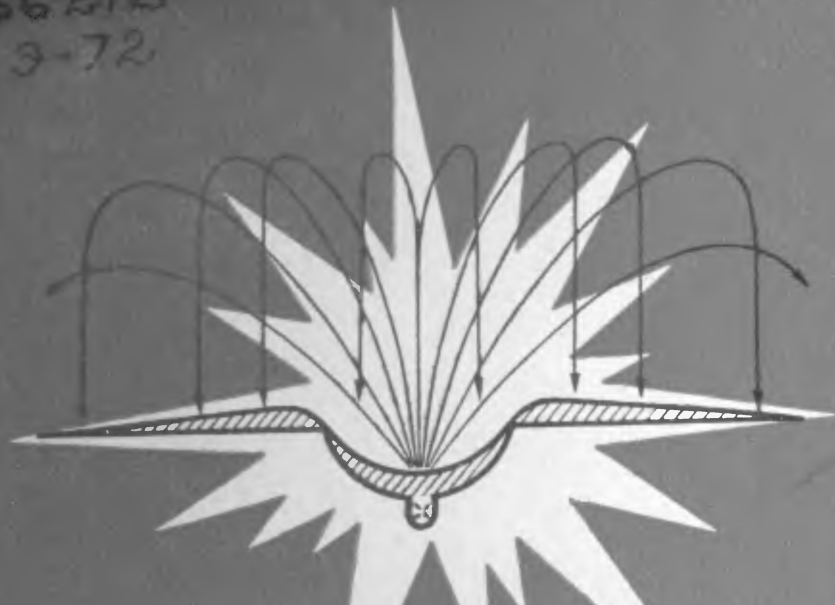


Цена 50 коп.



562.2
3-72



662.2

9-72

Б. А. Эпов
Лауреат Государственной премии
доцент, полковник-инженер в отставке

ОСНОВЫ ВЗРЫВНОГО ДЕЛА

(Пособие)

200397



Ордена Трудового Красного Знамени
ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СССР
МОСКВА — 1974

ВВЕДЕНИЕ

Использование колоссальной энергии, заключенной во взрывчатых веществах (ВВ), находит все большее применение в различных областях техники. С помощью взрыва добывают полезные ископаемые, осуществляют строительство каналов, выемок, плотин (дамб), ведут разведку недр Земли, штампуют и сваривают металлы, разрушают (сносят) ненужные сооружения и т. п.

Энергия взрыва широко используется войсками в различных средствах поражения (артиллерийских, авиационных, инженерных и морских боеприпасах) и при устроении заграждений.

Взрыв позволяет получать большие скорости (до 14 км/сек) и давления (до 10—15 млн. атмосфер или 10—15 тыс. т/см²) для научных исследований. При этом увеличивается плотность твердого тела в три раза и более, изменяются его электронные оболочки, кристаллическая структура, физические и химические свойства.

Применяя взрывчатые вещества, содержащие в весьма малых объемах большой запас потенциальной энергии, можно с малыми затратами сил и времени на подготовительные работы выполнить колоссальную механическую работу в очень короткие сроки. Например, образование выемки при строительстве железной дороги через Бархатный перевал на Дальнем Востоке было выполнено за 3½ месяца, что ускорило ввод дороги в эксплуатацию на 2 года по сравнению со временем, необходимым при применении соответствующих землеройных механизмов.

Первым взрывчатым веществом был дымный (черный) порох, появившийся в Европе в XIII веке и быстро нашедший применение сначала в стрелковом оружии, за-

тем в артиллерии, а с XVI века для добычи полезных ископаемых. В течение почти 600 лет дымный порох был единственным взрывчатым веществом. В XIX веке с развитием химии были получены другие взрывчатые вещества, называемые в настоящее время бризантными. Они более безопасны при обращении с ними, обладают большей мощностью и большей стойкостью при хранении.

В 1832 г. француз Браконо получил пироксилин из древесины, а в 1846 г. немец Шенбейн — его же из ваты. В 1847 г. итальянец А. Собrero изобрел жидкий нитроглицерин, на основе которого русский академик Н. Н. Зинин совместно с В. Ф. Петрушевским разработали динамиты, применяющиеся в различных рецептурах и в наше время.

Во второй половине XIX века были получены пикриновая кислота, тротил, аммиачно-селитренные и другие вещества, а в XX веке — более мощные взрывчатые вещества, такие, как гексоген, тэн, азид свинца и, наконец, ядерные взрывчатые вещества.

Развитие ВВ шло в направлении получения веществ, обладающих меньшей чувствительностью и большей стойкостью. Однако бризантные взрывчатые вещества не взрывались от искры и луча пламени, достаточных для дымного пороха, и применять их стали лишь тогда, когда шведский промышленник А. Нобель предложил в 1867 г. использовать для этого гремучую ртуть, заключив ее в медную гильзу, т. е., по сути дела, современный капсюль-детонатор.

Гремучая ртуть была открыта Говардом еще в 1799 г., но не применялась из-за большой опасности в обращении и изготовлении.

Для получения бризантных взрывчатых веществ необходима азотная кислота. Хотя масштабы применения этих ВВ неуклонно росли, дефицитность азотной кислоты существенно тормозила их производство. Азотная кислота получалась из натриевой селитры, экспортировавшейся из Чили, где были сосредоточены мировые запасы этого сырья.

Лишь в 1913 г. немец Габер изобрел синтез аммиака непосредственно из атмосферного воздуха, а взаимодействие аммиака на этом же заводе с кислородом и водой дало азотную кислоту; последняя, взаимодействуя с аммиаком, превращается в аммиачную селитру, которая

в смеси с различными добавками представляет собой хорошее и дешевое взрывчатое вещество.

Таким образом, была получена практически неограниченная база для производства взрывчатых веществ. Но поскольку для получения всех ВВ, кроме аммиачно-селитренных, как правило, необходимы продукты перегонки нефти или каменного угля, требующиеся также для многих нужд народного хозяйства, то количественное производство этих ВВ и стоимость их не могут идти в сравнение с возможностями аммиачно-селитренных взрывчатых веществ.

Таким образом, развитие химии, изобретение капсюля-детонатора и открытие синтеза аммиака создали возможность массового применения энергии взрыва как для народнохозяйственных, так и для военных целей.

Параллельно с развитием взрывчатых веществ совершенствовались средства и способы взрывания.

Пороховые дорожки и сосисы (матерчатые или кожаные трубки, заполненные тем же дымным порохом) были заменены огнепроводным (бикфордовым) шнуром, который был предложен англичанином Бикфордом в 1831 г. и применяется в настоящее время с необходимыми улучшениями его.

В 1812 г. русский ученый П. Л. Шиллинг для взрывания дымного пороха предложил электрический запал, использовав в качестве источника тока вольтов столб; затем академик Б. С. Якоби усовершенствовал как запал, так и источник для получения тока в полевых условиях. Этим было положено начало широкому применению так называемого электрического способа взрывания, совершенствование которого связано с именами Е. В. Антулаева, Л. И. Лурье (Россия) и И. К. Дрекопфа (Германия).

В последней четверти XIX века появились детонирующие шнуры, в которых вместо дымного пороха, содержащегося в огнепроводном (бикфордовом) шнуре, использовалось какое-либо бризантное взрывчатое вещество.

Практическое применение энергии взрыва явилось толчком и для разработки теоретических вопросов, связанных как с процессом взрывчатого превращения, так и с действием взрыва на окружающую среду.

Впервые теория взрывчатого превращения (теория детонации) была сформулирована в 1891 г. профессором Михельсоном (Россия), а затем Чепменом (Англия) и в 1905 г. Жуге (Франция). Наиболее мощное развитие теоретические исследования в области взрывчатого превращения и его действия получили в 40-х годах этого столетия. Большой вклад в исследования внесли советские ученые академики Н. Н. Семенов, М. А. Лаврентьев, Ю. Б. Харитон, Я. Б. Зельдович, Л. Д. Ландау, Л. И. Седов, М. А. Садовский, профессора А. Ф. Беляев, К. К. Андреев, О. Е. Власов, Г. И. Покровский и другие.

Одновременно с развитием ВВ и средств и способов взрывания расширялась область их применения и совершенствовались методы взрывных работ. В этом направлении много труда и энергии вложили ученые России М. М. Боресков, Черниловский-Сокол, М. М. Фролов, В. К. Кочмержевский и другие, а также советские ученые профессор М. Я. Сухаревский, В. А. Асонов, академик Н. В. Мельников, М. М. Докучаев, Г. П. Демидюк и другие.

Большую роль в совершенствовании взрывчатых веществ и технологии их производства сыграли Н. Н. Зинин, генерал В. Ф. Петрушевский, полковник А. Р. Шуляченко, профессора П. М. Чельцов, А. В. Сапожников, Н. Н. Солонина, Б. Д. Росси и Л. В. Дубнов.

Глава I

ВЗРЫВ И ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА

§ 1. Понятие о взрыве

Взрывом принято называть крайне быстрое выделение большого количества энергии, связанное с внезапным изменением состояния вещества, сопровождаемое разрушением и разбрасыванием окружающей среды, возникновением и распространением в ней так называемой ударной волны.

Выделение энергии происходит главным образом в результате образования большого количества тепла при переходе начальной системы с малой энергией связи между ее частицами в систему с частицами, энергия связи которых больше. Из физики известно, что переход системы из менее устойчивого состояния в более устойчивое всегда сопровождается выделением кинетической энергии. Увеличение же кинетической энергии движущихся частиц эквивалентно повышению их температуры.

Возможность получения взрывной реакции у веществ с малой энергией внутренних связей хорошо иллюстрируется рис. 1.1: при больших и малых массовых числах энергия связи нуклонов меньше. Отсюда вытекают два возможных пути получения ядерного взры-

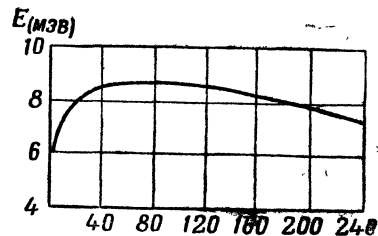


Рис. 1.1. Энергия связи нуклонов в зависимости от массового числа

вчатого превращения: делением тяжелых ядер или синтезом легких.

Следовательно, реакции, сопровождающиеся явлением взрыва, всегда будут экзотермическими.

При химическом взрывчатом превращении, свойственном обычным ВВ, когда нарушаются связи атомов молекулы, происходит экзотермическое превращение этих веществ в другие, более устойчивые, преимущественно газообразные вещества. При этом выделяется около 1000 ккал тепла с 1 кг ВВ.

При ядерном взрывчатом превращении (ядерном взрыве) нарушаются не внутримолекулярные, а внутриядерные связи и соответственно выделяется большое количество энергии. Так, например, при делении всех ядер, содержащихся в 1 кг урана, должно выделяться около $2 \cdot 10^{10}$ ккал тепла.

Особо от этих двух видов взрывчатого превращения находится явление взрыва, при котором не происходит ни химической, ни ядерной реакции, а причиной взрыва является большое давление газообразных продуктов, образующихся внутри герметически закрытого сосуда. В этом случае происходит «взрыв», подобный взрывам паровых котлов и баллонов со сжатым газом. Основанные на этом принципе системы в виде патронов «кардокс», «гидрокс» и т. п. применяются в шахтах, весьма опасных по газу или пыли, где недопустим взрыв, сопровождающийся выделением пламени.

Количество выделяемой энергии зависит от скорости, быстроты этого процесса, ибо скорость выделения энергии (тепла) является вторым обязательным условием взрывной реакции.

Действительно, при сгорании, например, 1 кг каменного угля выделяется 7—8 тыс. ккал тепла. Но сгорание угля, идущее по поверхностным слоям, прогрев внутренних слоев и подвод кислорода происходят настолько медленно, что образовавшееся тепло успевает отводиться в окружающую среду и не может выполнить механическую работу.

При взрывчатом превращении обычных взрывчатых веществ, дающих всего около 1000 ккал/кг, реакция в их массе идет настолько быстро (несколько километров в секунду), что тепло не успевает отводиться в окружающую среду, а газообразные продукты такой экзотер-

мической реакции (продукты взрыва) бывают нагреты до 2,5—4,5 тыс. градусов.

Скорость протекания реакции обуславливается тем, что в самой массе взрывчатого вещества содержится достаточное количество кислорода, необходимое для превращения исходного вещества в газообразные продукты взрыва.

Наличие газообразных продуктов реакции — третье обязательное условие явления взрыва. Объем этих продуктов в сотни раз больше объема исходного вещества. При сильном нагреве их и крайне быстром образовании в этих продуктах взрыва, находящихся в начальный момент в объеме исходного вещества, создается давление в десятки и сотни тысяч атмосфер. В результате газообразные продукты взрыва, стремительно расширяясь, действуют на окружающую среду в виде мощного удара, возбуждая в ней возникновение ударной волны и производя разрушение, дробление и разбрасывание этой среды.

Значение газообразных продуктов можно видеть на примере термита, реакция которого и экзотермична, и быстропротекаема, но при полном отсутствии газообразных продуктов. И явления взрыва при этом не наблюдаются.

Таким образом, можно сделать вывод, что явление взрыва возможно при наличии трех обязательных факторов: экзотермичности реакции, весьма большой скорости ее протекания и большого давления газообразных продуктов, которые в процессе расширения совершают механическую работу.

Мощность, получаемая при взрыве, измеряется колоссальными величинами. Например, при взрывчатом превращении 1 кг тротила выделяется 1000 ккал тепла, которые эквивалентны 427 000 кдж. При скорости детонации для тротила 6900 м/сек и длине тротилового заряда 25 см детонация его закончится в течение $0,25 : 6900 = 0,000036 = 36$ микросекунд.

Тогда мощность, развиваемая 1 кг тротила за этот промежуток времени, будет равна

$$\frac{427000}{0,000036} = 11\,900\,000\,000 \text{ кдж/сек} = 158 \cdot 10^6 \text{ л. с.}$$

Однако мощность взрыва лучше вычислять не по времени, необходимому на детонацию всего заряда ВВ, а по времени расширения продуктов взрыва до объема, соответствующего атмосферному давлению; расширение до такого объема по результатам скоростных съемок взрывного процесса протекает в течение нескольких миллисекунд. В этом случае мощность 1 кг тротила выразится величиной более миллиона лошадиных сил.

Но и эта мощность в действительных условиях полностью не может быть реализована из-за кратковременности ее действия, инерции масс, на которые она действует, а также вследствие больших непроизводительных потерь на нагревание окружающей среды, на излишнее измельчение и разбрасывание ее, на остаточное тепло в продуктах взрыва после их окончательного расширения и на неизбежные химические потери.

В итоге полезная механическая работа часто не превышает 1—2%, а при взрывах в твердой среде, по Г. И. Покровскому, равна примерно 8—9%. Однако огромное количество потенциальной энергии, заключенное в исходном ВВ, является причиной все более расширяющегося масштаба использования энергии взрыва.

§ 2. Процесс взрывчатого химического превращения

Химическое взрывчатое превращение, свойственное обычным взрывчатым веществам, может протекать в двух формах: взрывного горения и детонации.

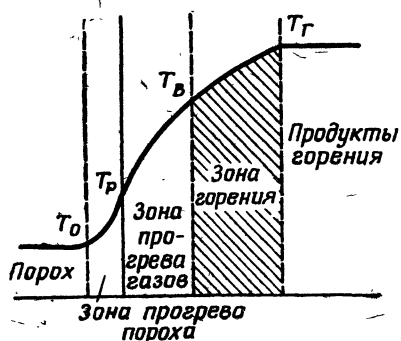


Рис. 1.2. Схема процесса взрывного горения

Взрывное горение — довольно сложный тепловой конвекционный процесс (рис. 1.2), когда некоторый слой взрывчатого вещества под воздействием тепла продуктов горения испаряется при температуре T_p , пары дополнительно прогреваются до температуры T_b , при которой и воспламеняются; в процессе сгорания темпе-

ратура в зоне горения продолжает повышаться до тех пор, пока не произойдет полное их сгорание в продукты взрыва. Тепло, заключенное в продуктах взрыва, взаимодействуя с зоной испарения, поддерживает непрерывность процесса.

Такой процесс распространяется по массе взрывчатого вещества со скоростями нескольких метров в секунду. Если взрывчатое вещество будет заключено в прочную оболочку и выделяющиеся в процессе взрывного горения продукты взрыва смогут существенно повысить давление внутри оболочки, то скорость взрывного горения соответственно повышается до десятков, а иногда и сотен метров в секунду и весь процесс взрывного горения может перейти в детонацию.

Форма взрывного горения свойственна дымным и бездымным порохам.

Детонация — такой процесс, при котором взрывчатое химическое превращение возбуждается ударной волной, движущейся по массе ВВ со сверхзвуковой постоянной скоростью. Во фронте волны в веществе скачком меняются давление (рис. 1.3), плотность и температура. Сжатие и нагревание химически активного вещества вызывают быструю реакцию, протекающую за фронтом ударной волны в зоне химических реакций, где образовавшиеся продукты реакции и тепло поддерживают высокое давление, питающее ударную волну и восполняющее ее потери.

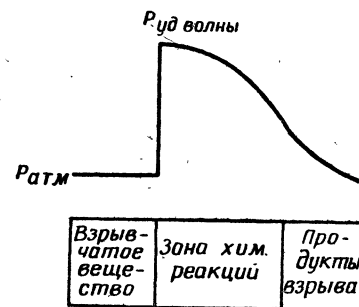


Рис. 1.3. Схема процесса детонации

Ударная волна с прилегающей к ней зоной химических реакций называется детонационной волной. При достаточности давления в зоне химических реакций детонационная волна будет двигаться по массе ВВ с постоянной для каждого вещества при данных условиях скоростью, измеряемой тысячами метров в секунду. Если же в зоне химических реакций давление будет быстро

падать, то ударная волна постепенно ослабевает, замедляется и затухает.

Взрывчатое превращение в форме детонации свойственно всем взрывчатым веществам, кроме порохов.

§ 3. Начальный импульс

Чтобы возбудить детонацию во взрывчатом веществе, необходимо внешнее воздействие достаточной мощности, называемое начальным импульсом.

Воздействие начального импульса и возбуждение во взрывчатом веществе взрывчатого превращения называется иницированием. Для иницирования могут быть использованы различные виды энергии:

- тепловая (искра, пламя или нагрев);
- механическая (удар, накол, трение);
- электрическая (искровой разряд);
- химическая (быстропротекающая реакция с интенсивным выделением тепла);
- энергия взрыва другого взрывчатого вещества.

Выбор того или иного вида энергии для начального импульса и его интенсивность зависят от свойств взрывчатого вещества, определяющих его чувствительность. Например, для возбуждения взрывчатого превращения в дымном порохе достаточно искры или луча пламени, тогда как для взрывания, например, тротила необходим сильный удар, создаваемый взрывом другого более чувствительного ВВ.

Для возбуждения цепной реакции деления в ядерном ВВ необходим взрыв бризантного ВВ, а для возбуждения реакции синтеза — взрыв ядерного ВВ с реакцией деления.

Чувствительность к начальному импульсу неодинакова не только у разных взрывчатых веществ, но и у одного и того же взрывчатого вещества при различном его физическом состоянии. Порошкообразное взрывчатое вещество требует, как правило, начальный импульс меньшей мощности, чем то же вещество, но в прессованном или литом состоянии.

Современные взрывчатые вещества, находящие практическое применение при производстве взрывных работ для возбуждения в них процесса детонации, как правило, требуют начального импульса в виде взрыва небольшого

количества другого взрывчатого вещества, обладающего повышенной чувствительностью (так называемого иницирующего ВВ).

§ 4. Устойчивость детонации

Каждое взрывчатое вещество имеет свою оптимальную скорость распространения детонации, которая зависит от химической структуры и физического состояния взрывчатого вещества, степени измельчения его частиц, плотности его массы и т. п.

Оптимальная и постоянная скорость детонации устанавливается во взрывчатом веществе не мгновенно, а в течение очень короткого промежутка времени, называемого периодом разгона детонации. Длительность этого периода зависит от свойств ВВ, мощности примененного начального импульса, т. е. количества энергии, переданной взрывчатому веществу начальным импульсом и поверхности соприкосновения носителя начального импульса (инициатора) с массой взрывчатого вещества.

Чем больше энергии, выделяемая начальным импульсом, и поверхность его соприкосновения с возбуждаемым ВВ, тем больше частиц взрывчатого вещества будет одновременно вовлечено во взрывчатое превращение и, следовательно, тем больше будет выделено тепла, т. е. возрастет давление продуктов взрыва, что влияет на развитие процесса детонации.

Если мощность начального импульса будет мала и окажется недостаточной для развития оптимальной скорости детонации, то взрывчатое разложение пойдет с меньшей, непостоянной, скоростью, как правило, скорость эта будет постепенно уменьшаться и в конце концов детонация затухнет (произойдет неполная детонация взрывчатого вещества) или же взрывчатое превращение может перейти в обычное горение (произойдет выгорание взрывчатого вещества, дефлаграция).

При достаточности энергии в начальном импульсе детонация при достижении ею оптимальной и постоянной для данных условий скорости будет самопроизвольно распространяться по взрывчатому веществу на любое расстояние. Такой устойчивый характер детонации возможен, если диаметр взрывчатого вещества равен кри-

тическому диаметру $d_{кр}$, свойственному данному взрывчатому веществу при данных условиях, или больше его.

Дело в том, что движение фронта детонационной волны поддерживается высоким давлением газообразных продуктов взрыва, образующихся в зоне химических реакций; однако при высоком давлении практически сразу же за фронтом волны начинается разброс реагирующего (но не полностью еще прореагировавшего) вещества в стороны за пределы контура взрывчатого вещества.

Если время разброса τ больше времени химической реакции $t_{х.р.}$, в течение которого все или почти все взрывчатое вещество прореагирует и превратится в продукты взрыва, то давление в детонационной волне сохраняется достаточным для поддержания ее движения и детонация является устойчивой; если же время разброса меньше времени химической реакции, то давление в зоне химических реакций быстро падает, становится недостаточным для питания фронта детонационной волны и детонация затухает.

На рис. 1.4 показано графическое изображение этого положения, впервые изложенного в 1940 г. советским академиком Ю. Б. Харитоном.

Величина критического диаметра для каждого взрывчатого вещества зависит от глубины зоны химических

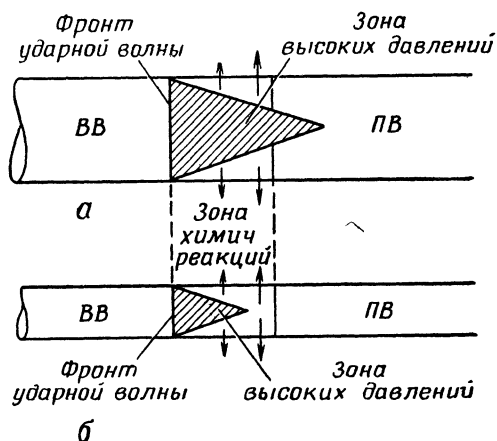


Рис. 1.4. Схема устойчивой и неустойчивой детонации:

а — детонация устойчивая; б — детонация неустойчивая

реакций и скорости разлета продуктов взрыва, которые являются функцией химического состава и физического состояния взрывчатого вещества.

Экспериментально установлены следующие величины критических диаметров (в мм): тэн — 3,2; гексоген — 4,4; тетрил — 7; пикриновая кислота — 9; тротил прессованный — 10; тротил литой — 30; аммониты — 15—30.

§ 5. Взрывчатые вещества

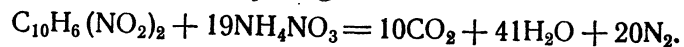
Взрывчатыми веществами (ВВ) называются неустойчивые химические соединения или смеси, чрезвычайно быстро переходящие под воздействием определенного импульса в другие устойчивые вещества с выделением значительного количества тепла и большого объема газообразных продуктов, которые находятся под очень большим давлением и, расширяясь, выполняют ту или иную механическую работу.

Современные взрывчатые вещества представляют собой или химические соединения (гексоген, тротил и др.), или механические смеси (аммиачно-селитренные и нитроглицериновые ВВ). Химические соединения получают обработкой азотной кислотой (нитрованием) различных углеводородов, т. е. введением в молекулу углеводорода таких веществ, как азот и кислород. Механические смеси изготавливаются смешением веществ, богатых кислородом, с веществами, богатыми углеродом. В обоих случаях кислород находится в связанном состоянии с азотом или хлором (исключение составляют оксидквиты, где кислород находится в свободном несвязанном состоянии).

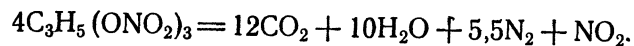
В зависимости от количественного содержания кислорода во взрывчатом веществе окисление горючих элементов в процессе взрывчатого превращения может быть полным или неполным, а иногда кислород может даже оставаться в избытке. В соответствии с этим различают взрывчатые вещества с избыточным (положительным), нулевым и недостаточным (отрицательным) кислородным балансом.

Наиболее выгодными являются взрывчатые вещества, имеющие нулевой кислородный баланс, так как углерод полностью окисляется до CO_2 , а водород до H_2O , в результате чего выделяется максимально возможное для данного взрывчатого вещества количество тепла. При-

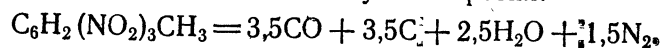
мером такого взрывчатого вещества может служить ди-
нафталит, представляющий собой смесь аммиачной се-
литры и динитронафталиа:



При избыточном кислородном балансе остающийся
неиспользованным кислород вступает в соединение с азо-
том, образуя весьма ядовитые окислы азота, которые по-
глощают часть тепла, что уменьшает количество энер-
гии, выделяемой при взрыве. Примером взрывчатого
вещества с избыточным кислородным балансом является
нитроглицерин:



С другой стороны, при недостаточном кислородном
балансе не весь углерод переходит в углекислый газ;
часть его окисляется только до окиси углерода (CO),
которая также ядовита, хотя и в меньшей степени, чем
окислы азота. Кроме того, часть углерода может остать-
ся в твердом виде. Оставшийся твердым углерод и непол-
ное его окисление только до CO ведут к уменьшению
выделяемой при взрыве энергии. Действительно, при
образовании одной грамм-молекулы окиси углерода вы-
деляется тепла только 26 ккал/моль, тогда как при обра-
зовании грамм-молекулы углекислого газа 94 ккал/моль.
Примером взрывчатого вещества с отрицательным кис-
лородным балансом может служить тротил:



В реальных условиях, когда продукты взрыва совер-
шают механическую работу, происходят дополнительные
(вторичные) химические реакции и действительный со-
став продуктов взрыва несколько отличается от приве-
денных расчетных схем, а количество ядовитых газов
в продуктах взрыва изменяется.

§ 6. Классификация взрывчатых веществ

Взрывчатые вещества могут находиться в газообраз-
ном, жидком и твердом состоянии или в виде смесей
твердых или жидких веществ с твердыми или газообраз-
ными веществами.

В настоящее время, когда число различных взрывча-
тых веществ весьма велико (тысячи наименований), де-
ление их только по физическому состоянию совершенно
недостаточно. Такое деление ничего не говорит ни о ра-
ботоспособности (мощности) взрывчатых веществ, по
которой можно было бы судить об области применения
того или иного из них, ни о свойствах взрывчатых ве-
ществ, по которым можно было бы судить о степени опас-
ности их в обращении и при хранении. Поэтому в настоя-
щее время приняты три другие классификации взрывча-
тых веществ.

По первой классификации все взрывчатые вещества
делятся по их мощности и области применения на:

1. Иницирующие взрывчатые вещества
(гремучая ртуть, азид свинца, тенерес).

2. Бризантные взрывчатые вещества:

а) повышенной мощности (тэн, гексоген, тетрил);

б) нормальной мощности (тротил, пикриновая кисло-
та, пластиты, тетритол, скальные аммониты, аммониты,
содержащие 50—60% тротила, и студенистые нитрогли-
цериновые ВВ);

в) пониженной мощности (аммиачно-селитренные
ВВ, кроме упомянутых выше, порошкообразные нитро-
глицериновые ВВ и хлоратиты).

3. Метательные взрывчатые вещества
(дымные пороха и бездымные пироксилиновые и нитро-
глицериновые пороха).

В этой классификации приведены, конечно, не все
наименования взрывчатых веществ, а только те из них,
которые преимущественно применяются на взрывных ра-
ботах. В частности, под общим наименованием аммиач-
но-селитренных ВВ содержатся десятки различных
составов, имеющих каждый свое отдельное название.

Вторая классификация делит взрывчатое вещество по
их химическому составу:

1. Нитросоединения; в веществах этого вида
содержатся две — четыре нитрогруппы (NO_2); к ним от-
носятся тетрил, тротил, гексоген, тетритол, пикриновая
кислота и динитронафталит, входящий в составы неко-
торых аммиачно-селитренных взрывчатых веществ.

2. Нитроэфиры; в веществах этого вида содержит-
ся несколько нитратных групп (ONO_2). К ним относятся
тэн, нитроглицериновые ВВ и бездымные пороха.

200324



3. Соли азотной кислоты — вещества, содержащие группу NO_3 , основным представителем которых является аммиачная (аммонийная) селитра NH_4NO_3 , входящая в состав всех аммиачно-селитренных взрывчатых веществ. К этой группе также относятся калиевая селитра KNO_3 — основа дымных порохов, и натриевая селитра NaNO_3 , входящая в состав нитроглицериновых ВВ.

4. Соли азотистоводородной кислоты (HN_3), из которых применяется только азид свинца.

5. Соли гремучей кислоты (HONC), из которых применяется только гремучая ртуть.

6. Соли хлорноватой кислоты, так называемые хлоратиты и перхлоратиты, — взрывчатые вещества, в которых основным компонентом — носителем кислорода является хлорат или перхлорат калия (KClO_3 и KClO_4); сейчас они применяются очень редко. Обособленно от этой классификации находится взрывчатое вещество, называемое оксиликвитом; некоторые сведения о нем приводятся в конце главы.

По химической структуре взрывчатого вещества можно судить и об основных его свойствах: чувствительности, стойкости, составе продуктов взрыва, следовательно, о мощности вещества, взаимодействии его с другими веществами (например, с материалом оболочки) и ряде других свойств.

От характера связи нитрогрупп с углеродом (в нитросоединениях и нитроэфирах) зависят чувствительность взрывчатого вещества к внешним воздействиям и их стойкость (сохранение взрывчатых свойств) в условиях хранения. Например, нитросоединения, в которых азот группы NO_2 связан непосредственно с углеродом (C—NO_2), менее чувствительны и более стойки, чем нитроэфиры, у которых азот связан с углеродом через один из кислородов группы ONO_2 (C—O—NO_2); такая связь менее прочна и делает ВВ более чувствительным и менее стойким.

Число нитрогрупп, содержащихся в составе ВВ, характеризует мощность последнего, а также степень его чувствительности к внешним воздействиям. Чем больше нитрогрупп в молекуле ВВ, тем оно мощнее и чувствительнее. Так, например, моонитротолуол (имеющий только одну нитрогруппу) является маслянистой жидко-

стью, не обладающей взрывчатыми свойствами; динитротолуол, содержащий две нитрогруппы, — уже взрывчатое вещество, но со слабыми взрывчатыми характеристиками; и, наконец, тринитротолуол (тротил), имеющий три нитрогруппы, представляет собой вполне удовлетворительное по мощности взрывчатое вещество.

Динитросоединения применяются ограниченно; в большинстве современных взрывчатых веществ содержатся три или четыре нитрогруппы.

Присутствие некоторых других групп в составе ВВ также влияет на его свойства. Например, дополнительный азот (N_3) в гексогене повышает чувствительность последнего. Метильная же группа (CH_3) в тротиле и тетриле способствует тому, что эти ВВ не взаимодействуют с металлами, тогда как гидроксильная группа (OH) в пикриновой кислоте является причиной легкого взаимодействия вещества с металлами (кроме олова) и появления так называемых пикратов того или иного металла, которые представляют собой взрывчатые вещества, весьма чувствительные к удару и трению.

Взрывчатые вещества, полученные путем замещения водорода металлом в азотистоводородной или гремучей кислоте, обуславливают крайнюю непрочность внутримолекулярных связей и, следовательно, особую чувствительность этих веществ к механическим и тепловым внешним воздействиям.

На взрывных работах в народном хозяйстве принята третья классификация взрывчатых веществ — по допустимости их использования в тех или иных условиях. По этой классификации различают следующие три основные группы:

1. ВВ, допущенные для открытых работ.

2. ВВ, допущенные для подземных работ в условиях, безопасных по возможности взрыва рудничного газа и угольной пыли.

3. ВВ, допущенные только для условий, опасных по возможности взрыва газа или пыли (предохранительные ВВ).

Критерием отнесения взрывчатого вещества к той или иной группе служат количество выделяющихся при взрыве ядовитых (вредных) газов и температура продуктов взрыва. Так, тротил из-за большого количества образующихся при его взрыве ядовитых газов может применять-

ся только на открытых работах (строительство и карьерная добыча полезных ископаемых), тогда как аммиачно-селитренные ВВ допускаются и на открытых, и в подземных работах в условиях, неопасных по газу и пыли. Для подземных же работ, где возможно наличие взрывающихся газо- и пылевоздушных смесей, допускаются только ВВ, имеющие пониженную температуру продуктов взрыва.

§ 7. Основные свойства взрывчатых веществ

Основные свойства взрывчатых веществ определяются взрывчатыми и физико-химическими характеристиками.

Взрывчатыми характеристиками являются:

- теплота взрыва;
- температура продуктов взрыва;
- скорость детонации;
- бризантность;
- работоспособность (фугасность).

Физико-химическими характеристиками являются:

- чувствительность к механическим и тепловым воздействиям;
- химическая и физическая стойкость;
- плотность (вес в единице объема).

Теплота и температура взрыва

Из физики известно, что энергия и тепло, выделяемые в процессе реакции, находятся в прямой зависимости между собой, поэтому количество выделяемой при взрыве теплоты является весьма важной энергетической характеристикой взрывчатого вещества, определяющей его работоспособность. Чем больше выделено теплоты, тем выше температура нагрева продуктов взрыва, тем больше давление, а следовательно, и воздействие продуктов взрыва на окружающую среду.

Теплота взрыва зависит от химического состава взрывчатого вещества. Она вычисляется теоретически по закону Гесса или определяется экспериментально в специальных толстостенных калориметрических бомбах по количеству тепла, поглощенного массой бомбы при взрыве внутри ее определенного количества взрывчатого вещества.

Зная теплоту взрыва, легко вычислить и температуру взрыва, исходя из соотношения

$$T^{\circ} = \frac{Q}{C_V},$$

где — C_V — теплоемкость продуктов взрыва с учетом ее изменения от температуры.

Скорость детонации

От скорости детонации взрывчатого вещества зависит скорость процесса взрывчатого превращения, а следовательно, и время, в течение которого выделяется вся энергия, заключенная во взрывчатом веществе. А это вместе с количеством тепла, выделившегося при взрыве, характеризует мощность, развиваемую взрывом; следовательно, дает возможность правильно выбрать взрывчатое вещество для выполнения той или иной механической работы. Для перебивания, например, металла, целесообразнее получить возможный максимум энергии в наикратчайший промежуток времени, тогда как для выброса грунта из пределов заданной выемки (воронки) эту же энергию лучше получить за более длительный отрезок времени, подобно тому как при нанесении резкого удара по доске можно ее перебить, а приложив ту же энергию постепенно только сдвинуть (отбросить).

Скорость детонации для одного и того же взрывчатого вещества может быть различной и зависит:

- от химического состава и структуры молекулы;
- от плотности взрывчатого вещества (табл. 1.1);

Таблица 1.1

Влияние плотности взрывчатого вещества на скорость его детонации

Взрывчатое вещество	Плотность, г/см ³				
	1,0	1,3	1,4	1,5	1,6
Тротил	4720	6025	6315	6610	6960
Гексоген флегматизированный 5% парафина	—	6875	7315	7690	7995

— от диаметра массы взрывчатого вещества, который должен быть не менее критического (§ 4); однако при

увеличении диаметра ВВ выше критического и до величины, называемой предельным диаметром, скорость детонации постепенно возрастет (рис. 1.5); дальнейшее увеличение диаметра уже не сказывается на скорости детонации.

На скорость детонации влияют также величина частиц (дисперсность) порошкообразных и степень увлажнения гигроскопических взрывчатых веществ. Чем меньше

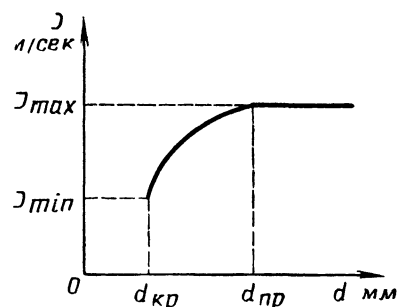


Рис. 1.5. Изменение скорости детонации в зависимости от диаметра массы взрывчатого вещества

частицы вещества, тем больше скорость его детонации, и наоборот, чем больше влаги содержится в частицах взрывчатого вещества, тем меньше скорость его детонации, которая постепенно достигает своих неустойчивых форм и затухает или даже совсем не развивается.

Скорость детонации определяется теоретически и проверяется экспериментально различными методами. Наиболее точными являются методы с применением осциллографов или специальных фоторегистров.

Объем и состав продуктов взрыва

Объем продуктов взрыва является характеристикой, существенно влияющей на работоспособность взрывчатого вещества. Чем больше объем расширяющихся продуктов взрыва, тем больше их воздействие на окружающую среду.

Взрывчатые характеристики некоторых ВВ

Наименование взрывчатых веществ	Скорость детонации, м/сек	Теплота взрыва, ккал/кг	Температура продуктов взрыва, °С	Объем продуктов взрыва, л/кг	Бризантность по Гессу, мм	Работоспособность по Трауцию, см ²
Иницирующие ВВ						
Гремучая ртуть	4800	410	4300	315	—	—
Азид свинца	4800	380	4080	310	—	—
Тенерес	1600	410	2800	440	—	—
Бризантные ВВ повышенной мощности						
Тэн	8400	1410	1410	780	24	500
Гексоген	8380	1390	3350	900	24	490
Тетрил	7700	1095	3915	750	18—20	390
Бризантные ВВ нормальной мощности						
Тротил	6900	1000	3050	750	16	235
Пикриновая кислота	7200	1030	3320	685	18	330
Динамит 62%	6000	1210	4040	630	16	350
Бризантные ВВ пониженной мощности						
Аммонит 80/20	5000	950	2300	860	10—12	350
Динамоны	2500—4500	720—890	1940—2750	900—950	12—14	320—360
Аммонал	5030	1000	2440	800	16	360

Из табл. 1.2 видно, что объем продуктов взрыва у бризантных взрывчатых веществ колеблется в меньших пределах, чем теплота взрыва и скорость детонации, а поэтому последние и влияют главным образом на мощность взрывчатого вещества. Весьма мал объем продуктов взрыва у иницирующих ВВ, поэтому нецелесообразно применять их для получения механической работы.

Состав продуктов взрыва обусловлен химическим составом взрывчатого вещества. Последнее, как правило, состоит из таких элементов, как углерод, водород, кислород и азот, а поэтому при взрыве превращается в следующие устойчивые продукты: CO_2 , H_2O , CO , N_2 , H_2 , O и C . В небольших количествах выделяются и некоторые другие продукты, в том числе ядовитые (§ 5); наличие или отсутствие ядовитых продуктов позволяет решать вопрос об области применения того или иного вещества.

При взрыве на открытом воздухе присутствие вредных газов в продуктах взрыва существенного значения не имеет, хотя, например, нельзя входить в воронку (выемку), образованную взрывом в грунте, сразу же после взрыва, так как неветрившиеся ядовитые газы могут вызвать отравление. При взрывах большого количества взрывчатого вещества (сотни и тысячи тонн) количество вредных газов становится уже весьма существенным и газовое облако может быть отнесено ветром на значительное расстояние с сохранением еще отравляющей способности.

При ведении взрывных работ в закрытых помещениях и под землей (в туннелях, шахтах, рудниках и т. п.) после каждого взрыва необходимо тщательно проветривать помещения и выработки, прежде чем допускать в них людей.

Условия, в которых происходит взрыв, также могут благоприятно или неблагоприятно влиять на количественное образование ядовитых газов. Например, присутствие влаги в окружающей взрывчатое вещество среде (обводненный грунт) способствует за счет реакции $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}_2$ более полному окислению углерода до CO_2 , уменьшая соответственно количество CO в продуктах взрыва. Бумажная оболочка, в которую обычно заключены шашки и патроны, наоборот, увеличивает количество CO в продуктах взрыва.

Объем и состав продуктов взрыва определяются расчетом и проверяются экспериментально взрывом некоторого количества взрывчатого вещества в специальных герметически закрывающихся стальных бомбах. Об объеме продуктов взрыва судят по давлению газов внутри бомбы, а о их составе — путем газового анализа пробы, взятой из бомбы.

Бризантность взрывчатого вещества

Бризантностью взрывчатого вещества называют его способность дробить прилегающую к нему среду (дерево, металл, горные породы и пр.).

Воздействие взрыва на окружающую среду отличается практически мгновенным скачком давления до весьма высоких его величин, но затем в связи с расширением продуктов взрыва давление в них быстро падает до атмосферного и ниже, вновь поднимаясь до атмосферного (рис. 1.6).

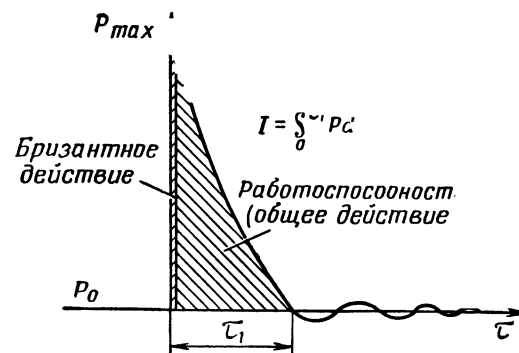
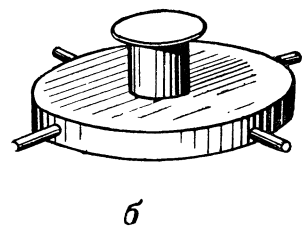
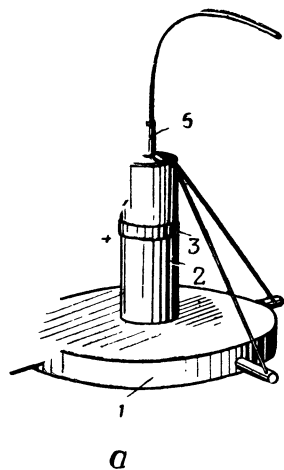


Рис. 1.6. График скачка и падения давления во времени при детонации взрывчатого вещества

Ввиду крайне малого промежутка времени, в течение которого поддерживается избыточное над атмосферным давление, действие взрыва имеет так называемый импульсный характер. Полный импульс соответствует полной работе взрыва и равен площади избыточного давления. Бризантному действию соответствует только малая часть импульса, расположенная в непосредственной близости к пиковому давлению, которое пропорционально квадрату скорости детонации и плотности взрывчатого вещества ($P = \kappa'_p D^2$). Следовательно, бризантность тем больше, чем больше эти значения.

