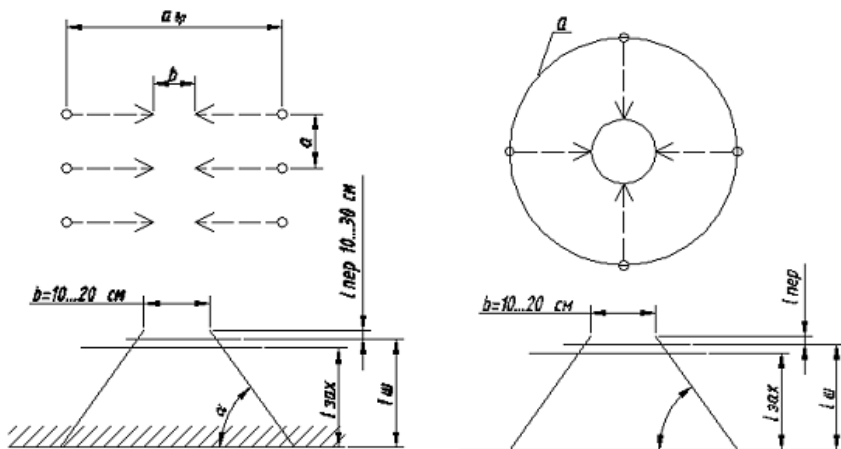


Рис. 4.4. Схема к определению параметров наклонных врубов

Прямые врубы образуются шпурами, ориентированными перпендикулярно плоскости забоя. К основным типам относится:

Щелевой. Параллельные шпуры образуют вертикальный ряд;

Призматический. Параллельные и близко расположенные шпуры пробурены перпендикулярно плоскости забоя, являясь условными гранями четырехгранной призмы. Шпур, пробуренный в центре не заряжается.

Прямые врубы применяют при любой крепости пород, что упрощает разметку шпуров на забое и их бурение. Они позволяют с большей эффективностью применять для обуривания забоев мощные и тяжелые бурильные машины, увеличивать величину заходки, сокращать время на обуривание забоя.

4.3. Расчет основных параметров взрывных работ при проведении подземных выработок

К основным параметрам взрывов можно отнести диаметр и глубину отбойных шпуров, тип взрывчатого вещества и его удельный расход, количество ВВ на цикл, линия наименьшего сопротивления отбойных шпуров.

При выборе взрывчатых веществ (ВВ) принимаются во внимание прежде всего обводненность массива и коэффициент крепости пород по шкале М. М. Протодьяконова. При прочих равных условиях предпочтение отдают тем ВВ, которые более безопасны в обращении и имеют меньшую стоимость. При использовании технологии гладкого (контурного) взрывания для заряжания контурных шпуров стремятся использовать патронированные ВВ меньшей мощности.

Глубину шпуров (кроме врубовых) принимают исходя из площади поперечного сечения выработки и крепости пород. При выборе диаметра шпуров учитываются технические возможности буровых машин применимых в данных горных породах, диаметр патронов ВВ, площадь сечения выработки, требуемая скорость ее проведения, качество оконтуривания.

При применении патронированного ВВ диаметр шпура принимают на 4–7 мм больше диаметра патрона ВВ. При гладком взрывании радиальный зазор между патроном ВВ и стенками контурных шпуров могут быть увеличены до 15–20 мм.

С увеличением площади сечения выработки целесообразно принимать большие значения диаметра шпуров, так как они способствуют увеличению скорости проходки. Однако при этом следует учитывать требования к качеству оконтуривания выработки, которое улучшается при уменьшении диаметра шпуров. При наличии противоречивых требований к диаметру шпуров предпочтение следует отдавать шпурам с большим диаметром, а в общем случае решать вопрос о выборе рационального диаметра шпура путем технико-экономического сравнения альтернативных вариантов. Выбор буровой машины производится с учетом крепости горной породы, требуемой глубины и диаметра шпуров.