Бризантность определяется пробой Гесса (проба обжатием свинцового цилиндрика) следующим образом: на стальную плиту (рис. 1.7) устанавливается свинцовый цилиндрок, имеющий высоту 60 мм и диаметр 40 мм; на цилиндрок сверху укладывается стальная пластинка



диаметром 41 мм и толщиной 10 мм. На пластинку ставится бумажный цилиндр диаметром 40 мм, заполненный 50 г порошкообразного взрывчатого вещества при его плотности 1 г/см³ (насыпается с легким подпрессовыванием до требуемой плотности). Давление взрыва, передаваемое через стальную пластинку, обжимает свинцовый цилиндр, придавая ему грибовидную форму. Разница между начальной и конечной высотами цилиндрика, измеренная в миллиметрах, и характеризует бризантность взрывчатого вещества.

Рис. 1.7. Проба Гесса по определению бризантности взрывчатого вещества:

а — перед взрывом; б — свинцовый цилиндр, обжатый взрывом; 1 — стальная плита; 2 — свинцовый цилиндр; 3 — стальная пластинка; 4 — взрывчатое вещество; 5 — инициатор взрыва (зажигательная трубка)

Работоспособность взрывчатого вещества

Работоспособность (фугасность) взрывчатого вещества проявляется в форме выброса грунта из воронок и зымонок, образовании полостей в грунтах и скальных породах и рыхлении их. Эта характеристика соответствует толному импульсу, величина которого определяется расчетом и может быть измерена в лабораторных условиях специальными пьезокварцевыми датчиками с осциллографами, баллистическими маятниками и т. п. Для определения работоспособности взрывчатого вещества обычно принята более доступная и простая проба в бомбе Трауцля, отливаемой из свинца в форме цилиндра диаметром 1 высотой 200 мм; по оси цилиндра оставляют канал диаметром 25 мм и глубиной 125 мм (рис. 1.8), в который

помещают 10 г взрывчатого вещества при плотно 1 г/см³, а все оставшееся свободным пространством засыпают кварцевым песком, прошедшим то со 144 отверстиями.

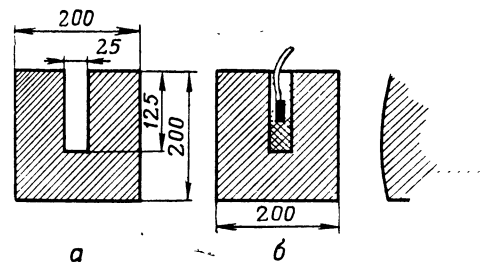


Рис. 1.8. Проба Трауцля по определению работоспособности взрывчатого вещества:
а — разрез свинцовой бомбы; б — разрезной бомбы; в — разрез бомбы после

После взрыва в бомбе образуется грушевидная полость, объем которой измеряют, заполняя точно измеренным количеством воды. Разность между этим объемом и первоначальным объемом канала, выраженная в кубических сантиметрах, и является отличительной характеристикой работоспособности (фугасности) взрывчатого вещества.

Чувствительность взрывчатого вещества

Чувствительность является одной из важнейших характеристик взрывчатого вещества; она определяет возможность и область практического использования данного вещества. Слишком большая чувствительность взрывчатого вещества делает его весьма опасным и неудобным в обращении. Например, йодистый азот настолько чувствителен, что взрывается от простого прикосновения к нему ногтем.

С другой стороны, слишком малая чувствительность взрывчатого вещества затрудняет возбуждение в его массе взрывчатого превращения простыми средствами, что также ограничивает его применение. Примером такого взрывчатого вещества является аммиачная селитра.

Кроме химических факторов (состав, число нитрогрупп, характер внутримолекулярных связей) на чув-

ствительность взрывчатого вещества влияют его физическое состояние, величина кристаллов (зерен вещества), а также наличие примесей.

По физическому состоянию современные взрывчатые вещества делятся на порошкообразные, прессованные, литые и порошкообразные с жидкостным заполнением промежутков между зернами (частицами) вещества. Литые вещества обладают наименьшей, а порошкообразные наибольшей чувствительностью к механическим воздействиям.

Уменьшение чувствительности взрывчатого вещества к механическим воздействиям наблюдается и при увеличении размеров зерен порошкообразного вещества.

Весьма существенно влияют на чувствительность к механическому внешнему импульсу различные примеси, могущие оказаться во взрывчатом веществе при небрежном обращении или хранении. Такие примеси, как песок, стекло, корунд, металлические опилки и т. п., повышают чувствительность взрывчатого вещества, а такие, как воск, парафин, вода и масло, наоборот, понижают ее.

Первые примеси называются сенсибилизаторами, и их наличие в массе взрывчатого вещества ограничивается при производстве жесткими нормами.

Вторые примеси называются флегматизаторами, и к некоторым более чувствительным взрывчатым веществам они добавляются специально, чтобы придать веществу достаточную безопасность при его производстве и обращении с ним. Например, при прессовании гексогена или тэна к ним добавляется около 5% парафина, а тэн, идущий на изготовление детонирующих шнуров, флегматизируется.

Повышение чувствительности взрывчатого вещества при наличии в нем сенсибилизирующих примесей объясняется концентрацией энергии на острых гранях кристаллов примеси при сжатии вещества от удара, что приводит к возникновению местных разогревов при меньшей силе удара.

Флегматизирующее действие примесей заключается в том, что флегматизатор обволакивает частицы взрывчатого вещества тонкой пленкой, которая смягчает удар частиц друг о друга и затрудняет разрушение их кристаллической решетки.

Таблица 1.3

Физико-химические характеристики взрывчатых веществ

Наименование взрывчатого вещества	Чувствительность к удару		Чувствительность к нагреванию, t° вспышки, °C	Чувствительность к винтовочной пуле	Стойкость при нагревании, °C	Стойкость к увлажнению	Стойкость к свету
	высота, см падения груза 2 кг	% взрывов при высоте падения 25 см, груза 2 кг					
Гремучая ртуть . . .	2	8,5—5,5 (груз 0,1 кг)	180	Взрывается	Разлагается при 50	Не взрывается при 10% влаги	—
Азид свинца	3—4	23—7 (груз 1 кг)	310	То же	Разлагается при 200	Не гигроскопичен	Медленно разлагается
Тенерес	11	18,2—12,5 (груз 1,4 кг)	276	То же	Разлагается при 50	Мало гигроскопичен	Разлагается
Тэн	28	100	215	То же	Разлагается при 141	Не гигроскопичен	Стоек
Гексоген	28	78—80	230	То же	Разлагается при 203	То же	То же
Тетрил	30	50—60	195	То же	Разлагается при 150	То же	То же
Тротил	60	4—12	290	Не взрывается	Стоек	То же	Темнеет с повышением
Пикриновая кислота	45	24—32	300	Взрывается	То же	Мало гигроскопичен	Стоек
Динамит 62%	25	80—100	205	То же		Не гигроскопичен	То же
Аммонит скальный № 1	—	20—30	—	Не взрывается	Стоек	Гигроскопичен	То же
Аммонит 80/20 (№ 6)	60—70	16—32	320	То же	То же	То же	То же
Аммонал (8% А) . .	—	8—10	310	То же	То же	То же	То же
Динамон	75—85	—	—	То же	То же	То же	То же

Чувствительность взрывчатого вещества к механическому воздействию (в виде удара) определяется обычно на специальных устройствах, называемых копрами, путем сбрасывания груза на навеску взрывчатого вещества, положенную на наковальню, и может характеризоваться:

— высотой сбрасывания груза определенного веса, при которой всегда происходит взрыв навески;

— процентом взрывов при сбрасывании одного и того же груза с одной и той же высоты.

Для инициирующих взрывчатых веществ устанавливаются верхний и нижний пределы чувствительности. Верхним пределом считается такая минимальная высота падения данного груза, при которой происходит 100% взрывов, а нижним пределом — такая максимальная высота, при которой не получается ни одного взрыва (0%).

Из табл. 1.3 видно, что инициирующие взрывчатые вещества обладают резко повышенной чувствительностью по сравнению со всеми прочими ВВ.

Чувствительность к трению для некоторых взрывчатых веществ устанавливается по углу отклонения маятника, при котором отсутствуют взрывы. Взрывчатые вещества, применяемые в войсках, испытываются на чувствительность к прострелу пуль из определенного оружия с определенного расстояния.

Чувствительность взрывчатого вещества к тепловому импульсу характеризуется температурой, при понижении которой на 5°С не происходит вспышки небольшой навески (0,05 г) взрывчатого вещества в течение 5-минутного нагревания ее в специальном двухстенном сосуде, заполненном сплавом Вуда; навеска в пробирке вводится в сплав, предварительно нагретый до требуемой температуры.

Температура вспышки позволяет судить о возможности использования данного вещества в условиях высоких температур, например при взрывании не полностью остывших козлов в доменных и мартеновских печах или при торпедировании нефтяных скважин на больших глубинах, где температура в скважине часто превышает 150°С.

Следует учитывать, что температура вспышки никак не характеризует степень воспламенения взрывчатого вещества от воздействия открытого пламени или искр,

что иногда необходимо знать. В этих случаях производят специальные испытания применительно к условиям применения.

Стойкость взрывчатого вещества

Стойкость взрывчатого вещества определяет возможность, длительность и сроки хранения, а также условия хранения и использования ВВ на взрывных работах. Стойкостью называется способность взрывчатого вещества сохранять в нормальных условиях хранения и применения постоянство своих физико-химических и взрывчатых характеристик. Взрывчатые вещества нестойкие, могут в определенных условиях снижать и даже полностью утрачивать способность к взрыву или же, наоборот, настолько повышать свою чувствительность, что становятся опасными в обращении и подлежат уничтожению. Они способны к саморазложению, а при известных условиях и к самовозгоранию, что при больших количествах этих веществ может привести к взрыву.

Следует различать физическую и химическую стойкость взрывчатого вещества.

Физическая стойкость рассматривает такие свойства взрывчатых веществ, как гигроскопичность, растворимость, старение, затвердевание, слеживаемость.

Некоторые взрывчатые вещества способны поглощать влагу атмосферного воздуха и при определенной степени увлажнения, измеряемой обычно процентным содержанием влаги, сначала понижают чувствительность к восприятию детонации от нормального начального импульса, а при дальнейшем увлажнении вообще теряют способность к взрыву и даже могут растворяться в воде.

Наличие небольшого количества влаги может вызвать изменение плотности гигроскопичного взрывчатого вещества, способствуя связыванию его частиц и образованию весьма плотного тела, обладающего пониженной восприимчивостью к начальному импульсу. Это явление называется слеживаемостью.

Степень увлажнения взрывчатого вещества определяется его взвешиванием с последующей сушкой до получения постоянного веса. Пользуясь выражением

$$\frac{G_{\text{нач}} - G_{\text{пост}}}{G_{\text{пост}}} 100\%,$$

можно вычислить процентное содержание влаги в веществе.

Старение свойственно смесевым взрывчатым веществам и является следствием самопроизвольного перераспределения компонентов смеси по массе вещества с течением времени, что отрицательно сказывается на свойствах взрывчатого вещества.

Физическая стойкость некоторых взрывчатых веществ зависит от температуры окружающей среды, при которой происходит или замерзание жидких компонентов (у нитроглицериновых ВВ), или затвердение вещества (у пластитов), или изменение структуры кристаллов (у аммиачной селитры). При этом изменяются свойства взрывчатого вещества.

Химическая стойкость взрывчатого вещества определяется степенью прочности внутримолекулярных связей, наличием летучих компонентов и примесей. Наиболее химически стойкими являются нитросоединения, инициирующие и аммиачно-селитренные взрывчатые вещества. Если эти вещества не загрязнены некоторыми примесями кислотного или щелочного характера, то они не изменяют своих свойств в течение очень длительного времени, измеряемого десятилетиями; этим объясняется отчасти преимущественное их применение на взрывных работах. Наименьшей химической стойкостью обладают нитроглицериновые ВВ, сохраняющие свои свойства лишь в течение нескольких месяцев.

Примеси, особенно кислотного характера, вызывают во взрывчатом веществе дополнительные химические реакции, обычно сопровождающиеся выделением тепла, которое ускоряет процесс естественного саморазложения и разогрев массы взрывчатого вещества до температуры воспламенения, т. е. способствует самовоспламенению взрывчатого вещества.

Химическая стойкость взрывчатого вещества определяется подогреванием небольшого количества его в течение определенного времени с одновременным контролем за наличием и скоростью разложения испытуемого вещества.

Контроль этот может осуществляться:

— по изменению окраски индикатора (лакмусовая или йодокрахмальная проба) под воздействием продуктов разложения взрывчатого вещества;

— по изменению (возрастанию) давления продуктов разложения в герметически закупоренном сосуде, в который помещается испытуемое вещество;

— по изменению (потере) веса испытуемого вещества за счет выхода продуктов разложения.

Сравнивая временные показатели, полученные наблюдениями по этим методам, с нормами, установленными для данного взрывчатого вещества в стандартах и технических условиях, судят о степени его пригодности и безопасности при применении и хранении.

Плотность взрывчатого вещества

Под плотностью взрывчатого вещества понимается вес его в единице объема. От плотности зависят чувствительность взрывчатого вещества к начальному импульсу, скорость детонации и бризантность.

Способность к детонации у взрывчатых веществ сохраняется только при некоторых, определенных для каждого взрывчатого вещества плотностях, находящихся в пределах 0,8—1,7 г/см³. При уменьшении или увеличении (переуплотнении) этих плотностей снижается чувствительность взрывчатого вещества к начальному импульсу, а даже возникшее взрывчатое превращение не достигает детонационной скорости и затухает.

Влияние плотности можно видеть из табл. 1.1.

Глава 2

СВОЙСТВА ОСНОВНЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

§ 8. Иницирующие взрывчатые вещества

Иницирующие взрывчатые вещества обладают наибольшей чувствительностью к внешним воздействиям. Развитие процесса детонации в них, т. е. установление детонационной скорости, происходит за очень малый промежуток времени, почти мгновенно (рис. 2.1), и поэтому

они способны детонировать в очень малых количествах (порядка десятых долей грамма) от таких простых начальных импульсов, как искра, луч пламени, накол, возбуждая взрывчатое превращение в других, менее чувствительных веществах.

Весьма большая чувствительность и слабые взрывчатые характеристики иницирующих взрывчатых веществ не позволяют использовать их в качестве основных взрывчатых веществ для получения от них механической работы.

Гремучая ртуть $[\text{Hg}(\text{ONC})_2]$ получается из металлической ртути путем обработки ее азотной кислотой и этиловым спиртом в присутствии некоторых добавок соляной кислоты и медных опилок). В результате после

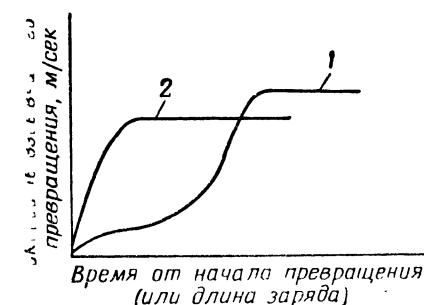


рис. 2.1. Характер развития детонационной скорости:
— у брызгантных ВВ; 2 — у иницирующих ВВ

промывки образуется белый кристаллический порошок, очень чувствительный ко всякого рода внешним воздействиям, а потому требующий крайне осторожного обращения с ним.

При увлажнении гремучая ртуть теряет свои взрывчатые свойства; при содержании 10% влаги только горит и не взрывается, а при 30% влажности даже не загорается.

В кислотах и щелочах гремучая ртуть разлагается, а концентрированная серная кислота вызывает ее взрыв.

С металлами практически не взаимодействует, лишь с алюминием она энергично реагирует, выделяя тепло и образуя взрывчатые соединения. С медью, из которой изготавливаются гильзы капсюлей-детонаторов и чашечки капсюлей-воспламенителей, гремучая ртуть может взаимодействовать лишь в присутствии влаги, но химические реакции при этом идут крайне медленно с образованием фульмината меди — вещества, более чувствительного к трению, удару и нагреву.

Изменения температуры в пределах обычных ее колебаний не влияют на стойкость гремучей ртути, но длительное нагревание при температурах более $+50^\circ\text{C}$ приводит к ее разложению и к потере ею взрывчатых свойств. При температуре ниже -100°C гремучая ртуть также теряет свои взрывчатые свойства.

Гремучая ртуть в настоящее время применяется только для снаряжения капсюлей-детонаторов и электродетонаторов и в капсюльных составах, идущих на снаряжение капсюлей-воспламенителей.

Азид свинца $[\text{Pb}(\text{N}_3)_2]$ получается из металлического натрия и свинца в результате взаимодействия их с аммиаком и азотной кислотой. Азид свинца — единственное из применяемых взрывчатое вещество, не содержащее кислорода. Он представляет собой белый мелкокристаллический порошок, негигроскопичный. При воздействии на него влаги он не снижает своей чувствительности и способности детонировать. Однако в присутствии влаги и при повышенных температурах азид свинца взаимодействует с металлами, образуя азиды металлов (например, азид меди), которые во много раз чувствительнее, чем азид свинца.

Кислоты, щелочи, углекислый газ (особенно в присутствии влаги) и солнечный свет медленно разлагают

азид свинца. Температурные колебания не влияют на его стойкость, но при нагревании до 200°С он начинает разлагаться.

Азид свинца по сравнению с гремучей ртутью менее чувствителен к искре, лучу пламени и удару; но инициирующая способность азид свинца выше, чем у гремучей ртути. Так, например, для инициирования одного грамма тетрила нужно 0,29 г гремучей ртути и только 0,025 г азид свинца.

Азид свинца применяется для снаряжения капсюлей-детонаторов и электродетонаторов.

Тенерес $[C_6H(NO_2)_3O_2PbH_2O]$, сокращенно ТНРС, представляет собой свинцовую соль стифниновой кислоты и называется стифнатом свинца или тринитрорезорцинатом свинца. Это мелкокристаллический порошок золотисто-желтого цвета, мало гигроскопичный и не взаимодействующий с металлами. Кислоты его разлагают. Под действием солнечного света тенерес темнеет и разлагается. Температурные колебания на тенерес действуют так же, как и на азид свинца.

Иницирующая способность тенереса весьма незначительна (даже 2 г тенереса не вызывают детонации тетрила), поэтому тенерес как самостоятельное инициирующее вещество не применяется, а вследствие своей большей чувствительности к искре и лучу пламени по сравнению с азидом свинца идет вместе с ним на снаряжение капсюлей-детонаторов и электродетонаторов.

Известны и другие инициирующие вещества (тетразен, диазодинитробензол и др.), которые из-за ряда их отрицательных свойств и меньшей инициирующей способности находят применение только в капсюльных составах для капсюлей-воспламенителей.

§ 9. Бризантные взрывчатые вещества

Бризантные взрывчатые вещества свое название получили от французского слова «briser», что значит дробить, разламывать.

Бризантные взрывчатые вещества в отличие от инициирующих не детонируют от таких простых начальных импульсов, как искра и луч пламени. Для возбуждения в них детонации необходим начальный импульс в виде взрыва небольшого количества инициирующего взрывча-

того вещества, а иногда при пониженной чувствительности и взрыва так называемого промежуточного детонатора из другого более чувствительного вещества, взрывающегося в свою очередь от инициирующего ВВ.

Бризантные взрывчатые вещества являются основными веществами, применяющимися в огромных количествах для снаряжения боеприпасов (артиллерийских снарядов, минометных мин, авиационных бомб, морских и инженерных мин) и для производства взрывных работ как для военных, так и для народнохозяйственных целей.

Бризантные вещества повышенной мощности

К этой группе относятся взрывчатые вещества, обладающие повышенной скоростью детонации (7500—8500 м/сек) и выделяющие большое количество тепла при взрыве (более 1000 ккал/кг). Одновременно эти вещества имеют и несколько большую чувствительность к начальному импульсу, они взрываются от любого капсюля-детонатора, а также при ударе винтовочной пули. От действия открытого огня загораются и горят интенсивно светло-желтым пламенем, не выделяя дыма; при горении их в количествах более одного килограмма горение может перейти во взрыв.

Тэн $[C(CH_2ONO_2)_4]$, или тетранитропентаэритрит, — белый кристаллический порошок, получаемый нитрованием пентаэритрита, который в свою очередь получается из формальдегида и ацетальдегида (продуктов, применяющихся также для изготовления пластмасс и медицинских препаратов).

Тэн негигроскопичен, нерастворим в воде и спирте, растворяется в ацетоне. С металлами не взаимодействует. Химически чистый тэн достаточно стоек и выдерживает длительное хранение. Плохо очищенный разлагается с самоускорением этого процесса и может самовоспламениться. Кислоты и щелочи разлагают тэн. Температура плавления тэна +140°С, при этом происходит его частичное разложение.

Применяется тэн для снаряжения капсюлей-детонаторов, электродетонаторов и детонирующих шнуров и в промежуточных детонаторах.

За рубежом тэн называется пентритом и применяется также в смесях с тротилом (так называемые пентолиты)

или в смесях с тротилом и нитроглицерином (пентрини-ты) в виде пластичных взрывчатых веществ, наличие нитроглицерина требует более осторожного с ним обращения и оберегания от воздействия низких температур.

Гексоген $[C_3H_6(NO_2)_3N_3]$, или триметилентринитро-амин, готовится нитрованием уротропина (медицин-ский препарат), получаемого от взаимодействия аммиака с формальдегидом.

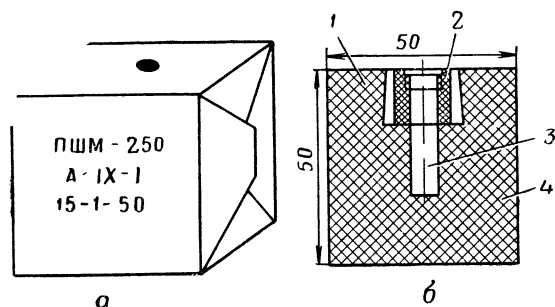


Рис. 2.2. Гексогеновые подрывные шашки:
а — общий вид; б — разрез; 1 — взрывчатое вещество; 2 —
резьбовая втулка; 3 — капсюльное гнездо; 4 — бумажная
обертка

Гексоген — белый кристаллический порошок, негигро-скопичный, нерастворимый в воде, плохо растворимый в спирте и хорошо в ацетоне. С металлом не взаимодей-ствует. Щелочи и слабые кислоты на гексоген не дей-ствуют, крепкие или разлагают (серная), или растворяют (азотная). Плавится гексоген при температуре $+203^{\circ}C$ и при этом начинает разлагаться. Гексоген более стоек, чем тэн, а по мощности равен ему.

Применяется гексоген для снаряжения капсюлей-дето-наторов, электродетонаторов, в промежуточных дето-наторах и в виде 250-граммовых подрывных шашек (рис. 2.2); для повышения безопасности прессования и для улучшения прессуемости гексогена к нему добав-ляются парафин или церезин и оранжевый краситель.

В смесях с тротилом гексоген применяется для сна-ряжения некоторых боеприпасов; такие смеси именуются ТГ с указанием процентного содержания в них тротила и гексогена (ТГ-70/30, ТГ-50/50 и т. п.).

В смесях с пластифицирующими веществами гексоген идет на изготовление пластичных взрывчатых веществ (пластиков), позволяющих придавать им любую форму. Пластичность сохраняется при температурах от -30 до $+50^{\circ}C$. При более низких температурах пластичные свойства теряются и нужно разминать пластит в руках или подогревать его в теплом помещении (но не над ог-нем). При длительном воздействии высоких темпера-тур флегматизирующие вещества начинают выделяться к поверхности и чувствительность пластита, внутренние слои которого — уже почти чистый гексоген, увеличива-ется.

Пластификаторы, не являясь взрывчатыми, снижают взрывчатые характеристики гексогена, а потому пласти-ты следует относить к взрывчатым веществам нормаль-ной мощности с коэффициентом, примерно равным 1,3 по отношению к тротилу. Пластиты, как правило, не взрываются при простреле винтовочной пулей. В количе-стве до 50 кг могут сгорать без взрыва.

Гексоген в смесях с аммиачной селитрой применяет-ся на взрывных работах в народном хозяйстве под на-званием скального аммонита для разработки наиболее крепких горных пород и изготавливается обычно в виде прессованных цилиндрических шашек.

Тетрил $[C_6H_2(NO_2)_3N(NO_2)CH_3]$, или тринитрофе-нилметилнитроамин, получается нитрованием диметил-анилина, который применяется при производстве краси-телей и медицинских препаратов.

Тетрил — светло-желтый кристаллический порошок, легко прессуемый, негигроскопичный, плохо растворимый в спирте и хорошо в бензине и ацетоне. С металлами не взаимодействует, кислоты и щелочи медленно его раз-лагают; плавится при $+131,5^{\circ}C$ с частичным разложе-нием.

Тетрил нельзя смешивать с аммиачной селитрой, так как при их взаимодействии выделяется тепло, что может привести к воспламенению смеси.

Применяется тетрил для снаряжения капсюлей-дето-наторов и промежуточных детонаторов в боеприпасах. В США применяется в смеси с тротилом (так называе-мый тетритол) в виде прессованных шашек по мощно-сти, равной 1,2 мощности тротила.

Взрывчатые вещества нормальной мощности

Взрывчатые вещества этой группы, за исключением динамитов, обладают большой стойкостью, выдерживают длительное хранение и весьма мало чувствительны ко всякого рода внешним воздействиям, что делает обращение с ними практически безопасным. Однако существенным недостатком этих ВВ является большое количество вредных газов, выделяющихся при их взрывчатом превращении и ограничивающих применение их в подземных работах (туннели, шахты, рудники). Высокая стоимость этих ВВ не позволяет широко применять их на взрывных работах в народном хозяйстве, где экономика играет значительную роль.

Для взрывания взрывчатых веществ нормальной мощности необходим капсюль-детонатор № 8.

Тротил $[C_6H_2(NO_2)_3CH_3]$, или тринитротолуол, иногда называемый толлом, а за границей тритолом, и сокращенно обозначаемый ТНТ, готовится нитрованием толуола — бесцветной жидкости, получаемой при коксовании каменного угля и крекинге нефти, идущей также на производство красителей и медицинских препаратов.

Тротил представляет собой кристаллический порошок желтого цвета с сероватым оттенком; при прессовании или изготовлении его в виде линз (чешуйчатый) приобретает кремово-серый цвет, а, будучи расплавленным, после затвердевания становится коричневым с блестящим изломом.

Тротил негигроскопичен и при длительном пребывании в воде сохраняет способность взрываться от капсюля-детонатора № 8, не снижая своих взрывчатых характеристик. Тротил растворяется в спирте, бензине, ацетоне и серной и азотной кислотах. Щелочи, а в присутствии влаги и аммиак реагируют с тротилом, образуя более чувствительные соединения. Под действием солнечных лучей поверхностный слой тротила буреет. С металлами тротил не взаимодействует, от винтовочной пули не взрывается, зажженный на открытом воздухе медленно горит желтым, сильно коптящим пламенем и без взрыва может сгорать в больших количествах. Горение в замкнутом объеме может закончиться детонацией.

Весьма ценным свойством тротила является низкая температура его плавления ($80,5^\circ C$) без разложения. Это позволяет вводить его в корпуса боеприпасов в жидком виде, что делает снаряжение простым и дешевым. Однако литой тротил не взрывается от капсюля-детонатора № 8 и требует промежуточного детонатора из более чувствительного ВВ (например, из прессованного тротила).

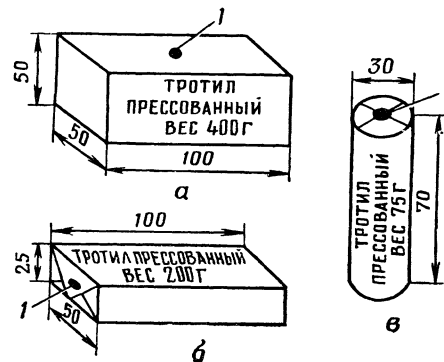


Рис. 2.3. Тротиловые шашки:

а — весом 400 г; б — весом 200 г; в — весом 75 г буровая; 1 — капсюльные гнезда

Тротил является основным (табельным) взрывчатым веществом почти всех армий. Его производство лимитируется наличием толуола; поэтому в военное время наравне с тротилом применяются и другие, преимущественно аммиачно-селитренные, вещества.

Для подрывных работ в армии тротил применяется в виде прессованных до плотности $1,6 \text{ г/см}^3$ шашек (рис. 2.3); большая шашка весом 400 г имеет размеры $50 \times 50 \times 100 \text{ мм}$, малая — соответственно 200 г и $25 \times 50 \times 100 \text{ мм}$ и цилиндрическая (буровая) — 75 г диаметром 30 мм и высотой 70 мм. В иностранных армиях тротиловые шашки имеют другие размеры и вес ($0,2$ — $0,45$ — $0,5$ и 1 кг , а буровые — $0,1 \text{ кг}$). В каждой шашке имеется гнездо для капсюля-детонатора, а в некоторых в это гнездо запрессовывается металлическая или пластикатная втулка с резьбой для прочного закрепления капсюля-детонатора в шашке. Шашки покрыты слоем парафина, затем обернуты бумагой, которая также покрыта парафином.

Тротил применяется также в смесях с гексогеном, тетрилом и тэном (см. в предыдущем разделе) и в смесях с аммиачной селитрой, называемых аммонитами (см. ниже об аммиачно-селитренных ВВ).

Пикриновая кислота $[C_6H_2(NO_2)_3OH]$, или тринитрофенол, называемая иногда мелинитом, а в Японии — шимозе, представляет собой ярко-желтый порошок, получаемый нитрованием фенола — продукта коксования каменного угля или крекинга нефти, применяющегося для изготовления многих пластмасс и карболовой кислоты.

Пикриновая кислота мало гигроскопична, растворяется в воде, кислотах, спирте и бензоле, окрашивая их, а также ткани и кожу в желтый цвет. Хорошо взаимодействует с металлами, кроме олова, образуя чувствительные соединения — пикраты; особо высокой чувствительностью обладают пикраты железа и свинца.

Пикриновую кислоту нельзя смешивать с аммиачной селитрой, так как при этом происходит выделение азотной кислоты с разогревом и даже воспламенением смеси.

Температура плавления пикриновой кислоты $+122,5^\circ C$. По сравнению с тротилом она обладает несколько большей мощностью и чувствительностью к начальному импульсу, взрывается от прострела винтовочной пулей. Подожженная на открытом воздухе спокойно горит сильно коптящим пламенем без взрыва в количествах до 200 кг.

Пикриновая кислота может встретиться в военное время как трофейное взрывчатое вещество в чистом виде или в смеси с динитронафталином (80% пикриновой кислоты и 20% динитронафталена) в порошкообразном, прессованном и литом состоянии. При обращении с этими ВВ необходимо учитывать изложенные выше свойства пикриновой кислоты, а при хранении хорошо проветривать помещения, в которых они находятся.

К взрывчатым веществам нормальной мощности относятся также 62% динамит, аммониты, содержащие 50% и более тротила, скальные аммониты и пластиты. Свойства этих ВВ (кроме пластитов) идентичны свойствам нитроглицериновых и аммиачно-селитренных взрывчатых веществ, так как они являются лишь частичными рецептурами последних.

Взрывчатые вещества пониженной мощности

Взрывчатые вещества этой группы обладают пониженной бризантностью вследствие существенно меньших, присущих им тепловыделения и скоростей детонации (не более 5000 м/сек); поэтому они уступают бризантным ВВ нормальной мощности по бризантному действию и равноценны им по работоспособности. Действительно, при взрывании аммиачно-селитренных взрывчатых веществ в грунтах и скальных породах объем выбрасываемой или разрыхляемой среды не меньше, чем при взрывчатых веществах нормальной мощности. Пониженная бризантность сказывается при использовании этих взрывчатых веществ для перебивания таких прочных материалов, как металл, камень, бетон и т. п.

Основными видами взрывчатых веществ пониженной мощности являются аммиачно-селитренные ВВ. Нитроглицериновые взрывчатые вещества применяются в значительно меньших количествах и только на взрывных работах в народном хозяйстве. В военное время в качестве трофейного имущества они могут встретиться и в армии.

Аммиачно-селитренные взрывчатые вещества представляют собой механические смеси аммиачной селитры с взрывчатыми или горючими веществами. Эти смеси применяются в порошкообразном, гранулированном и прессованном виде. Однако прочность прессованных изделий меньше прочности других прессованных ВВ, так как плотность прессования аммиачно-селитренных взрывчатых веществ не превышает 1,30—1,35 г/см³, тогда как у веществ, не содержащих аммиачную селитру, она достигает 1,55—1,7 г/см³.

Кроме того, при прессовании аммиачно-селитренные взрывчатые вещества становятся менее чувствительными к начальному импульсу, поэтому для возбуждения детонации в прессованных брикетах, изготавливаемых для армии, кроме капсюля-детонатора № 8 необходим еще и промежуточный детонатор.

Цилиндрические шашки скального аммонита прессуются с разной плотностью по высоте цилиндра; плотность прессования наименьшая там, где в шашке сделано углубление (гнездо) для капсюля-детонатора, чтобы

сохранить чувствительность взрывчатого вещества к инициированию его капсюлем-детонатором.

Основным компонентом аммиачно-селитренных взрывчатых веществ является аммиачная селитра (NH_4NO_3) — вещество, богатое кислородом. Свойства, присущие аммиачной селитре, по сути дела, определяют и свойства изготовленных на ее основе взрывчатых веществ; другие компоненты смеси влияют только на степень мощности взрывчатого вещества.

Аммиачная селитра получается взаимодействием аммиака на азотную кислоту и широко применяется в сельском хозяйстве как минеральное удобрение. Она является весьма слабым (около 350 ккал/кг при скорости детонации порядка 2000 м/сек, бризантности всего в 1,5—2 мм и работоспособности порядка 200 см³) и мало чувствительным к начальному импульсу взрывчатым веществом, для ее взрывания необходим мощный промежуточный детонатор. Поэтому в качестве самостоятельного взрывчатого вещества, аммиачная селитра не применяется.

Аммиачная селитра очень гигроскопична, она увлажняется даже на открытом воздухе, впитывая содержащуюся в нем влагу. При содержании более 3% влаги аммиачно-селитренные взрывчатые вещества не взрываются от капсюля-детонатора № 8, а при 5% влаги вообще теряют способность к детонации.

В настоящее время в расплав селитры, идущей на производство взрывчатых веществ, часто добавляют сернистое железо и жирные кислоты, которые придают ей желто-коричневый (вместо белого) цвет, а взрывчатые вещества, изготовленные на ее основе, имеют в своем названии буквы ЖВ и выдерживают более длительное пребывание в воде, не теряя своих взрывчатых свойств.

Кроме того, для увеличения водоустойчивости и уменьшения другого свойства аммиачной селитры — слеживаемости — аммиачно-селитренные ВВ изготавливают не в виде аморфного порошка, а в форме гранул.

Слеживаемость — явление, заключающееся в том, что селитра теряет сыпучесть и превращается в прочную сплошную массу, которую зачастую трудно размять даже деревянными колотушками. В слежавшемся состоянии аммиачно-селитренные взрывчатые вещества снижают чувствительность к начальному импульсу. Суще-

ность слеживания состоит в том, что влага, частично растворяя поверхностный слой зерен селитры, при второй кристаллизации связывает частицы селитры между собой. При содержании влаги до 0,2% аммиачно-селитренные ВВ не слеживаются.

Для уменьшения слеживаемости в селитру иногда вводят красители (фуксин, амарант и др.), которые, обволакивая зерна селитры, препятствуют растворению поверхностного слоя. Однако ожелезнение селитры, введение красителей и гранулирование лишь частично уменьшают увлажнение и слеживаемость взрывчатого вещества; эти процессы идут медленнее.

Аммиачная селитра обладает также свойством полиморфности: при нагревании или охлаждении селитры с переходом через такие температурные точки, как —16 или +32°С, происходит перекристаллизация влажной селитры, связанная с увеличением объема кристаллов. Это приводит или к разрыву недостаточно прочных оболочек, или к переуплотнению взрывчатого вещества при прочных оболочках. Чтобы устранить это явление, в расплав селитры вводят 8% хлористого калия.

Аммиачная селитра, будучи влажной, выделяет свободный аммиак и вызывает коррозию металлов. Кроме того, свободный аммиак вступает в реакцию с некоторыми взрывчатыми веществами (см. выше), образуя более чувствительные соединения.

Низкая стоимость аммиачной селитры и возможность простого смешивания ее с взрывчатыми или горючими добавками позволяют получать дешевые разнообразные взрывчатые вещества, удовлетворяющие различным условиям их применения. При этом компоненты, добавляемые к селитре, иногда частично локализуют то или иное отрицательное свойство селитры. Так, введение до 6% мазута повышает влагоустойчивость, а при дальнейшем увеличении добавки, наоборот, оказывает флегматизирующее действие. Древесные опилки уменьшают, а древесный уголь, наоборот, увеличивает слеживаемость аммиачно-селитренного взрывчатого вещества.

К аммиачно-селитренным взрывчатым веществам относятся:

— аммониты, в которых селитра смешивается с взрывчатыми веществами (чаще с тротилом и динитро-

Таблица 2.1

Некоторые аммиачно-селитренные ВВ

Наименование	Состав	Бризантность, мм	Работоспособность, с д ³	Плотность, г/см ³
Аммонит № 6 ЖВ	Смесь амм.селитры и тротила; порошок в патронах или мешках	330—380	14—16	1—1,2
Аммонит № 6 К	Аммонит № 6 с добавкой красителя . . .	То же	То же	То же
Аммонит № 7	Смесь амм.селитры, тротила и древесной муки; порошок в патронах или мешках . . .	350—360	13—15	0,9—1,1
Аммонит № 7 ЖВ	То же, но на водоустойчивой селитре; порошок в патронах или мешках	То же	То же	То же
Зерногранулит 80/20	Смесь гранулированной амм.селитры с чешуйчатым тротилом; порошок в мешках	350—370	—	—
Гранулит АС	Смесь гранулированной амм.селитры с минеральным маслом и алюминиевой пудрой; порошок в мешках	350—400	—	0,9
Гранулит С-2	Омасленная гранулированная селитра, опудренная древесной мукой; порошок в мешках	315—340	15—16	0,85
Игданит	Смесь гранулированной амм.селитры с жидким горючим	320—330	—	0,85
Аммонит скальный	Аммонал прессованный в смеси с гексогеном; шашки диаметром 36 и 45 мм	450—480	23—24	1,4—1,58
Акватол 65/35	Зерногранулит в смеси с водой и загустителем, льющееся или сухое в мешках . . .	—	—	1,5
Дегонит 10А	Смесь амм.селитры тротила, нитроэфиров и др., порошок в патронах	425—450	17—20	1—1,3
Дегонит 15А-10	Полупластичная смесь амм.селитры, тротила, нитроэфиров, в патронах	460—480	18—21	1—1,3

нафталином) с добавлением иногда и других невзрывчатых примесей;

— динамоны — смеси аммиачной селитры с горючими невзрывчатыми веществами; в качестве горючих веществ используются торф, древесные опилки, жмых, мука сосновой коры, пек, гудрон, уголь и т. п., т. е. вещества, богатые углеродом;

— аммоналы — взрывчатые смеси, в которых кроме взрывчатых и горючих добавок применяется еще и алюминиевая пудра; она значительно повышает теплоту взрыва и температуру продуктов взрыва; так, например, теплота взрыва скального аммонала 1270—1290 ккал/кг вместо 800—900 ккал/кг для аммонитов.

Все аммиачно-селитренные взрывчатые вещества достаточно безопасны в обращении; они не взрываются от удара, трения, тряски и прострела винтовочной пулей, зажженные на открытом воздухе горят спокойно без взрыва желтым коптящим пламенем. Хранить их надо в сухих, хорошо проветриваемых помещениях. Перед применением слежавшиеся вещества следует разминать до порошкообразного состояния, влажные просушивать в тени на открытом воздухе, а затем помещать в герметические оболочки. Гильзы капсюлей-детонаторов и внутренние стенки металлических оболочек необходимо изолировать от непосредственного соприкосновения с взрывчатым веществом, покрывая их плотным (без трещин) слоем вара или лака (лучше асфальтового).

Для армии аммониты изготавливаются в виде прессованных брикетов, завернутых в бумагу и залитых битумом для защиты от увлажнения. Плотность аммонита в брикете 1,3—1,35. Для взрывания их нужен промежуточный детонатор из тротиловой шашки.

Для народного хозяйства аммиачно-селитренные взрывчатые вещества изготавливают преимущественно в гранулированном виде и выпускают или в виде цилиндрических патронов в бумажной, покрытой парафином оболочке, или в пятислойных крафтбумажных мешках. Диаметр патронов около 30 мм, а длина зависит от веса взрывчатого вещества в них (от 100 до 300 г). Вес взрывчатого вещества в мешке 25 или 50 кг. За границей аммиачно-селитренные взрывчатые вещества выпускаются также и в цилиндрических металлических банках с гнездами для капсюля-детонатора.

В настоящее время на взрывных работах находят применение особые виды аммиачно-селитренных взрывчатых веществ:

— игданиты — смесь селитры с 4—6% солярового масла, которая изготавливается на месте работ непосредственно при зарядании скважин; в скважину одновременно засыпают селитру и заливают масло из двух бункеров, смонтированных на автомашине с дозатором компонентов;

— акваниты (и акватолы) — смеси аммонита с водой (4—10%) и загустителем (3—4%), представляющие собой или пластичное вещество, или льющуюся вязкую массу, полностью заполняющую объем шпуров и скважин.

В табл. 2.1 приведены некоторые наиболее распространенные аммиачно-селитренные взрывчатые вещества, производимые в СССР.

Нитроглицериновые взрывчатые вещества применяются на взрывных работах в народном хозяйстве, а в некоторых странах и в армии. Они представляют собой смеси нитроглицерина (или нитроглицерина и нитрогликоля) с калиевой, натриевой и реже аммиачной селитрой с добавками древесной муки, соды, мела и других компонентов. Эти ВВ в зависимости от процентного содержания нитроглицерина и нитрогликоля (жидких, весьма чувствительных взрывчатых веществ) получают или в виде пластичного резинообразного студня, или в виде маслянистого порошка. Пластичные составы содержат 50% и более нитроглицерина и называются студенистыми или желатин-динамитами. Порошкообразные составы содержат не более 30% нитроглицерина и называются в СССР победитами или детонитами, в Германии донаритами и т. п. Все нитроглицериновые взрывчатые вещества выпускаются в патронах, обернутых в пергаментную бумагу.

Составы на одном нитроглицерине замерзают (отвердевают) при температуре 8—12°С, а на смеси нитроглицерина и нитрогликоля — при 18—20°С. В замерзшем состоянии они весьма чувствительны к ударам, трению и легко взрываются при разламывании патрона, снятии бумаги и т. п.

Нитроглицерин и нитрогликоль постепенно эксудируют из внутренних слоев патрона к периферийным

и, скапливаясь на поверхности в виде капелек, делают взрывчатое вещество очень опасным в обращении.

Студенистые динамиты при хранении постепенно уплотняются за счет вытеснения пузырьков воздуха, находящихся внутри их массы. Это явление, называемое старением, снижает чувствительность динамита к начальному импульсу и ведет к отказам во взрыве.

Эксудация жидких компонентов и старение ограничивают срок годности нитроглицериновых веществ для безопасного их применения (обычно шестью месяцами), по истечении которого они должны уничтожаться.

Некоторые другие бризантные взрывчатые вещества

В некоторых особых условиях применяются и другие бризантные взрывчатые вещества: оксиликвиты, хлоратиты и перхлоратиты.

Оксиликвиты — взрывчатые вещества, в которых жидким кислородом пропитаны какие-либо пористые горючие вещества — поглотители (торф, сажка, солома, опилки и т. п.). Жидкий кислород, температура кипения которого —182°С, постоянно даже зимой испаряется. Оксиликвит сразу после пропитки является взрывчатым веществом повышенной мощности, но по мере испарения кислорода снижает свои взрывчатые свойства, и в конце концов остается один невзрывчатый, совершенно безопасный поглотитель. Это свойство кислорода заставляет готовить взрывчатое вещество (пропитывать поглотитель жидким кислородом) на месте работы непосредственно перед взрыванием, а взрывание производить без замедления, в кратчайший срок. Время, в течение которого оксиликвит сохраняет взрывчатые свойства, называется его жизнеспособностью; последняя зависит от диаметра патронов поглотителя (табл. 2.2).

Оксиликвиты не требуют перевозки взрывоопасных веществ и

Таблица 2.2
Жизнеспособность оксиликвитных патронов

Диаметр патрона, мм	Жизнеспособность, мин
30	5
40	10
50	15
100	30
150	45
200	50

постройки складов для их хранения, а в случае отказов необходимости изъятия взрывчатого вещества из скважин и камер.

Хлоратиты и перхлоратиты изготавливаются на основе или хлората калия (KClO_3) и натрия (NaClO_3), или перхлората калия (KClO_4) путем смешивания их с воском, парафином, углем, нитроглицерином, минеральными маслами, металлическим порошком и небольшим количеством каких-либо нитросоединений (динитронафталина, динитробензола и т. п.).

Хлоратиты и перхлоратиты значительно чувствительнее аммиачно-селитренных взрывчатых веществ к удару и трению, что делает их более опасными в обращении. Они мало гигроскопичны. Применяются только в порошкообразном виде. По мощности их следует приравнять к взрывчатым веществам пониженной мощности.

Применяются во Франции под наименованием шеддитов.

Хлораты калия находят применение в различных терочных, воспламенительных и пиротехнических составах.

§ 10. Метательные взрывчатые вещества

К группе метательных взрывчатых веществ относятся дымные и бездымные пороха. При взрыве пороха дробящее действие проявляется в незначительной степени по сравнению с действием в виде отбрасывания, разбрасывания окружающей среды, поэтому их после появления бризантных ВВ стали называть метательными взрывчатыми веществами.

Дымный, или черный, порох представляет собой спрессованную, а затем размельченную на зерна различной крупности механическую смесь 75% калиевой селитры, 15% угля и 10% серы. Зерна черные, блестящие, с темно-сизым отливом.

Дымный порох легко воспламеняется от удара, трения, искры, прострела пуль и т. п. и теряет способность к взрывчатому горению при сравнительно небольшом его увлажнении (до 5%), при этом из блестящего он становится матовым.

При зажигании пороха, заключенного в замкнутую оболочку, горение его существенно ускоряется

(до 400 м/сек), и он способен выполнить некоторую механическую работу (слабое дробление и отбрасывание).

Дымный порох в настоящее время на взрывных работах применяется крайне редко, главным образом при добыче штучного и облицовочного камня; он находит применение в так называемых дистанционных составах (замедлителях) в артиллерийских боеприпасах и в вышибных зарядах некоторых инженерных боеприпасов, а также в огнепроводных шнурах (см. гл. 3).

Бездымные пороха получают из нитроцеллюлозы (последняя получается из хлопка или древесины), растворяя ее или в спиртоэфирной смеси (пироксилиновые пороха), или в нитроглицерине (нитроглицериновые пороха) с добавлением веществ, называемых стабилизаторами, для увеличения стойкости порохов при хранении. В отдельные сорта бездымных порохов вводятся также добавки для уменьшения скорости горения, для получения беспламенного выстрела и т. п.

Бездымные пороха представляют собой плотную массу от желтого до коричневого цвета, по внешнему виду напоминающую пластмассу. Форма элементов бездымного пороха может быть различной: для снаряжения винтовочных патронов и вышибных минометных зарядов применяется мелкий пластинчатый порох (зерненный); для снаряжения гильз артиллерийских снарядов и ракет — цилиндры разной длины и диаметра, имеющие, как правило, параллельно своей оси сквозные каналы тоже различного диаметра (от сотых долей миллиметра до 2—3 см).

На воздухе бездымные пороха сгорают без взрыва.

В ходе войны и после нее скапливаются большие количества порохов, не подлежащих применению по прямому назначению и хранению. Их целесообразно использовать на взрывных работах. В этом случае, чтобы вызвать детонацию пороха, необходимо применить достаточно мощный промежуточный детонатор из бризантного взрывчатого вещества. Для детонации крупных пироксилиновых порохов необходимо после помещения пороха в зарядную камеру залить ее водой или лучше насыщенным раствором аммиачной селитры. Водозаполненные бездымные пороха, детонируя с большими скоростями (до 7000 м/сек), практически равноценны бризантным веществам нормальной мощности.

§ 11. Заряды взрывчатого вещества

Для получения различной механической работы требуется соответственно и различное количество взрывчатого вещества; например, для перебивания дерева требуется меньшее количество ВВ, чем для перебивания металла при равных их размерах.

Весовое количество взрывчатого вещества, определенное соответствующим расчетом и подготовленное к взрыванию, называется зарядом.

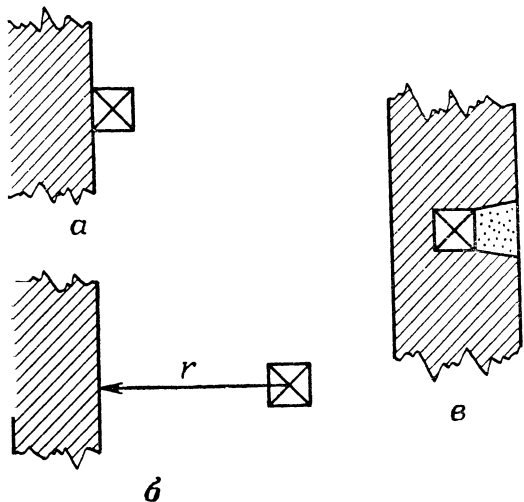


Рис. 2.4. Виды зарядов ВВ:

а — контактный; б — неконтактный; в — внутренний

В зависимости от расположения заряда по отношению к разрушаемому им объекту (конструктивному элементу) заряды подразделяются:

— на наружные контактные, если плотно прилегают к поверхности разрушаемого объекта (рис. 2.4, а);

— на наружные неконтактные, если находятся на некотором расстоянии от разрушаемого объекта (рис. 2.4, б);

— на внутренние, если размещаются внутри разрушаемого объекта (рис. 2.4, в).

Так как разрушаемые конструкции и материалы имеют различные формы, то и зарядам, особенно наружным контактными, в целях максимального использования энергии взрыва следует придавать ту или иную форму.

По своей форме заряды ВВ бывают:

— сосредоточенные, если их форма близка к кубу или шару и наибольшая сторона заряда не превышает трех размеров наименьшей стороны (рис. 2.5, а)

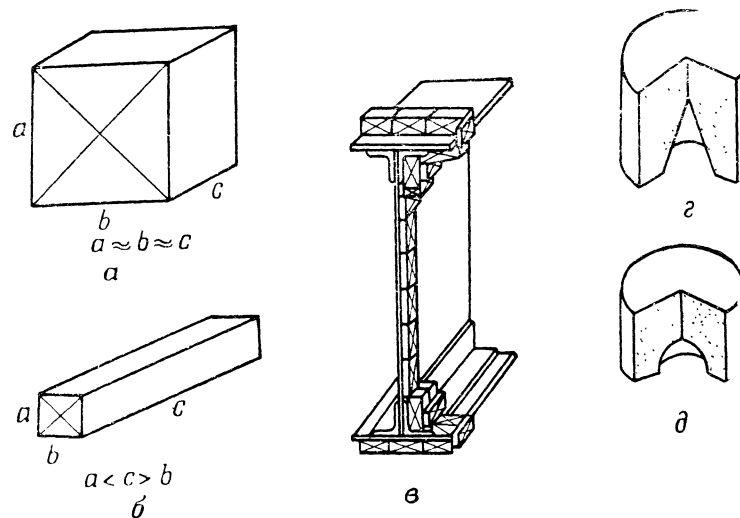


Рис. 2.5. Формы зарядов:

а — сосредоточенный; б — удлинненный; в — фигурный; г — кумулятивный с конической выемкой; д — кумулятивный со сферической выемкой

— удлинненные, если грань заряда, прилегающая к разрушаемому объекту не менее чем в пять раз больше других граней (рис. 2.5, б);

— фигурные, если контактный заряд для плотного прилегания ко всем частям фигурного элемента воспроизводит его форму и, как правило, делается составным из нескольких частей (рис. 2.5, в);

— кумулятивные, когда в теле заряда имеется различной формы выемка, обеспечивающая концентрацию энергии в желаемом направлении (рис. 2.5, г, д).

Заряды некоторых весов выпускаются готовыми в металлических, пластмассовых твердых или мягких оболочках.

Заряды из шашек и порошкообразных ВВ заключаются в различные оболочки: ткань, ящики, бочки, бидоны и т. п. Заряды из гигроскопичных взрывчатых веществ, если они укладываются в грунт или будут находиться во влажном воздухе, обязательно заключаются в герметические оболочки (резиновые, прорезиненные или хорошо осмоленные).

Тканевые мешки осмаливаются снаружи, будучи предварительно туго набитыми опилками (сеном и т. п.), которые высыпаются после остывания осмолки. Осмоленные тканевые оболочки при низких температурах применять не следует, так как в осмолке могут появиться трещины, нарушающие герметичность. Ящики и бочки осмаливаются внутри и снаружи. Металлическая тара для зарядов из аммиачно-селитренных веществ внутри осмаливается или покрывается лаком. Отверстия, через которые выведены огнепроводный шнур или провода электродетонатора, также осмаливаются или замазываются водонепроницаемой мастикой.

Заряды из тротильных шашек могут применяться без оболочек.

Оболочки для плавучих зарядов на $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$ их объема взрывчатым веществом не заполняются.

Глава 3 СРЕДСТВА ВЗРЫВАНИЯ

§ 12. Капсюли-детонаторы

Для возбуждения детонации в бризантных взрывчатых веществах применяется устройство, называемое капсюлем-детонатором.

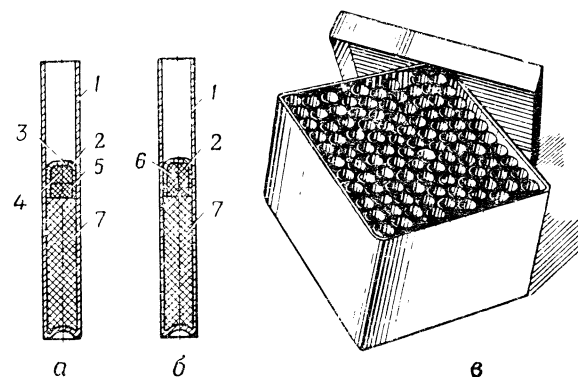


Рис. 3.1. Капсюль-детонатор № 8:

а — в алюминиевой гильзе; *б* — в медной (стальной или бумажной) гильзе; *в* — коробка со 100 капсюлями-детонаторами (заводская упаковка); 1 — гильза; 2 — чашечка; 3 — отверстие в чашечке; 4 — тенерес; 5 — азид свинца; 6 — гремучая ртуть; 7 — тетрил (гэн или гексоген)

Надежное инициирование почти всех современных взрывчатых веществ достигается капсюлем-детонатором № 8 (рис. 3.1). Он представляет собой цилиндрическую гильзу, закрытую с одного торца и открытую с другого, в которой запрессованы 1 г тетрила (гэна или гексогена) и чашечка с инициирующим ВВ. Капсюль-детонатор № 8А

имеет алюминиевую гильзу, в алюминиевой чашечке содержится 0,2 г азидо свинца и 0,1 г теллурида. В капсюлях-детонаторах № 8М (с медной гильзой), № 8С (с стальной гильзой) и № 8Б (с бумажной гильзой) в медной или латунной чашечке содержится 0,5 г ртутной. Чашечки имеют отверстие в центре, прикрытое снизу шелковой сеточкой, предохраняющей от высыпания иницирующего ВВ.

Капсюли-детонаторы в бумажных гильзах могут использоваться только в сухих местах.

Длина гильзы капсюля-детонатора 45—50 мм, а диаметр 6,8—7,65 мм. Расстояние от чашечки до дульца гильзы 17—23 мм, что позволяет свободно ввести в гильзу и достаточно прочно в ней закрепить огнепроводный или детонирующий шнур.

Капсюли-детонаторы, применяемые за рубежом, принципиально не отличаются по своему устройству от отечественных и выпускаются двух типов: № 6 и № 8. Капсюль-детонатор № 6 имеет несколько меньший вес вторичного заряда (около 0,8 г).

Взрыв капсюля-детонатора может быть вызван:

- пучком искр огнепроводного шнура (огневое взрывание);
- пламенем электровоспламенителя (электровзрывание);
- взрывом детонирующего шнура;
- воздействием ударной волны (взрывание детонацией на расстоянии);
- пламенем капсюля-воспламенителя (в запалах инженерных мин и других боеприпасах).

Капсюли-детонаторы чрезвычайно чувствительны к незначительным внешним воздействиям. Они легко могут взорваться от удара, искры, нагревания, трения по иницирующему составу, а также от сплющивания гильзы, поэтому обращаться с капсюлями-детонаторами следует очень осторожно. Нельзя ронять их, ударять по ним. Капсюли-детонаторы следует оберегать от влаги, особенно капсюли-детонаторы, снаряженные ртутью; хранить их надо в сухих местах отдельно от взрывчатых веществ.

Перед применением капсюли-детонаторы необходимо внимательно осматривать и отбраковывать те, в которых имеются сквозные трещины или помятости гильзы, корро-

зия в виде пятен или сплошного налета на внутренней поверхности гильзы, а также опудренность внутренних стенок иницирующим составом, а на бумажных гильзах также отслаивание бумаги. Такие капсюли-детонаторы подлежат уничтожению, применять их нельзя во избежание несчастных случаев.

Капсюли-детонаторы хранятся и перевозятся в картонных или металлических коробках, в которых укладываются по 100 шт. в вертикальном положении дульцем вверх (рис. 3.1). К местам производства взрывных работ капсюли-детонаторы доставляются в той же упаковке или в специальных пеналах и переносятся в сумках отдельно от взрывчатых веществ. Запрещается переносить капсюли-детонаторы в карманах.

Извлекать из коробок или пеналов разрешается только по одному капсюлю-детонатору и непосредственно перед его употреблением.

§ 13. Электродетонаторы

Электродетонатор (рис. 3.2) представляет собой капсюль-детонатор № 8, в гильзу которого введено специальное устройство, преобразовывающее электрическую энергию в тепловую (в форме луча пламени). Это устройство называется электровоспламенителем. Оно состоит из двух изолированных (медных или стальных) проводов, между жилами которых на их концах напаяна или напрессована тонкая проволока, называемая мостиком; мостик окружен воспламенительным составом в виде твердой капельки, покрытой лаком для защиты воспламенительного состава от увлажнения.

Внутренняя часть гильзы капсюля-детонатора заполнена влагоизолирующей пластикатной пробкой, а гильза для прочного закрепления электровоспламенителя гофрирована.

Мостик изготавливается или из сплава платины и иридия, или из сплава никеля и хрома (нихрома). Диаметр платино-иридиевого мостика 0,025 мм, а нихромового 0,030 мм. Длина мостика 2—3 мм. Длина изолированных проводов (концевиков) определяется заказчиком и обычно бывает 1,5—3 м.

Воспламенительный состав, окружающий мостик, состоит из смеси роданистого свинца, бертолетовой соли

и древесного угля, замешанных на костном клее. Применяются и другие составы.

При прохождении электрического тока по электровоспламенителю мостик накаливается и разогревает при-

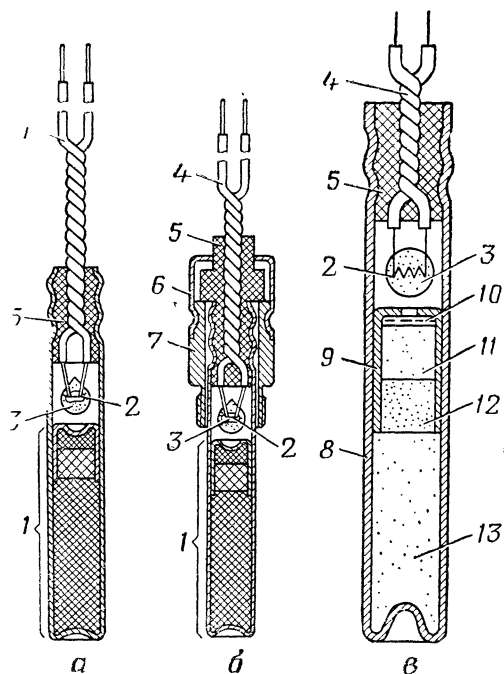


Рис. 3.2. Электродетонаторы:

а — электродетонаторы мгновенного действия ЭДП или ЭД-8-Э и ЭД-8-Ж; б — электродетонатор ЭДП-р; в — электродетонаторы замедленного и короткозамедленного действия; 1 — капсюль-детонатор; 2 — платино-иридиевый или нихромовый мостик; 3 — воспламенительный состав; 4 — провода; 5 — пластиковая пробка; 6 — крышечка ниппеля; 7 — ниппель с резьбой; 8 — медная или стальная гильза; 9 — чашечка; 10 — сеточка, прикрывающая ВВ; 11 — замедлитель; 12 — гремучая ртуть; 13 — бризантное ВВ повышенной мощности (тетрил, тэн или гексоген)

легающий к нему воспламенительный состав. Когда температура состава в месте соприкосновения с мостиком достигнет температуры вспышки, состав воспламеняется, и когда его горение, распространяющееся послойно, достигнет поверхности капельки, то луч пламени, образу-

ющийся при этом, преодолевая воздушный промежуток между капелькой и инициирующим взрывчатым веществом, вызывает детонацию последнего, т. е. взрыв электродетонатора.

Время от момента включения тока до момента воспламенения воспламенительного состава называется временем воспламенения τ , а время от начала горения воспламенительного состава до момента взрыва капсюля-детонатора и разрыва цепи тока — временем передачи θ , соответственно общее время, протекающее от включения тока до взрыва электродетонатора, — временем срабатывания t :

$$t = \tau + \theta. \quad (3.1)$$

Электродетонаторы с платино-иридиевым мостиком, капсюлем-детонатором № 8А и медными проводами в пластмассовой изоляции имеют условное наименование ЭДП, а электродетонаторы с нихромовым мостиком и капсюлем-детонатором № 8М (или № 8С) — ЭД-8-Э или ЭД-8-Ж и отличаются друг от друга только способом крепления мостика к проводам; изоляция проводов в них тоже пластмассовая.

Некоторые электродетонаторы ЭДП изготавливаются с металлической или пластмассовой муфточкой (рис. 3.2, б), имеющей наружную резьбу для прочного закрепления электродетонатора в табельных шашках и зарядах, в капсюльных гнездах которых имеется втулочка с внутренней резьбой. Такой электродетонатор называется ЭДП-р.

Все эти электродетонаторы взрываются в течение нескольких миллисекунд с момента включения тока и условно называются электродетонаторами мгновенного действия.

Кроме электродетонаторов мгновенного действия применяются также электродетонаторы замедленного и короткозамедленного действия. Взрыв их происходит не «мгновенно» после включения тока, а через некоторый промежуток времени, определяемый введенным в электродетонатор замедлителем.

Замедлитель в виде прессованного столбика размещается в чашечке капсюля-детонатора над инициирующим взрывчатым веществом (рис. 3.2).

Электродетонаторы замедленного действия (ЭДЗД) выпускаются с замедлениями в 0,5; 0,75; 1; 1,5; 2; 4; 6; 8 и 10 сек.

Электродетонаторы короткозамедленного действия (ЭДКЗ) могут иметь разные ступени замедления, например 25—50—75—200—150—250 мсек; 15—30—45—60—75—90—105—120 мсек.

Мостики накаливания в электродетонаторах замедленного и короткозамедленного действия нихромовые, диаметром 0,03 мм. Введение столбика замедляющего состава приводит к увеличению длины гильзы электродетонатора до 65—90 мм.

Электродетонаторы всех типов укладываются в картонные футляры по 30—40 шт. в каждом; несколько футляров укладывается в цинковую коробку; последняя запаивается и помещается в деревянный ящик.

Обращаться с электродетонаторами надо осторожно, как и с капсюлями-детонаторами. Кроме того, нельзя сильно натягивать провода или пытаться выдернуть их из гильзы электродетонатора.

Перед применением электродетонатора должна быть проверена его исправность. Для этого концы проводов подключают к зажимам омметра, и по показаниям последнего определяют или сопротивление, или проводимость электродетонатора. Ограничиваться определением проводимости можно только при взрывании одиночного электродетонатора или при взрывании группы электродетонаторов конденсаторными подрывными машинками. Во всех остальных случаях измеряется сопротивление электродетонатора линейным мостом Уитстона (ЛМ-48). Электродетонаторы, включаемые в одну электровзрывную сеть (взрываемые одновременно одним источником тока), должны быть подобраны так, чтобы максимальная и минимальная величины их сопротивления не отличались между собой более чем на 0,3 ом.

Для защиты лиц, производящих измерения, от осколков гильзы в случае взрыва электродетонатора его следует помещать за фанерным или дощатым щитом, за листом металла, или зарывать в землю (песок) на глубину 5—10 см, или, наконец, удалять от людей на 25—30 м.

Электродетонаторы с разрывом их электрической цепи или с сопротивлением больше нормального (табл. 3.1),

а также электродетонаторы с помятостями гильзы и трещинами на ней, с непрочно закрепленными в гильзе проводами применять не разрешается. Они уничтожаются в соответствии с § 62.

Для взрыва одиночного электродетонатора согласно уравнению (3.1) необходимо, чтобы за время τ воспламенительный состав получил от нагреваемого током мостика количество тепла, достаточное для нагревания воспламенительного состава до его температуры вспышки. Отдача же тепла мостиком в воспламенительный состав происходит по закону Джоуля—Ленца:

$$Q = 0,24 I^2 r \tau, \quad (3.2)$$

где Q — количество тепла, выделенного в окружающую среду (в каплю воспламенительного состава);

I — величина тока, а;

r — сопротивление электродетонатора, ом;

τ — время протекания тока, сек.

Количество тепла, необходимое для доведения воспламенительного состава до температуры вспышки, может быть выражено такой зависимостью:

$$Q = C \gamma V (T_v - T_0), \quad (3.3)$$

где T_v — температура вспышки воспламенительного состава, °C;

T_0 — начальная температура воспламенительного состава, °C;

C — удельная теплоемкость материала мостика, кал/г·град;

γ — плотность материала мостика, г/см³;

V — объем мостика, см³.

Приравняв первые части уравнений (3.2) и (3.3) и пренебрегая начальной температурой T_0 (так как T_v составляет несколько сотен градусов), а также тепловыми потерями в воспламенительном составе (из-за чрезвычайной кратковременности процесса), получим выражение, характеризующее так называемый импульс воспламенения:

$$I^2 \tau = 2,56 \frac{C \gamma}{\rho} T_v d^4, \quad (3.4)$$

где C , γ , ρ — соответственно теплоемкость, плотность и удельное сопротивление материала мостика накаливания;

d — диаметр мостика накаливания, мм;

$T_{\text{в}}$ — температура воспламенения воспламенительного состава, °С;

τ — время протекания тока, мсек.

Из выражения (3.4) видно, что на изменение величины импульса воспламенения наибольшее влияние оказывает изменение диаметра мостика накаливания, который неизбежно будет иметь производственные допуски, а следовательно, даже в одной партии электродетонаторов импульсы их воспламенения

$$K = I^2 \tau \quad (3.5)$$

будут изменяться:

для электродетонаторов с платино-иридиевым мостиком импульс воспламенения находится в пределах $0,7—4 \text{ а}^2 \cdot \text{мсек}$, а для электродетонаторов с нихромовым мостиком — $0,6—2,5 \text{ а}^2 \cdot \text{мсек}$.

Эти колебания импульсов воспламенения практически не влияют на безотказность взрыва одиночного электродетонатора; важно обеспечить достаточную величину тока I , чтобы количество тепла, передаваемое воспламенительному составу, превысило отдачу тепла составом за счет его теплопроводности.

Однако картина существенно изменяется, если в одну электрическую цепь будет последовательно включено несколько электродетонаторов, обладающих разными импульсами воспламенения.

Действительно, согласно уравнению (3.4) из-за различного диаметра мостиков, неполной идентичности температуры воспламенения воспламенительного состава и, наконец, неравной плотности прилегания воспламенительного состава к телу мостика у разных электродетонаторов одной и той же партии при определенной величине тока I время воспламенения τ отдельных электродетонаторов будет различным.

То же различие будет и в отношении массы (толщины слоя) воспламенительного состава и расстояния между воспламенительным составом и инициирующим взрывчатым веществом, которые влияют на величину времени передачи θ .

Если время воспламенения менее чувствительного электродетонатора τ_{max} будет больше времени срабатывания более чувствительного электродетонатора t_{min} , т. е.

$$\tau_{\text{max}} > \tau_{\text{min}} + \theta_{\text{min}}, \quad (3.6)$$

то первый менее чувствительный электродетонатор не взорвется, так как воспламенительный состав в нем не успеет воспламениться до разрыва цепи тока взрывом более чувствительного электродетонатора.

Следовательно, для того чтобы был обеспечен взрыв всех электродетонаторов, необходимо выполнить условие

$$\tau_{\text{max}} < \tau_{\text{min}} + \theta_{\text{min}}, \quad (3.7)$$

что может быть достигнуто увеличением тока, пропускаемого по электровзрывной сети. Действительно, из уравнения (3.5) видно, что для получения одного и того же импульса воспламенения увеличение тока ведет к существенному сокращению времени воспламенения, что и позволяет выполнить условие (3.7).

Например, для электродетонаторов с нихромовым мостиком при $I = 0,5 \text{ а}$ будем иметь: $t_{\text{min}} = 4,5 \text{ мсек}$, а $\tau_{\text{max}} = 10 \text{ мсек}$, тогда как при токе $I = 1 \text{ а}$ соответственно $t_{\text{min}} = 2,6 \text{ мсек}$, $\tau_{\text{max}} = 2,5 \text{ мсек}$.

При переменном токе условия для накала мостика электродетонатора в ряде случаев могут быть ухудшены.

Из рис. 3.3 видно, что эффективная величина переменного тока, протекающего за некоторый промежуток времени по электродетонатору, ниже амплитудного значения тока и зависит от момента включения тока на его синусоиде. А так как обычными средствами нельзя получить включение тока только в наиболее благоприятной точке синусоиды, то для

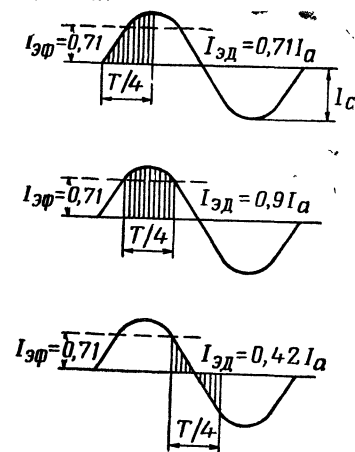


Рис. 3.3. Величина переменного тока, проходящего через электродетонатор за $1/4$ периода при включении тока в разных точках синусоиды

безотказности взрывания как одиночных электродетонаторов, так и их групп величину переменного тока следует принимать большей, чем величина постоянного тока.

Пользуясь выражением (3.1), можно написать, что

$$I^2(\tau_{\min} + \theta_{\min}) > I^2\tau_{\max}, \tag{3.8}$$

а используя выражение (3.5), определить величину тока, обеспечивающего безотказное взрывание группы электродетонаторов:

$$I_{\text{безотк}} = \sqrt{\frac{K_{\max} - K_{\min}}{\theta_{\min}}}. \tag{3.9}$$

Из сказанного выше следует, что электрические характеристики (параметры) электродетонатора являются весьма важными как с точки зрения безопасности проверочных испытаний электродетонатора, так и с точки зрения обеспечения надежности его взрывания. К электрическим параметрам электродетонатора относятся:

1. Омическое сопротивление $r_{\text{эд}}$, позволяющее перед применением судить об исправности электродетонатора и подбирать в одну электровзрывную последовательную сеть электродетонаторы с характеристиками, достаточно близкими по их воспламеняемости.

2. Расчетное сопротивление $r_{\text{расч}}$ для электродетонаторов с платино-иридиевым мостиком больше омического, так как при разогреве этого мостика до температуры воспламенения воспламенительного состава сопротивление его существенно возрастает (примерно в 1,5 раза) ввиду значительного температурного коэффициента платино-иридиевого сплава. У нихрома этот коэффициент достаточно мал, и при повышении температуры мостика на 100° сопротивление нихрома увеличивается всего лишь на 1,3%; поэтому расчетное сопротивление этих электродетонаторов (в нагретом состоянии) практически равно омическому сопротивлению (в холодном состоянии).

3. Безопасный ток $I_{\text{безоп}}$ является величиной постоянного тока, который, протекая через электродетонатор в течение 5 мин, не вызывает воспламенения воспламенительного состава; при проверках исправности электро-

детонатора величина безопасного тока дополнительно уменьшается.

4. Минимальный (длительный) воспламеняющий ток $I_{\text{воспл}}$ — такая минимальная величина тока, при которой у всех электродетонаторов воспламеняется воспламенительный состав. При снижении этой величины появляются отказы.

Таблица 3.1

Характеристики электродетонаторов		
Наименование параметра	Тип электродетонатора	
	ЭДП (ЭДП-р)	ЭД-8-Э и ЭД-8-Ж (ЭДЗД и ЭДКЗ)
Капсюль-детонатор	№ 8А	№ 8М или № 8С
Материал мостика	Сплав платины и иридия	Сплав никеля и хрома
Диаметр мостика, мм	0,025	0,03
Концевые провода	Медные	Медные или железные
Длина провода, м	1,5	2—3
Диаметр жилы проводов, мм	0,5	0,5
Омическое сопротивление, ом	0,9—1,5	1,6—4,2*
Расчетное сопротивление, ом	2,5	4
Безопасный ток, а	0,05	0,05
Минимальный воспламеняющий ток, а	0,2	0,4
Минимальный расчетный ток, а:		
а) при взрывании одиночного электродетонатора или на каждый электродетонатор при параллельном их соединении:		
постоянный	0,5	0,5
переменный	1,0	1,3
б) при взрывании группы электродетонаторов в последовательном соединении:		
постоянный	1,0	1,0
переменный	1,5	2,5
Импульс воспламенения, а² · мсек	0,7—4,0	0,6—2,5

* При стальной жиле проводов у электродетонаторов ЭД-8-Ж их сопротивление 2,9—9,5 ом (в зависимости от длины проводов).

5. Минимальный расчетный (гарантийный) ток $I_{\text{расч}}$ — величина такого постоянного тока, который, протекая без ограничения времени, вызывает воспламенение

электродетонаторов; $I_{расч} > I_{min}$, так как учитывает возможность некоторого снижения чувствительности электродетонаторов после их хранения и транспортировки. В соответствии со сказанным выше она неодинакова для взрывания одиночных электродетонаторов или их групп.

Зарубежные электродетонаторы по своим электрическим характеристикам близки отечественным, но при последовательном их соединении необходим постоянный ток не менее 1,5 а.

§ 14. Огнепроводные шнуры

Огнепроводный шнур (ОШ) предназначается для инициирования капсюлей-детонаторов и дымных порохов. Он представляет собой сердцевину из мелкозернистого дымного пороха, заключенную в оболочку из нескольких слоев хлопчатобумажных или льняных нитей (рис. 3.4), между которыми нанесены один или два слоя асфальтовой мастики. В пороховой сердцевине проложена направляющая (при производстве) нить. Диаметр шнура 4,8—6 мм.

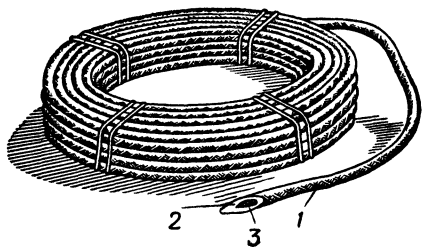


Рис. 3.4. Огнепроводный медленно горящий шнур:

1 — оболочка шнура; 2 — пороховая сердцевина; 3 — направляющая (при производстве) нить

Отрезки шнура длиной 10 м свертываются в круги разных диаметров.

В зависимости от вида оболочки огнепроводный шнур выпускается трех марок:

ОШП — пластикатный, белого цвета;

ОШДА — двойной асфальтированный, серо-черного цвета;

ОША — асфальтированный, серо-черного цвета.

Шнур в пластикатовой оболочке может применяться для взрывания под водой, двойной асфальтировки — для взрывания в сырых местах, асфальтированный — только при работе в сухих местах. Оболочка шнура сохраняет

эластичность при температурах до -15° и не делается липкой при температурах до $+45^{\circ}$ С.

Скорость горения огнепроводного шнура всех марок на воздухе составляет приблизительно 1 см/сек. По общесоюзному стандарту, скорость горения отрезка 60 см должна находиться в пределах 60—70 сек; под водой шнур горит на глубине до 5 м; горение его под водой протекает быстрее, чем на воздухе.

Для безопасности работы большое значение имеет постоянная и равномерная скорость горения шнура, так как в случае взрыва зарядов ВВ раньше или позже рассчитанного времени возможны несчастные случаи. Причиной ускоренного горения может быть слабая прессовка пороховой сердцевины или воздушный промежуток между сердцевиной и оболочкой шнура. Замедленное горение возможно вследствие переуплотнения пороха в сердцевине, полного перерыва сердцевины с передачей огня за счет тления оплетки, а также при попадании сrostков, не вырезанных при приемке шнура.

При ускоренном горении взрывник может не успеть уйти в безопасное место и будет застигнут взрывом; при замедленном же горении, наоборот, выждав положенное время, он может выйти из безопасного места и при подходе к месту расположения заряда ВВ попадет в сферу действия его запоздалого взрыва. Поэтому перед употреблением шнур подвергается наружному осмотру и испытанию на скорость горения. При наружном осмотре из шнура вырезаются отрезки с местами переломов и трещинами в оболочке, со следами подмочки, с разломанной оплеткой (особенно на концах шнура) и другими наружными дефектами.

Для проверки скорости горения шнура с конца круга отрезают 2—3 см шнура и уничтожают. Затем отрезают один отрезок длиной 60 см и поджигают его сердцевину, замеряя время горения отрезка по секундомеру. Шнур, затухший при испытании или показавший скорость горения менее 60 и более 70 сек, к применению не допускается.

Шнуры пластикатовый и двойной асфальтировки испытываются по указанной методике также после выдерживания их в воде на глубине 1 м в течение 1 ч; концы испытуемого круга перед замочкой заделываются водостойчивой мастикой. Шнур, давший хотя бы одно зату-

хание после замачивания, может быть применен только для работ в сухих местах.

Хранить огнепроводный шнур следует в сухих и прохладных местах; нельзя допускать соприкосновения шнура с жирами, нефтью, керосином и бензином, портящими шнур.

При обращении со шнуром не следует подвергать его механическим воздействиям (изгибам, сильным напряжениям и т. п.), особенно на морозе, так как при этом может быть повреждена оболочка или нарушена целостность пороховой сердцевины.

Зарубежные огнепроводные шнуры горят со скоростью 1—1,3 см/сек и могут иметь пластикатную пленку другого цвета (например, зеленого в США, коричневого в ФРГ).

§ 15. Детонирующие шнуры

Детонирующий шнур (рис. 3.5) состоит из взрывчатой сердцевины и оболочки. Сердцевина детонирующего шнура изготавливается из взрывчатого вещества повышенной мощности — тэна.

Через сердцевину проходят две направляющие хлопчатобумажные нити, служащие для равномерного распределения тэна по всей длине шнура (в 1 пог. м шнура содержится 12—13 г ВВ).

Для взрывных работ в СССР выпускается детонирующий шнур трех марок: ДШ-А, ДШ-Б и ДШ-В. Оболочка

шнура состоит из двух или трех слоев льняных или хлопчатобумажных нитей с водонепроницаемой мастикой между ними; в шнуре марки ДШ-В покрытие из пластиковой пленки красного цвета; нитяная оболочка шнура марки ДШ-А белого цвета с красной ниткой, а шнура марки ДШ-Б красного цвета.

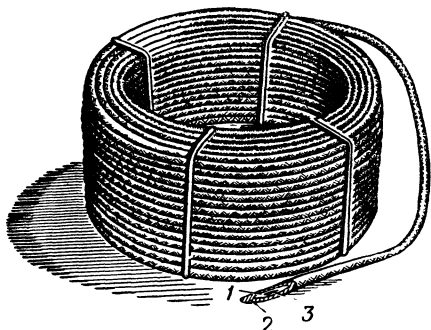


Рис. 3.5. Детонирующий шнур (бухта): 1 — взрывчатое вещество (тэн); 2 — оболочка шнура; 3 — направляющая нить

Диаметр детонирующего шнура всех марок 4,8—6,1 мм, выпускается он в бухтах по 50 м.

Детонирующий шнур, снаряженный тэном, имеет скорость детонации 6500 м/сек. Для инициирования шнура необходимо прочно прикрепить к нему капсюль-детонатор или электродетонатор (рис. 3.6), плотно привязав его

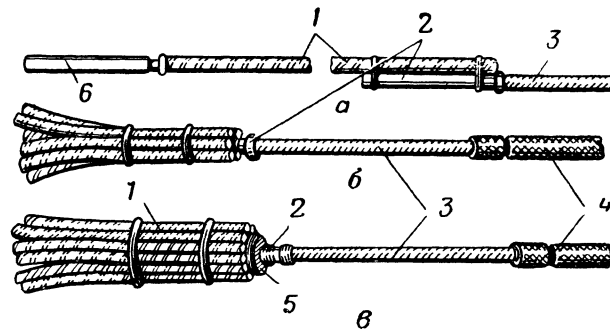


Рис. 3.6. Иницирование детонирующего шнура:

а — одной ветви шнура; б — до шести ветвей; в — более шести ветвей; 1 — взрывающиеся концы детонирующего шнура; 2 — капсюль-детонатор зажигательной трубки; 3 — огнепроводный шнур; 4 — воспламеняющий (гелевый) фитиль; 5 — шашка (патрон) ВВ; 6 — капсюль-детонатор на противоположном конце детонирующего шнура, вставляемый в заряд

изоляционной лентой или шпагатом по всей длине капсюля-детонатора.

При простреле пуль детонирующий шнур может взорваться.

Если шнур применяется под водой или в сырых местах, концы его необходимо хорошо изолировать водонепроницаемой мастикой или изоляционной лентой. Он взрывается при условии пребывания под водой не больше 10 ч для марки ДШ-Б и до 24 ч для марки ДШ-В.

При нагревании до +50° и охлаждении до —35°С шнур не теряет способности к детонации. Но его следует предохранять от действия солнечных лучей, если температура воздуха превышает +30°С. Для этого шнур надо зарывать в грунт или прикрывать мешками, досками, песком и т. п.

При поджигании открытым огнем шнур загорается с трудом и в небольших отрезках (до 10 см) горит спокойно; зажигать отрезки шнура длиной более 10 см не

рекомендуется, так как в этом случае горение шнура может перейти в детонацию.

Непосредственно от детонирующего шнура можно детонировать порошкообразные взрывчатые вещества. Для этого конец детонирующего шнура, введенный во взрывчатое вещество, должен оканчиваться узлом (рис. 3.7).

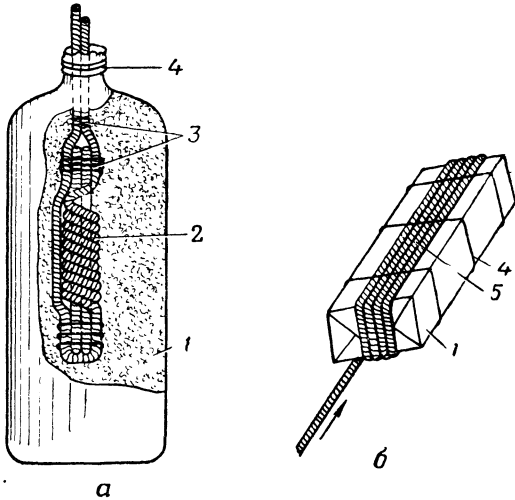


Рис. 3.7. Бескапсюльное взрывание детонирующим шнуром:
а — порошкообразного ВВ; *б* — прессованного ВВ (шашки); 1 — взрывчатое вещество; 2 — узел детонирующего шнура; 3 — изоляционная лента; 4 — шпигат (или изоляционная лента); 5 — витки детонирующего шнура

Такой способ взрывания называется бескапсюльным, так как в этом случае в зарядах отсутствуют наиболее опасные в обращении капсули-детонаторы.