Расчетный удельный расход для выработок, площадь сечения которых меньше 15–20 м², определяется по формуле (4.1).

$$q_p = 0,213\sqrt{f} \left(\sqrt{0,2f} + \frac{1}{\sqrt{S}} \right)^2 \cdot K_K \cdot e, \quad (4.1)$$

где f – коэффициент крепости горной породы по шкале М. Н. Протодьяконова;

S – площадь поперечного сечения выработки, м²;

K_K – коэффициент, учитывающий требуемую степень дробления породы ($K_K = 1, 1-1,3$);

e – коэффициент относительной работоспособности, учитывающий тип взрываемого взрывчатого вещества (в качестве эталонного ВВ принимают аммонит № 6ЖВ).

Коэффициент относительной работоспособности вычисляется из выражения (4.2).

$$e = \frac{3561}{A_{ВВ}}, \quad (4.2)$$

где $A_{ВВ}$ – полная идеальная работа взрыва выбранного типа ВВ, кДж/кг (принимается по технической характеристике ВВ).

Для выработок с площадью сечения более 20 м² в породах с коэффициентом крепости не более 16–18 удельный расход находят по формуле (4.3).

$$q_p = \left(0,3\sqrt{f} + \frac{2}{\sqrt{S}} \right) \cdot K_{п} \cdot e' \cdot K_{\Delta} \cdot K_{т}, \quad (4.3)$$

где $K_{п}$ – коэффициент, учитывающий влияние диаметра патрона шпурового заряда;

e' – коэффициент относительной работоспособности ВВ, относительно аммонита скального № 1, принимаемый по данным расчета;

K_{Δ} – коэффициент плотности заряжения, принимаемый при механизированном заряжении – 1,0, при ручном – 1,1;

$K_{т}$ – коэффициент учитывающий категорию трещиноватости пород.

Расчетный удельный расход определяют также по формуле (4.4).

$$q = q_1 \cdot K_C \cdot K_S \cdot e, \quad \text{кг/м}^3, \quad (4.4)$$

где q_1 – удельный расход при стандартных условиях, кг/м³ (принимается в зависимости от свойств пород);

K_C – коэффициент, учитывающий структуру породы;

K_S – коэффициент зажима породы.

Коэффициент зажима породы (K_S) при одной обнаженной поверхности вычисляют по формуле (4.5).

$$K_S = \frac{12,5}{\sqrt{S}}, \quad (4.5)$$

где S – площадь поперечного сечения выработки, м².

При двух обнаженных поверхностях $K_S = 1,2-1,5$.

Количество ВВ на цикл (общее количество ВВ на забой при одном взрыве)

$$Q = q_p \cdot S \cdot l_{ш}, \text{ кг}, \quad (4.6)$$

где q_p – расчетный удельный расход, кг/м³;

S – площадь поперечного сечения выработки, м²;

$l_{ш}$ – средняя длина шпуров, м.

Одним из важнейших параметров, определяющих расположение шпуров в забое, является линия наименьшего сопротивления (ЛНС) отбойного шпура ($W_{от}$), в зависимости от величины которой определяются параметры расположения шпуров в забое.

$$W_{от} = 47 \cdot K_m \cdot K_3 \cdot d_3 \sqrt{\frac{\Delta}{\rho \cdot e}}, \text{ м}, \quad (4.7)$$

где K_m – коэффициент местных геологических условий ;

K_3 – коэффициент зажима (0,6 для S до 4 м², 0,7–0,8 для $S = 4-60$ м² и 0,9 для $S > 60$ м²);

d_3 – диаметр заряда, м;

Δ – плотность заряжания, т/м³;

ρ – плотность породы, т/м³;

e – относительная работоспособность ВВ.

При обычном взрывании заряды всех шпуров имеют сплошную конструкцию. При применении патронированного ВВ они формируются патронами ВВ массой 200–300 г (рис. 4.5 а, б).