Для взрывания детонирующим шнуром тротиловой шашки ее надо обернуть четырьмя-пятью непересекающимися витками шнура, плотно прилегающими один к другому и к граням шашки (рис. 3.7, б).

При обращении с детонирующим шнуром должны соблюдаться те же меры безопасности, что и при обращении с взрывчатыми веществами. Нельзя ударять по нему чем-либо или бросать на него какие-либо предметы. Вблизи шнура не разрешается курить и держать

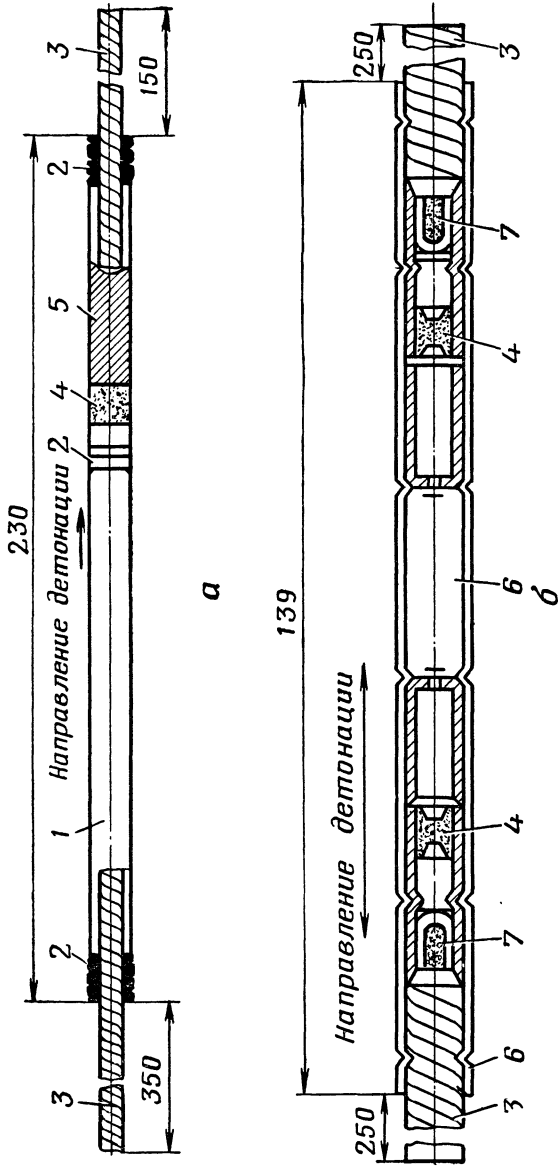


Рис. 3.8. Пиротехнические реле КЗДШ:
а — одностороннего действия; *б* — двустороннего действия; 1 и 6 — соединительные (картонные) трубки; 2 — алюминиевые колпачки; 3 — отрезки детонирующего шнура; 4 — замедлитель; 5 и 7 — капсули-детонаторы

открытии огня. шнур необходимо хранить в сухом помещении, а торцы шнура защищать изоляционной лентой или мастикой.

Для работ в условиях высоких температур выпускаются термостойкие детонирующие шнуры (ДШТ-165), а в условиях больших (до 9 атм) давлений — шнуры усиленные (ДШУ-60); и те и другие снаряжаются гексогеном; для работ в условиях возможного наличия взрывчатых газовоздушных смесей изготавливаются шнуры предохранительные (ДШП-1 и ДШП-2), снаряженные тэном в смеси с солями щелочных металлов или окруженные этими слоями.

Шнуры ДШУ-60 и ДШП-2 имеют диаметр около 9 мм.

Для одновременного, а короткозамедленного взрыва зарядов детонирующим шнуром изготавливаются специальные устройства, называемые пиротехническими реле КЗДШ. Они могут быть одностороннего или двустороннего действия (рис. 3.8). Первые передают детонацию только в одном направлении, указанном стрелкой, а вторые — в обоих направлениях. Эти реле представляют собой два отрезка детонирующего шнура, введенные в жесткую картонную трубку. У торцов одного отрезка при одностороннем действии или у торцов обоих отрезков при двустороннем действии закреплены небольшие капсули-детонаторы с замедлителями, которые обеспечивают замедление в 10, 20, 35 и 50 мсек. Величина замедления нанесена на соединяющей трубке.

В зарубежных детонирующих шнурах для их снаряжения, как правило, применяют тоже тэн и реже другие взрывчатые вещества. Оболочка шнура нитяная или пластмассовая различного цвета: белого, желтого, зеленого; скорость детонации 5000—7500 м/сек. Некоторые детонирующие шнуры в США имеют снаружи проволочную оплетку.

Глава 4.

ОГНЕВОЙ СПОСОБ ВЗРЫВАНИЯ

§ 16. Общие сведения

Огневой способ взрыва осуществляется зажигательной трубкой, которая представляет собой соединение капсуля-детонатора с отрезком огнепроводного шнура. Сущность этого способа заключается в том, что взрыв капсуля-детонатора происходит от пучка искр, даваемых огнепроводным шнуром, конец которого введен в гильзу капсуля-детонатора. В результате взрыва капсуля-детонатора взрывается заряд ВВ.

Огневой способ взрыва (огневое взрывание) применяют для взрыва одиночных зарядов и реже для взрыва нескольких зарядов; он не может быть применен, если невозможен или затруднен отход взрывника в безопасное место, например при проходке шурфов в грунтах и скале.

Преимуществами огневого взрыва являются простота и скорость выполнения, а также отсутствие сложных и дорогих приспособлений.

Недостатки этого способа:

- относительная опасность для взрывника в связи с непосредственным нахождением его в месте расположения зарядов во время воспламенения огнепроводных шнуров;

- неполная надежность взрыва ввиду невозможности проверить качество огнепроводного шнура, используемого в каждой зажигательной трубке, и качество зажигательной трубки;

- невозможность одновременности взрыва серии зарядов, как бы тщательно не были отмерены длины отрез-

ков огнепроводного шнура; поэтому при взрывании нескольких зарядов они должны располагаться один от другого на таком расстоянии, чтобы взрыв одного заряда не повредил соседние заряды.

§ 17. Зажигательная трубка и ее изготовление

Зажигательные трубки могут поступать из промышленности в готовом виде (рис. 4.1) или изготавливаться на месте производства взрывных работ.

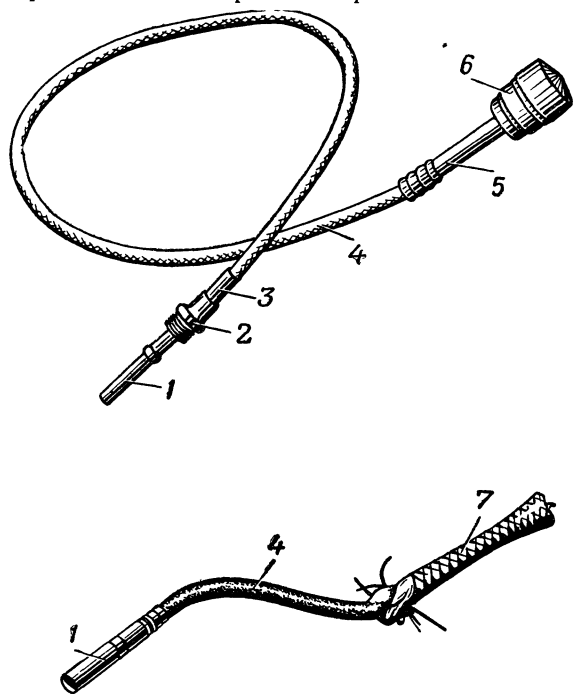


Рис. 4.1. Зажигательные трубки:

1 — капсюль-детонатор; 2 — резьбовая втулка; 3 — бирка;
4 — огнепроводный шнур; 5 — гильза воспламенителя; 6 —
терочный воспламенитель; 7 — тлеющий фитиль

Промышленностью выпускаются зажигательные трубки трех видов:

— ЗТП-50 с отрезком огнепроводного шнура ОШП длиной 55 см;

— ЗТП-150 с отрезком такого же шнура длиной 150 см;

— ЗТП-300 с отрезком специального шнура (ОШ-МГ) с более медленным его горением (0,33 см/сек); длина шнура в этой зажигательной трубке около 100 см,

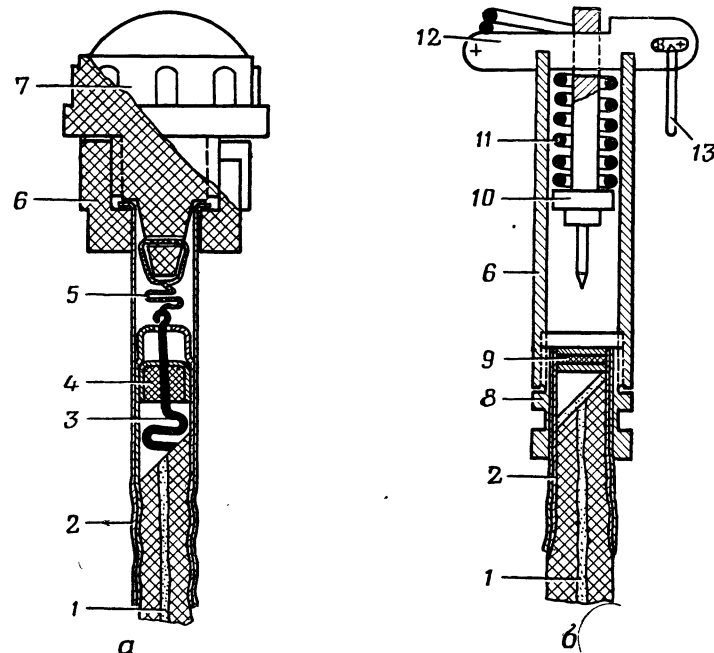


Рис. 4.2. Терочный и ударный воспламенители (в разрезе):

а — терочный воспламенитель; б — ударный воспламенитель; 1 — огнепроводный шнур; 2 — гильза воспламенителя; 3 — терка; 4 — терочный капсюль-воспламенитель; 5 — шнур, соединяющий терку с пробкой; 6 — корпус воспламенителя; 7 — пробка воспламенителя; 8 — ниппель; 9 — наконечник капсюль-воспламенителя; 10 — ударник; 11 — пружина; 12 — чека, удерживающая ударник во взведенном положении; 13 — кольцо чеки

а время ее горения на воздухе 360 сек и в воде 300 сек; пластиковая оболочка шнура окрашена в серо-голубой цвет.

На концах огнепроводного шнура всех этих зажигательных трубок закреплен терочный или ударный воспламенитель (рис. 4.2), а у дульца капсюля-детонатора размещена муфта с наружной резьбой для прочного закрепления трубки в капсюльном гнезде шашек и зарядов. Эти зажигательные трубки надежно взрываются в

воде на глубине 0,5 м, сохраняя способность взрываться в течение одних суток пребывания их в воде.

При изготовлении зажигательной трубки на месте работ необходимо прежде всего подготовить отрезок огнепроводного шнура требуемой длины. Длина отрезка определяется при взрывании одного заряда взрывчатого вещества временем, необходимым для отхода на безопасное расстояние от заряда (или в укрытие), а при взрывании нескольких зарядов — временем, необходимым на воспламенение всех зажигательных трубок и на последующий отход взрывника на безопасное расстояние.

Для взрывания зарядов, располагаемых, например, в грунте, длина отрезка огнепроводного шнура должна быть такой, чтобы из грунта наружу выходил конец шнура длиной не менее 25 см для удобства воспламенения его. Отрезки короче 50 см допускаются только тогда, когда на свободный конец огнепроводного шнура насажен тлеющий фитиль, замедляющий время горения зажигательной трубки, а также при дроблении льда во время ледохода.

При подготовке отрезков огнепроводного шнура применяется только шнур, предварительно испытанный согласно главе 3.

Резка шнура производится острым ножом на деревянной подкладке так, чтобы отрезанный конец шнура был гладкий, неразмочаленный, а пороховая сердцевина на конце не была бы высыпана. Конец шнура, вводимый в капсюль-детонатор, обрезают перпендикулярно оси шнура.

Капсюль-детонатор перед введением в него огнепроводного шнура осматривают и при обнаружении в нем дефектов (см. § 12) отбраковывают; если в капсюль-детонатор попала соринка, ее удаляют легким постукиванием дульца о ноготь пальца; запрещается извлекать соринки из гильзы капсюля-детонатора какими-либо предметами (даже соломинкой), чтобы не вызвать детонацию инициирующего взрывчатого вещества, а также выдувать их, так как при этом в капсюль-детонатор может попасть влага, могущая увлажнить сердцевину шнура, а это приведет к отказу зажигательной трубки при взрыве.

Огнепроводный шнур вводится в капсюль-детонатор до соприкосновения с его чашечкой прямым мягким движением без нажима и вращения шнура или капсюля-

детонатора; если шнур входит в гильзу слишком свободно, конец его обертывают одним слоем изоляционной ленты или бумаги (рис. 4.3, а). Затем шнур закрепляется в капсюле-детонаторе путем обжатия гильзы на шнуре около ее дульца специальным обжимом (рис. 4.3, б). Нельзя надавливать обжимом на то место капсюля-детонатора, где помещается ВВ. Шнур для обжатия берут в левую руку и, придерживая слегка капсюль-детонатор указательным пальцем за донышко, накладывают правой рукой обжим так, чтобы его боковая поверхность была на уровне среза гильзы; постепенно увеличивая нажатие на обжим и поворачивая его, создают у края гильзы кольцевую шейку, чем и достигается прочность закрепления капсюля на шнуре.

В капсюлях-детонаторах с бумажной гильзой шнур закрепляется путем обматывания места соединения капсюля-детонатора со шнуром изоляционной лентой. Таким же образом можно закреплять на шнуре и капсюли-детонаторы с металлическими гильзами, если нет обжимов, и защищать зажигательную трубку от увлажнения при использовании ее в воде или сырых местах.

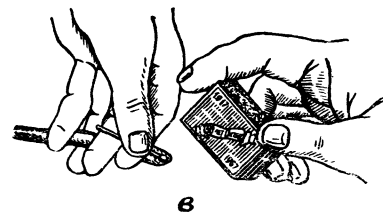
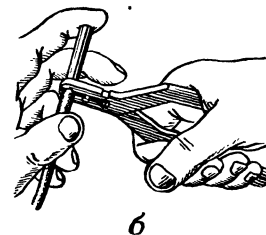
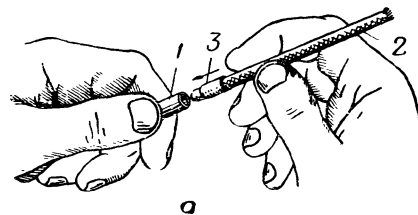


Рис. 4.3. Изготовление и воспламенение зажигательной трубки:

а — введение огнепроводного шнура в гильзу капсюля-детонатора; б — обжимание капсюля-детонатора на огнепроводном шнуре; в — воспламенение огнепроводного шнура спичкой; 1 — капсюль-детонатор; 2 — огнепроводный шнур; 3 — слой изоляционной ленты

Свободный конец огнепроводного шнура заклепывают воском, мастикой или обертывают изоляционной лентой для защиты пороховой сердцевины шнура от высыпания и увлажнения. Непосредственно перед применением зажигательной трубки этот конец шнура для удобства поджигания обрезают под углом $45\text{--}30^\circ$ к оси шнура.

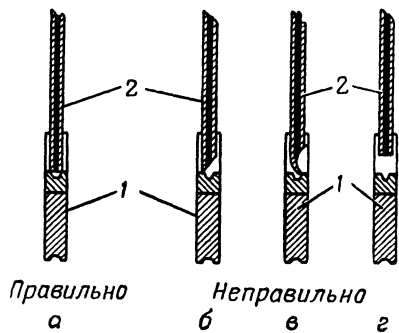


Рис. 4.4. Правильное и неправильное введение огнепроводного шнура в гильзу капсюля-детонатора:

а — правильно обрезанный и введенный огнепроводный шнур; б и в — неправильно обрезанный огнепроводный шнур; г — неправильно введенный (недоведенный до чашечки) огнепроводный шнур; 1 — капсюль-детонатор; 2 — огнепроводный шнур

— достаточно прочное, но без пережима обжатие гильзы капсюля-детонатора на огнепроводном шнуре.

Если конец шнура, вводимый в гильзу капсюля-детонатора, отрезан наискось или не доведен до чашечки, то сердцевина шнура будет находиться на некотором удалении от отверстия в чашечке (рис. 4.4) и искры, вылетающие с конца шнура при его догорании, преодолевая воздушный промежуток между пороховой сердцевиной шнура и инициирующим взрывчатым веществом капсюля-детонатора, теряют свою силу (форс и жгучесть) и могут не возбудить детонации капсюля-детонатора.

Слабое закрепление шнура в гильзе капсюля-детонатора создает возможность отхода концов шнура от чашечки при обращении с зажигательной трубкой.

Наоборот, при очень сильном обжатии с образованием на гильзе глубокой шейки пороховая сердцевина шнура может быть вытеснена (разорвана) сильно сжа-

Правильное сочленение капсюля-детонатора с огнепроводным шнуром — весьма важное условие, обеспечивающее безотказность взрывания, поэтому при изготовлении зажигательной трубки надо особо тщательно соблюдать:

— перпендикулярность обрезки конца шнура, вводимого в капсюль-детонатор, по отношению к его оси;

— плотное доведение этого конца шнура до чашечки капсюля-детонатора;

той оболочкой шнура и горение ее закончится в месте разрыва; взрыва капсюля-детонатора не произойдет.

В тех случаях, когда требуется зажигательная трубка с длительным ее горением (несколько минут), вместо отрезка шнура большой длины можно применить в зажигательной трубке отрезок длиной $10\text{--}15\text{ см}$, но на свободный, наискось срезанный конец шнура насадить тлеющий (воспламенительный) фитиль длиной не менее 5 см и закрепить его на шнуре прочной ниткой ниже косого среза шнура (рис. 4.1), чтобы обеспечить как прочность закрепления фитиля, так и надежность воспламенения сердцевины шнура (в месте привязки фитиля его тление, как правило, затухает).

Тлеющий (воспламенительный) фитиль представляет собой шнур из хлопчатобумажных или льняных ниток, пропитанных раствором калиевой селитры, фитиль не горит, а тлеет при тихой безветренной погоде со скоростью $0,5\text{ см/мин}$; при ветренной погоде тление распространяется скорее и может протекать со скоростью до 1 см в минуту. На дожде фитиль может погаснуть.

Нельзя изготавливать зажигательные трубки в жилых помещениях и в местах хранения и выдачи взрывчатых веществ и средств взрывания, а также ближе 25 м от расположения взрывчатых веществ и зарядов из них. Шнур, капсюли-детонаторы и зажигательные трубки нельзя класть на землю даже в сухую погоду. В дождливую погоду и при снегопаде изготавливать зажигательные трубки следует под навесом или в палатке. Если изготовлением зажигательных трубок занимаются несколько взрывников, то они должны находиться друг от друга на расстоянии $25\text{--}30\text{ м}$ или отгораживаться щитами, стенами и т. д.

§ 18. Воспламенение зажигательных трубок

В зависимости от условий производства взрывных работ и типа зажигательных трубок их воспламенение производится:

— с палочкой, для чего на кососрезанный конец шнура накладывают головку спички и плотно прижимают к пороховой сердцевине (рис. 4.3, в); зажигается спичка от спичечной коробки, которую двигают вдоль оси спички;

— тлеющим фитилем, для чего предварительно зажженный (тлеющий) конец фитиля подносят вплотную к сердцевине шнура и легким дуновением сбоку сдувают пепел с тлеющего конца фитиля, облегчая загорание пороховой сердцевины;

— терочным воспламенителем (в зажигательных трубках заводского изготовления), для чего, придерживая одной рукой корпус воспламенителя, другой отвинчивают пробку и затем рывком выдергивают прикрепленную к ней терку; при этом воспламеняется терочный состав (слышится слабый звук), от луча пламени которого загорается сердцевина огнепроводного шнура, введенного в гильзу воспламенителя и закрепленного в ней;

— ударным воспламенителем (в заводских зажигательных трубках), для чего сначала откидывают кольцо чеки, затем, придерживая одной рукой корпус ударного механизма, двумя пальцами другой руки поднимают чеку и переставляют ее из глубокой прорези (в которой лежит чека) на торце корпуса в мелкую и выдергивают после этого чеку из ударника, который под действием пружины накаливает капсюль-воспламенитель; лучом пламени последнего и зажигается шнур;

— электрическим зажигателем (рис. 4.5, а), подобным электровоспламенителю, применяемому в электродетонаторах (см. главу 3), для чего огнепроводный шнур вводят в гильзу зажигателя и закрепляют в ней, а затем, пропуская электрический ток, воспламеняют воспламенительный состав, луч пламени которого и поджигает пороховую сердцевину шнура; электрозажигатели марки ЭЗ-ОШ-Б применяются на взрывных работах в народном хозяйстве; электрические характеристики зажигателя такие же, как и у электродетонаторов ЭД-8-Э и ЭД-8-Ж;

— зажигательными свечами (рис. 4.5, б), известными под названием «спички подрывника»; сначала воспламеняют свечу трением ее головки о терку спичечной коробки, а затем медленно горящую красным наконечником свечу прикладывают к кососрезанному концу огнепроводного шнура и воспламеняют его пороховую сердцевину.

В народном хозяйстве применяются и другие зажигательные свечи, представляющие собой бумажную трубч-

ку (длиной 10—15 см и диаметром 7—10 мм), наполненную горючим составом; небольшая длина трубочки (около 5 см) на конце, за который взрывник будет держать ее, наполнена негорючей инертной смесью (например, гипсом). Эти свечи поджигают спичкой, а при наличии у свечей терочной воспламенительной головки — с помощью спичечной коробки.

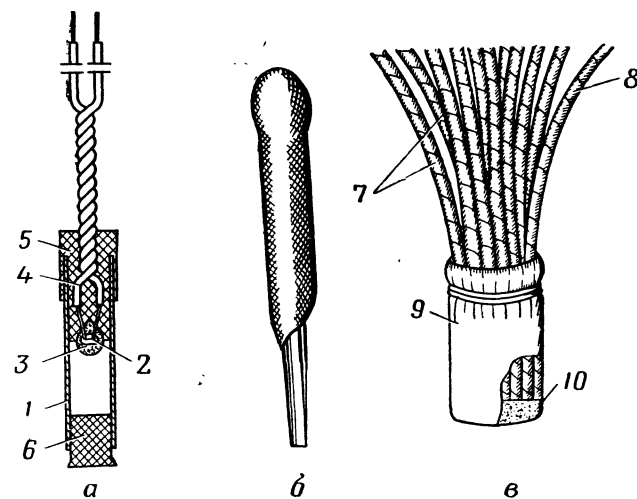


Рис. 4.5. Средства воспламенения зажигательных трубок:

а — электрический зажигатель ЭЗ-ОШ-Б; б — зажигательная свеча (спичка-подрывника); в — зажигательный патрон; 1 — гильза; 2 — мостик накаливания; 3 — воспламенительный состав; 4 — провода; 5 — пластмассовая пробка; 6 — резиновая пробка; 7 — огнепроводные шнуры от зарядов; 8 — огнепроводный шнур для воспламенения зажигательного состава; 9 — корпус патрона; 10 — зажигательный состав

При проходке подземных выработок (шурфов, штолен, туннелей) для одновременного воспламенения зарядов взрывчатого вещества, близко расположенных друг к другу, могут быть применены зажигательные и электрозажигательные патроны. Они представляют собой открытые с одного конца гильзы, на дне которых помещена «лепешка» из зажигательного состава. В зажигательный патрон (рис. 4.5, в) на месте работ кроме шнура от зажигательных трубок вводится отрезок огнепроводного шнура длиной 20—30 см, служащий для воспламенения «лепешки» зажигательного состава. В электро-

зажигательный патрон на заводе-изготовителе введен электровоспламенитель, концы проводов которого выведены наружу.

Число отрезков шнура, вводимых в патрон, зависит от его диаметра и колеблется в пределах 6—37.

§ 19. Производство взрывных работ и техника безопасности

При огневом взрывании зарядов необходимо особо тщательно следить за выполнением всех правил техники безопасности, как общих для всех взрывных работ, так и специфических для огневого взрывания.

К взрыванию огнем способом приступают, когда все заряды взрывчатого вещества размещены на местах, в них вставлены зажигательные трубки и выполнены другие необходимые работы (маскировка, забивка зарядов и т. п.).

Для воспламенения зажигательных трубок назначаются наиболее опытные взрывники; их число определяется в зависимости от длины огнепроводного шнура в зажигательных трубках, от расстояний между зарядами и от времени, необходимого для отхода в безопасное место; одному человеку воспламенять более пяти шнуров за один прием не разрешается.

При групповом взрывании порядок работы таков:

— каждому взрывнику (поджигателю) назначают определенные заряды, с местонахождением которых он предварительно ознакамливается; ему указываются последовательность воспламенения зажигательных трубок в этих зарядах, направление и путь отхода в безопасное место (или в укрытие);

— после этого руководитель работ подает предварительную команду (сигнал): «Приготовиться»; по этой команде все взрывники подготавливают воспламенительные средства, а в трубках, не имеющих тлеющего фитиля или специальных воспламенителей, обрезают наискось огнепроводные шнуры на расстоянии около 3 см от концов, так как порох у конца шнура в заранее изготовленных зажигательных трубках может увлажниться или крошиться;

— затем взрывники останавливаются у первого заряда и, подготовившись к его поджиганию, сигнализи-

руют (чаще всего поднятием руки) руководителю работ о готовности к производству взрывания; руководитель должен находиться в таком месте, чтобы хорошо видеть каждого взрывника;

— убедившись в готовности взрывников, руководитель подает второй сигнал (команду): «Огонь»; по этому сигналу взрывники приступают к воспламенению назначенных им зажигательных трубок, а окончив эти операции и не ожидая никаких дополнительных команд, направляются по указанному им пути в безопасное место или в укрытие; руководитель работ или находящийся при нем взрывник одновременно с подачей команды «Огонь» воспламеняет контрольную зажигательную трубку и отходит от нее на 20—25 м (или располагает ее за деревянным щитом и т. п.) *; длина отрезка огнепроводного шнура в этой трубке должна быть меньше длины отрезков шнура в зажигательных трубках на столько сантиметров, сколько секунд необходимо взрывникам на отход в безопасное место; в отдельных случаях контрольная зажигательная трубка может быть заменена отсчетом времени по секундомеру (или по секундной стрелке часов);

— взрыв контрольной зажигательной трубки является сигналом для подачи третьей команды (сигнала) «Отход»; по этой команде все взрывники отходят в безопасное место независимо от того, закончили или не закончили они воспламенение всех назначенных им зажигательных трубок; руководитель работ (вместе с сигнальщиком) также отходит на безопасное расстояние от места взрывов;

— руководитель работ и назначенные им взрывники ведут счет взрывающимся зарядам в целях определения, все ли они взорвутся.

Если число взрывов совпадет с числом взрывающихся зарядов, то к месту расположения зарядов разрешается подходить по истечении времени, необходимого для рассеяния вредных газов, образующихся при взрыве (но не ранее 5 мин); в подземных выработках — только после полного проветривания забоя (но не ранее 15 мин).

* Желательно для изготовления контрольной зажигательной трубки применять капсюль-детонатор в бумажной гильзе.

Если при подсчете число взрывов окажется меньше числа воспламененных зажигательных трубок, то подходить к месту расположения зарядов разрешается только одному человеку и не ранее чем через 15 мин, которые отсчитываются с того момента, когда по расчету должен был взорваться последний заряд с наиболее длинной зажигательной трубкой. При подходе к невзорвавшимся зарядам необходимо внимательно наблюдать, нет ли признаков горения огнепроводного шнура (выделение голубоватого дыма) или выгорания взрывчатого вещества заряда (пламя, часто сопровождающееся выделением клубов дыма).

Огнепроводный шнур в отказавшей зажигательной трубке вторично поджигать запрещается. В наружный заряд взрывчатого вещества вводится другая зажигательная трубка, а внутренний заряд, расположенный в грунте, скале и т. д., взрывается способами, изложенными в § 56.

Вторичное взрывание отказавших зарядов производится с соблюдением того же порядка и техники безопасности, которые изложены выше.

После взрыва всех зарядов ВВ и осмотра места взрыва руководителем работ или назначенным им опытным взрывником можно подводить людей к месту взрыва для осмотра результатов взрывания.

При самостоятельной работе одного взрывника он сначала подает первый предупредительный сигнал и, убедившись, что в опасной зоне нет людей, подготавливает заряды к взрыванию. Затем, подав второй исполнительный сигнал, воспламеняет зажигательные трубки в зарядах и отходит в безопасное место. В этом случае обязательно применение контрольной зажигательной трубки, которая воспламеняется первой и должна быть не короче 40 см и в то же время на 60 см короче зажигательных трубок в зарядах. Ее располагают не ближе 5 м от первого поджигаемого заряда и не на пути отхода взрывника и прикрывают во избежание разлета осколков гильзы и кусков породы.

Глава 5

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СПОСОБ ВЗРЫВАНИЯ

§ 20. Общие сведения

С помощью электрической энергии можно:

- осуществлять взрыв зарядов взрывчатого вещества с безопасного расстояния или из укрытия;

- контролировать исправность всей электрической сети, отдельных ее элементов и гарантировать безотказность взрыва;

- производить взрыв в точно назначенный момент времени;

- взрывать любое число зарядов одновременно или разновременно в любой желательной последовательности (очередности) однократным включением тока.

Однако электрический способ взрывания требует более сложных принадлежностей (источник тока, провода, специальные электроизмерительные приборы) и соответственно более квалифицированных взрывников.

Кроме того, при данном способе взрывания имеется опасность преждевременного взрыва зарядов от токов, наводимых в грунте при разряде молнии вблизи электро-взрывной сети, или от блуждающих токов, возникающих в грунте вблизи электрифицированных железных дорог, мощных радиостанций и высоковольтных электропередач, а также вблизи проводов высокого напряжения в туннелях, шахтах и т. п.; поэтому необходимо принимать меры, защищающие электровзрывную сеть от наведения в ней опасных индуктированных токов.

В настоящее время применяются электрический способ взрывания и взрывание детонирующим шнуром, а огневой способ взрывания — только тогда, когда первые два способа почему-либо не могут быть использованы.

§ 21. Электровзрывные сети

Электровзрывные сети состояются из электродетонаторов и проводов.

В электровзрывную сеть входят следующие элементы:

— распределительная сеть, состоящая из электродетонаторов и соединяющих их проводов в границах расположения зарядов;

— магистраль, состоящая из двух проводов, которые связывают распределительную сеть с источником тока.

Провода электродетонатора обычно называются концевыми проводами (или концевиками), а провода, соединяющие электродетонаторы друг с другом, — участковыми.

Электровзрывные сети бывают последовательные, параллельные и смешанные (рис. 5.1). Иногда для обеспечения надежности взрыва в каждый заряд взрывчатого вещества вводятся два электродетонатора, соединенные между собой параллельно.

Так как для надежности взрыва всех электродетонаторов, соединенных в одну электровзрывную сеть, необходимо, чтобы в каждый электродетонатор поступал ток достаточной величины (табл. 3.1), то приходится подбирать или источник тока по требуемому от него напряжению

$$U = IR, \quad (5.1)$$

или сопротивление сети к имеющемуся источнику тока исходя из даваемого им напряжения

$$R = \frac{U}{I}. \quad (5.2)$$

В обоих случаях необходимо знать сопротивление электровзрывной сети. Оно определяется по известным законам электротехники:

— для последовательной сети

$$R_0 = r_{\text{ж}} + \Sigma r_{\text{уч}} + mr_{\text{эд}}; \quad (5.3)$$

— для параллельно-пучковой и смешанной сетей

$$R_0 = r_{\text{ж}} + \frac{1}{\frac{1}{R'_B} + \frac{1}{R''_B} + \frac{1}{R'''_B} + \dots + \frac{1}{R^n_B}}. \quad (5.4)$$

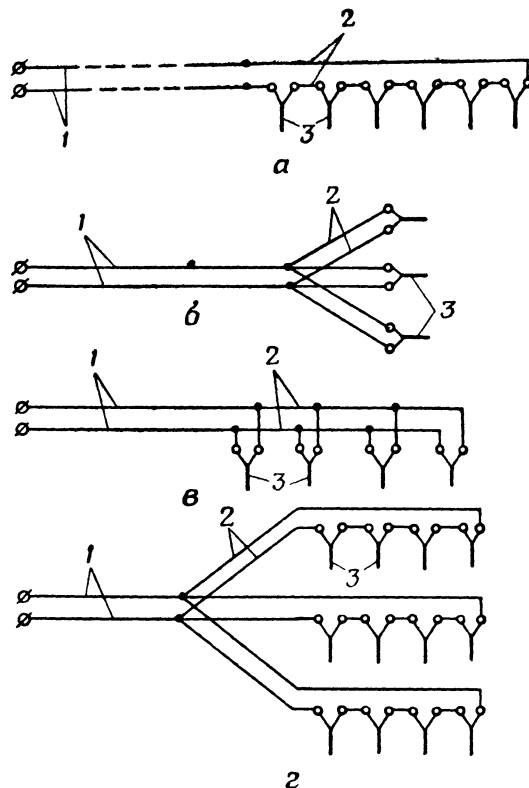


Рис. 5.1. Схемы электровзрывных сетей:
а — последовательная электровзрывная сеть; б — параллельно-пучковая сеть; в — параллельно-ступенчатая сеть; 2 — смешанная электровзрывная сеть; 1 — магистральные провода; 2 — участковые провода; 3 — электродетонаторы

Если же сопротивления параллельных ветвей будут равны, то

$$R_0 = r_{\text{ж}} + \frac{R_B}{n}. \quad (5.5)$$

Сопротивление каждой отдельной параллельной ветви определяется по формуле

$$R_B = mr_{\text{эд}} + r_{\text{уч}}. \quad (5.6)$$

В этих формулах приняты следующие обозначения:

R_c — сопротивление всей электровзрывной сети;

r_m — сопротивление обоих магистральных проводов;

$r_{уч}$ — сопротивление участковых проводов;

$r_{эд}$ — расчетное сопротивление одного электродетонатора (принимается по табл. 3.1);

$R_b, R'_b, R''_b, \dots, R^n_b$ — сопротивления отдельных параллельных ветвей;

m — число последовательно соединенных электродетонаторов;

n — число параллельных ветвей при равном их сопротивлении.

Параллельно-ступенчатые сети для обеспечения необходимой величины тока в наиболее удаленный от источника тока электродетонатор требуют достаточно сложного их расчета (с учетом потерь напряжения на отдельных участках) и условия безотказного взрыва всех электродетонаторов в сети не всегда могут быть выдержаны. Кроме того, взрыв электродетонаторов, как правило, происходит одновременно. Поэтому такие электровзрывные сети применяются в исключительных случаях (расчет их приведен в приложении 1).

Лишь конденсаторные взрывные (подрывные) машинки КПМ-1 (см. § 23) допускают простой расчет сопротивления таких сетей по формуле (5.5) при условии, что расстояние между соседними ответвлениями будут одинаковыми и не более 6 м, число ответвлений не более четырех и число электродетонаторов в каждом ответвлении будет тоже одинаковое (т. е. сопротивления ответвлений равны).

Наиболее часто применяется последовательная сеть, так как она позволяет простыми методами контролировать исправность всей сети и отдельных ее частей и требует, как правило, наименьшего расхода проводов, наименьшего сечения провода в магистрали и чаще всего менее мощного источника тока. Расчет ее также более прост. Но разрыв цепи тока даже в одном месте нарушает проводимость и ведет к отказу во взрыве всех электродетонаторов последовательной сети.

В том случае, когда не удается от имеющегося источника тока обеспечить необходимую величину тока при последовательной сети, прибегают к смешанному соединению, которое, уменьшая общее сопротивление сети, позволяет получить от источника тока (кроме динамоэлектрических взрывных машинок) достаточную величину тока.

В смешанных сетях следует выравнивать сопротивления всех параллельных ветвей в целях упрощения расчета сети. В противном случае сеть необходимо раскладывать на местности так, чтобы взрыв зарядов ВВ, расположенных на той ветви, по которой пройдет ток большей величины, не перебил проводов других ветвей, в которых из-за меньшей величины проходящего по ним тока электродетонаторы не успевают еще воспламениться (см. главу 3).

Параллельно-пучковые сети применяются очень редко, лишь при малом числе электродетонаторов, так как они требуют большей мощности источника тока, большего расхода проводов и большего их сечения.

§ 22. Провода

Для электровзрывных сетей могут быть использованы любые изолированные провода. Изоляция должна устранить всякую возможность утечки тока, особенно при прокладке электровзрывной сети во влажном грунте или в воде. Изоляция считается удовлетворительной, если ее сопротивление не менее 3000 ом.

Жила провода может быть любой (медной, алюминиевой, железной), но предпочтительно медной, так как она обладает меньшим удельным сопротивлением; лучше, если жила будет состоять из нескольких проволок, а не из одной более толстой; такая жила более прочна и гибка при сращивании двух проводов.

Сопротивление изоляции измеряют мегомметром, а при отсутствии его (в полевых условиях) омметром или мостом Уитстона. Для этого провод опускают (рис. 5.2) в бак с подсоленной водой (0,3—0,5 кг поваренной соли на ведро воды); один конец провода выводят наружу, а жилу другого конца присоединяют к клемме омметра; вторую клемму омметра подключают к листу металла, опущенному в тот же бак. Если через 20—30 мин после

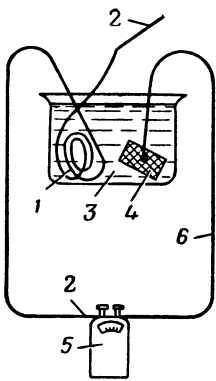


Рис. 5.2. Схема проверки качества изоляции провода:

1 — проверяемый провод; 2 — конец проверяемого провода; 3 — сосуд с подсоленной водой; 4 — металлический лист; 5 — омметр; 6 — соединительный провод

погружения провода в воду сопротивление его изоляции упадет ниже 3000 ом, значит, изоляция неисправна. Такой провод можно использовать только для наружной проводки или при подвеске его на небольшой высоте над поверхностью земли. При необходимости место повреждения изоляции можно обнаружить, медленно вытягивая свободный конец провода из бака с водой до получения на омметре показания 3000 ом и более. Часть провода с неисправной изоляцией вырезается или изоляция в нем ремонтируется обычными электротехническими методами.

В табл. 5.1 приведены характеристики некоторых проводов, выпускаемых промышленностью Советского Союза.

§ 23. Источники тока — взрывные (подрывные) машинки

Для взрывания электродетонаторов можно использовать любой источник тока, который может дать в электровзрывную сеть ток не меньше гарантийного за время, необходимое для того, чтобы в электродетонаторы поступил импульс тока, достаточный для безотказного взрывания всех электродетонаторов, включенных в одну электровзрывную сеть.

Обычно в качестве источников тока на взрывных работах применяются взрывные (подрывные) машинки или гальванические элементы; могут быть использованы также подвижные электростанции и постоянные осветительные и силовые линии.

Взрывные машинки и гальванические батареи удобны в обращении из-за малого веса и габаритов и могут быть легко доставлены к месту производства взрывных работ. Однако гальванические батареи из-за неизбежного их старения с течением времени становятся непригодными для взрывания электродетонаторов, тогда как

Таблица 5.1
Характеристика некоторых проводов

Тип (марка)	Вид изоляции	Материал жилы провода	Число проволок в жиле	Сечение жилы провода, мм ²	Сопротивление провода, ом/км	Вес (масса) провода, кг/км
ВМВ	Пластмасса	Медь	1	0,75	25,0	10,5
ПР-500	Резина в оплетке	"	1	0,75	24,5	22
ПР-500	»	"	1	1,0	18,4	25
ПР-500	»	"	1	1,5	7,4	31
ПР-500	»	"	1	2,5	12,3	42
ПВ-500	Пластмасса	"	1	0,75	24,5	16
ПВ-500	То же	"	1	1,0	18,4	19
ПВ-500	То же	"	1	1,5	12,3	24
ПВ-500	То же	"	1	2,5	7,4	38
АПР	Резина в оплетке	Алюминий	1	2,25	12,3	21
АПР	То же	То же	1	3,75	7,4	27
АПВ	Пластмасса	"	1	2,25	12,3	17
АПВ	»	"	1	3,75	7,4	23
СП-1 (одножильный)	Резина в оплетке	Медь	7	0,75	25	30
СП-2 (двухжильный)	То же	"	7×2	0,75×2	25 (одной жилы)	60
СПП-1 (одножильный)	Пластмасса	"	7	0,5	37,5	8
СПП-2 (двухжильный)	»	"	7×2	0,5×2	37,5 (одной жилы)	16

взрывные машинки практически сохраняют свою мощность длительное время.

В настоящее время в Советском Союзе применяются главным образом конденсаторные взрывные машинки.

Они обладают следующими достоинствами:
— конденсатор при разрядке дает во внешнюю цепь сразу максимальное значение тока;

— кривая разряда конденсатора по своему характеру вполне соответствует импульсному характеру воспламенения электродетонаторов;

— от конденсатора, разряд которого протекает в очень короткий промежуток времени, можно получить мощность, во много раз большую мощности устройства, примененного для зарядки конденсатора.

Конденсаторная взрывная (подрывная) машинка КПМ-1 (рис. 5.3) приводится в действие от индуктора, вращаемого от руки съемной рукояткой; напряжение от индуктора через трансформатор поступает в схему удвоения, которая состоит из конденсатора и двух выпрямителей, и повышает напряжение до 1500 в; затем оно поступает в рабочий конденсатор (конденсатор-накопитель); когда последний полностью зарядится, то загорается неоновая лампочка, сигнализирующая через окно в кожухе машинки о готовности машинки к действию; лампочка одновременно является разрядником, защищающим конденсатор от пробоя, возможного при увеличении напряжения выше допустимого при очень быстром вращении ручки индуктора.

Для взрыва, т. е. для замыкания рабочего конденсатора на внешнюю электровзрывную сеть, необходимо нажать на кнопку, расположенную на кожухе машинки.

В электрическую схему конденсаторной машинки введено еще разрядное сопротивление, которое выключается при вставлении рукоятки индуктора. При вынимании рукоятки разрядное сопротивление автоматически подключается к конденсатору, снимая тем самым большое напряжение (1500 в) с внешних зажимов машинки. В схеме имеется также автоматический выключатель, действующий при вращении рукоятки индуктора и замыкающий при этом цепь выпрямителей и рабочего конденсатора.

Параллельно внешним зажимам подключены контакты штепсельной розетки, которая служит для параллель-

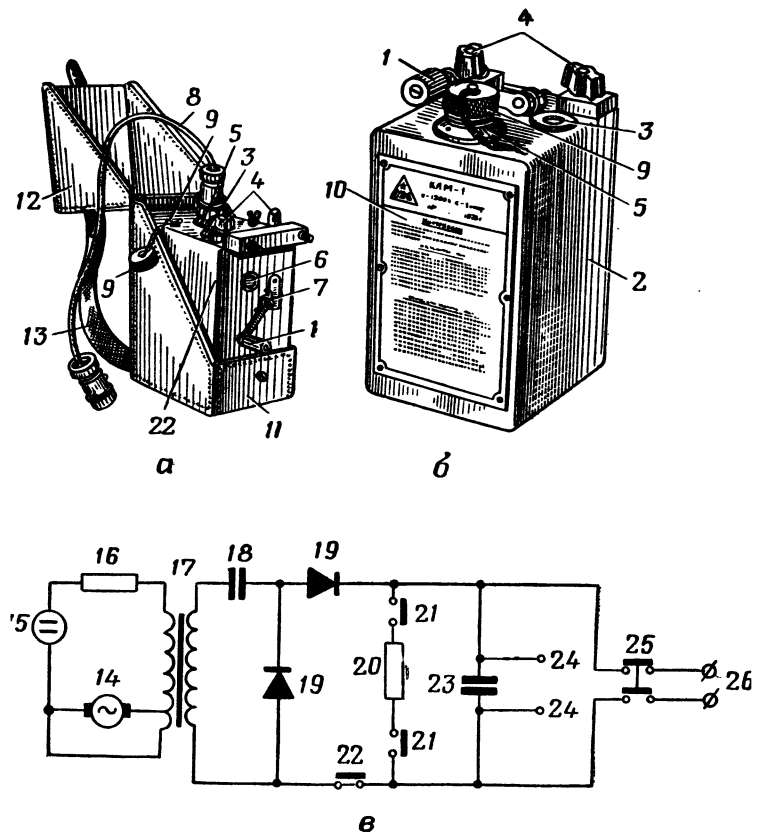


Рис. 5.3. Конденсаторная взрывная (подрывная) машинка КПМ-1:
а и б — общий вид машинки; в — электрическая схема; 1 — рукоятка для вращения генератора; 2 — корпус машинки; 3 — сигнальная (неоновая) лампочка; 4 — зажимы для присоединения проводов электровзрывной сети; 5 — розетка штепсельного разъема; 6 — кнопка взрыва; 7 — заслонка; 8 — штепсельный разъем для параллельного соединения двух машинок; 9 — крышка розетки штепсельного разъема; 10 — табличка с инструкцией пользования; 11 — чехол; 12 — крышка чехла; 13 — ручка для переноски; 14 — генератор; 15 — неоновая лампочка; 16 — балластное сопротивление; 17 — трансформатор; 18 — конденсатор удвоения; 19 — селеновые выпрямители; 20 — разрядное сопротивление; 21 — контакты разрядного сопротивления; 22 — автоматический контакт; 23 — конденсатор-накопитель; 24 — контакты штепсельного разъема; 25 — кнопка взрыва; 26 — зажимы

ного соединения двух конденсаторных машинок; это вдвое увеличивает мощность источника тока и позволяет вдвое увеличить число одновременно взрывааемых электродетонаторов. При этом провода электровзрывной сети при-

соединяются к зажимам какой-либо одной машинки, вращается рукоятка и нажимается кнопка взрыва этой же машинки. Рукоятки должны быть вставлены в обе машинки.

При применении конденсаторных машинок, имеющих высокое напряжение, сначала надо вставить рукоятку индуктора, а затем присоединять провода электровзрывной сети и только после этого вращать рукоятку индуктора в течение 10—12 сек. Кнопку включателя внешней сети для производства взрыва можно нажимать лишь тогда, когда начнет светиться неоновый разрядник. После взрыва необходимо сначала вынуть рукоятку индуктора из гнезда (т. е. снять напряжение с зажимов, разрядив конденсатор) и только после этого отсоединить провода внешней сети от зажимов машинки; последние выполнены так, что практически устранена возможность касания руками металла зажимов.

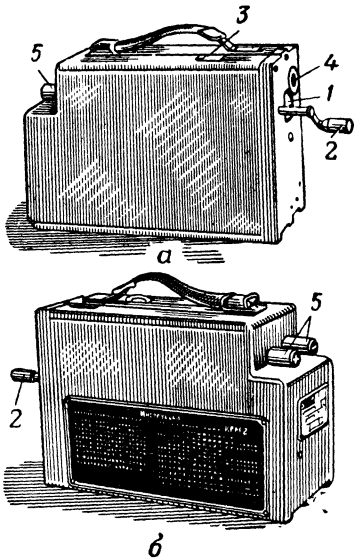


Рис. 5.4. Конденсаторная взрывная (подрывная) машинка КПМ-2: а — вид спереди; б — вид сзади; 1 — пружинная заслонка; 2 — приводная рукоятка; 3 — окно неоновой лампочки; 4 — кнопка взрыва; 5 — линейные зажимы

Исправность конденсаторных взрывных машинок и их пригодность для взрыва проверяются или взрыванием двух параллельно соединенных электродетонаторов при добавочном сопротивлении, приложенном к машинке, или специальным пультом, также приложенным к машинке, которая в этом случае называется машинкой КПМ-1А.

На рис. 5.4 показана взрывная машинка КПМ-2, подобная машинке КПМ-1, но обладающая большей мощностью; однако она не имеет выводов для параллельного соединения двух машинок. Напряжение на зажимах также 1500 в.

Таблица 5.2

Характеристики некоторых конденсаторных взрывных машинок

Наименование взрывной машинки	Электрические данные		Способ соединения электродетонаторов	Предельно допустимое сопротивление сети при взрыве		Максимальное число электродетонаторов или число параллельных групп	
	напряжение, в	емкость конденсатора, мкф		ЭДП	ЭД-8-Э	ЭДП	ЭД-8-Э
КПМ-1	1500	2	Последовательное	350	300	100	100
КПМ-1, соединенные для совместной работы	—	—	Параллельное	15	15	5	4
КПМ-2	1500	5, 4	Последовательное	700	600	200	200
КВП-1/100	600	10	Параллельное	30	30	5	4
ПВ-100	600	10	Последовательное	900	800	300	200
ВМК-500	3000	3, 3	Параллельное	25	25	6	5
			Параллельное	360	350	100	100
			Параллельное	20	20	4	4
			Параллельное	360	350	100	100
			Параллельное	20	20	4	4
			Параллельное	2100	2000	800	800
			Параллельное	50	50	6	6

Наименование взрывной машинки	Электрические данные		Способ соединения электродетонаторов	Предельно допустимое сопротивление сети при		Максимальное число электродетонаторов или число параллельных групп	
	напряжение, в	емкость конденсатора, мкф		ЭДП	ЭД-8-Э	ЭДП	ЭД-8-Э
Английская Мк-2	1500	6	Последовательное Параллельное	900 25	800	300	200 5
Немецкая № 812	450	8	Последовательное Параллельное	170 15	160	40	30 3
Немецкая № 805	780	10	Последовательное Параллельное	400 15	300	100	50 4
Немецкая № 818	1000	10	Последовательное Параллельное	700 25	600	200	125 5
Немецкая № 922	3000	40	Последовательное Параллельное	2500 70	2000	500	400 5

Примечание. Величины предельных сопротивлений и число советских электродетонаторов (или их параллельных групп) для иностранных взрывных машинок получены расчетом и перед использованием таких машинок подлежат практической проверке.

Конденсаторными взрывными машинками можно взрывать параллельные и смешанные электровзрывные сети. Однако предельно допустимое сопротивление электровзрывной сети в этом случае должно быть меньше допустимого для последовательной сети (табл. 5.2). Величина максимально возможного сопротивления сети зависит от числа параллельных ветвей и при одинаковом их сопротивлении определяется по формуле

$$R_{\text{парал}} = \frac{R_{\text{пр}}}{n^2}, \quad (5.7)$$

где $R_{\text{парал}}$ — максимально допустимое сопротивление параллельной (смешанной) сети;

$R_{\text{пр}}$ — предельно допустимое сопротивление последовательной сети (табл. 5.2);

n — число параллельных групп.

Например, машинка КПМ-1 при трех параллельных группах может обеспечить взрыв электродетонаторов при максимальном сопротивлении сети

$$R_{\text{парал}} = \frac{350}{3^2} \approx 39 \text{ ом.}$$

Некоторые взрывные машинки в качестве первоначального источника тока могут иметь гальванические батареи или аккумуляторы с соответствующим изменением электрической схемы машинки. Рабочие конденсаторы этих машинок имеют также различные напряжения (450—3000 в).

На рис. 5.5 показана советская взрывная машинка КВП-1/100, имеющая источник тока из трех элементов типа «Сатурн» (1,6-ФМЦ-3,2). Для заряжания машинки ключ вставляется в гнездо для него и плавно поворачивается к надписи «Заряд»; через несколько секунд должна загореться сигнальная лампочка,

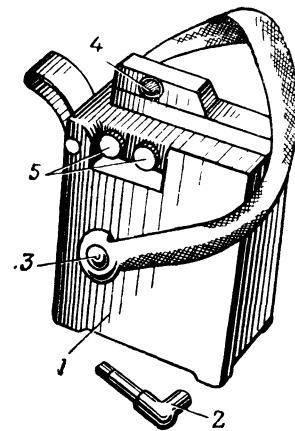


Рис. 5.5. Конденсаторная взрывная машинка КВП-1/100:

1 — корпус машинки; 2 — ключ; 3 — заглушка гнезда для вставки ключа; 4 — окно сигнальной лампочки; 5 — клеммы

свидетельствуя о готовности машинки к взрыву. После этого ключ поворачивается к надписи «Взрыв». Напряжение на рабочем конденсаторе машинки 600 в.

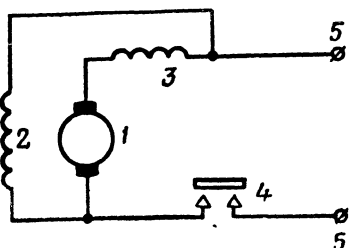


Рис. 5.6. Электрическая схема динамоэлектрической взрывной машинки:

1 — генератор; 2 — параллельная обмотка возбуждения; 3 — последовательная обмотка возбуждения; 4 — автоматический включатель внешней сети; 5 — линейные зажимы

В табл. 5.2 приведены характеристики некоторых конденсаторных взрывных (подрывных) машинок.

Кроме конденсаторных взрывных машинок применяются и динамоэлектрические машинки; однако они постепенно выходят из употребления. Особенностью динамоэлектрических машинок является возможность взрыва ими только последовательных электровзрывных сетей, так как ток, развиваемый ими, ограничен 1—1,3 а. Принципиальная электрическая схема таких машинок приведена на рис. 5.6, а внешний вид некоторых из них приведен на рис. 5.7 (на рис. 5.7, а

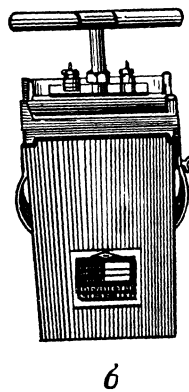
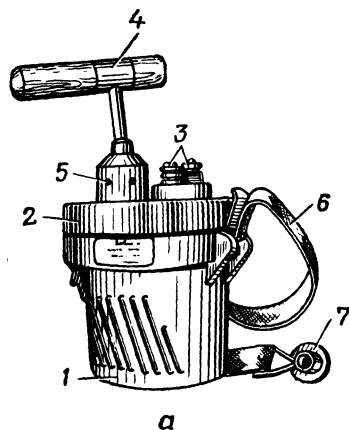


Рис. 5.7. Динамоэлектрические машинки: а — советская машинка ПМ-3; б — американская машинка с зубчатой рейкой; 1 — корпус машинки; 2 — крышка корпуса; 3 — линейные зажимы; 4 — приводной ключ; 5 — гнездо, в которое выведен вал приводного механизма генератора; 6 — ручка для переноски машинки; 7 — заглушка гнезда

показана советская машинка ПМ-3, приводимая в действие резким поворотом рукоятки до упора, а на рис. 5.7, б американская с приводом в виде зубчатой рейки, предварительно выдвигаемой вверх, а затем резко до-сылаемой вниз до упора).

Эти взрывные машинки имеют различную мощность и могут взрывать 10—100 электродетонаторов. При использовании их для взрыва советских электродетонаторов необходимо предварительно проверить их мощность взрыванием одного электродетонатора через добавочное сопротивление.

§ 24. Источники тока — гальванические батареи

В качестве источника тока при выполнении взрывных работ часто используются гальванические сухие батареи БАС-60 (70-АМЦГ-У-1,3) и БАС-80 (100-АМЦГ-У-2,0). Однако при их использовании необходимо всегда учитывать следующие два обстоятельства:

а) батареи, не имеющие в своем обозначении буквы У (см. выше в скобках), при температуре ниже нуля снижают напряжение, даваемое ими во внешнюю цепь; поэтому в холодное время года батареи следует утеплять, завертывая в войлок, шерстяную ткань и т. п., или же отогревать в теплом помещении и выносить на холодный воздух только непосредственно перед взрывом;

б) батареи имеют довольно большое внутреннее сопротивление, которое повышается постепенно с течением времени и может увеличиться по сравнению с начальным в 2—2,5 раза, снижая напряжение на внешних зажимах, а следовательно, и ток во внешней цепи; начальное сопротивление у батарей БАС-60, например, 35—40 ом; величину внутреннего сопротивления гальванической батареи поэтому следует учитывать, включая в общую расчетную величину сопротивления электровзрывной сети, а для этого необходимо знать внутреннее

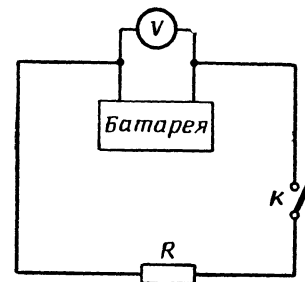


Рис. 5.8. Схема определения внутреннего сопротивления гальванических батарей: V — вольтметр; R — сопротивление, величина которого известна; K — ключ для включения сопротивления в цепь тока

сопротивление батарей, т. е. надо его измерить; измерение производится по схеме, изображенной на рис. 5.8; к батарее параллельно подключены вольтметр и сопротивление, величина которого должна быть точно известна; сначала по вольтметру определяется при разомкнутом рубильнике величина ЭДС батареи E , а затем при замкнутом на 1—2 сек рубильнике величина напряжения U , даваемого батареей; после этого величина внутреннего сопротивления батареи подсчитывается по формуле

$$R_{\text{внутр}} = \frac{E - U}{U} R_{\text{изв}}. \quad (5.8)$$

Если после размыкания рубильника ЭДС батареи не восстановится в течение 1—2 мин до первоначальной величины, то батарея непригодна для взрывания, так как она не даст ток требуемой величины.

Величина тока, даваемого исправной батареей, определяется по формуле

$$I_6 = \frac{E}{2R_{\text{внутр}}}. \quad (5.9)$$

При известных ЭДС и внутреннем сопротивлении батареи даваемое ею во внешнюю сеть напряжение может быть получено из выражения

$$U_6 = E - I_6 R_{\text{внутр}}. \quad (5.10)$$

При недостаточности напряжения одной батареи соединяется последовательно несколько батарей, число которых определяется по формуле

$$m = \frac{U_{\text{треб}}}{U_6}, \quad (5.11)$$

а при недостаточности одной или нескольких последовательно соединенных батарей по току параллельно соединяется несколько таких же батарей; их число определяется по формуле

$$n = \frac{I_{\text{треб}}}{I_6}. \quad (5.12)$$

Тогда общее число необходимых батарей будет

$$N = m \cdot n. \quad (5.13)$$

Во всех случаях подбора общего числа батарей необходимо проверять величину тока, фактически даваемого во внешнюю сеть с учетом суммарного сопротивления всей электрической цепи, по формуле

$$I_{\text{факт}} = \frac{mE}{R_0 + \frac{m}{n} R_{\text{внутр}}}. \quad (5.14)$$

$I_{\text{факт}}$ должен быть не меньше $I_{\text{треб}}$.

Наименьшее число батарей будет в том случае, когда их общее внутреннее сопротивление примерно равно сопротивлению электровзрывной сети.

Пригодность батарей к применению для взрывания в полевых условиях проверяется или пробником М-360, или взрыванием двух параллельно соединенных электродетонаторов при добавочном сопротивлении, приблизительно равном расчетному сопротивлению электровзрывной сети.

§ 25. Источники тока — аккумуляторы

В аккумуляторах по сравнению с другими источниками тока меньше изменяется напряжение при низких температурах и хранении. Однако их пригодность для взрывания следует проверять по схеме, приведенной на рис. 5.8. Величина $R_{\text{изв}}$ должна быть примерно равна $1/3$ номинального напряжения аккумулятора.

Если при включенном сопротивлении напряжение аккумулятора близко к номинальному и не будет падать, то аккумулятор можно считать годным к использованию, в противном случае его следует предварительно зарядить.

При температуре ниже нуля аккумуляторы, как и гальванические батареи, необходимо утеплять.

Внутреннее сопротивление аккумуляторов ввиду его незначительности в расчеты не принимается.

Число последовательно и параллельно соединенных аккумуляторов подбирается по тем же правилам, как и число гальванических батарей.

§ 26. Источники тока — постоянные осветительные и силовые линии и передвижные электрические станции

Эти источники электрической энергии используются для взрывания без ограничений, кроме условия обеспе-

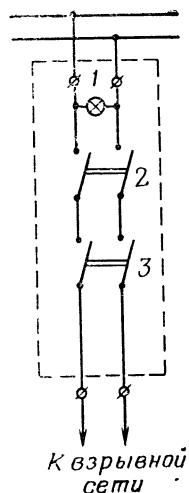


Рис. 5.9. Парные рубильники для подключения электровзрывной сети к осветительной (силовой) сети:

1 — контрольная лампочка; 2 — рубильник предварительного включения; 3 — рубильник для производства взрыва

чения необходимой величины тока. Ток, поступающий из сети в электровзрывные провода, определяют по закону Ома, принимая в расчет напряжение, равное напряжению сети. Однако перед взрывом достаточность напряжения в сети рекомендуется проверить включением в нее вольтметра и сопротивления, примерно равного сопротивлению электровзрывной сети.

Для подключения магистральных проводов электровзрывной сети к проводам осветительных и силовых линий следует применять парные рубильники обычного типа (рис. 5.9), вмонтированные в небольшой шкаф с закрывающейся на замок дверцей; в дверце должны быть отверстия, в которые входят рукоятки рубильников, находящихся в положении размыкания.

§ 27. Электроизмерительные приборы

Для безотказного взрывания всех электродетонаторов, включенных в одну сеть, кроме требуемой величины тока необходимо правильное и тщательное изготовление самой сети; сопротивление электровзрывной сети должно быть равным рассчитанному; допускаются отклонения не более $\pm 10\%$.

Для проверки сопротивления сети или отдельных ее элементов применяются омметр М-57 и линейный мост Витстона ЛМ-48, а для проверки исправности и пригодности к применению источника тока — специальные пульты и пробники.

Линейный мост ЛМ-48 (рис. 5.10) позволяет с большой точностью измерить сопротивление электро-взрывных сетей, отдельных электродетонаторов и проводов. Электрическая схема линейного моста смонтирована внутри металлического корпуса, а управление ею выведено на панель, расположенную под крышкой корпуса.

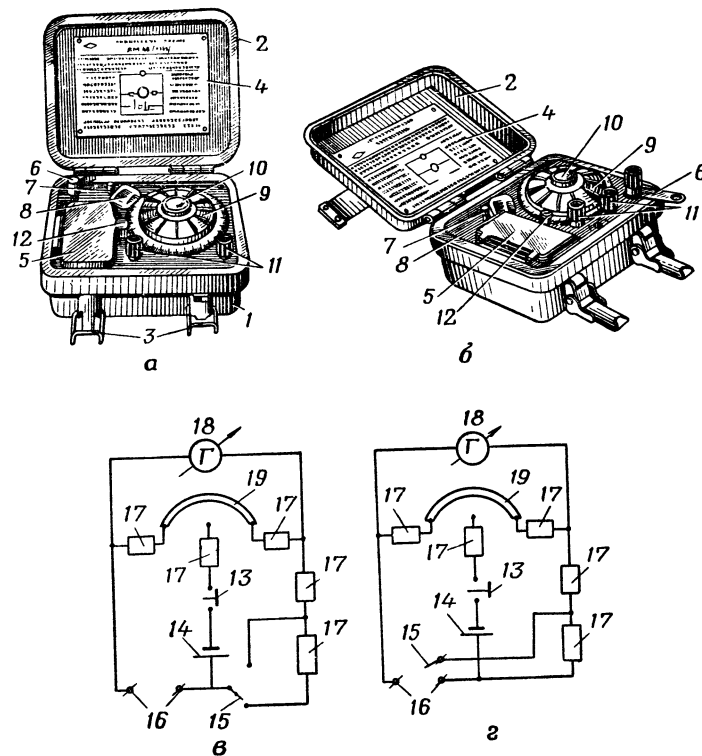


Рис. 5.10. Линейный мост ЛМ-48:

а — с двумя клеммами; б — с тремя клеммами; в — электрическая схема моста с двумя клеммами; г — электрическая схема моста с тремя клеммами; 1 — корпус; 2 — крышка; 3 — замки; 4 — инструкция пользования мостом; 5 — дверца гнезда для элемента; 6 — переключатель диапазонов измерения; 7 — винт корректора; 8 — гальванометр; 9 — реохорд с лимбом; 10 — кнопка включения; 11 — клеммы для присоединения измеряемого сопротивления; 12 — винт дверцы; 13 — кнопка включения элемента; 14 — элемент; 15 — переключатель диапазонов измерения; 16 — клеммы для подключения измеряемого сопротивления; 17 — сопротивления; 18 — гальванометр; 19 — реохорд

Линейный мост имеет два предела измерения — 0,2—50 Ω по одной шкале и 20—5000 Ω по другой шкале.

Переключатель пределов измерения выполнен или в виде поворотного рычажка (рис. 5.10, а), или в виде откидной перемычки, которая закорачивает два зажима из трех (рис. 5.10, б).

Перед применением моста необходимо убедиться в его исправности и безопасности тока, даваемого мостом во внешнюю сеть.

Исправность моста проверяют, нажимая кнопку включения, при замкнутых накоротко зажимах; если стрелка гальванометра отклонится влево до отказа, мост исправен; если не отклонится следует заменить элемент, находящийся в гнезде, которое расположено на левой части панели и прикрыто дверцей. Правильное положение элемента в гнезде определяется отклонением стрелки гальванометра вправо при нажатии кнопки включения.

Проверка на безопасность тока, даваемого мостом во внешнюю цепь, осуществляется в полевых условиях подключением к зажимам моста проводов одного электродетонатора и нажатием кнопки включения при положении ручки переключателя против надписи «Запал» (или при замыкании накоротко двух зажимов откидной перемычкой). Ток, даваемый мостом, безопасен, если при этом не произойдет взрыва электродетонатора. При проверке моста электродетонатор следует прикрыть доской, листом фанеры или металла или зарыть в землю на глубину 5—10 см, чтобы в случае взрыва электродетонатора осколками его гильзы не поранить проверяющего.

Непосредственно перед измерением внешнего сопротивления стрелку гальванометра необходимо установить точно в нулевое положение (по середине шкалы гальванометра), вращая винт корректора.

При измерении малых сопротивлений (до 20 ом) ручку переключателя устанавливают против надписи «Запал» (перемычка замкнута); при нажатой кнопке включения вращают лимб реохорда, пока стрелка гальванометра не вернется в нулевое положение. По делению шкалы на лимбе, которое находится против риски, нанесенной на рамке окна гальванометра, определяется величина измеряемого сопротивления, при этом отсчет ведется по ряду цифр от 0,2 до 50 ом.

При измерении сопротивлений больше 20 ом ручку переключателя устанавливают против надписи «Линия» (перемычка откинута), и отсчет величины измеряемого сопротивления ведется по ряду цифр от 20 до 5000 ом.

Сопротивления от 20 до 50 ом можно измерять и при положении ручки переключателя против надписи «Запал»; однако точность измерения в этом случае будет меньше, так как величина деления на соответствующей шкале лимба меньше, чем на другой шкале.

Малый омметр М-57 (рис. 5.11) можно использовать только для определения проводимости электродетонатора или электровзрывной сети и ее элементов, так как цена делений при малых размерах на шкале омметра очень велика. Этим омметром можно приближенно измерить и сопротивление электровзрывной сети, для этого

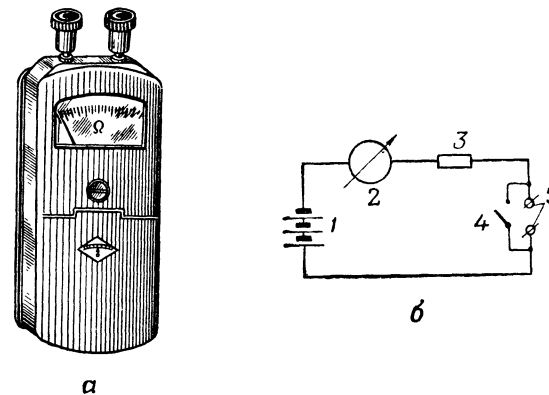


Рис. 5.11. Малый омметр М-57:
а — общий вид; б — электрическая схема; 1 — батарея карманного фонаря (КБС-Х-0,7); 2 — гальванометр; 3 — сопротивление; 4 — кнопка короткого замыкания клеммы; 5 — клеммы

шкала имеет числовое обозначение делений от 0 до 5000 ом.

Проводимость проверяемых сетей или ее элементов определяют по отклонению стрелки омметра вправо к нулевому делению шкалы, а величину сопротивления приближенно устанавливают по числу, нанесенному у того деления, против которого остановилась стрелка.

Перед применением омметр должен быть проверен на исправность и на безопасность тока, поступающего во внешнюю цепь. Омметр исправен, если при коротком замыкании зажимов нажатием на кнопку, расположенную около зажимов, стрелка омметра отклонится вправо. Безопасность тока проверяют, подключая к зажимам омметра провода одного электродетонатора с соблюдением при этом таких же мер предосторожности, как и при пользовании линейным мостом.

Если кроме определения проводимости требуется измерить и примерную величину сопротивления, то необходимо при коротком замыкании зажимов омметра не только получить отклонение стрелки вправо, но и установить ее точно против нуля шкалы, повернув винт, расположенный на задней стенке корпуса омметра.

В старых образцах омметра кнопки короткого замыкания нет, зажимы закорачиваются проволокой (ножом, гвоздем и т. п.).

Пульт для определения исправности конденсаторной взрывной машинки КПМ-1 (рис. 5.12) присоединяют к клеммам взрывной машинки

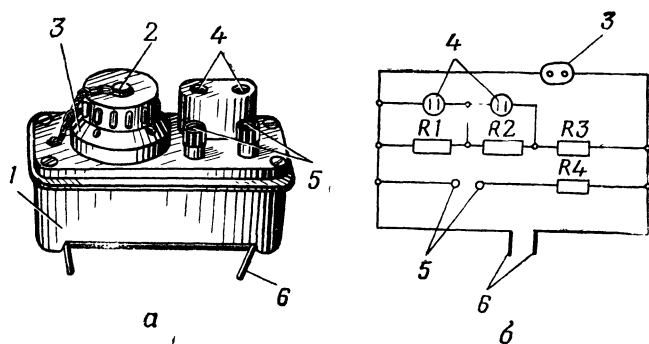


Рис. 5.12. Пульт для определения исправности конденсаторных взрывных машинок КПМ-1:

а — общий вид; б — электрическая схема; 1 — корпус; 2 — крышка гнезда штепсельного разъема; 3 — гнездо штепсельного разъема; 4 — неоновые лампочки; 5 — клеммы для присоединения электродетонатора; 6 — откидные штырьки

двумя откидными штырьками. После зарядания машинки до свечения ее неоновой лампочки нажимают кнопку взрыва; при этом должны светиться две неоновые лампочки, размещенные в окнах пульта. Одна лампочка свидетельствует о том, что напряжение конденсатора-накопителя не менее 1500 в; она быстро гаснет. Другая лампочка после этого должна светиться около 30 сек, что свидетельствует о нормальной емкости конденсатора-накопителя (2 мкф). В этом случае машинка исправна.

При проверке исправности двух машинок, соединенных между собой штепсельным разъемом, вторая лампочка должна светиться около 1 мин. С помощью двух клемм, имеющих на пульте, можно установить возмож-

ность взрывания данной машинкой электродетонаторов с неизвестными характеристиками. Для этого, зарядив машинку и нажав кнопку взрыва, отпустить последнюю сразу же после прекращения свечения первой лампочки; затем, присоединив к клеммам пульта два параллельно соединенных электродетонатора (соблюдая необходимые меры безопасности), вновь нажать кнопку взрыва. Если оба электродетонатора взорвутся, то их можно применять в соответствии с нормами, установленными для советских электродетонаторов с нихромовым мостиком ЭД-8-Э и ЭД-8-Ж.

Если пульт присоединить к машинке через соединительный кабель, то при исправном кабеле лампочка на пульте будет светиться. Если же в процессе свечения лампочки вынуть рукоятку, то при исправности цепи рядного сопротивления лампочка погаснет.

Таким образом, пультом можно проверить исправность всех элементов электрической схемы машинки.

Пробник М-360 для проверки пригодности гальванических батарей (рис. 5.13) позволяет с достаточной точностью (2,5%) измерить величину тока и напряжения этих батарей (для чего он в основном и предназначен), а также приближенную величину сопротивления электровзрывной сети, точность измерения которого значительно ниже: на краях шкалы (от 0 до 80 и от 500 до 5000) она составляет около 25%, а в середине шкалы (от 80 до 500) — около 12%.

В зависимости от измеряемой величины ручка-указатель переключателя, расположенная на панели пробника справа, ставится либо для измерения тока (отметка А), либо для измерения напряжения (отметка В), либо для измерения сопротивления (отметка Ω). Для токов и напряжений под их буквенным обозначением нанесены также и максимальные значения этих величин, измеряемых пробником при различных положениях ручки-указателя переключателя (табл. 5.3).

При пользовании пробником после установки переключателя в требуемое положение подводят стрелку пробника к нулю соответствующей шкалы (нижняя — для токов и напряжений, верхняя — для сопротивлений), что достигается вращением винта корректора, находящегося на панели под окном, которое прикрывает измерительные шкалы; затем, подключив к зажимам пробника

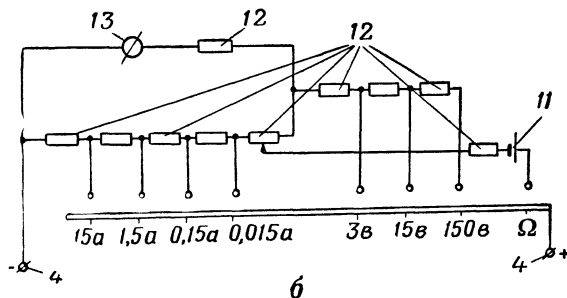
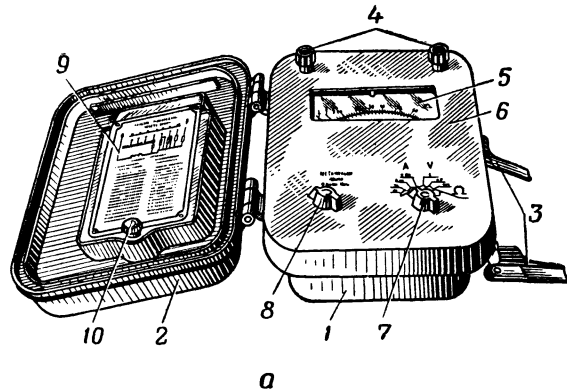


Рис. 5.13. Пробник М-360 для проверки пригодности гальванических батарей:

а — общий вид; б — электрическая схема; 1 — корпус; 2 — крышка; 3 — замки; 4 — клеммы для присоединения батарей (или измеряемого сопротивления); 5 — шкала; 6 — корректор; 7 — переключатель измерения тока или напряжения; 8 — ручка регулировочного сопротивления; 9 — щиток с инструкцией пользования пробником; 10 — винт, закрепляющий щиток; 11 — элемент; 12 — сопротивления; 13 — гальванометр

Таблица 5.3

Цена делений нижней шкалы пробника

При измерении тока		При измерении напряжения	
максимальная измеряемая величина тока, а	цена деления на нижней шкале, а	максимальная измеряемая величина напряжения, в	цена деления на нижней шкале, в
0,015	0,001	3	0,2
0,15	0,01	15	1
1,5	0,1	150	10
15	1	—	—

выводные провода батарей на 2—3 сек с соблюдением полярности, помеченной у зажимов, определяют деление шкалы, против которого остановилась стрелка; число, стоящее у этого деления, умножают на соответствующую величину графы 2 или 4 табл. 5.3 и получают истинное значение тока или напряжения.

При измерении сопротивлений, прежде чем подключить их к зажимам пробника, надо точно откорректировать положение стрелки пробника против нуля шкалы, для чего накоротко замкнуть зажимы пробника и вращать ручку регулятора, находящуюся на панели пробника слева, после этого можно измерять сопротивление электровзрывных сетей, читая его величину по верхней шкале.

§ 28. Защита электровзрывных сетей от грозовых разрядов и блуждающих токов

Разряд молнии на землю вызывает появление в земле кратковременных (импульсных) электрических токов. Если это явление произойдет вблизи электровзрывной сети, в ней может возникнуть индуктированный ток, достаточный для воспламенения электродетонаторов.

От прямого удара молнии можно защититься, применяя хорошо экранированные провода, что, конечно, для полевых условий весьма затруднительно. Поэтому чаще приходится прибегать к мерам, защищающим электровзрывную сеть лишь в случае грозового разряда вблизи сети.

Наиболее действенной защитой являются специальные грозозащитные устройства (рис. 5.14), основанные на шунтировании грозовых (импульсных) токов неоновым разрядником при одновременном снижении дополнительным сопротивлением величины тока, поступающего в электродетонатор.

Для надежной защиты такие грозозащитные разрядники (ГЗУ) следует включать перед каждым электродетонатором (рис. 5.15).

Однако необходимо учитывать, что такое включение разрядников существенно повышает сопротивление сети; к сопротивлению электродетонатора добавляется сопротивление катушки разрядника, составляющее 10 ом.

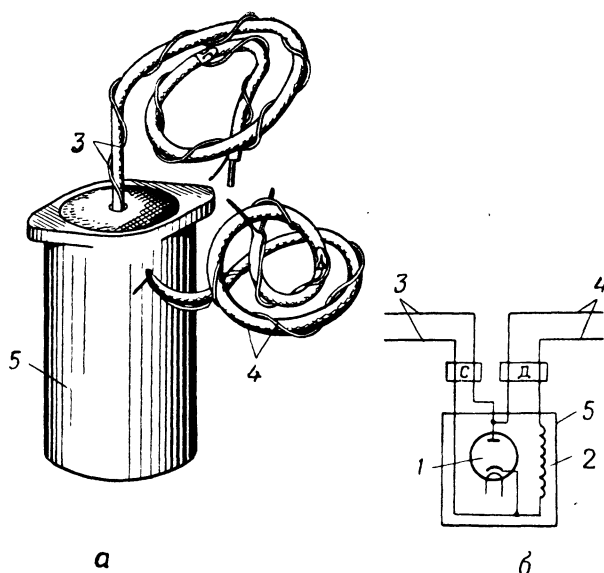


Рис. 5.14. Грозозащитное устройство ГЗУ:

а — общий вид; б — электрическая схема; 1 — неоновый разрядник; 2 — катушка самоиндукции; 3 — провода с биркой «С» для подключения к сети; 4 — провода с биркой «Д» для присоединения электродетонатора; 5 — корпус

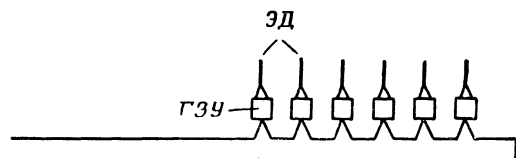


Рис. 5.15 Последовательная электрическая сеть с грозозащитными устройствами

При невозможности применить грозозащитные разрядники можно использовать другие, но менее эффективные меры:

— укладка рядом с магистральными и участковыми проводами голый проволоки с одновременным связыванием магистральных и участковых одножильных проводов друг с другом через каждые 1—2 м;

— скручивание одножильных проводов между собой;

— разведение концов магистральных проводов, нахо-

дящихся на взрывной станции, с одновременным изолированием их лентой;

— при возможности по условиям подготовки взрыва отсоединение распределительных проводов от магистральных и изолирование их концов.

Во всех случаях, когда следует опасаться токов грозового разряда, необходимо применять провода, самым тщательным образом проверенные на исправность их изоляции.

Применение грозозащитных разрядников, отводящих импульсные токи грозового разряда, создает некоторые дополнительные условия для использования конденсаторных взрывных машинок, которые дают во внешнюю электрическую сеть тоже импульсный ток. Поэтому для возможности производства взрыва конденсаторной машинкой напряжение в сети должно быть меньше напряжения срабатывания разрядника, т. е. меньше 60 в; это возможно при соответствующем сопротивлении электровзрывной сети или при включении в нее дополнительного сопротивления, величина которого может быть определена исходя из условий равенства токов на входе ГЗУ и на зажимах конденсаторной машинки, т. е.

$$I_{\text{ГЗУ}} = I_{\text{ист}} \quad (5.15)$$

или

$$\frac{U_{\text{ГЗУ}}}{R_{\text{ГЗУ}} + r_{\text{эд}}} = \frac{U_{\text{ист}}}{R_{\Sigma}}, \quad (5.16)$$

откуда при $U_{\text{ГЗУ}} = 60$ в суммарное сопротивление электровзрывной сети должно быть

$$R_{\Sigma} > \frac{U_{\text{ист}} (R_{\text{ГЗУ}} + r_{\text{эд}})}{60}. \quad (5.17)$$

Следовательно, величина добавочного сопротивления для обеспечения взрыва электродетонаторов

$$R_{\text{доб}} = R_{\Sigma} - R_{\text{с}}. \quad (5.18)$$

Для машинок КПМ-1 и КПМ-2 при электродетонаторах ЭДП общее сопротивление электровзрывной сети должно быть

$$R_{\Sigma} = 325 \text{ ом}.$$

Блуждающие токи не имеют импульсного характера, поэтому и защититься от них труднее, несмотря на меньшую по сравнению с грозовыми токами величину.

Полную защиту от них можно обеспечить, применяя либо специальные электродетонаторы, либо экранированные провода. В противном случае магистральные и участковые провода нужно подвешивать на некотором расстоянии от поверхности грунта или стенок подземной выработки, а также на расстоянии 150—200 м от линий высоковольтных передач и мощных радиостанций или заменять (где возможно) электровзрывные сети сетями из детонирующего шнура. При прокладке электровзрывных сетей вдоль действующих электрифицированных железных дорог и в туннелях их необходимо заключать внутрь металлических труб или устройств, их заменяющих, например между двумя швеллерами или уголками, обеспечивая отсутствие разрывов между последними по длине.

§ 29. Обеспечение безотказности взрывания и техника безопасности

Все электродетонаторы, провода и источники тока, применяемые для взрывания, должны быть тщательно проверены на исправность и безопасность.

Присоединение электродетонаторов с удлиненными концевиками в общую электровзрывную сеть следует производить только после того, как электродетонаторы вставлены в заряды (или расположены вблизи открытых наружных зарядов), а все люди, не занятые работами по изготовлению сети, удалены на безопасное расстояние.

Когда взрывная сеть изготовлена, производится проверка ее исправности и соответствия фактического ее сопротивления расчетному. Такая проверка производится дважды: первый раз до забивки внутренних зарядов или до вставления электродетонаторов в наружные заряды, второй раз после выполнения этих операций. Отклонение измеренной величины сопротивления сети от расчетной допускается в пределах не более 10%.

Для своевременного устранения неисправностей, которые могут возникнуть в сети, дальнейшие проверочные измерения ее сопротивления следует производить периодически несколько раз в сутки.

Если возможно, такая же проверка электровзрывной

сети выполняется и непосредственно перед производством взрыва. Эти дополнительные проверки имеют особое значение в военной обстановке, где взрыв должен быть произведен немедленно по получении распоряжения об этом.

В некоторых случаях при подготовке ответственного взрыва и при достаточном времени целесообразно предварительно изготовить и взорвать пробную электровзрывную сеть, точно соответствующую той, которая будет использована при осуществлении действительного взрыва.

Весьма важно для обеспечения надежности взрыва зарядов защищать провода электровзрывной сети от повреждений, для чего следует располагать их вдоль стен шурфов, галерей и подобных им выработок и прикрывать досками, уголкового железом или заключать в трубы, а на поясах мостовых ферм — с внутренней стороны их.

Магистральные провода, а при возможности и участковые следует прокладывать на глубине 20—25 см под поверхностный слой грунта для защиты от повреждений проходящим транспортом, в боевой обстановке в целях защиты от перебивания осколками и повреждения ударной волной ядерного взрыва. Провода, прокладываемые вдоль элементов конструкций при подготовке разрушения какого-либо сооружения, следует располагать так, чтобы они в наименьшей степени подвергались возможным повреждениям.

В процессе подготовки и содержания электровзрывных сетей необходимо принимать меры для предотвращения преждевременного взрыва зарядов ВВ; для этого следует применять электроизмерительные приборы только проверенные на безопасность по току, создавать невозможность доступа кого-либо без ведома и разрешения руководителя работ к концам магистральных проводов, источникам тока и электроизмерительным приборам. Несоблюдение этих требований может стать причиной преждевременных взрывов и несчастных случаев.

В случае приближения грозы кроме принятия мер, рассмотренных в § 28, необходимо обязательно отводить людей на безопасное расстояние от места расположения зарядов.

В случае отказа всех или части зарядов подходить к месту их расположения следует не ранее чем через 5 мин.

Глава 6

ВЗРЫВАНИЕ ДЕТОНИРУЮЩИМ ШНУРОМ

§ 30. Общие сведения

Применение детонирующего шнура позволяет одновременно или разновременно взрывать неограниченное число зарядов взрывчатых веществ. Для этого заряды соединяют между собой отрезками шнура, образуя так называемую взрывную сеть.