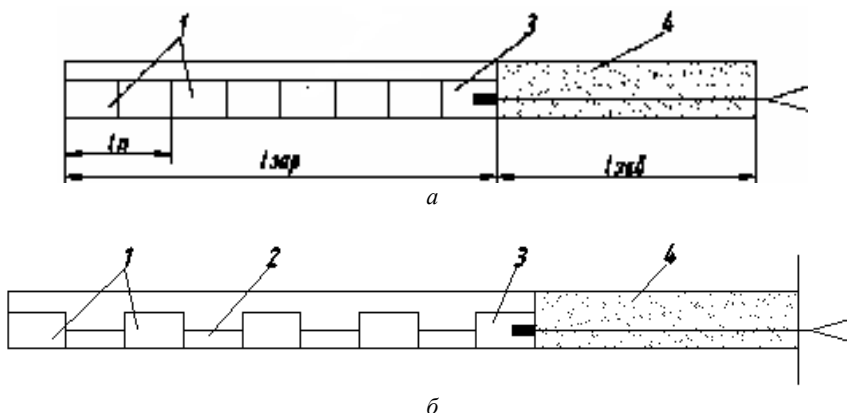


Рис. 4.5. Конструкция шпурового заряда:
a – сплошного; *б* – с воздушными промежутками;
 1 – патроны ВВ; 2 – (деревянная прокладка) фальш-патрон;
 3 – патрон-боевик ВВ; 4 – забойка;

При гладком взрывании (рис. 4.6) сплошную конструкцию зарядов применяют только для врубовых и отбойных шпуров. Патрон-боевик размещают первым от устья шпура, реже последним. При расположении патрона-боевика последним от устья шпура (обратное инициирование) дно гильзы электродетонатора (капсюля-детонатора) должно быть направлено к устью шпура (§138 ЕПБ при взрывных работах).

Для оконтуривающих шпуров при контурном взрывании применяется рассредоточенная конструкция заряда с воздушными промежутками.

Ориентировочное общее число шпуров на цикл при обычном взрывании определяется по формуле Г. И. Покровского (4.8).

$$N = \frac{Q}{Q_1}, \quad (4.8)$$

где Q – количество ВВ на цикл, кг;

Q_1 – количество ВВ в одном шпуре, кг.

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \Delta \cdot l_{ш} \cdot k_3, \quad (4.9)$$

где d – диаметр заряда, м;

Δ – плотность ВВ, кг/м³;

$l_{\text{ш}}$ – глубина шпуров основного комплекта, м;

k_3 – коэффициент заполнения шпура ВВ.

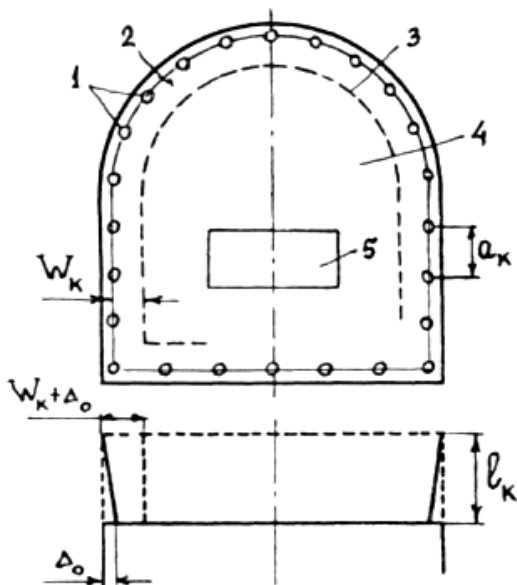


Рис. 4.6. Схема контурного (гладкого) взрывания:

1 – контурные шпуры; 2 – площадь забоя, взрываема контурными шпурами;

3 – контур обнажения, создаваемый взрывом отбойных шпуров;

4 – площадь забоя, взрываема отбойными шпурами;

5 – площадь забоя, взрываема врубовыми шпурами

При проведении выработок в шахтах не опасных по газу и пыли, значения коэффициента заполнения шпуров в общем случае следует принимать в зависимости от крепости пород, диаметра шпура и диаметра патронов ВВ.

Число шпуров на забой определяется также выражением (4.10).

$$N = \frac{q_p \cdot l_{\text{ш}} \cdot S}{l_{\text{ш}} \cdot k_3 \cdot p} = \frac{q_p \cdot S}{k_3 \cdot p}, \quad (4.10)$$

где p – вместимость 1 м шпура (патрона, кг/м);

k_3 – коэффициент заполнения шпура.

Формулу Г.И.Покровского можно представить в виде (4.11).

$$N = \frac{1,27 \cdot q_p \cdot S}{d^2 \cdot k_3 \cdot \Delta}, \quad (4.11)$$

где d – диаметр патрона (шпура), м;

Δ – плотность заряжения, кг/м³.