Взрывные сети из детонирующего шнура достаточно просты в изготовлении и не требуют никаких вспомогательных приборов, кроме обжимов, таких же, как и при изготовлении зажигательных трубок. Иногда при использовании детонирующего шнура можно обойтись и без капсюлей-детонаторов, иницируя детонацию взрывчатого вещества в заряде узлом, связанным из детонирующего шнура, или несколькими оборотами шнура вокруг запальной шашки заряда (рис. 3.7).

Взрывание детонирующим шнуром можно производить и при наличии блуждающих токов; сети из детонирующего шнура не взрываются также при ударе молнии вблизи сети (непрямой удар в сеть).

Детонирующий шнур удобен и при взрывании рассредоточенных зарядов в скважинах или фигурных зарядов на металлических фермах, исключая необходимость самостоятельного инициирования каждой части заряда.

Но, с другой стороны, детонирующий шнур, как и огнепроводный, перед применением не может быть полностью проверен на его качество; дефекты в сердцевине и оболочке детонирующего шнура не всегда могут быть обнаружены наружным осмотром или пробным взрывом контрольных отрезков и сетей.

Кроме того, сеть из детонирующего шнура может вызывать преждевременный взрыв зарядов ВВ от попадания осколков и пуль в детонирующий шнур в условиях боевой обстановки; для ограничения возможности такого взрыва сети из детонирующего шнура следует зарывать в грунт на глубину 0,2—0,3 м.

§ 31. Сети детонирующего шнура

Взрывная сеть из детонирующего шнура может быть трех видов: последовательная, параллельная и смешанная (рис. 6.1).

При последовательном соединении отрезки детонирующего шнура передают последовательно взрыв одного заряда к другому. Последовательная сеть преимущественно применяется для взрывания наружных зарядов. Для безотказности взрыва рекомендуется соединять заряды шнуром, составленным из двух нитей, или прокладывать замыкающий шнур.

В первом случае нити шнура необходимо плотно связывать друг с другом шпагатом или изоляционной лентой через каждые 2—3 м. Во втором случае отрезки шнура, соединяющие отдельные заряды, должны на обоих концах иметь капсюли-детонаторы или узлы детонирующего шнура, чтобы отказ какого-либо одного отрезка шнура не привел к отказу других зарядов.

При параллельно-ступенчатом соединении (рис. 6.1, в) к магистральной линии детонирующего шнура присоединяют ответвления из такого же шнура, идущие к каждому заряду. Параллельно-ступенчатое соединение применяется при значительной протяженности и растянутом фронте взрыва.

Если заряды расположены кучно и близко друг к другу, то лучше применять параллельно-пучковое соединение (рис. 6.1, г), при котором все шнуры, идущие от зарядов, собирают в один пучок и привязывают к зажигательной трубке, а при большом числе шнуров (более пяти) — к шашке взрывчатого вещества взрываемой зажигательной трубкой или электродетонатором.

При взрывании двух и более рядов зарядов для образования выемок, брешей, котлованов и т. п. можно применять смешанное соединение, различные варианты которого показаны на рис. 6.1, д и е.

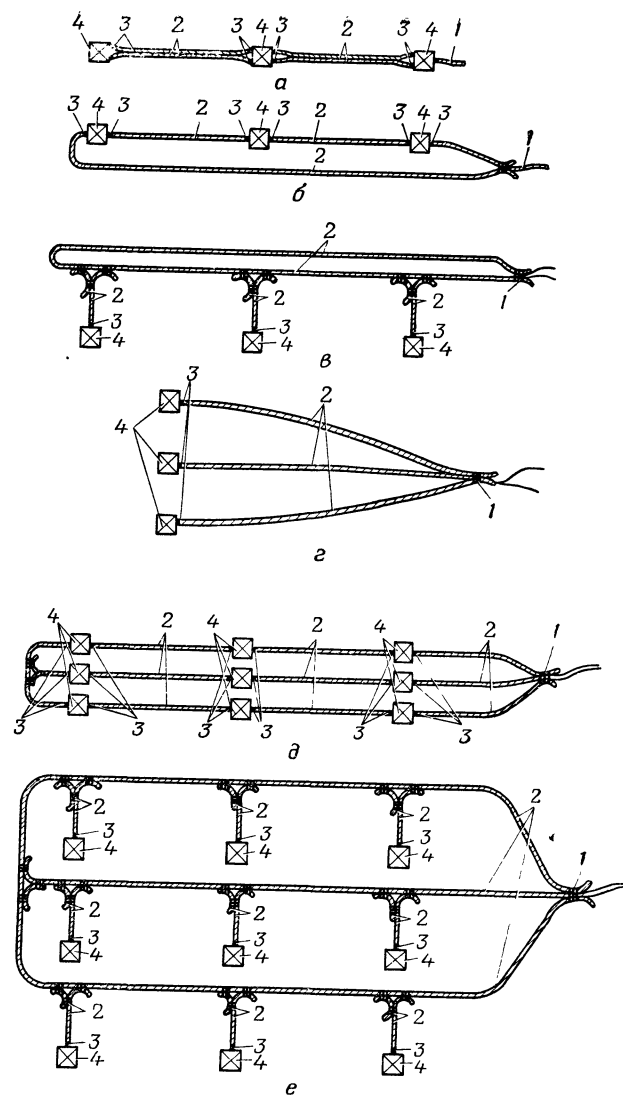


Рис. 6.1. Взрывные сети из детонирующего шнура: а — последовательная сеть из двух нитей детонирующего шнура; б — последовательная сеть с замыкающим шнуром; в — параллельно-ступенчатая сеть; г — параллельно-пучковая сеть; д — смешанная сеть для наружных зарядов; е — смешанная сеть для внутренних зарядов; 1 — электродетонатор (зажигательная трубка); 2 — детонирующий шнур; 3 — капсюли-детонаторы; 4 — заряды ВВ

При капсюльном взрывании зарядов ВВ соединение детонирующего шнура с капсюлем-детонатором выполняется по правилам изготовления зажигательных трубок. Шнуры же между собой соединяются сростками, показанными на рис. 6.2. При этом необходимо выполнять следующие требования:

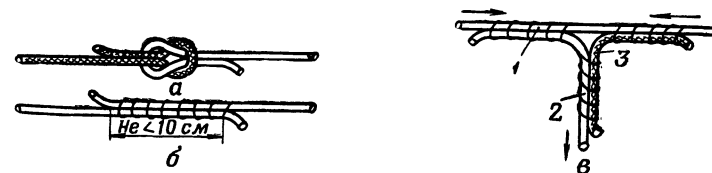


Рис. 6.2. Сростки детонирующего шнура:

а — сrostок морским узлом при удлинении шнура; б — сrostок внакладку при удлинении шнура; в — сrostок внакладку при присоединении отвления к магистральному шнуру; 1 — шнур магистральный; 2 — шнур, идущий к заряду ВВ; 3 — отрезок шнура для обеспечения передачи детонации в отвление при любом направлении движения детонации по магистральному шнуру

— сrostок морским узлом должен быть плотно затянут;

— шнуры, соединяемые внакладку, должны плотно прилегать друг к другу на длине не менее 10 см; скрепление их осуществляется обматыванием сrostка изоляционной лентой, тесьмой или шпагатом;

— концы отрезков детонирующего шнура, прикрепляемые к магистральному шнуру внакладку, должны быть направлены навстречу распространению детонационной волны по магистральному шнуру, в противном случае шнур отвления будет перебит в месте изгиба раньше, чем будет возбуждена детонация в месте его плотного прилегания к магистральной линии; если взрывная сеть готовится так, что детонация по магистральному шнуру может к сrostку отвления подойти с обеих сторон, то сrostок делают, как показано на рис. 6.2, в.

При прокладке сетей из детонирующего шнура нельзя допускать витков, скруток, перегибов и пересечений шнура, так как при их наличии шнур в этих местах будет перебит и дальше детонация не распространится; при пересечении шнуров между ними помещают прокладки из досок или грунта толщиной не менее 10 см.

При выводе детонирующего шнура из внутренних зарядов на поверхности он должен быть проложен в деревянных желобах (штрабах) или трубах. Если шнур прокладывают на поверхности, то при наружной температуре $+30^{\circ}\text{C}$ и более он должен быть защищен от действия солнечных лучей. В боевой обстановке шнур, кроме того, необходимо защищать от повреждения осколками, воздействия ударной воздушной волны и светового излучения, для чего его надо зарывать в грунт.

§ 32. Техника безопасности

Детонирующий шнур следует разрезать на отрезки острым ножом на деревянной подкладке. При резке шнура от целой бухты ее рекомендуется раскатывать на длину не менее 10 м от места резки; после каждого разреза следует счищать остатки ВВ шнура с подкладки и ножа или следующий разрез производить на новом участке подкладки. Запрещается обрезать детонирующий шнур, вставленный в капсулю-детонатор или заряд ВВ.

При взрывании сети детонирующего шнура необходимо соблюдать те же правила и сигнализацию, что и при огневом способе взрывания, и следить после подачи сигнала «Огонь» за взрывом всех зарядов, взрывааемых одной сетью.

Если некоторые заряды не взорвались, подходить к ним разрешается не раньше чем через 15 мин с момента взрыва детонаторов, инициирующих сеть из детонирующего шнура; при подходе к отказавшим зарядам необходимо проверять отсутствие признаков горения детонирующего шнура и самих зарядов; при наличии таких признаков подходить к зарядам запрещается.

Сеть из детонирующего шнура, находившаяся под действием солнечных лучей в течение нескольких часов, если она не применена (не взорвана), нельзя снимать и использовать вторично; ее необходимо уничтожить.

Глава 7

ДЕЙСТВИЕ ВЗРЫВА И РАСЧЕТ НАРУЖНЫХ КОНТАКТНЫХ ЗАРЯДОВ

§ 33. Начальный разлет продуктов взрыва

При взрыве ВВ в начальном объеме заряда в тысячные доли секунды образуются сильно сжатые (до 100—200 тыс. атмосфер и более) газообразные продукты взрыва, которые, расширяясь, выходят (разлетаются) за пределы заряда и производят механическую работу.

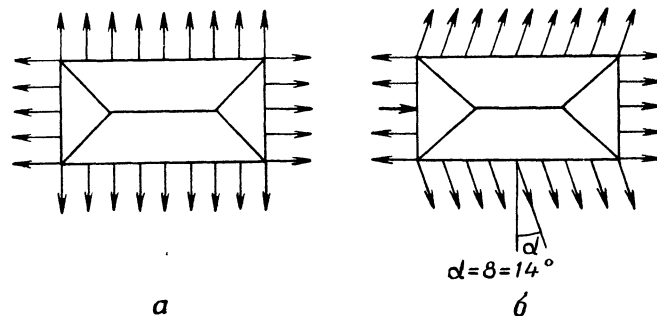


Рис. 7.1. Разлет продуктов взрыва:

а — при мгновенной детонации; б — при немгновенной детонации

Если допустить, что взрывчатое вещество превращается в газообразные продукты взрыва мгновенно, то разлет продуктов взрыва будет происходить перпендикулярно граням поверхности заряда (рис. 7.1).

Однако в действительности инициирование производится, как правило, со стороны одной из его граней, а взрывчатое превращение осуществляется немгновенно, поэтому направление разлета продуктов взрыва, увле-

каемых детонационной волной и получающих скорость в направлении ее движения, изменяется; в результате они разлетаются не перпендикулярно поверхностям заряда, а под некоторым углом (8—14°) к нормали (рис. 7.1, б).

Так как при немгновенности детонации продукты взрыва, образовавшиеся в области, прилегающей к точке инициирования, начнут разлетаться раньше, чем начнет разлет продуктов взрыва в сторону распространения фронта детонации, то в сторону инициирования разлетится несколько большая масса m_1 продуктов взрыва, чем масса m_2 , разлетающаяся в сторону движения фронта детонации. Одновременно масса m_1 , двигаясь в сторону, противоположную направлению движения фронта детонации, будет двигаться со скоростью V_1 , существенно меньшей, чем скорость V_2 массы m_2 . Следовательно:

$$\frac{m_1 V_1^2}{2} < \frac{m_2 V_2^2}{2}.$$

Этим обстоятельством объясняется первая важная с практической точки зрения рекомендация об инициировании наружных контактных зарядов со стороны, противоположной разрушаемому объекту.

§ 34. Влияние формы заряда

Полезно используемый объем $V_{\text{полез}}$ продуктов взрыва, разлетающихся в желаемом направлении (рис. 7.2),

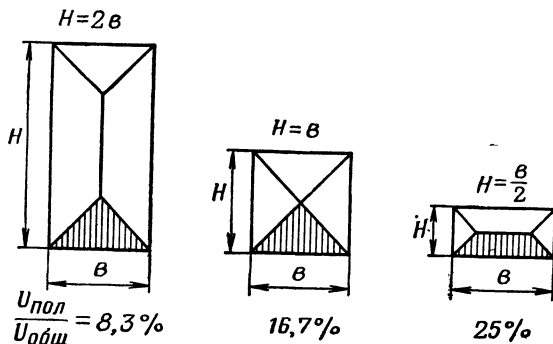


Рис. 7.2. Влияние высоты заряда на полезный объем его (заряды с основанием в форме круга или квадрата)

существенно зависит от высоты заряда при одинаковой площади его основания (квадрат или круг): чем меньше высота заряда, тем больший объем продуктов взрыва используется в сторону разрушаемого объекта. Влияние формы заряда, т. е. отношение стороны квадрата основания к высоте заряда ($\frac{b}{H}$) и к длине заряда ($\frac{b}{l}$), может быть выражено коэффициентом μ (табл. 7.1).

Таблица 7.1

$\frac{b}{l}$		1	0,5	0,25	0,125	0,1	0,05
μ	$\frac{b}{H} = 0,5$	0,083	0,104	0,114	0,120	0,121	0,123
	$\frac{b}{H} = 1$	0,167	0,210	0,230	0,240	0,242	0,245
	$\frac{b}{H} = 2$	0,333	0,415	0,456	0,480	0,483	0,492

Из табл. 7.1 следует второй важный практический вывод: высота заряда должна быть во всяком случае не больше его ширины, а удлиненность заряда положительно сказывается на величине энергии (импульса), передаваемой контактным зарядом преграде. Значит, контактный заряд нецелесообразно делать кубическим, а лучше придавать ему несколько удлиненную форму, что хорошо согласуется с третьим практическим требованием о расположении заряда по всей грани перебиваемого сечения.

§ 35. Характер разрушения различных материалов контактными зарядами

Конструктивные элементы из дерева и железобетона всегда перебиваются контактными или неконтактными наружными зарядами, а иногда такие же заряды применяют и при разрушении сооружений из камня и бетона, когда нет времени, сил или механизмов для выделки устройств (камер, ниш или рукавов) для размещения внутренних зарядов.

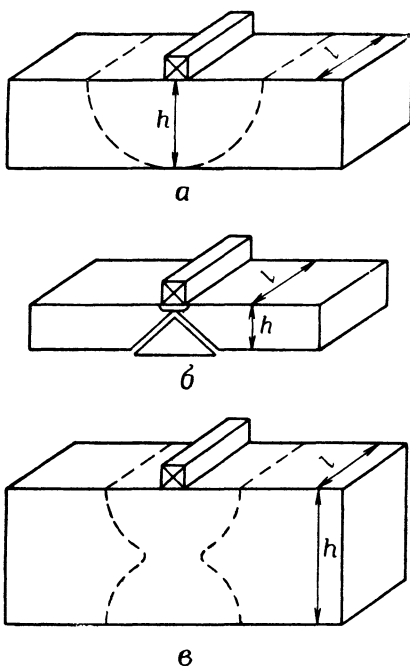


Рис. 7.3. Характер разрушения различных материалов контактными зарядами:

a — дерево; *б* — металл; *в* — сложные материалы (бетон, железобетон и т. п.)

$$\left. \begin{aligned} \text{для дерева } V &= \frac{\pi}{2} h^2 l; \\ \text{для металла } V &= h^2 l; \\ \text{для бетона, камня } V &= \frac{\pi}{4} h^2 l. \end{aligned} \right\} \quad (7.1)$$

§ 36. Расчет наружных контактных зарядов

При использовании наружных контактных зарядов перебивание конструктивных элементов осуществляется непосредственным ударом продуктов взрыва; они, отражаясь от перебиваемого элемента, изменяют характер

Опытом установлено, что при перебивании дерева разрушение происходит в форме образования воронки выброса (рис. 7.3, *a*), тогда как в металле, наоборот, образуется откольная воронка (рис. 7.3, *б*). Сложные (состоящие из нескольких компонентов) материалы, например бетон и железобетон, разрушаются с одновременным образованием воронки выброса со стороны, обращенной к заряду ВВ, и откола с противоположной стороны (рис. 7.3, *в*).

Рассматривая эти схемы, можно с достаточной для практики точностью определить объемы разрушаемого материала:

своего разлета, который показан стрелками на рис. 7.4, и сообщают данному элементу то или иное количество энергии в виде импульсной нагрузки, действующей на

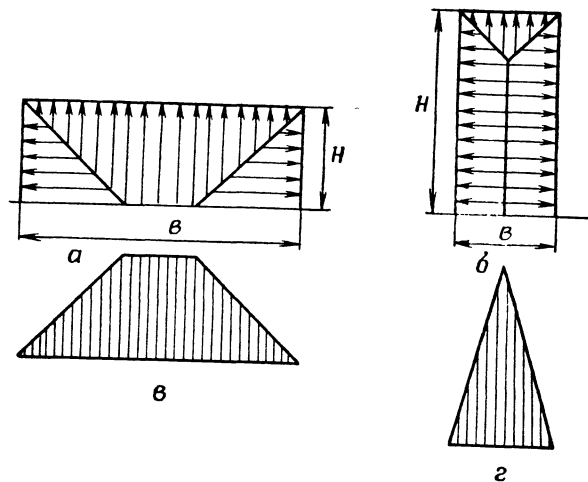


Рис. 7.4. Разлет продуктов взрыва контактного заряда, лежащего на преграде:

a — распределение разлета продуктов взрыва при $b > H$; *б* — распределение разлета продуктов взрыва у заряда при $b < H$; *в* и *г* — эпюры импульсов, сообщаемых преграде

разрушаемый объект в течение очень короткого промежутка времени. Величина импульса, сообщаемого перебиваемому объекту, может быть выражена зависимостью

$$I = \mu C U_0 \text{ кг/сек}, \quad (7.2)$$

где μ — коэффициент формы заряда;

C — вес (масса) заряда, кг;

U_0 — скорость разлета продуктов взрыва, м/сек.

Импульс, приобретенный разрушаемым объектом и реализованный в объеме его разрушения, равен

$$I = mU = V \rho U_{кр}, \quad (7.3)$$

где V — масса разрушаемого материала;

$U_{кр}$ — скорость, приобретенная разрушаемым мате-

Таблица 7.2

Материал перебиваемого элемента конструкции	Значение K_K при расположении заряда ВВ	
	в воздухе	в воде
Дерево слабых пород (осина, ольха):		
сухое	30	15
влажное	40	20
Дерево пород средней крепости (сосна, ель, лиственница, пихта):		
сухое	40	20
влажное	50	25
Дерево крепких пород (дуб, бук, ясень, клен):		
сухое	60	30
влажное	80	40
Сталь конструкционная	10 000	20 000
Броня	20 000	40 000
Кирпичная кладка при длине заряда:		
при $l \leq 2h$	10—12	10—12
при $l > 2h$	5—6	5—6
Кладка из естественного камня:		
при $l \leq 2h$	12—13	12—13
при $l > 2h$	6—7	6—7
Бетон строительный, марки 500:		
при $l \leq 2h$	16	16
при $l > 2h$	8	8
Железобетон для выбивания бетона:	45	70
для частичного перебивания арматуры	180	300
для полного перебивания арматуры	1000	1500

Примечание. Для бетонных и железобетонных конструкций при давности их постройки более двух лет значения коэффициента следует увеличивать вдвое.

§ 37. Особенности действия контактных зарядов, расположенных под водой

Перебивание конструктивных элементов в ряде случаев целесообразно осуществлять, располагая заряд в воде у подводной части перебиваемой конструкции. Вода, окружающая заряд, препятствует разлету продуктов взрыва, выполняя роль забивки, и увеличивает воздействие их на перебиваемую конструкцию примерно в два раза. Однако перебиваемый элемент с противоположной заряду стороны встречает сопротивление воды, которая препятствует перемещению разрушаемого элемента, а

риалом и достаточная для отрыва частиц материала и сообщения им движения.

Из уравнений (7.2) и (7.3), а также учитывая выражение (7.1) можно определить вес заряда взрывчатого вещества:

$$C = \frac{\rho U_{кр}}{\mu U_0} h^2 l, \quad (7.4)$$

где дробное выражение является характеристикой разрушаемого материала (ρ , $U_{кр}$), взрывчатого вещества (U_0) и формы заряда (μ).

Так как расчетные формулы целесообразно строить для ВВ нормальной мощности (в частности, тротила) и высота заряда в этом случае не будет превышать ширины его основания, а постоянные величины $\frac{\pi}{2}$ и $\frac{\pi}{4}$ могут быть введены в характеристику материала, формула (7.4) будет иметь такой окончательный вид:

$$C = K_K h^2 l \text{ кг}, \quad (7.5)$$

а при круглом сечении материала*

$$C = K_K D^3, \quad (7.5a)$$

где h и l — в м, а значения коэффициента K_K зависят только от свойств разрушаемого материала; они приведены в табл. 7.2.

Коэффициент K_K был определен для бетона, выдержавшего 28-суточное схватывание. Но с течением времени прочность бетона увеличивается, и в старых постройках может достигать двукратного значения первоначальной прочности. Поэтому для бетонных и железобетонных конструкций давнего изготовления значение коэффициента K_K целесообразно увеличивать примерно в полтора — два раза.

* При круглом сечении $h = D$, а $hl = F = \frac{\pi D^2}{4} = 0,785 D^2 \approx D^2$ (учитывая неплотное прилегание заряда к круглой поверхности).

следовательно, и повышает его сопротивляемость действию взрыва.

Это обстоятельство неодинаково проявляется при разных материалах. Оно справедливо для металла, который для своего разрыва требует значительного удлинения (изгиба), чему вода препятствует. Поэтому при перебивании металла под водой не только нельзя уменьшать вес заряда, но, наоборот, приходится его увеличивать в два раза по сравнению с весом заряда, рассчитанным для воздуха. Иначе обстоит дело при перебивании дерева — материала, достаточно пористого, способного под двусторонним давлением продуктов взрыва, с одной стороны, и сопротивлением воды, с другой, сильно сжиматься до появления в отдельных волокнах напряжений выше допустимых. В этом случае противодавление воды, наоборот, способствует разрушению и вес заряда ВВ может быть в два раза меньше веса заряда для воздуха.

Такие материалы, как камень, бетон, железобетон, занимают промежуточное положение между металлом и деревом. Подобно металлу они трудно сжимаемы, но в то же время и не требуют, как металл, значительного растяжения для получения разрыва.

В соответствии со сказанным при взрывах в воде значение коэффициента K_k изменяется по сравнению с его значением при взрыве в воздухе (табл. 7.2).

Чтобы образующийся при расширении продуктов взрыва газовый пузырь не вышел быстро на поверхность воды и тем самым не произошло бы резкого падения давления в продуктах взрыва, контактный заряд следует располагать на глубине, не меньшей, чем две толщины перебиваемой конструкции, т. е.

$$h_{\text{загл}} \geq 2h_{\text{разр}}. \tag{7.6}$$

§ 38. Практические формулы для расчета контактных зарядов

В некоторых руководствах и пособиях рекомендации по расчету зарядов даются отдельно для каждого материала и формула (7.5) интерпретируется в измененных ее начертаниях (с целью сохранить известные с давних времен значения коэффициента K).

Для перебивания дерева

$$C = kF = kD^2, \tag{7.7}$$

где C — вес (масса) заряда ВВ, г;
 k — коэффициент, величина которого приведена в табл. 7.3;
 F — произведение hl , т. е. площадь перебиваемого сечения, $см^2$;
 D — диаметр перебиваемого сечения, $см$.

Таблица 7.3

Порода дерева	Значение k	
	для сухого дерева	для влажного дерева
Слабые породы (осина)	0,8	1,0
Породы средней крепости (сосна, ель, пихта)	1,0	1,25
Крепкие породы (дуб, бук, клен, ясень, береза)	1,6	2,0

Соответственно для перебивания металла формула (7.5) записывается в таком виде:
для конструкционных сталей

$$C = 10hF = 10D^3; \tag{7.8}$$

для брони

$$C = 20hF = 20D^3. \tag{7.8a}$$

Размерности принимаются в этих формулах также в граммах и сантиметрах.

В руководствах формула (7.5) не интерпретируется для таких материалов, как камень, бетон, железобетон, разрушение которых производится, как правило, внутренними зарядами, рассчитываемыми по другой формуле. Для редких, частных случаев использования все же контактных зарядов, к расчетной формуле внутреннего заряда дается дополнительный коэффициент (глава 9).

Пределы применимости расчетных формул

При перебивании дерева

Формулы (7.5) и (7.7) справедливы для перебивания дерева толщиной до 30 см. При увеличении толщины ку-

бическая зависимость формулы (7.5) приводит к излишнему увеличению веса заряда, тогда как квадратичная зависимость в формуле (7.7) дает величины зарядов, недостаточные для полного перебивания конструктивных элементов из дерева. Поэтому для перебивания толщин более 30 см следует к обеим формулам добавлять дополнительный множитель:

— к формуле (7.5) множитель 0,80, т. е.

$$C = 0,8K_{\kappa}h^2l; \quad (7.5б)$$

— к формуле (7.7) множитель $\frac{h}{30}$, т. е.

$$C = kF \frac{h}{30} = kD^2 \frac{D}{30}. \quad (7.7a)$$

При перебивании металла

При расчете веса заряда ВВ по формулам (7.5) и (7.8) для перебивания металла толщиной менее 2 см и применении для этого табельных тротильных шашек число таковых оказывается недостаточным для перекрывания зарядом всей перебиваемой грани листа. Поэтому в случае перебивания металла толщиной менее 2 см рекомендуется принимать один из размеров толщины, входящих в формулы, равным 2 см и тогда формулы (7.5) и (7.8) будут иметь такой вид:

$$C = K_{\kappa}0,02hl \quad (7.5в)$$

$$C = 20F. \quad (7.8б)$$

§ 39. Кумулятивный эффект и кумулятивные заряды

Кумулятивным эффектом (от французского слова «cumuler» — накапливать) называется явление, при котором разлет продуктов взрыва (а следовательно, и их действие) концентрируется в желаемом направлении.

Если в заряде взрывчатого вещества сделать выемку конусной, параболической или полусферической формы (рис. 7.5), то продукты взрыва, разлетаясь с поверхности выемки, сталкиваются и изменяют направление своего движения; при этом они дополнительно сжимаются и двигаются с увеличенной скоростью, обладая соответственно повышенным пробивным действием.

Наибольшее сжатие продуктов взрыва происходит на некотором расстоянии от основания заряда. Это расстояние тем больше, чем больше угол при вершине выемки

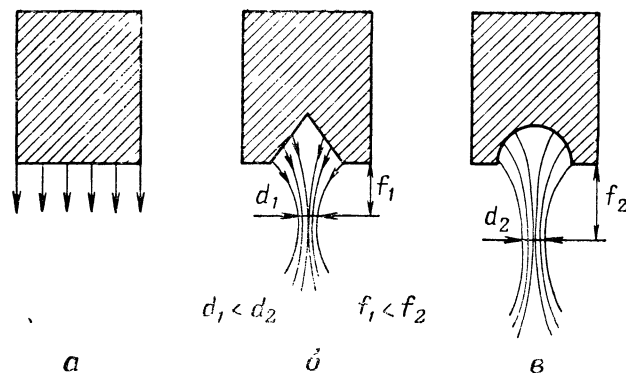


Рис. 7.5. Схема действия кумулятивных зарядов:

а — разлет продуктов взрыва цилиндрического заряда в сторону преграды; б — разлет продуктов взрыва кумулятивного заряда с конической выемкой; в — разлет продуктов взрыва кумулятивного заряда с полусферической выемкой

и соответственно сжатие продуктов взрыва и скорость их меньше при большем угле у вершины выемки. Если выемку в заряде облицовывать металлом, то продукты взрыва будут обжимать эту облицовку (рис. 7.6), кото-

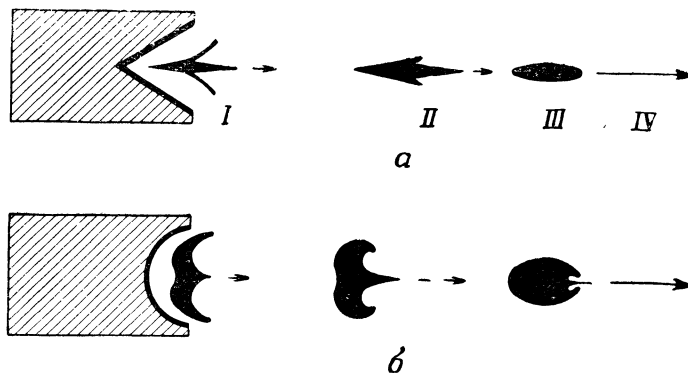


Рис. 7.6. Схема обжатия продуктами взрыва металлической облицовки кумулятивной выемки:

а — обжатие конусной облицовки; б — обжатие полусферической облицовки; I—II—III — различные моменты обжатия; IV — выплеснутая вперед струя жидкого металла

рая, находясь под колоссальным давлением, при своём «захлопывании» выплескивает вперед струю металла (жидкую или плазменную, точно еще не установлено).

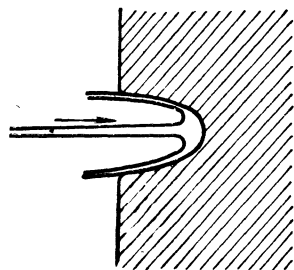


Рис. 7.7. Схема пробивания преграды кумулятивной струей

Эта струя движется со скоростью 10 км/сек и более, вытягивается на длину, во много раз большую размера образующей облицовки, и, внедряясь в пробиваемую преграду (рис. 7.7), плавит материал преграды, сама расходясь при этом. Движущаяся вслед за плазменной струей обжата металлическая облицовка (называемая теперь «пестом») довершает пробивание отверстия в преграде.

Толщина пробиваемого материала зависит от эффективной длины струи, материала облицовки и преграды и по формуле Лаврентьева — Тейлора равна

$$l_{\text{пр}} = l_{\text{эф}} \sqrt{\frac{\rho_{\text{струя}}}{\rho_{\text{прегр}}}}, \quad (7.9)$$

где $l_{\text{эф}}$ — эффективная часть струи, обладающая скоростью не менее той, при которой она способна внедриться в материал преграды;

ρ — соответственные плотности струи и преграды.

Дело в том, что струя имеет разные скорости в ее головной и хвостовой частях; поэтому она постепенно разрывается на отдельные части, имеющие уже недостаточные скорости для пробивания. Этим объясняется необходимость какого-то оптимального расстояния от кумулятивного заряда до преграды, чтобы струя достигла преграды до своего разрыва. В артиллерийских и авиационных боеприпасах это расстояние устанавливается воздушным промежутком в оживальной части, а в зарядах, предназначенных для инженерных целей, — откидными ножками. Поэтому при применении кумулятивных зарядов выемка в них ничем не должна быть заполнена и между зарядом и пробиваемым материалом не должно быть каких-либо преград.

Если заряд имеет удлиненную форму с удлиненной кумулятивной выемкой (рис. 7.8), то кумулятивный эффект проявляется в форме ножеобразной струи с режущим действием по всей длине струи.

Кумулятивные заряды целесообразно применять для пробивания отверстий в металле (броне), каменной кладке, бетонных и железобетонных сооружениях, а также для выделки шпуров в скальных породах. Удлиненные кумулятивные заряды применяют для перерезания металлических и железобетонных конструкций.

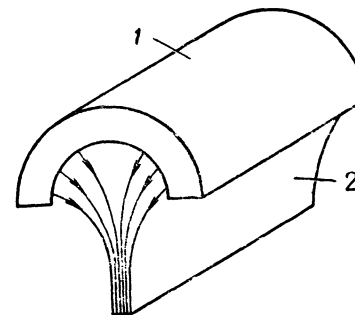


Рис. 7.8. Схема удлиненного кумулятивного заряда:
1 — заряд; 2 — ножеобразная кумулятивная струя

При недостаточности одного заряда для пробивания (перерезания) необходимой толщины материала можно увеличить глубину пробивания, взрывая последовательно на одном и том же месте два, три заряда и более.

Глава 8

ДЕЙСТВИЕ ВЗРЫВА И РАСЧЕТ НЕКОНТАКТНЫХ ЗАРЯДОВ

§ 40. Ударная волна в воздухе

Представим себе сферический заряд взрывчатого вещества, взрывающийся в воздухе. Расширяющиеся продукты взрыва будут вытеснять прилегающий к ним воздух, сжимая его и приводя в движение.

Продукты взрыва, расширившись до объема, равного 10—12 радиусам заряда (когда в них установится атмосферное давление), продолжают по инерции расширяться и дальше до объема, примерно равного 20 радиусам заряда; в этот момент слой сжатого воздуха отрывается от продуктов взрыва и за счет полученной им энергии продолжает двигаться самостоятельно со сверхзвуковой скоростью, представляя собой так называемую воздушную ударную волну; последняя при своем движении захватывает и увлекает за собой все большие массы воздуха.

Увлеченный и двигающийся за фронтом ударной волны воздух оставляет за собой область разрежения, в которой давление падает ниже атмосферного (рис. 8.1).

По мере удаления от центра взрыва энергия, заключенная в ударной волне, распределяется по большей поверхности сферы и на нагрев воздуха. Следовательно, амплитуда (скачок) давления с увеличением расстояния от центра взрыва постепенно уменьшается, соответственно скорость на фронте волны падает, переходя в звуковую скорость. В результате ударная волна постепенно затухает. Но глубина волны, т. е. время действия ее из-

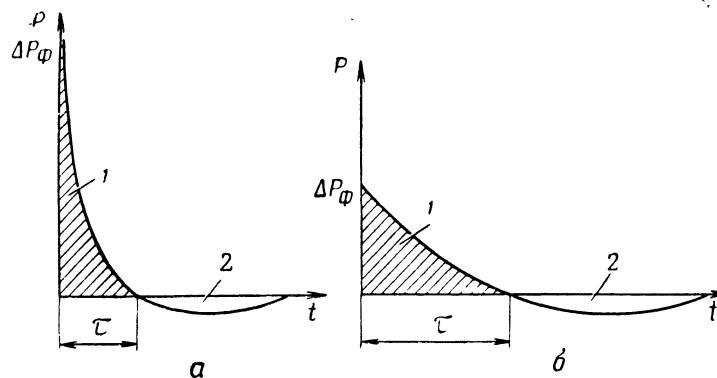


Рис. 8.1. График скачка и падения давления в ударной волне для фиксированной точки пространства:

a — на расстоянии R_1 ; b — на расстоянии $R_2 > R_1$; ΔP_{ϕ} — давление на фронте ударной волны; τ — время действия избыточного давления; 1 — зона избыточного давления; 2 — зона разрежения

быточного давления, с удалением от центра взрыва увеличивается (рис. 8.1, б).

Ударная волна воздушного взрыва, достигнув поверхности земли, отражается от нее, и в противоположном

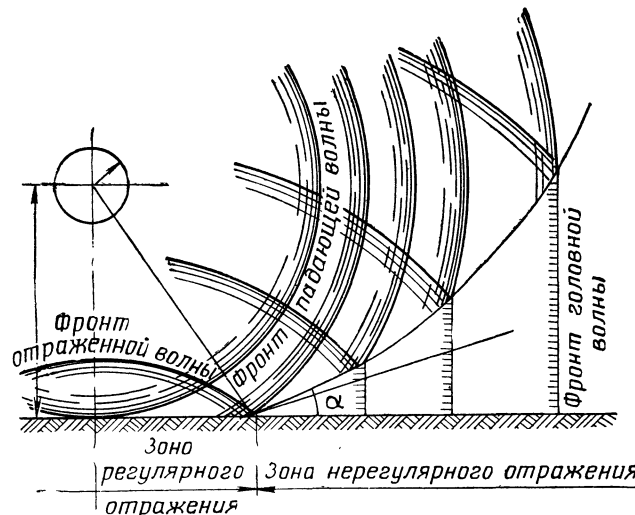


Рис. 8.2. Отражение ударной воздушной волны и образование головной ударной волны

направлении (к центру взрыва) начинает двигаться так называемая отраженная ударная волна (рис. 8.2). Так как она движется в воздухе разреженном и нагретом прошедшей ударной (падающей) волной, то скорость ее больше скорости падающей ударной волны, и на расстоянии, примерно равном высоте взрыва, отраженная ударная волна догоняет падающую и, сливаясь с ней, образует так называемую головную ударную волну, несущую на своем фронте давление, примерно в два раза больше, чем давление в падающей ударной волне.

Зону, в пределах которой на преграду действует только основная (падающая) ударная волна, принято называть зоной регулярного отражения, а зону, в пределах которой действует головная волна, — зоной иррегулярного отражения.

Если заряд взорвать на поверхности земли, то, очевидно, отраженная волна будет двигаться вместе с основной и давление на ее фронте, естественно, сразу же будет равно давлению в головной волне воздушного взрыва.

Из сказанного следует, что ударную волну от наземного взрыва и ударную волну от воздушного взрыва в пределах зоны иррегулярного отражения как несущие повышенное избыточное давление можно считать как бы созданными зарядом удвоенного веса. Однако при расчете нагрузки на преграду, не являющуюся абсолютно жесткой, целесообразно учитывать ее податливость, вводя поправочный коэффициент к весу заряда (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Материал преграды	α
Растительные грунты	0,6—0,65
Плотные — глина и суглинок	0,8
Бетон	0,85—0,90
Стальные плиты	0,95—1,0

§ 41. Параметры воздушной ударной волны

Основными параметрами воздушной ударной волны являются избыточное давление на фронте волны ΔP_ф, время действия этого давления τ, удельный импульс I_{уд},

передаваемый преграде, встречающей ударную волну, и скорость движения волны.

Для разрушения сооружений имеют значение только первые три параметра.

Давление на фронте волны в какой-то точке, отстоящей на расстоянии R от эпицентра взрыва сферического заряда может быть определено по формуле

$$\Delta P_{\phi} = a_1 \frac{\sqrt[3]{C}}{R} + a_2 \frac{\sqrt[3]{C^2}}{R^2} + a_3 \frac{C}{R^3} \text{ кг/см}^2. \tag{8.1}$$

Величины коэффициентов a₁, a₂ и a₃ зависят от того, на каком расстоянии от эпицентра взрыва находится преграда (сооружение) при воздушном взрыве или это был взрыв наземный. Значения этих коэффициентов для тротила приведены в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Характер взрыва	a ₁	a ₂	a ₃
Взрыв в воздухе при R ≤ H	0,84	2,7	7
Взрыв в воздухе при R > H и наземный взрыв	1,06	4,3	14

Ударная волна,двигающаяся вдоль поверхности земли, называется проходящей ударной волной; она, встречая на своем пути сооружение (преграду), отражается от него, и давление на сооружение за счет отражения (реакции преграды) увеличивается минимум вдвое, но за фронтом ударной волны движется увлеченный ею воздух, который продолжает набегать на преграду, создавая так называемый скоростной напор, увеличивающий давление на преграду. Это суммарное давление на преграду, называемое отраженным давлением, выражается такой формулой:

$$\Delta P_{отр} = 2\Delta P_{\phi} + \frac{6\Delta P_{\phi}^2}{\Delta P_{\phi} + 7P_0} \text{ кг/см}^2. \tag{8.2}$$

Отраженное давление при сильной волне (когда ΔP_ф ≫ P₀ и, следовательно, можно пренебречь давлением атмосферы) равно

$$\Delta P_{отр} \geq 8\Delta P_{\phi}. \tag{8.2a}$$

При слабой волне, когда $\Delta P_{\phi} < P_0$ (т. е. меньше единицы), величина отраженного давления

$$\Delta P_{отр} \rightarrow 2\Delta P_{\phi} \quad (8.26)$$

Время действия избыточного давления вычисляется по формуле

$$\tau = 0,0015 \sqrt{R} \sqrt[6]{C} \text{ сек}, \quad (8.3)$$

где R — расстояние от эпицентра взрыва, м;

C — вес (масса) заряда ВВ, кг.

Величина τ весьма существенно влияет на характер воздействия ударной волны на преграду. При малом времени действия, когда $\tau \leq \frac{3}{8}T$ (T — период соответственных колебаний преграды), нагрузка, создаваемая ударной волной на преграду, имеет импульсный характер (мгновенно приложена и быстро снята). Если же $\tau > \frac{3}{8}T$,

т. е. нагрузка действует достаточно длительно, ее нельзя считать импульсной и расчет прочности или разрушаемости преграды (сооружения) следует вести не по импульсу, а по давлению ΔP_{ϕ} или $\Delta P_{отр}$. Например, время действия избыточного давления при взрыве 40 кг взрывчатого вещества на расстоянии 100 м равно 0,25 сек, т. е. соизмеримо с периодом соответственных колебаний некоторых сооружений (табл. 8.3).

Таблица 8.3

Сооружение	Период собственных колебаний T , сек
Деревянные дома в 1—2 этажа . . .	0,40—0,50
Деревянные дома в 2—3 этажа . . .	0,50—0,70
Кирпичные здания в 1—2 этажа . . .	0,25—0,35
Кирпичные здания в 3—4 этажа . . .	0,35—0,45
Железобетонные здания в 2—3 этажа . . .	0,35—0,50
Железобетонные здания в 4—7 этажей . . .	0,50—0,70
Каркасные здания в 2—4 этажа . . .	0,30—0,40
Каркасные здания в 5—9 этажей . . .	0,60—1,20

Если за время действия избыточного давления на переднюю поверхность преграды, встречающую ударную волну, фронт волны успеет обтечь преграду и создать

давление на ее тыльной поверхности, то преграда получает как бы двустороннее обжатие и оказывается более устойчивой. Этим объясняется, например, то, что столбы, мачты и другие сооружения часто остаются целыми, тогда как здания разрушаются.

При расчете параметров ударной волны при ядерных взрывах вместо веса заряда следует подставлять половину величины тротилового эквивалента (0,5 q), так как в ударную волну переходит только 50% общей энергии ядерного взрыва.

Импульс, создаваемый ударной волной, выражается зависимостью

$$I_{ув} = \int_0^{\tau} P dt = mu \quad (8.4)$$

и для расстояний, на которых может быть получено разрушение того или иного объекта, может быть принят

$$I_{ув} = A \frac{C}{R^2} \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}}{\text{м}^2}, \quad (8.5)$$

где A — коэффициент, зависящий от свойств взрывчатого вещества.

§ 42. Расчет неконтактных зарядов

Неконтактные заряды из бризантных взрывчатых веществ, находящие практическое применение для разрушения каких-либо сооружений, возбуждают ударную волну, время действия избыточного давления в которой весьма незначительно (например, избыточное давление от заряда в 10 т на расстоянии 100 м действует всего 0,07 сек). Поэтому при расчете неконтактных зарядов следует исходить из импульсного характера нагрузки, создаваемой ударной волной.

Импульс, действующий на преграду в виде ударной нагрузки, мгновенно приложенной и быстро снятой, реализуется преградой в форме изгиба уже после снятия нагрузки.

Кинетическая энергия, полученная конструкцией от ударной волны, может быть выражена так:

$$U_{кин} = \frac{mu^2}{2}, \quad (8.6)$$

или, разделив и умножив на m и используя уравнение (8.4), получаем

$$U_{кин} = \frac{m^2 u^2}{2m} = \frac{I_{ув}^2}{2m}. \tag{8.6a}$$

Эта кинетическая энергия расходуется конструкцией на работу изгиба, которая согласно сопротивлению материалов может быть выражена так:

$$U_{изгиб} = \frac{M^2}{2EI}. \tag{8.7}$$

Тогда из уравнений (8.6a) и (8.7) получаем

$$I_{ув} = \frac{M}{\sqrt{\frac{EI}{m}}}, \tag{8.8}$$

а $I_{ув}$ должен быть достаточным для разрушения данной конструкции.

Для балки прямоугольного сечения имеем

$$\sigma_{дин} = \frac{M}{W}; W = \frac{bh^3}{6}; I = \frac{bh^3}{12}; m = bhp.$$

Подставив эти значения в уравнение (8.8), получаем

$$I_{ув} = \frac{\sigma_{дин}}{1,73 \sqrt{\frac{E}{\rho}}} h^*. \tag{8.9}$$

Теперь, приравняв правые части уравнений (8.5) и (8.9), имеем

$$C = \frac{\sigma_{дин}}{A \cdot 1,73 \sqrt{\frac{E}{\rho}}} hR^2.$$

Дробное выражение в этом уравнении представляет собой характеристику взрывчатого вещества и переби-

* Для балки круглого сечения соответственно имеем формулу $I_{ув} = \frac{\sigma_{дин}}{1,7 \sqrt{\frac{E}{\rho}}} h$, т. е. практически не отличающуюся от формулы (8.9).

ваемого материала, а потому, ведя расчёт для тротила, можно записать

$$C = K_n h R^2, \tag{8.10}$$

где C — вес (масса) ВВ, кг;
 K_n — коэффициент, зависящий только от сопротивляемости разрушаемой конструкции взрыву (табл. 8.4);
 h — толщина перебиваемой конструкции, м;
 R — расстояние от центра заряда до перебиваемой конструкции, м.

Таблица 8.4

Материал перебиваемых элементов конструкции	Значение K_n при расположении заряда	
	в воздухе	в воде
Дерево слабых пород:		
сухое	24	12
влажное	30	15
Дерево пород средней крепости:		
сухое	30	15
влажное	37,5	20
Дерево крепких пород:		
сухое	48	24
влажное	60	30
Сталь конструкционная	3200	3200
Каменная кладка	14	10
Кирпичная кладка	12	8
Бетон строительный, марки 500	18	12
Железобетон на выбивание бетона	50	35

При перебивании конструкций, имеющих сложное (фигурное) сечение (например, швеллерные, тавровые и другие балки), в формулу (8.10) вместо величины h следует подставлять приведенную толщину балки

$$h_{пр} = \frac{F}{b},$$

где F — площадь поперечного сечения, $м^2$;
 b — ширина стороны балки, обращенная к заряду, м.

Поскольку неконтактные заряды будут, как правило, иметь форму параллелепипеда, близкую к кубу, и учи-

тывая характер разлета продуктов взрыва по нормальям к граням заряда, то и ударная волна на начальных стадиях своего существования будет иметь форму, напоминающую крест (рис. 8.3), которая постепенно (за счет растекания в зоны, расположенные против ребер заряда, где давление меньше) будет выравниваться и превратится в волну сферическую.

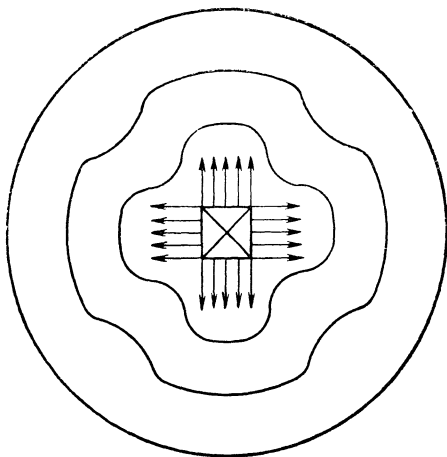


Рис. 8.3. Постепенное образование сферической ударной волны при взрыве кубического заряда

Вследствие этого при использовании неконтактных зарядов для перебивания конструктивных элементов, находящихся на расстояниях, меньших 30 радиусов заряда, последний следует располагать гранью в сторону перебиваемого элемента.

§ 43. Ударная волна в воде

При взрыве заряда в воде продукты взрыва, расширяясь и вытесняя воду, образуют так называемый газовый пузырь, который, расширившись до давления в нем ниже гидростатического, начнет сжиматься и, когда давление в нем при достижении минимального объема вновь возрастет, снова будет расширяться и т. д.

Вследствие этого и характер ударной волны, распространяющейся в водной среде, будет иметь несколько скачков давления (рис. 8.4). Число таких скачков зависит от числа пульсаций газового пузыря, а их число зависит от глубины погружения заряда, так как газовый

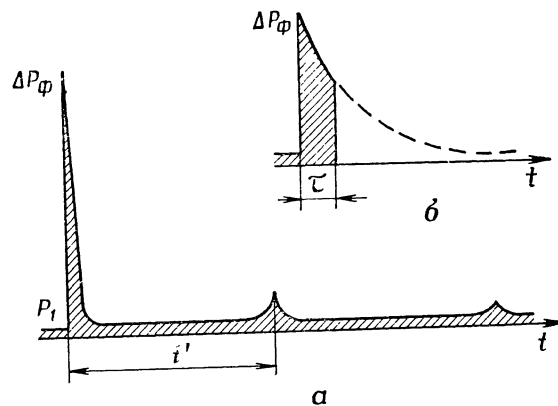


Рис. 8.4. График скачка и падения давления в ударной волне в воде:

а — ударная волна; б — срезание ударной волны волной разрезания при взрыве заряда вблизи поверхности воды

пузырь, имея меньшую плотность, чем плотность окружающей воды, будет подниматься к поверхности воды и, достигнув ее, войдет в воздух, подняв купол (или при малой глубине взрыва фонтан) воды.

Так как плотность воды намного больше плотности воздуха, то ударная волна в воде затухает медленнее, чем в воздухе. Следовательно, при одинаковых расстояниях давление на ее фронте больше соответствующих величин для воздушной ударной волны.

При воздействии ударной волны на разрушаемую конструкцию последняя приходит в движение, но одновременно с ней приходит в движение и некоторая присоединенная масса воды, находящаяся с противоположной стороны.

Следовательно, в формуле (8.8) подкоренное выражение в знаменателе примет вид

$$\sqrt{\frac{EI}{m + m_{пр}}},$$

а поэтому величина коэффициента K_n в формуле (8.10) изменяется (табл. 8.4).

Однако при пользовании формулой (8.10) следует учитывать возможное влияние поверхности воды, т. е. глубины погружения заряда.

Если ударная волна, отразившись от поверхности воды в виде волны разрежения, достигнет разрушаемого объекта раньше, чем закончится время действия на него избыточного давления (волны сжатия), то давление на объект резко падает до нуля и хвостовая часть эпюры импульса как бы срезается (рис. 8.4). Во избежание этого неконтактный заряд следует располагать на глубине, не меньшей половины расстояния от заряда до разрушаемой конструкции.

§ 44. Практические формулы для расчета неконтактных зарядов

В некоторых руководствах и пособиях расчетная формула (8.10) для неконтактных зарядов также дается в различных выражениях для различных материалов:

для дерева

$$C = 30kdr^2, \quad (8.11)$$

где k — имеет значения, как и в табл. 7.3;

d — диаметр (толщина) перебиваемого элемента, м;

для металла

$$C = 3500 \frac{F}{b} r^2, \quad (8.12)$$

где F — площадь сечения перебиваемого элемента, m^2 ;

b — сторона элемента, обращенная к заряду, м;

для камня, бетона и кирпича

$$C = 10Ahr^2, \quad (8.13)$$

где A — принимается по табл. 9.6;

h — толщина перебиваемого элемента, м;

C и r — во всех этих формулах соответственно в кг и м.

Глава 9.

ДЕЙСТВИЕ ВЗРЫВА И РАСЧЕТ ВНУТРЕННИХ ЗАРЯДОВ

§ 45. Действие взрыва в неограниченной твердой среде

При взрыве сосредоточенного заряда взрывчатого вещества, находящегося в неограниченной твердой среде (грунт, скала, бетон и т. п.), продукты взрыва отражаются от прилегающей к заряду среды, которая, обладая значительной инерцией, приходит в движение лишь через некоторый промежуток времени. В течение этого времени продукты взрыва получают неоднократное отражение, вследствие чего давление их на твердую среду выравнивается во всех направлениях от центра заряда, а поэтому такой заряд можно считать сферическим.

Продукты взрыва такого сферического заряда вытесняют окружающую среду из пределов сферической области, занимаемой расширяющимися продуктами, и сжимают среду, возбуждая в ней ударную волну сжатия. Последняя отличается от воздушной ударной волны более медленным нарастанием давления на ее фронте, и ее принято называть волной сжатия.

Зона, из пределов которой среда полностью

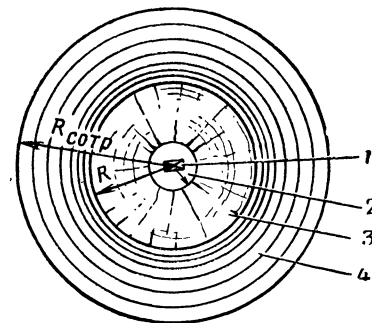


Рис. 9.1. Действие внутреннего заряда в неограниченной твердой среде:

1 — заряд ВВ; 2 — зона вытеснения (сфера сжатия); 3 — зона дробления (сфера разрушения); 4 — зона сейсмических колебаний (сфера сотрясений)

вытеснена, называется зоной вытеснения (рис. 9.1); радиус этой зоны определяется из выражения

$$R_v = m \sqrt[3]{\frac{C}{18,7}}, \tag{9.1}$$

где *m* — коэффициент, зависящий от свойств твердой среды и взрывчатого вещества (табл. 9.1).

Таблица 9.1

Вид грунта и скальной породы	<i>m</i>
Глина обычная	6,4—9,4
Глина песчанистая, суглинок тяжелый	4,8—6,6
Мел мягкий, ракушечник	3,8—4,6
Известняк мягкий, гипс, сланцы, мергель, доломит	1,8—3,2
Известняк и сланцы крепкие, гранит, песчаник, кварцит	1,6—2,6
Мрамор, гранит и доломит крепкие	1—2

Зона вытеснения не всегда имеет правильную шарообразную форму; форма ее изменяется в зависимости от неоднородности среды, слоев напластования, трещин и т. п.

В области, непосредственно прилегающей к расширяющимся продуктам взрыва, твердая среда, получая весьма большие скорости и напряжения, раздавливается и структура среды нарушается; эта область называется зоной раздавливания.

По мере удаления от центра взрыва и вовлечения в движение все больших масс среды давление в волне сжатия падает, вследствие чего скорости и напряжения в среде уменьшаются, но остаются еще выше критических, при которых нарушаются монолитность среды и сцепление ее частиц; однако структура среды уже не нарушается. В движущейся и сжимаемой среде появляются растягивающие усилия, которые ведут к образованию в среде радиальных трещин. Продукты взрыва, находящиеся в зоне вытеснения, устремляются в эти трещины, и давление их на среду резко падает; по среде соответственно проходит волна разгрузки в направлении, противоположном направлению волны сжатия; в результате

возникают растягивающие усилия в направлении к центру взрыва, что ведет к образованию тангенциальных трещин.

Зона, в пределах которой наблюдается нарушение монолитности среды, называется зоной дробления, а зона (среда), охватывающая все три рассмотренные выше зоны (вытеснения, раздавливания и дробления), — зоной разрушения.

Радиус этой зоны может быть определен из выражения

$$R_p = 1,13 \sqrt[3]{\frac{C}{K}}, \tag{9.2}$$

где *K* — коэффициент сопротивляемости среды действию взрыва (табл. 9.2);
C и *R_p* — соответственно в кг и м.

Таблица 9.2

Наименование породы	Значение коэффициента <i>K</i>
Свеженасыпанная земля	0,37—0,47
Растительный грунт	0,47—0,81
Супесок	0,8—1,10
Суглинок	0,97—1,19
Песок плотный или влажный	1,19—1,27
Глина, тяжелый суглинок	1,17—1,28
Песок сыпучий	1,51—1,69
Глина крепкая, лёсс, мел, гипс, сланцы мягкие	1,28—1,5
Песчаник, мягкий известняк, мергель и сланцы средней крепости	1,28—1,64
Песчаник и известняк крепкие, доломит	1,35—2,0
Гранит, гнейс, кварцит, базальт, доломит крепкий	1,78—2,28
Порфирит, гранит и базальт очень крепкие	2—2,15

Волна сжатия, имея еще запас кинетической энергии, продолжает двигаться далее за пределы зоны разрушения, но скорости и напряжения в среде будут уже ниже критических, вследствие чего монолитность среды не нарушается; в ней происходят лишь упругие деформации, проявляющиеся в виде колебаний среды, идентичных сейсмическим колебаниям.

Зона, в пределах которой проявляется сейсмический эффект, называется зоной сейсмических колебаний (зоной сотрясений). Такие колебания могут оказаться опасными для сооружений, находящихся в этой зоне. В конечном счете интенсивность волны сжатия падает настолько, что она переходит в звуковую волну.

При удлиненном заряде формулы (9.1) и (9.2) приобретают соответственно такой вид:

$$R_{vy} = m^{3/2} \frac{\sqrt{C}}{70} \quad (9.1a)$$

и

$$R_{py} = 1,2 \sqrt{\frac{C}{K}}, \quad (9.2a)$$

где C — вес (масса) ВВ в 1 пог. м, кг.

§ 46. Действие взрыва в ограниченной твердой среде

При взрывании зарядов в условиях, когда твердая среда имеет открытую (свободную, граничащую с атмосферой) поверхность в целях образования воронок, выемок и т. п., радиус разрушения будет выходить за пределы этой поверхности (рис. 9.2), т. е. глубина расположения заряда h будет меньше радиуса разрушения.

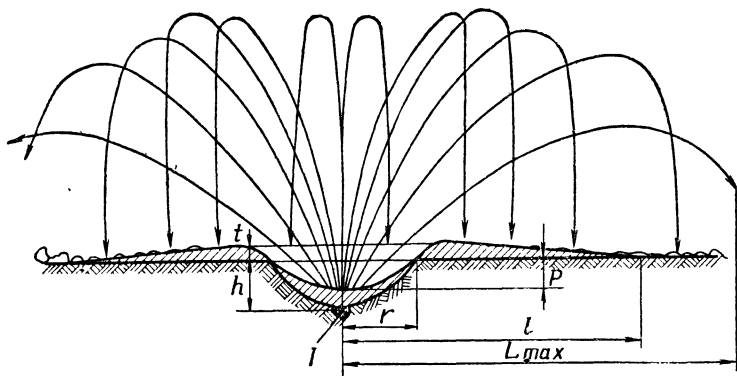


Рис. 9.2. Действие внутреннего заряда в среде, ограниченной одной открытой поверхностью (воронка выброса и разброс породы):

r — радиус воронки; h — линия наименьшего сопротивления; P — видимая глубина воронки; l — дальность развала породы; L_{max} — дальность разлета отдельных кусков породы

Так как среда, расположенная в сторону открытой поверхности, оказывает меньшее сопротивление действию взрыва, то глубина расположения заряда обычно называется линией наименьшего сопротивления (ЛНС). Зона вытеснения при этом постепенно вытягивается в сторону открытой поверхности, и в результате среда выбрасывается в атмосферу из пределов некоторого объема, образуя так называемую воронку выброса, которая имеет форму, близкую к параболу иду вращения.

Среда, выброшенная из пределов воронки, движется по различным траекториям и частично вновь падает в воронку, вследствие чего видимая глубина воронки p уменьшается.

Отношение радиуса воронки выброса к линии наименьшего сопротивления определяет конфигурацию воронки; оно обозначается

$$n = \frac{r}{h} \quad (9.3)$$

и называется показателем действия взрыва. При одинаковой h , но при разных значениях n , принимаемых в зависимости от требуемых очертаний воронки выброса, соответственно изменяется и ее радиус.

Если радиус разрушения R_p не выходит за пределы открытой поверхности (т. е. $R_p \leq h$), то воронка выброса не образуется, среда только раздробляется (разрыхляется), оставаясь на месте.

Когда радиус разрушения $R = h$ и воронки еще нет, а происходит только некоторое вспучивание поверхностного слоя, взрывание является предельным для случая рыхления и называется взрыванием на рыхление, или камуфлетом; при этом $n = 0$.

При увеличении n начинает появляться воронка, радиус которой постепенно увеличивается, и при $n = 1$, когда $r = h$, образуется воронка нормального выброса. С дальнейшим увеличением n и соответственным возрастанием радиуса воронки получают воронки усиленного выброса.

Когда радиус разрушения $R_p < h$, то волна сжатия, распространяющаяся в среде за пределы ее разрушения, достигнув открытой поверхности, отражается от нее и в обратном направлении (к центру взрыва) движется вол-

на разрежения. Когда напряжения разгрузки (растягивающие напряжения), возбуждаемые волной разрежения, будут больше напряжений, полученных от волны сжатия, то в среде образуются трещины, параллельные

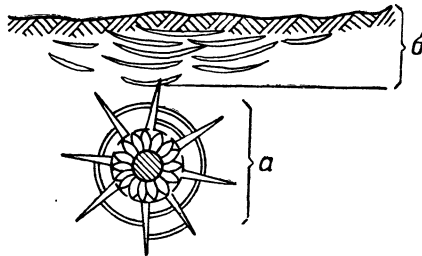


Рис. 9.3. Образование откольной воронки:
а — зона дробления; б — откол

фронту волны разрежения, и в таких средах, как скальные породы, бетон и т. п., проявляется откольная воронка (рис. 9.3).

§ 47. Расчет внутренних зарядов

Для получения расчетных данных можно использовать скоростное поле, формирующееся вокруг центра взрыва, и найти все точки, в которых скорость, сообщенная среде взрывом, будет больше критической скорости, достаточной для отрыва части среды от соседних и сообщения им движения, или равна ей.

Полагая, что при расширении продуктов взрыва через любую поверхность, отстоящую на расстоянии R от центра взрыва, в единицу времени будет проходить такой же объем твердой среды, какой объем продуктов взрыва вышел за пределы заряда, имеющего радиус r_0 , получим

$$4\pi r_0^2 u_0 = 4\pi R^2 u,$$

где u_0 и u — скорости движения продуктов взрыва на поверхности заряда и скорость движения среды на расстоянии R , откуда

$$u = u_0 \frac{r_0^2}{R^2}. \quad (9.4)$$

Однако открытая поверхность будет искажать такое равномерное (сферическое) поле скоростей. Для учета влияния открытой поверхности целесообразно использовать известный прием введения фиктивного (отрицательного) заряда, расположенного выше этой поверхности разрыва на расстоянии, равном глубине расположения

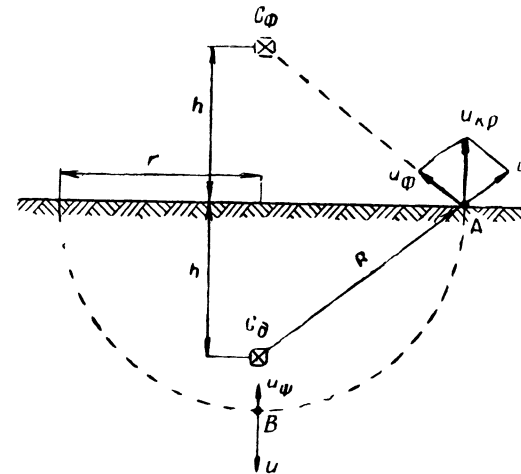


Рис. 9.4. Расчетная схема действия внутреннего заряда в твердой среде

настоящего (положительного) заряда, заполняя тем самым пространство над открытой поверхностью той же средой (рис. 9.4).

Тогда, рассматривая скорости, получаемые твердой средой от обоих зарядов, можно найти точки, в которых их скорость будет равна критической, и построить границы фактической зоны разрушения среды.

а) Расчет зарядов для образования воронки выброса

Для определения размеров воронки выброса рассмотрим точку А, находящуюся на границе воронки. Она должна иметь скорость, равную критической.

Из рис. 9.4 видно, что эта точка, находясь на равных расстояниях от обоих зарядов, получает от них равные скорости, равнодействующая которых направлена

вертикально вверх и равна критической скорости; следовательно,

$$u = u_{кр} \frac{R}{2h} \tag{9.5}$$

Тогда из (9.4) и (9.5) получим

$$r_0 = \left(\frac{u_{кр}}{u_0}\right)^{1/2} \left(\frac{R^3}{2h}\right)^{1/2}.$$

Заменяя

$$R = \sqrt{r^2 + h^2} = h \sqrt{n^2 + 1},$$

имеем

$$r_0 = \left(\frac{u_{кр}}{u_0}\right)^{1/2} \left(\frac{n^2 + 1}{2}\right)^{3/4} 2^{1/4} h.$$

Отсюда вес заряда ВВ

$$C = \frac{4}{3} \pi r_0^3 \gamma = \frac{4}{3} \pi \gamma \left(\frac{u_{кр}}{u_0}\right)^{3/2} \left(\frac{n^2 + 1}{2}\right)^{9/4} 2^{3/4} h^3. \tag{9.6}$$

Но выражение

$$\frac{4}{3} \pi \gamma \left(\frac{u_{кр}}{u_0}\right)^{3/2} 2^{3/4} = K$$

представляет собой характеристику твердой среды ($u_{кр}$) и взрывчатого вещества (γ и u_0) с постоянной величиной $\frac{4}{3} \pi 2^{3/4}$; при использовании ВВ нормальной мощности (тротила) можем считать, что величина K является характеристикой только твердой среды и выражает собой удельный расход взрывчатого вещества на 1 м³ раздробленной твердой среды.

Выражение

$$\left(\frac{n^2 + 1}{2}\right)^{9/4} = M$$

является функцией показателя действия взрыва.

В результате получаем простую расчетную формулу

$$C = K M h^3, \tag{9.7}$$

где C в кг, а h в м.

Величины удельного расхода ВВ на 1 м³ различных пород приведены в табл. 9.2, а значение функции показателя действия взрыва — в табл. 9.3.

Таблица 9.3

<i>n</i>	<i>M</i>	<i>M_y</i>	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>M_y</i>	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>M_y</i>
0	0,33	0,43	1,5	2,35	1,59	2,4	9,11	3,63
0,25	0,36	0,46	1,6	2,77	1,76	2,5	10,4	3,94
0,5	0,46	0,54	1,7	3,25	1,95	2,6	11,8	4,25
0,75	0,66	0,70	1,8	3,81	2,14	2,7	13,4	4,57
1	1	0,92	1,9	4,45	2,35	2,8	15,2	4,92
1,1	1,19	1,03	2	5,17	2,59	2,9	17,1	5,28
1,2	1,41	1,15	2,1	5,99	2,82	3	19,2	5,65
1,3	1,67	1,29	2,2	6,91	3,08			
1,4	1,98	1,43	2,3	7,95	3,35			

Получаемая при взрывах на выброс видимая глубина воронки может быть определена такой зависимостью:

$$p = a_{\Gamma} n h, \tag{9.8}$$

где a_{Γ} — коэффициент, характеризующий твердую среду (табл. 9.4).

Из формулы (9.7) видно, что показатель действия взрыва существенно влияет на величину заряда ВВ; при заданных размерах воронки выброса он называется также и на глубине заложения заряда.

В табл. 9.5 даны подсчеты при разных значениях n для случая образования воронки диаметром 8 м с видимой ее глубиной $p = 2$ м в суглинке, для которого $K = 1,1$ и $a_{\Gamma} = 0,5$.

Из табл. 9.5 видно, что наименьший расход взрывчатого веще-

Таблица 9.4

Порода	<i>a_Г</i>
Сухой песок	0,4—0,45
Влажный песок	0,45—0,55
Суглинок	0,45—0,55
Глина	0,5—0,6
Скала	0,6—0,7

Таблица 9.5

<i>n</i>	<i>h</i>	<i>C</i>	<i>p</i>
1	4	70,4	2
1,5	2,7	49,5	2
2	2	45,5	2
2,5	1,6	47,0	2
3	1,33	51,0	2

ства при взрывании на выброс будет при значении $n=2$; в этом случае видимая глубина воронки выброса равна глубине заложения заряда (ЛНС), а предварительная работа на отрывку шурфа для помещения заряда также существенно меньше, чем при $n<2$. Выбор величины $n>2$ вызывает увеличение веса заряда, но одновременно сокращаются затраты на подготовительные работы.

При удлиненном заряде, расположенном параллельно открытой поверхности, формула (9.7) приобретает вид

$$C_y = KM_y h^2 l, \quad (9.9)$$

где l — длина заряда, м.

б) Расчет зарядов для разрушения каменных, бетонных и других сооружений

В этом случае (рис. 9.5) внутренний заряд может быть размещен на неравных расстояниях от обеих открытых поверхностей сооружения (стены, мостовой опоры и т. д.), а

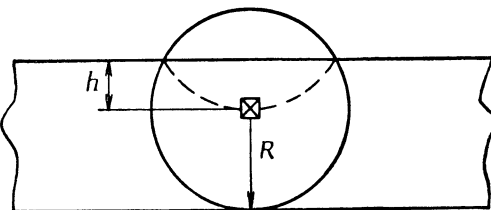


Рис. 9.5. Схема действия внутреннего заряда при разрушении конструкций из камня, бетона и т. п.

должен разрушить сооружение на всю его толщину. Следовательно, необходимо получить критическую скорость для точки B , по рис. 9.4 находящейся под зарядом.

Для этой точки получаем

$$u_{кр} = u - u_\phi$$

или по аналогии с предыдущим

$$u_{кр} = u_0 \frac{r_0^2}{R^2} - u_0 \frac{r_0^2}{(R + 2h)^2}.$$

Вынеся за скобки $u_0 \frac{r_0^2}{R^2}$, имеем

$$u_{кр} = u_0 \frac{r_0^2}{R^2} \left[1 - \left(\frac{1}{1 + \frac{2h}{R}} \right)^2 \right],$$

откуда

$$r_0 = \left(\frac{u_{кр}}{u_0} \right)^{1/2} \left[\frac{1}{1 - \left(\frac{1}{1 + \frac{2h}{R}} \right)^2} \right]^{1/2} R.$$

Тогда вес заряда определится так:

$$C = \frac{4}{3} \pi \gamma \left(\frac{u_{кр}}{u_0} \right)^{3/2} \left[\frac{1}{1 - \left(\frac{1}{1 + \frac{2h}{R}} \right)^2} \right]^{3/2} R^3.$$

Обозначая

$$\frac{4}{3} \pi \gamma \left(\frac{u_{кр}}{u_0} \right)^{3/2} = A,$$

$$\left[\frac{1}{1 - \left(\frac{1}{1 + \frac{2h}{R}} \right)^2} \right]^{3/2} = B,$$

получаем расчетную формулу в таком простом виде:

$$C = ABR^3, \quad (9.10)$$

где A — коэффициент, зависящий от прочности разрушаемого материала (табл. 9.6);

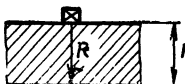
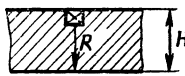
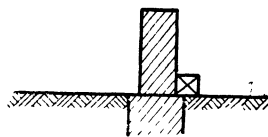
B — коэффициент забивки, т. е. коэффициент, зависящий от расположения заряда (от отношения $\frac{h}{R}$) (табл. 9.7);

R — толщина разрушаемого материала (радиус разрушения), м.

Таблица 9.6

Материал	Значение коэффициента A
Кирпичная кладка на известковом растворе . . .	0,75—1
Кирпичная кладка на цементном растворе . . .	1,2
Кладка из естественного камня	1,4
Бетон марки 200—300	1,5
Бетон марки 500—600	1,8
Железобетон:	
на выбивание бетона	5
на частичное перебивание арматуры	20

Таблица 9.7

Схема расположения и наименование зарядов	Значение коэффициента <i>B</i>		Расчетная величина радиуса разруше- ния	
	Без за- бивки	с забив- кой		
Наружный заряд		9	5	$R = H$
Заряд в нише (заподлицо с по- верхностью подры- ваемой конструк- ции)		5	3,5	$R = H$
Заряд в рукаве глубиной 1/3 тол- щины подрывае- мой конструкции		1,7	1,5	$R = \frac{2}{3} H$
Заряд в середи- не подрывае- мой конструкции (в ру- каве, скважине, ка- мере)		1,3	1,15	$R = \frac{1}{2} H$
Заряд в колодце за стенкой (в грун- те)		3,5	2	$R = H$
Наружный заряд у основания стены		5	2,5	$R = H$

Рассуждая таким же образом, для удлиненного за-
ряда получаем

$$C = 0,5ABR^2l, \quad (9.11)$$

причем, если $l \leq 2R$, то множитель 0,5 не учитывается,
так как заряд в этом случае близок к сосредоточенному.

§ 48. Особенности разрушения железобетона

Железобетонные конструкции разрушаются наружны-
ми зарядами, так как при сравнительно малой толщине
их поперечного сечения и из-за наличия арматуры вы-
делка рукавов и ниш нецелесообразна. Заряды ВВ рас-
считываются или по формуле (7.5), или по формуле
(9.10) преимущественно только для получения выбива-
ния бетона; неперебитая, но оголенная арматура при
этом, как правило, не выдерживает собственного веса
конструкции и при горизонтальных конструкциях обры-
вается, а при вертикальных изгибается, нарушая их
устойчивость.

При достаточно мощной арматуре необходимо не
только выбить бетон, но и перебить часть арматурных
стержней. В этом случае заряд, подсчитанный по одной
из упомянутых выше формул, следует разделить на две
части и разместить так, как показано на рис. 9.6, а.

Чтобы уменьшить расход взрывчатого вещества, когда
позволяют обстоятельства, целесообразно сначала одним
зарядом только выбить бетон, а затем другим зарядом,
располагаемым на обнаженной или полуобнаженной ар-
матуре, перебить ее (рис. 9.6, б, в).

В отдельных случаях необходимо получить полное
перебивание железобетонных конструкций взрывом од-

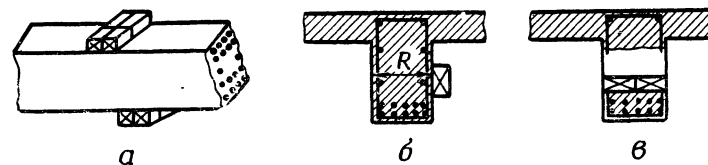


Рис. 9.6. Расположение заряда на железобетонном элементе кон-
струкций:

а — при частичном перебивании арматуры; б — выбивание бетона; в —
перебивание арматуры

ного заряда. Тогда его приходится рассчитывать по формуле (7.5), как и для металла, но с коэффициентом $K_K=1000$ (вместо 10 000), потому что перебивается не сплошной металл, и в то же время сравнительно небольшая его масса удалена от непосредственного воздействия продуктов взрыва контактного заряда прослойками бетона, поглощающими часть энергии на их разрушение.

§ 49. Совместное действие внутренних зарядов

Чаще всего необходимо взрывать не один, а большое число внутренних зарядов. В этом случае их следует размещать на определенных расстояниях друг от друга.

При разрушении каменных, бетонных и других сооружений, очевидно, достаточно располагать заряды так, чтобы радиусы действия соприкасались друг с другом (рис. 9.6), т. е. расстояние между соседними зарядами может быть принято

$$a_H = 2R. \quad (9.12)$$

Другое дело при взрывах в грунтах и скальных породах для образования выемок, траншей, котлованов, когда необходимо получить проектные очертания выемки с наименьшими доделками после взрыва. С этой целью заряды приходится размещать на сближенных расстояниях. При этом встречные волны напряжений, распространяющиеся в среде от соседних взрывов, должны достаточно раздробить среду и сообщить ей движение. Опытом установлено, что, когда $r=h$, расстояние между зарядами должно быть равно глубине их заложения (ЛНС), т. е.

$$a_H = h,$$

а так как при этом

$$R = \sqrt{2h^2} = 1,41h,$$

то

$$a_H = \frac{R}{1,41} = 0,7R. \quad (9.13)$$

При $r > h$ в связи с увеличением размеров воронки расстояния могут быть увеличены и будут находиться в зависимости от принятой величины показателя действия взрыва.

Действительно, заменяя в формуле (9.13) величину $R = h \sqrt{n^2 + 1}$, получаем

$$a_H = 0,7h \sqrt{n^2 + 1}. \quad (9.14)$$

§ 50. Воронка выброса при использовании ядерных взрывчатых веществ

При взрыве ядерного взрывчатого вещества в грунте непосредственно на выброс грунта приходится не более половины всей выделяемой энергии. В результате объем выброшенной породы на 1 кг полного тротилового эквивалента составляет, по американским данным, только

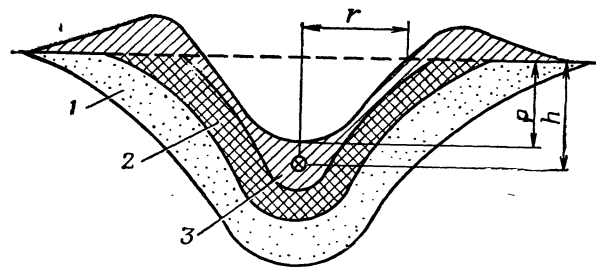


Рис. 9.7. Воронка выброса при взрыве ядерных ВВ:
1 — зона пластических деформаций; 2 — зона дробления (разрушения); 3 — грунт, упавший после взрыва

0,06 м³, что значительно меньше объема выброса с 1 кг обычных взрывчатых веществ (0,25—0,5 м³). Характер воронки от взрыва ядерного заряда показан на рис. 9.7.

Так как размеры заряда из ядерного взрывчатого вещества во много раз меньше соответствующего по мощности тротилового заряда, то для получения удобных расчетных данных необходимо прежде всего определить радиус соответствующего эквивалентного тротилового заряда. Это можно выполнить по формуле

$$r_0 = \frac{\sqrt[3]{0,5q}}{18,7} \text{ м}, \quad (9.15)$$

где q — тротиловый эквивалент ядерного взрывчатого вещества, кг.

Затем вычисляют величину β из уравнения

$$\beta = \left(\frac{r_0}{4,25}\right)^{0,12} \tag{9.16}$$

и, зная величину заглубления заряда h (линию наименьшего сопротивления), определяют значение $\beta \frac{h}{r_0}$, которое нанесено на горизонтальной оси графика, приведенного на рис. 9.8.

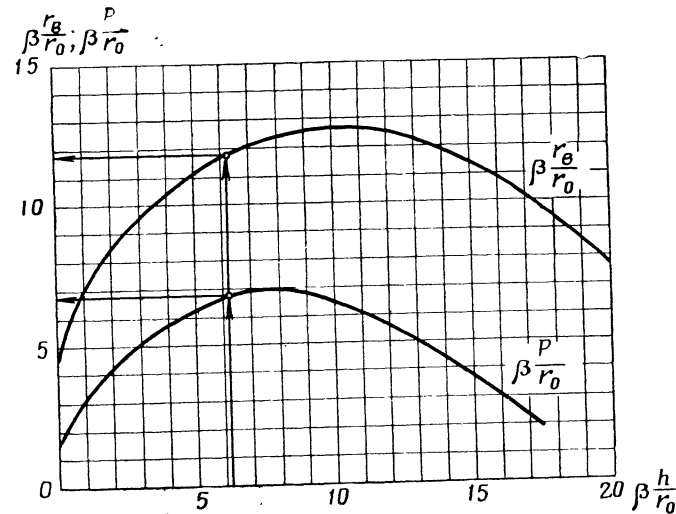


Рис. 9.8. График для определения размеров воронки выброса при взрыве ядерных ВВ

По этому графику, найдя данное значение $\beta \frac{h}{r_0}$ и поднявшись по вертикали до пересечения с нижней или верхней кривой, на вертикальной оси имеем соответственно значения величин $\beta \frac{r_{\text{в}}}{r_0}$ и $\beta \frac{p}{r_0}$, по которым и определяют радиус воронки выброса $r_{\text{в}}$ и видимая глубина воронки p .

Например, имея заряд ядерного ВВ 20 кт, заложенный на глубине 10 м, получаем

$$r_0 = \frac{\sqrt[3]{0,5 \cdot 20000000}}{18,7} = 11,5 \text{ м};$$

$$\beta = \left(\frac{11,5}{4,25}\right)^{0,12} = 1,128;$$

$$\beta \frac{h}{r_0} = 1,128 \frac{10}{11,5} = 0,977;$$

по графику

$$\beta \frac{r_{\text{в}}}{r_0} = 6,7;$$

$$\beta \frac{p}{r_0} = 2,5,$$

откуда

$$r_{\text{в}} = \frac{6,7 \cdot 11,5}{1,128} = 68,7 \text{ м или } d_{\text{в}} = 137,5 \text{ м};$$

$$p = \frac{2,5 \cdot 11,5}{1,128} = 25,6 \text{ м}.$$

Полученные этим методом величины воронок действительны для обычных грунтов; при взрывах в скальных или влажных грунтах к вычисленным значениям следует вводить поправку по табл. 9.8.

Таблица 9.8

Грунт	Величина поправки	
	для радиуса воронки	для глубины воронки
Скальный	0,8	0,8
Влажный неоползающий	1,5	1,5
Влажный оползающий	2,0	0,7

Приведенный метод расчета параметров воронки выброса базируется на данных книги «Действие ядерного оружия» (перевод с английского). М., Воениздат, 1965.

Глава 10

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

§ 51. Общие сведения

При производстве взрывных работ в любой обстановке основное внимание должно уделяться безопасности работ и мерам обеспечения безотказности взрыва.

Безотказность взрыва зависит от качества подготовки и должной проверки всех зарядов, взрывных сетей и устройств и содержания их в полной исправности.

Безопасность выполнения взрывных работ зависит от строгого соблюдения мер, обеспечивающих безопасность лиц, непосредственно подготавливающих и производящих взрывы, посторонних лиц и населения, а также сооружений, расположенных вблизи места взрыва. Эта безопасность определяется расстоянием, на которое распространяется действие взрыва, выражающееся в непосредственном действии расширяющихся продуктов взрыва, в действии ударной воздушной волны, в сейсмическом действии взрыва и в разлете кусков раздробленной взрывом среды.

§ 52. Безопасные расстояния по сейсмическому действию

Сейсмическое (сотрясательное) действие взрыва проявляется только при взрывах, происходящих внутри грунта или скальной породы, которые за пределами зоны разрушения претерпевают упругие колебания. Характер этих колебаний (период, амплитуда и скорость распространения) зависит от мощности взрыва и свойств среды.

Колебания среды в свою очередь вызывают колебания сооружений, расположенных в этой среде или на ее

поверхности, что может привести к образованию трещин в сооружении или его разрушению.

Скорость, амплитуда и период колебаний грунта являются основными факторами, которые определяют степень опасности сейсмических колебаний. Экспериментальное изучение этих факторов в различных грунтах и при различных количествах взрывающегося вещества позволило безопасные расстояния по сейсмическому действию выразить такой формулой:

$$r_c = K_c \alpha \sqrt[3]{C} \text{ м}, \quad (10.1)$$

где K_c — коэффициент, характеризующий грунт, принимается по табл. 10.2;

α — коэффициент, зависящий от показателя действия взрыва, принимается по табл. 10.1;

C — вес (масса) взрывчатого вещества, кг.

Таблица 10.1

Величина показателя действия взрыва	Значение коэффициента α
$n \leq 0,5$	1,2
$n = 1$	1,0
$n = 2$	0,8
$n = 3$	0,7

Таблица 10.2

Вид грунта	Значение коэффициента K_c
Скальные породы:	
гранит, гнейс	1,5
кварциты	3
известняки	5
песчаники	6
Растительные и наносные грунты:	
хрящеватый грунт	7
песок плотный	8
лёсс, глины	9
суглинки	10
свеженасыпанная земля и сыпучий песок, плавуну, торфяники	20

Примечание. При взрыве в воде и в водоносных грунтах величина коэффициента K_c удваивается.

Из формулы (10.1) следует, что кроме свойств грунта и количества взорванного вещества существенное значение имеет и глубина, на которой произведен взрыв, так как показатель действия взрыва n является функцией этой глубины. Чем глубже произведен взрыв одного и того же количества взрывчатого вещества, тем дальше распространяются опасные сейсмические колебания и тем большими становятся безопасные расстояния.

В практике взрывных работ часто приходится одновременно взрывать не один заряд взрывчатого вещества, а несколько; при этом заряды могут располагаться от защищаемого объекта на различных расстояниях. Если эти расстояния различаются не более чем на 10%, то при определении безопасного расстояния в формулу (10.1) подставляется суммарный вес всех одновременно взрывааемых зарядов.

Если расстояния от отдельных зарядов до защищаемого объекта отличаются больше чем на 10%, то в формулу (10.1) следует подставлять вместо общего веса всех одновременно взрывааемых зарядов C так называемое эквивалентное значение этого веса $C_{\text{экв}}$, которое определяется графоаналитическим методом путем ряда последовательных приближений. Этот метод изложен в приложении 2.

Обычно приходится иметь дело с заданным расположением зарядов и защищаемых от сейсмической волны объектов. В этом случае объект окажется вне сейсмически опасной зоны, если будет иметь место следующее условие:

$$(aK_0)^3 \left[\frac{C_1}{r_1^3} + \frac{C_2}{r_2^3} + \dots + \frac{C_n}{r_n^3} \right] < 1, \quad (10.2)$$

где $C_1, C_2, \dots, C_n$ — вес (масса) отдельных зарядов, кг;

$r_1, r_2, \dots, r_n$ — расстояния от этих зарядов до защищаемого объекта.