Общее число шпуров при гладком взрывании определяется суммированием количества шпуров по отдельным видам.

Число контурных шпуров находят из выражения (4.12).

$$N = \frac{P}{a_k} + 1, \quad (4.12)$$

где P – периметр линии расположения контурных шпуров, которая отстоит от контура выработки на величину ($\Delta_0 = 5-7$ см), м;

a_k – расстояние между контурными шпурами, м.

Число врубовых шпуров определяется по таблицам или формулам, в зависимости от типа вруба и крепости пород.

Число отбойных шпуров вычисляется по формуле (4.13).

$$N = \frac{q \cdot S_{от}}{k_3 \cdot p}, \quad (4.13)$$

где $S_{от}$ – площадь забоя, приходящая на отбойные шпуры, м²; $S_{от} = S - (S_k + S_{вруб})$.

Для определения площади забоя, взрывааемого контурными шпурами необходимо знать расстояние от линии расположения контурных шпуров до обнаженной поверхности, создаваемой взрывом зарядов предконтурного ряда отбойных шпуров – W_k (4.13).

$$W_k = 0,5W_{от}, \text{ м.} \quad (4.13)$$

Площади забоя, разрушаемые врубовыми шпурами, определяют по простым геометрическим формулам (4.14–4.16).

$$S_{вр} = a_{щ} \cdot h_{вр} \text{ – для щелевого вруба;} \quad (4.14)$$

$$S_{\text{вр}} = a_{\text{вр}} \cdot a \cdot (0,5N - 1) - \text{для клинового вруба}; \quad (4.15)$$

$$S_{\text{вр}} = \pi \cdot [(l_{\text{ш}} + l_{\text{пер}}) \cdot \text{ctg}\beta + 0,5b]^2 - \text{для пирамидального вруба}. \quad (4.16)$$

Рациональное число шпуров на 1 м² забоя выработки составляет 1–2 шпура. Большое число шпуров свидетельствует о том, что выбрано недостаточно мощное ВВ или (и) занижен диаметр патронов. Соответственно, слишком малое число шпуров указывает на завышенную мощность ВВ и диаметр патронов. Расчет общего числа шпуров и по отдельным видам осуществляется также путем их разметки на плоскости забоя. После уточнения их количества корректируют величину общего расхода ВВ на забой (кг) (4.17)

$$Q' = Q'_в N'_в + Q'_{\text{от}} N'_{\text{от}} + Q'_к N'_к. \quad (4.17)$$

Уточняют средний удельный расход на забой (q^1) (кг/м³) (4.18)

$$q' = Q' / Sl_{\text{ш}} \eta, \text{ кг/м}^3, \quad (4.18)$$

где η – коэффициент использования шпура (КИШ), принимается 0,8–0,9.

Вопросы для самоконтроля

1. Какими способами проводятся горные выработки в крепких и мягких породах?
2. Какие факторы учитываются при определении параметров буровзрывных работ?
3. Что такое паспорт буровзрывных работ и какие основные сведения в нем приводятся?
4. Что такое коэффициент использования шпура и каковы способы его повышения?
5. Типы врубов при проходке горных выработок и условия их применения.
6. С учетом каких факторов определяется количество шпуров в забое выработки?
7. Какое назначение врубовых шпуров и где они размещаются?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбонос, М. Г. Методические указания по практическим занятиям и выполнению самостоятельных работ по дисциплине «Технология и безопасность взрывных работ» для студентов специальности 1-3 04 03 «Открытые горные работы»: в 2 ч. / М. Г. Горбонос. – Петрозаводск, Петрозаводский государственный университет. 2011. – Ч. 2. – 70 с.
2. Ганопольский, М. И. Методы ведения взрывных работ. Специальные взрывные работы: учебное пособие / М. И. Ганопольский, В. Л. Барон, В. А. Белин [и др.]; под ред. проф. В. А. Белина. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2007. – 563 с.
3. Дубнов, Л. В. Промышленные взрывчатые вещества / Л. В. Дубнов, Н. С. Бахаревиц, А. И. Романов. – 3 изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1988. – 358 с.
4. Единые правила безопасности при взрывных работах / редкол.: М. П. Васильчук [и др.]; утв. Госгортехнадзором России 1992 г. – М.: НПО ОБТ, 1992.
5. Кутузов, Б. Н. Методы ведения взрывных работ: учебник для вузов / Б. Н. Кутузов. – М.: Издательство «Горная книга», 2007. – Ч. 1. Разрушение горных пород взрывом. – 471 с.
6. Кутузов, Б. Н. Методы ведения взрывных работ: учебник для вузов / Б. Н. Кутузов. – М.: Издательство «Горная книга», «Мир горной книги», Издательство Московского государственного горного университета, 2008. – Ч. 2. Взрывные работы в горном деле и промышленности. – 512 с.
7. Оника, С. Г. Взрывы вблизи объектов / С. Г. Оника – Минск: Тэхналогія, 2006. – 183 с.
8. Шапури́н, О. В. Руйнування гірничих порід вибухом: навч. Посібняк / О. В. Шапури́н, П. Я. Кирик. – К.: ІСДЮ, 1996. – 280 с.
9. Щукин, Ю. Г. Средства инициирования промышленных взрывчатых веществ: учеб. для техникумов / Ю. Г. Щукин, Г. Г. Лютиков, З. Г. Поздняков. – М.: Недра, 1996. – 155 с.
10. Федоренко, П. И. Буровзрывные работы: учебн. для вузов / П. И. Федоренко. – М.: Недра, 1991. – 272 с.: ил.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА	5
1.1. Общие сведения о взрыве и взрывчатых веществах	5
1.2. Классификация промышленных взрывных веществ	7
1.3. Индивидуальные взрывчатые химические соединения	9
1.4. Простейшие промышленные ВВ, не содержащие тротила	14
1.5. Гранулированные тротилсодержащие ВВ	17
1.6. Порошкообразные тротилсодержащие ВВ	18
1.7. Водосодержащие промышленные ВВ	20
1.8. Эмульсионные ВВ	22
1.9. Пороха	23
1.10. Предохранительные взрывчатые вещества	24
1.11. Начальный импульс и чувствительность взрывных веществ	25
1.12. Физическая сущность процесса детонации. Влияние разных факторов на скорость детонации	27
1.13. Методы определения скорости детонации	30
1.14. Плотность, работоспособность, бризантное и фугасное действие взрывных веществ	31
1.15. Кислородный баланс взрывчатых веществ. Отравляющие газообразные продукты взрыва	35
2. СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ВЗРЫВАНИЯ ЗАРЯДОВ	42
2.1. Классификация средств и способов инициирования взрыва	42
2.2. Средства огневого инициирования взрыва и взрывания зарядов ВВ	43
2.3. Электрический способ инициирования взрыва зарядов ВВ	50
2.4. Электровзрывные сети и их расчет	52
2.5. Взрывание детонирующим шнуром	58
2.6. Неэлектрическая система инициирования	62

3. МЕТОДЫ (ТЕХНОЛОГИИ, СПОСОБЫ) ВЕДЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ.....	69
3.1. Требования к взрывным работам	69
3.2. Метод шпуровых зарядов.....	70
3.3. Метод скважинных зарядов	71
3.4. Метод котловых и камерных зарядов	72
3.5. Метод наружных (накладных) зарядов.....	74
3.6. Определение основных параметров при скважинной отбойке на карьерах.....	75
3.7. Определение безопасных расстояний при ведении взрывных работ на карьерах.....	89
4. ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК	98
4.1. Требования к проведению подземных выработок взрывным способом. Паспорт буровзрывных работ	98
4.2. Способы проведения выработок, способы взрывания. Типы врубов	99
4.3. Расчет основных параметров взрывных работ при проведении подземных выработок	103
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	111

Учебное издание

ОНИКА Сергей Георгиевич
СТАСЕВИЧ Владимир Иванович
КУЗЬМИЧ Александр Константинович

РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ВЗРЫВОМ

Пособие
для студентов специальности 1-51 02 01
«Разработка месторождений полезных ископаемых»

Редактор *В. И. Акуленок*
Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 19.10.2020. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 6,63. Уч.-изд. л. 5,18. Тираж 200. Заказ 903.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.