Для уменьшения безопасных расстояний по сейсмическому действию полезно, если это возможно, применять короткозамедленное взрывание зарядов. В этом случае сейсмические волны, возбужденные взрывом отдельных зарядов, следуют друг за другом, а так как интенсив-

ность каждой из этих волн меньше интенсивности волны, возбужденной одновременным взрывом всех зарядов, то уменьшается сейсмическая опасность, снижаются безопасные расстояния.

Рассмотренный метод расчета сейсмически безопасных расстояний предусматривает, что сооружения находятся в удовлетворительном техническом состоянии и относятся к категории кирпичных малоэтажных зданий. При наличии повреждений в них безопасные расстояния увеличиваются в два раза.

§ 53. Безопасные расстояния по действию ударной воздушной волны

При защите сооружений от разрушения их ударной воздушной волной не всегда имеется возможность выдерживать такие безопасные расстояния, на которых объект не получит никаких повреждений, так как эти расстояния получаются в ряде случаев весьма большими. Поэтому иногда приходится допускать те или иные повреждения в объектах, расположенных вблизи очагов взрыва, т. е. устанавливать различные степени безопасности, а всю зону действия воздушной ударной волны соответственно делить:

— на зону, в которой отсутствуют какие-либо повреждения или могут быть разбиты стекла (первая и вторая степени безопасности, табл. 10.3);

— на зону слабых разрушений, в пределах которой разрушаются тонкие деревянные перегородки, двери, оконные рамы и стекла, повреждается штукатурка, а в каменной кладке возможно появление тонких волосных трещин (третья и четвертая степени безопасности);

— на зону средних разрушений, в пределах которой разрушаются деревянные и малостойкие каменные здания, образуются сдвиги и трещины в прочной каменной кладке (пятая степень безопасности);

— на зону сильных разрушений, в пределах которой наблюдаются разрушения каменных и кирпичных зданий, промышленных сооружений, повреждения мостов и железнодорожного полотна (шестая степень безопасности).

Безопасные расстояния по действию ударной удар-

Значения коэффициентов K_B и K_B

	Возможные повреждения	Открытый заряд		Заряд, заглубленный на свою высоту		$n = 3$
		C (г)	K_B	C (г)	K_B	
1	Отсутствие повреждений	<10	50—150	<20	20—50	3—10
2	Случайные повреждения застекления	>10	—	>20	—	—
3	Полное разрушение застекления. Частичные повреждения рам, дверей, нарушение штукатурки и внутренних легких перегородок	<10	10—30	<20	5—12	—
4	Разрушение внутренних перегородок, рам, дверей, баряков, сараев и т. п.	>10	—	>20	—	1—2
5	Разрушение малостойких каменных и деревянных зданий, опрокидывание железнодорожных составов, повреждение линий электропередачи	<10	5—8	<20	2—4	0,5—1
6	Пролет прочных кирпичных стен, полное разрушение коммунальных и промышленных сооружений, повреждение мостов и железнодорожного полотна	>10	2—4	>20	1—2	Разрушение в пределах воронки
			1,5—2		0,5—1	—
			1,4		Разрушение в пределах воронки	—

Примечание. Взрыв заряда в воде на глубине, меньшей полутора высот заряда, следует рассматривать как взрыв открытого заряда.

ной волны определяются в зависимости от веса заряда ВВ либо по формуле

$$r_B = k_B \sqrt{C} \text{ м}, \quad (10.3)$$

либо по формуле

$$r_B = K_B \sqrt[3]{C} \text{ м}, \quad (10.4)$$

где C — вес (масса) заряда ВВ, кг;
 k_B и K_B — коэффициенты, зависящие от веса заряда, его расположения и характера допустимых повреждений в окружающих сооружениях (т. е. допустимой степени безопасности); принимаются по табл. 10.3.

Подсчет безопасных расстояний по действию ударной воздушной волны по формуле (10.3) или (10.4) вызван тем, что при больших весах зарядов и по мере увеличения расстояния от центра взрыва существенно возрастает доля первого члена в формуле (8.1), а следовательно, и безопасное расстояние становится пропорциональным корню кубическому из веса заряда.

На таких расстояниях избыточное давление в ударной волне уже достаточно мало, а поэтому формула (10.4) и ограничивается областью, в которой могут иметь место лишь слабые разрушения.

Выбор конкретного значения коэффициента k_B (в пределах, даваемых табл. 10.3) зависит от состояния защищаемого сооружения: чем прочнее сооружение, тем меньшее значение коэффициента может быть принято. Состояние сооружений уточняется на месте осмотра.

Минимальное безопасное расстояние для человека по действию на него ударной волны рассчитывается по формуле

$$r_{\min} = 15 \sqrt[3]{C} \text{ м}, \quad (10.5)$$

где C — вес (масса) заряда, кг.

При подсчете по формуле (10.5) величина избыточного давления примерно равна $0,1 \text{ кгс/см}^2$ и гарантирует от получения контузии. В обычных условиях производ-

ства взрывных работ коэффициент в формуле (10.5) следует увеличивать в два-три раза.

§ 54. Безопасные расстояния, исключающие передачу детонации от одного заряда взрывчатого вещества к другому

Ударная воздушная волна на некоторых расстояниях, сохраняя еще значительную мощность, способна вызывать детонацию во встретившемся на ее пути взрывчатом веществе. Иногда это явление бывает полезным и может быть использовано для взрывания нескольких «пассивных» зарядов взрывчатого вещества от взрыва одного «активного» заряда, взрываемого зажигательной трубкой или электродетонатором.

Однако в большинстве случаев приходится, наоборот, оберегать один заряд от взрыва соседнего заряда, т. е. располагать его на таких расстояниях, при которых был бы невозможен его взрыв. В этом случае расчет безопасного расстояния ведется по формуле

$$r_d = K_d \sqrt[3]{C} \sqrt[4]{D}, \quad (10.6)$$

где C — вес (масса) активного заряда, кг;

D — наименьший линейный размер пассивного заряда, равный ширине заряда или удвоенной его высоте, м;

K_d — коэффициент, зависящий от свойств активного и пассивного зарядов ВВ и их расположения (табл. 10.4).

Если активный заряд состоит не из одного взрывчатого вещества, а из нескольких (например, при размещении различных взрывчатых веществ в одном хранилище склада), то формула (10.6) приобретает такой вид:

$$r_d = \sqrt[3]{K_{d1}^3 C_1 + K_{d2}^3 C_2 + \dots + K_{dn}^3 C_n} \sqrt[4]{D}, \quad (10.7)$$

где $C_1, C_2, \dots, C_n$ — вес (масса) зарядов различных взрывчатых веществ, кг;

$K_{d1}, K_{d2}, \dots, K_{dn}$ — соответствующие этим ВВ коэффициенты.

Таблица 10.4

Значения коэффициента K_d , характеризующего свойства ВВ по передаче детонации на расстояние

Пассивный заряд															
тип взрывчатого вещества	расположение заряда	аммиачно-селитренные ВВ и ВВ, содержащие до 40% нитрофиров		ВВ, содержащие 40% нитрофиров и более		трогил		тэн, гексоген, тетрил		детонаторы					
		открытый	углубленный	открытый	углубленный	открытый	углубленный	открытый	углубленный	открытый	углубленный				
Аммиачно-селитренные ВВ и ВВ, содержащие до 40% нитрофиров	Открытый	0,65	0,4	0,9	0,65	1	0,8	0,8	1,5	1,1	0,65	0,4	0,65	0,4	0,25
	Углубленный	1,3	0,8	1,8	1,3	2,0	1,6	1,0	3,0	2,2	1,5	1,3	0,8	0,5	0,8
ВВ, содержащие 40% нитрофиров и более	Открытый	1,0	0,75	1,3	1,0	1,5	1,1	1,1	2,6	1,6	1,2	1,0	0,75	0,54	0,75
	Углубленный	0,75	0,5	1,0	0,7	1,1	0,65	0,65	1,6	1,2	0,75	0,75	0,54	0,54	0,54
Трогил	Открытый	2,0	1,2	2,8	2,0	3,2	2,4	2,4	5,5	4,4	2,0	2,0	1,2	0,8	1,2
	Углубленный	1,2	0,8	2,0	1,0	2,4	1,6	1,6	4,4	3,2	1,2	1,2	0,8	0,8	0,8
Тэн, гексоген, тетрил	Открытый	0,35	0,2	0,6	0,4	0,55	0,45	0,45	0,8	0,6	0,35	0,35	0,2	0,2	0,15
	Углубленный	0,2	0,15	0,4	0,3	0,45	0,3	0,3	0,6	0,4	0,2	0,2	0,15	0,15	0,15
Детонаторы															

Примечание 1 и поясняющее

... а равен пяти радиусам детонаторов

§ 55. Безопасные расстояния по разлету осколков

Дальность разлета осколков и кусков грунта существенно зависит от веса заряда взрывчатого вещества, материала разрушаемого (перебиваемого) взрывом объекта и расположения заряда на объекте.

Очевидно, чем больше вес взрывающего заряда взрывчатого вещества, тем больше и разлет осколков; при этом мелкие осколки (куски), обладая меньшей массой, из-за сопротивления воздуха быстрее будут терять приобретенную ими скорость, чем осколки более крупные.

Расположение заряда на разрушаемом объекте сказывается тем, что в сторону, противоположную той, на которой размещен наружный заряд, осколки будут разлетаться дальше. Наименьшая дальность разлета будет в ту сторону, с которой расположен у объекта наружный заряд.

При внутренних зарядах, если не принято специальных мер к направлению разлета основной массы разрушаемого объекта, разлет осколков происходит равномерно во все стороны.

Ниже приводятся некоторые данные по практически установленной дальности разлета осколков. Величина этой дальности и принимается в качестве минимального безопасного расстояния от очага взрыва:

- при взрывании льда и грунта на дне водоема — 100 м;
- при взрывании сооружений из дерева — 150 м;
- при взрывании камня, бетона и железобетона — 350 м;
- при взрывании металлических сооружений (мостовых ферм, рельсов, балок и т. п.) — 500 м;
- при взрывании авиабомб, артиллерийских снарядов и других боеприпасов в зависимости от их калибра — 500—2000 м.

При расположении зарядов взрывчатого вещества на некоторой глубине при взрывах в грунте и скале на выброс отдельные куски породы (грунта) могут разлетаться на весьма значительные расстояния. Наблюдениями установлена некоторая зависимость между глубиной расположения заряда, его весом (по показателю действия

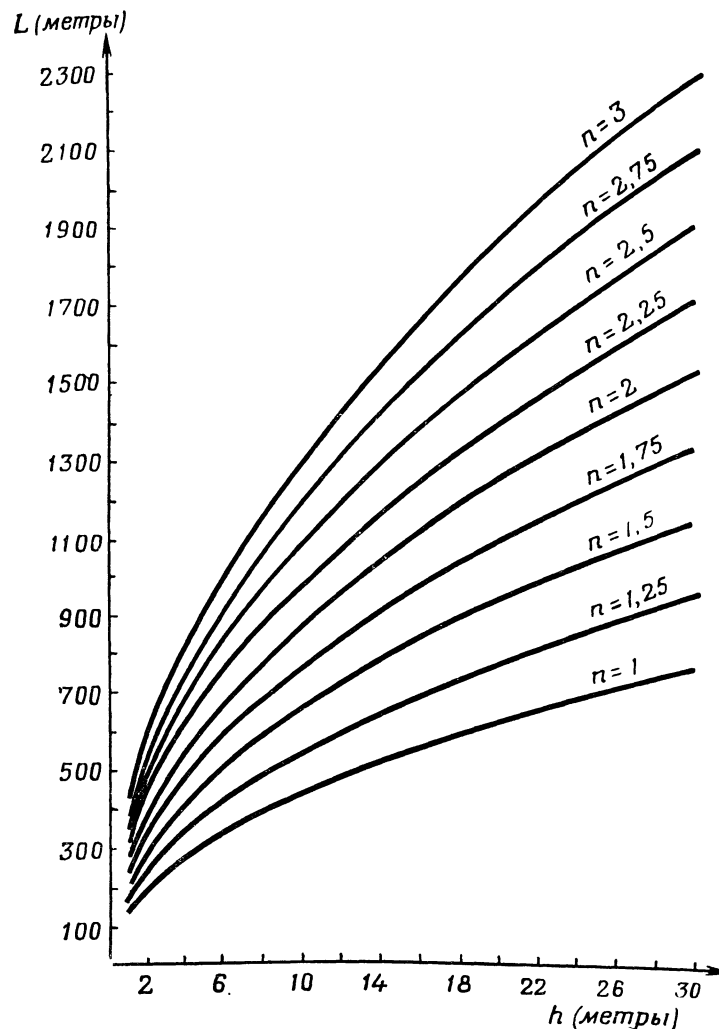


Рис. 10.1. Номограмма для определения дальности разлета кусков породы при взрывах на выброс

взрыва) и максимальной дальностью разлета кусков; эта зависимость выражается формулой

$$L = 140n \sqrt{h}, \quad (10.8)$$

где L — дальность разлета отдельных кусков породы (грунта), м;

n — показатель действия взрыва;

h — глубина заложения заряда (линия наименьшего сопротивления), м.

На рис. 10.1 приведена номограмма для определения дальности разлета кусков породы при глубине заложения зарядов до 30 м и при $n=1\div 3$.

§ 56. Общие правила техники безопасности

Для обеспечения техники безопасности, безотказности и эффективности взрыва взрывными работами могут руководить или офицеры инженерных и железнодорожных войск, или лица, имеющие права на ответственное производство взрывных работ*.

К непосредственному выполнению подготовительных работ, связанных с обращением со взрывчатыми веществами, средствами взрывания и взрывными сетями, допускаются лица, прошедшие соответствующее обучение и хорошо знающие эти средства и правила обращения с ними, а также прошедшие инструктаж по технике безопасности, необходимой в данном случае, и ознакомленные с порядком выполнения предстоящих работ.

Перед началом взрывных работ и до их полного окончания район работ оцепляется, чтобы гарантировать от проникновения посторонних лиц в опасную зону. Снимается оцепление только по разрешению руководителя работ. Удаление оцепления от очагов взрыва зависит от дальности разлета осколков, а при наружных взрывах и от действия воздушной ударной волны. Число постов оцепления зависит от местности и ее населенности; во всех случаях постами надлежит перекрывать дороги и тропинки.

До начала взрывных работ должны быть точно установлены сигналы, по которым должны начинаться и за-

* Права на ответственное производство взрывных работ выдаются Горнотехнической инспекцией.

канчиваться отдельные этапы работы. Сигналы не должны быть похожи один на другой во избежание их перепутывания.

По первому сигналу (один продолжительный) все лица, не занятые заряданием или взрыванием, удаляются за пределы опасной зоны.

По второму сигналу (два продолжительных) взрываются заряды.

Третий сигнал отбоя подается только после осмотра места взрыва и ликвидации всех отказавших (невзорванных) зарядов.

В процессе производства работ должна соблюдаться строгая дисциплина, каждый участник обязан выполнять все меры безопасности, предписываемые средствами, способами взрывания и методами выполнения работ.

Взрывчатые вещества, средства взрывания, источники тока и электроизмерительные приборы должны находиться под охраной и без разрешения руководителя работ никому не выдаваться.

К моменту взрыва все участники должны находиться на безопасном расстоянии или в надежном укрытии.

При взрывных работах методом наружных зарядов следует определить максимально допустимый вес зарядов во избежание разрушения окружающих сооружений. Соответственно при взрывах в грунтах и скале необходимо установить допустимый вес заряда по сейсмическому эффекту.

При зарядании шпуров, скважин и рукавов капсюли-детонаторы и электродетонаторы следует помещать внутри заряда взрывчатого вещества так, чтобы между ними и забивкой находился небольшой слой взрывчатого вещества (3—5 см или одна шашка). Первый слой забивки вводится без уплотнения, а последующие слои уплотняются сначала слегка, а затем постепенно увеличивающимся усилием. В шпуры заряды досылают только деревянным забойником, а в скважины опускать на веревках, не используя для этого проводов и шнуров взрывных сетей и зажигательных трубок.

При проходке шурфов, штолен и скважин следует принимать меры против обвала стенок шурфа и скважины и потолка штольни, применяя их крепление.

При взрывании зарядов взрывчатого вещества при проходке шурфов, штолен, туннелей и в помещениях

вход в эти выработки и помещения допускается только после их тщательного проветривания во избежание отравления ядовитыми продуктами взрыва. При взрывах в грунтах и скальных породах зарядов большого веса (десятки, сотни и более тонн) следует учитывать опасность распространения газового облака на значительных расстояниях и взрывную станцию и посты наблюдения, располагать с подветренной стороны.

При подготовке и производстве взрывов нельзя курить и разводить огонь ближе 100 м от взрывчатых веществ и средств взрывания и мест работы с ними.

К отказавшим зарядам подходить можно только одному человеку, руководствуясь изложенным в § 19, 29 и 32. Отказавшие снаряды должны быть немедленно ликвидированы:

- наружные заряды или снимаются, или взрываются; затухшую зажигательную трубку вторично поджигать нельзя;

- внутренние заряды в шпурах и скважинах взрываются другими зарядами, расположенными в параллельных выработках: для шпуров в 20—30 см и для скважин в 1—3 м от отказавших шпуровых или скважинных зарядов;

- каменные заряды разбираются по частям после предварительного осторожного удаления забивки;

- внутренние заряды из аммиачно-селитренных взрывчатых веществ можно ликвидировать вымыванием их и забивки.

§ 57. Организация работ

Успешность выполнения взрывных работ и их безопасность зависят от правильного распределения работ между исполнителями и организации их взаимодействия.

При этом следует руководствоваться следующим:

1. Число исполнителей, назначаемых на ту или иную работу, зависит от ее трудоемкости и условий своевременного окончания ее во избежание задержки работ других исполнителей.

2. Каждой группе следует поручать выполнение по возможности какого-либо одного вида работ, например

подготовку зарядов взрывчатого вещества или взрывных сетей (электрических, детонирующего шнура или зажигательных трубок) или подготовку зарядных устройств (шурфов, рукавов) и т. п.

3. Место работы для каждой группы назначать так, чтобы одна группа не мешала работать другим группам, а расстояния между ними обеспечивали бы их безопасность.

4. В военной обстановке все работы должны быть закончены в кратчайший срок, а заряды, взрывные сети, подрывные станции должны размещаться так, чтобы они не могли быть повреждены, а заряды преждевременно взорваны осколками снарядов и авиабомб (при артобстреле или бомбардировке) или ударной волной ядерного взрыва. Для этого следует применять преимущественно внутренние заряды, а электровзрывные сети и сети из детонирующего шнура зарывать в грунт на глубину 0,25—0,5 м; в пределах разрушаемого сооружения располагать их так, чтобы они были защищены от осколков и ударной волны элементами сооружения, или прикрывать досками, уголками и т. п., а в каменных сооружениях при возможности располагать сети в специально выделяемых бороздах с замазкой борозды цементом или глиной.

5. При подготовке заграждений в условиях возможного появления противника до окончания всех подготовительных работ следует в первую очередь подготовить запасные заряды и средства их взрывания для осуществления быстрого, хотя бы частичного разрушения сооружения. Например, при подготовке полного разрушения моста надо подготовить заряды для быстрого размещения их на опорах у подферменных камней в целях сбрасывания одной-двух мостовых ферм наибольшей длины с опор в одном-двух пролетах.

Такие же запасные заряды подготавливаются и в других случаях боевой обстановки для использования их при необходимости производства разрушения, если взрывные сети окажутся поврежденными, а времени на их исправление не будет.

6. Место для подрывной станции выбирается так, чтобы разрушаемый объект и подступы к нему находились в прямой видимости со станции. В противном случае выставляется специальный наблюдательный пост, связан-

ный со станцией телефоном или другими сигнальными устройствами.

7. Взрывные сети (электрические и из детонирующего шнура) всегда должны быть дублированы устройствами того же или другого способа взрывания, чтобы обеспечить взрыв всех зарядов от двух независимых друг от друга сетей и трубок.

8. При электрическом способе взрывания всегда применяются меры защиты от преждевременного взрыва зарядов грозowymi или блуждающими токами.

9. Особое внимание необходимо уделять гидроизоляции зарядов из невлагоустойчивых взрывчатых веществ (в частности, аммиачно-селитренных).

10. Всегда следует применять меры безопасности, предусмотренные соответствующими способами взрывания (§ 19, 29 и 32).

Глава 11

ХРАНЕНИЕ, ТРАНСПОРТИРОВКА И УНИЧТОЖЕНИЕ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ И СРЕДСТВ ВЗРЫВАНИЯ

§ 58. Склады для хранения

Взрывчатые вещества и средства взрывания, являющиеся отдельными видами инженерных боеприпасов, в дальнейшем (для простоты) именуется взрывчатыми материалами; они могут при определенных условиях под влиянием различных внешних воздействий претерпевать существенные физические и химические изменения, способные привести или к потере ими взрывчатых свойств, или, наоборот, к непредвиденному их взрыву из-за резкого повышения чувствительности или самовозгорания. Поэтому необходимы специальные условия для их содержания (хранения) и транспортировки. Эти условия определяются специальными инструкциями и Едиными правилами безопасности при взрывных работах.

Хранение взрывчатых материалов организовывается на специальных складах, отдельно от всех видов другого имущества и при условии соблюдения правил совместного хранения в одном помещении (хранилище), приведенных в табл. 11.1.

Склады войсковых частей могут быть постоянными (в мирное время), временными (на срок до одного года) и полевыми. Полевые склады устраиваются в военное время при частой передислокации войск, а в мирное время при проведении учебных занятий, выполнении специальных заданий (например, охрана мостов от ледохода и др.) и при выполнении взрывных работ на строительстве.

Таблица 11.1

Совместное хранение взрывчатых материалов

№ группы	Наименование взрывчатых материалов	№ групп, с которыми допустимо совместное хранение
1	Аммиачно-селитренные ВВ	3 и 7
2	Нитроглицериновые ВВ (динамиты)	—
3	Тротил, пикриновая кислота и ВВ на их основе	1 и 7
4	Порох дымный	7
5	Капсюли-детонаторы, электродетонаторы, запалы и зажигательные трубки	6 и 7
6	Детонирующие шнуры	5 и 7
7	Огнепроводные шнуры и средства зажигания	1, 3, 4, 5, 6
8	Инженерные мины и заряды	Соответственно с видом их снаряжения

Склад (рис. 11.1) может иметь одно или несколько хранилищ или штабелей и подсобные сооружения, расположенные на общей огражденной и охраняемой территории.

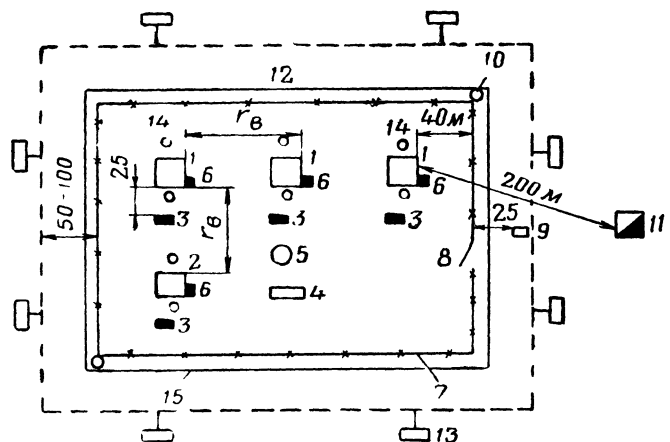


Рис. 11.1. Территория склада взрывматериалов (примерный план):

1 — хранилища ВВ; 2 — хранилища СВ; 3 — пункт для работы с ВВ и СВ; 4 — навес с противопожарным инвентарем; 5 — водоем; 6 — щит с противопожарным инвентарем и ящик с песком; 7 — ограда; 8 — ворота; 9 — сарай для тары; 10 — постовые вышки; 11 — караульное помещение; 12 — запретная зона; 13 — предупредительные знаки; 14 — молниеотводы; 15 — водоотводная канава

Число хранилищ на складе зависит от количества и номенклатуры хранимых на складе взрывчатых материалов. Если их количество не превышает 3 т, его можно размещать в одном хранилище, состоящем из нескольких отделений для раздельного хранения различных видов имущества. Эти отделения должны быть отгорожены одно от другого капитальной стеной толщиной не менее 0,25 м.

На постоянных складах хранение организуется в специально оборудованных хранилищах стационарного типа. При временном хранении можно приспособлять имеющиеся постройки или специально оборудованные землянки. В полевых складах взрывчатые материалы размещаются на открытых площадках, в вагонах, траншеях, щелях и т. п.

Размер площади, необходимой для размещения хранилищ или штабелей, зависит от количества хранилищ и минимальных расстояний между ними. Эти расстояния должны обеспечить внутреннюю безопасность склада, при которой невозможна передача детонации от одного хранилища другому в случае взрыва одного из них (§ 54).

Кроме того, необходимо соблюдать безопасные расстояния между соседними хранилищами, установленные противопожарными правилами.

При выборе места постройки склада надлежит также учитывать и так называемую внешнюю безопасность склада, которая определяет допустимые расстояния от склада до окружающих объектов в целях защиты их от разрушительного действия воздушной ударной волны, образованной случайным взрывом одного хранилища, наибольшей в данном складе емкости.

Безопасные расстояния по действию воздушной ударной волны устанавливаются в зависимости от значимости объектов, расположенных вокруг склада, и подсчитываются согласно § 53. На рис. 11.2 показаны общепринятые степени безопасности для удаления склада взрывчатых материалов от различных объектов.

Место расположения склада должно быть сухим, иметь удобные подъездные пути и хорошую естественную маскировку и согласовано с местными органами власти.

Территорию склада обносят оградой высотой 2 м из колючей проволоки или других материалов во избежание проникновения на склад посторонних людей и животных. Вокруг ограды устанавливается запретная зона шириной не менее 50 м, границы которой обозначаются предупредительными знаками. Вокруг склада с внешней стороны

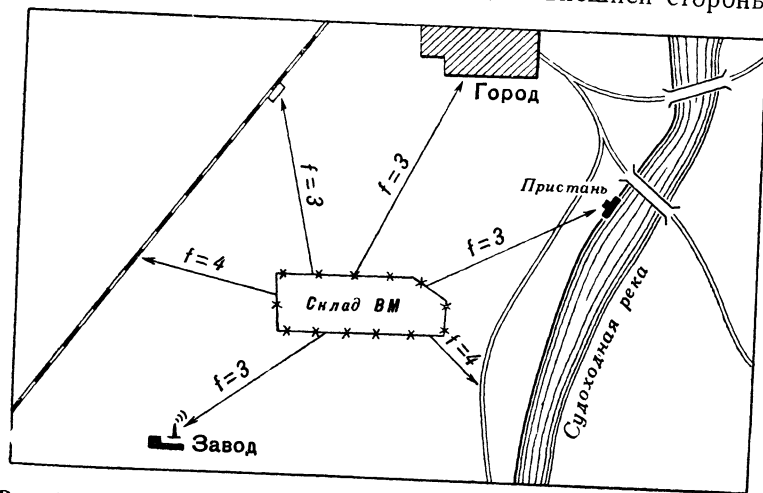


Рис. 11.2. Удаление склада взрывматериалов от различных объектов по безопасности от воздушной ударной волны:
 f — степень безопасности (см. табл. 10.3)

ограждения, а также вокруг каждого хранилища или штабеля выкапывают водоотводные канавы с необходимым стоком от них.

Освещение территории склада в ночное время устраивается так, чтобы подступы к складу были хорошо освещены, а сама территория склада находилась в тени. В хранилищах внутреннее освещение не допускается. Для работы в ночное время применяются переносные аккумуляторные фонари или хранилища освещаются снаружи через окна специальными лампами «кососвет», устанавливаемыми на столбах.

У каждого хранилища должны находиться противопожарные средства (огнетушители, бочки с водой, ящики с песком, лестницы, ведра и пр.), а на территории склада оборудованы водоемы с насосами и необходимой длины шлангами около них.

Для предохранения от лесных и напольных пожаров целесообразно вокруг каждого хранилища снять полосу дерна шириной не менее 5 м, а территорию склада с внешней стороны окружить вспахиваемой полосой.

На территорию склада не разрешается проносить спички, курительные принадлежности, огнестрельное оружие и другие огнеопасные предметы.

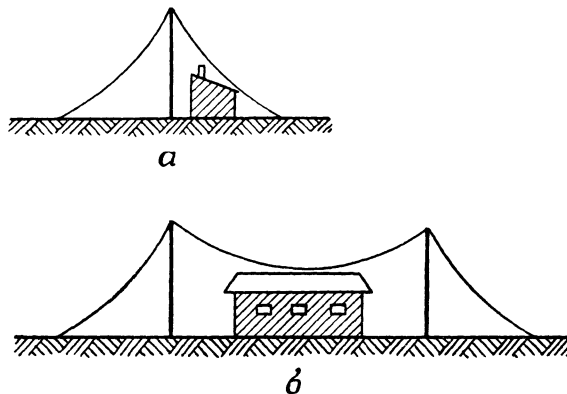


Рис. 11.3. Защитные зоны стержневых молниеотводов:
 a — одиночного; b — двойного (спаренного)

Хранилища постоянных складов оборудуются грозо-защитой.

Молниеотводы устанавливаются на расстоянии не менее 5 м от защищаемого хранилища; высота молниеотвода принимается такой, чтобы хранилище и по высоте и в плане полностью вписывалось в защищаемую молниеотводом зону (рис. 11.3).

Все металлические элементы строительной конструкции хранилища и металлические предметы, находящиеся внутри и снаружи хранилища, заземляются.

Перед началом грозы все работы на складе прекращаются; окна и двери хранилищ закрываются.

Хранилища постоянных складов бывают поверхностные или заглубленные и сооружаются из огнестойких материалов. Полы хранилища могут быть деревянными, асфальтированными или глинобитными. Окна защищаются железными решетками или сетками и ставнями. Стекла закрашиваются белой краской для защиты взрыва-

того имущества от прямого воздействия солнечных лучей. Каждое хранилище имеет тамбур, предназначенный для выдачи взрывматериалов. В хранилище устраиваются три двери, открывающиеся наружу. Наружная дверь сплошная, обитая железом, вторая дверь решетчатая, а дверь из тамбура в хранилище сплошная. Входы в хранилище запираются на замок и опломбировываются или опечатываются. В хранилище обязательно должны иметься вентиляционные устройства (отдушины, трубы).

Хранилища временных складов целесообразно делать полузаглубленными с земляной насыпкой. Стены такого хранилища могут быть в виде деревянного сруба или каркасные с заполнением шлаком и т. п. Иногда под хранилища можно приспособлять и нежилые неотапливаемые строения, хорошо защищенные от дождя и снега. Поверхностные деревянные хранилища покрываются снаружи огнестойкой краской, а заглубленные — надежной гидроизоляцией.

В полевых складах для хранения взрывчатого имущества используют нежилые неотапливаемые строения, железнодорожные вагоны и т. п. или его размещают в штабелях под брезентом, в палатках, а в боевых условиях в траншеях или щелях, перекрываемых досками, жердями с обсыпкой грунтом толщиной 10—15 см. На этих складах не требуется устройство грозозащиты, освещения, вентиляции, сигнализации, ограждения и т. п.

Полевые (расходные) склады организовываются на месте производства взрывных работ; они должны располагаться не ближе 200 м от места взрывов. Средства взрывания располагают не ближе 25 м от штабелей с взрывчатыми веществами. При хранении в автомобилях и железнодорожных вагонах вместе с взрывчатыми веществами можно содержать необходимое количество капсюлей-детонаторов (электродетонаторов), огнепроводного и детонирующего шнура. При этом капсюли-детонаторы должны быть размещены в отдельном ящике, обитом изнутри войлоком.

§ 59. Хранение взрывчатых материалов

Внутри хранилища взрывчатые материалы укладываются или на стеллажах, или в штабелях (рис. 11.4).

Ящики с динамитами, порохами и капсюлями-дето-

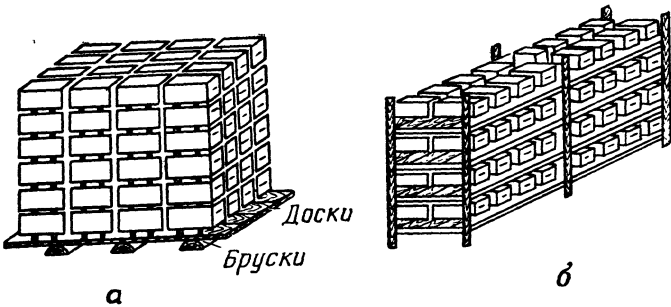


Рис. 11.4. Размещение взрывматериалов в хранилище:
а — в штабелях; б — на стеллажах

наторами (электродетонаторами) размещаются только на стеллажах. Высота стеллажа для хранения взрывчатых материалов не должна превышать 2 м. Предельная высота штабелей принимается в соответствии с табл. 11.2.

Таблица 11.2

Весовое количество взрывчатых материалов
при стеллажном и штабельном хранении

Вид взрывчатых материалов	Стеллажное хранение		Штабельное хранение	
	число полок стеллажа, не более	вес ВМ на 1 м ² площади, занимаемой стеллажом, т	высота штабеля, м, не более	вес ВМ на 1 м ² площади штабеля, т
Взрывчатые вещества	3	1,0	2,5	1,0
Средства взрывания . .	3	0,69	2,5	0,55
Инженерные мины и заряды	3	0,98	1,5	0,7

Между стеллажами и штабелями оставляются рабочие и смотровые проходы. Ширина рабочего прохода, который предназначен для вноса и выноса ящиков с взрывматериалами, 1,25—1,5 м, а смотровых 0,6—0,75 м.

Для предохранения взрывчатого имущества от увлажнения и обеспечения его проветривания нижняя поверхность первого ряда ящиков на стеллаже или штабеле должна отстоять от пола (или от поверхности грунта при хранении вне хранилищ) не менее чем на 20 см, а

верх штабеля или ящиков на верхней полке стеллажа от потолка — на 50 см. Между рядами ящиков оставляют просветы в 2,5 см.

Взрывчатые материалы распределяют между хранилищами согласно правилам совместного их хранения, а внутри хранилища между стеллажами и штабелями — с учетом назначения (боевое, учебное и т. п.), происхождения (отечественное, иностранное), времени изготовления (дата изготовления и номер партии).

Хранятся взрывчатые материалы в заводской упаковке, ящики опломбировываются. Герметическая заводская укупорка капсюлей-детонаторов, электродетонаторов, запалов и взрывателей нарушается только при выдаче их для применения. На каждом стеллаже и штабеле вывешивается ярлык с данными о хранимом в нем имуществе.

Особого внимания при хранении требуют аммиачно-селитренные и нитроглицериновые взрывчатые вещества и пороха.

Аммиачно-селитренные и нитроглицериновые взрывчатые вещества нуждаются в наиболее сухих и прохладных хранилищах и постоянном наблюдении за их качественным состоянием. При хранении в мешках, без ящиков, нагрузка на нижний мешок не должна быть более 150 кг.

В хранилищах с нитроглицериновыми взрывчатыми веществами температура не должна опускаться ниже -10°C и летом подниматься выше 25°C .

В хранилищах с дымным порохом полы и стеллажи застилают брезентами, матами или ковриками, периодически вытряхиваемыми наружу; входить в такие хранилища можно только в валяной или резиновой обуви и в хранилище не допускаются никакие металлические части, кроме медных.

В процессе хранения необходимо наблюдать за качественным состоянием взрывчатых материалов и оберегать их от увлажнения, загрязнения, внешних механических (удар, трение, падение) и атмосферных (дождь, снег, прямые солнечные лучи) воздействий. Хранилища всегда содержатся в чистоте и регулярно в дневное время проветриваются, если нет дождя, снегопада, тумана, грозы и температура воздуха не выше 30°C и не ниже -10°C .

Ведется постоянное наблюдение за влажностью и температурой внутри хранилища. Наиболее благоприятны температура в пределах от -10 до $+20^{\circ}\text{C}$ и относительная влажность 20—70%.

Качественное состояние хранимых взрывчатых материалов постоянно контролируется наблюдением за их внешним состоянием (изменение запаха, появление пятен, ржавчины, плесени, выделение маслянистой жидкости или селитры, увлажнение и т. п.), периодическим испытанием их физико-химических и взрывчатых характеристик в сроки, предусматриваемые формуляром, который заводится на каждую партию взрывчатого имущества при выпуске ее с завода (выписка из формуляра всегда высылается потребителю), а также при возникновении сомнений в доброкачественности того или иного взрывчатого вещества или средства взрывания.

Взрывчатые материалы, показавшие при испытаниях пониженные качества, в зависимости от степени понижения передаются для расходования или уничтожаются.

Внутри хранилища и в его тамбуре никаких работ со взрывматериалами производить нельзя. Все работы по осмотру, переупаковке, сортировке, сушке и т. п. выполняются в специально отведенном на территории склада месте (на площадке.) При этом употребляется только инструмент из цветных металлов.

§ 60. Прием и выдача взрывчатых материалов

При получении взрывчатых материалов их принимают по счету на соответствие их количества сопроводительным документам, а также производят наружный осмотр их качественного состояния.

При проверке количества герметические укупорки не вскрываются, а ящики с исправными заводскими пломбами вскрываются только в таком количестве, которое необходимо для освидетельствования качественного состояния взрывматериала.

В случае сомнения в соответствии качественного состояния взрывматериалов сопроводительным документам и выпискам из формуляров проводятся испытания их физико-химических и взрывчатых характеристик. Акт о результатах этого испытания высылается в адрес отправителя, а взрывимущество расходуется или уничтожается.

ся согласно полученным данным о качестве с соблюдением правил, установленных специальными инструкциями.

Со склада взрывматериалы выдаются по накладным установленной формы под расписку лица, принимающего имущество.

Прием и выдача взрывчатых материалов производятся вне хранилища в специально отведенных местах (на площадках). Малые количества, выдаваемые взрывникам для суточного расхода и принимаемые от них, как неизрасходованные, можно принимать и выдавать в тамбуре хранилища.

На расходных полевых складах, организуемых на месте учебных занятий или проведения взрывных работ, взрывчатые материалы выдаются взрывникам по письменным требованиям руководителя работ на объекте. Лицо, выполняющее обязанности кладовщика полевого склада, ведет учет выдаваемых взрывматериалов, сохраняя все требования на их выдачу. В конце рабочего дня подсчитывается, сколько и какого вида взрывматериалов израсходовано, и составляется акт на израсходование с приложением к нему всех требований руководителя работ.

§ 61. Транспортирование взрывчатых материалов

Перевозка взрывматериалов может осуществляться всеми видами транспорта с соблюдением определенных мер безопасности и только на вполне исправных транспортных средствах без превышения норм их грузоподъемности.

Взрывматериалы перевозятся в ящиках или мешках, которые прочно закрепляются веревками, брусками и планками так, чтобы при толчках как ящики, так и взрывматериалы внутри ящиков не могли перемещаться или ударяться друг о друга и о стенки транспортных средств.

В одном и том же вагоне, на автомашине или в самолете нельзя вместе с взрывматериалами перевозить другие грузы и пассажиров, а сами взрывматериалы перевозятся с соблюдением правил совместной перевозки.

При перевозке во всех случаях выделяются сопровождающие и охрана, которые при перевозке по железным

дорогам следуют в отдельной теплушке в том же поезде, а при перевозке автотранспортом находятся в кабине водителя. Все лица, привлекаемые к транспортированию и охране взрывматериалов, должны знать правила безопасности, рекомендуемые при транспортировании этих материалов.

По железным дорогам взрывматериалы перевозятся в крытых нетормозных вагонах, а к местам производства взрывных работ — на прицепах автодрезин и на платформах мотовозов.

При перевозках взрывматериалов на автомашинах каждая снабжается двумя огнетушителями или ящиком с песком, брезентом для укрытия груза, цепями или другими приспособлениями против скольжения, веревками для укрепления груза и двумя красными флажками, прикрепленными к левому переднему углу кузова и позади кузова. Нельзя перевозить взрывматериалы на газогенераторных автомашинах. При перевозке детонаторов, дымных порохов и динамитов автомашина загружается не более чем на $\frac{2}{3}$ грузоподъемности машины. В высоту ставится не более двух ящиков.

При перевозке малых количеств взрывчатых материалов допускается совместная перевозка на одной автомашине до 200 кг ВВ и до 100 шт. капсюлей-детонаторов (электродетонаторов) с необходимым количеством огнепроводного и детонирующего шнура и принадлежностей для взрывных работ при условии размещения ящика с капсюлями-детонаторами в передней части кузова, а ящиков с взрывчатыми веществами в задней части кузова с разрывом между ними не менее 1,5 м. Детонаторы должны находиться в специальном плотно закрывающемся ящике с войлочной прокладкой со всех сторон.

Скорость движения автомашин с взрывматериалами не должна превышать 25 км/ч с интервалами между автомашинами в колонне не менее 50 м. Населенные пункты следует объезжать или двигаться по их окраинным улицам.

Остановки автомашин необходимо делать также вне населенных пунктов и в стороне от дорог; во время грозы нельзя останавливаться в лесу и под высокими деревьями, а машины необходимо рассредоточивать.

Переноска взрывматериалов к месту работ выполняется под наблюдением опытного взрывника в ящиках

или сумках; при этом взрывчатые вещества и средства взрыва переносятся в отдельных сумках. При переноске взрывматериалов нельзя заходить в жилые дома, приближаться к местам скопления людей и оставлять взрывматериалы без наблюдения.

§ 62. Уничтожение взрывчатых материалов

Опасные для хранения и негодные к применению взрывчатые материалы уничтожаются взрыванием или сжиганием. Аммиачно-селитренные взрывчатые вещества и дымные пороха можно уничтожать путем потопления или растворения в воде.

Уничтожение взрыванием или сжиганием производится на подготовленных площадках, вокруг которых в целях предупреждения распространения огня следует образовать очищенную от горючего материала и дерна кольцевую зону. Площадки располагаются на безопасных расстояниях (см. главу 10) от складов, жилых и промышленных зданий и проезжих дорог. Место для площадки согласовывается с местными органами власти. Перед началом работ на подходах к площадкам выставляются посты-оцепления в радиусе не менее 300 м.

На площадке отрывается яма или траншея глубиной не менее 1,5 м, в которой и взрывается или сжигается уничтожаемое взрывимущество.

Уничтожение взрыванием — наиболее быстрый и простой способ. Капсюли-детонаторы во избежание их разбрасывания связывают или укладывают в коробку, закапывают в землю или песок на глубину штыка лопаты и засыпают сверху рыхлым песком или землей. Взрывание в целях безопасности лучше производить электрическим способом.

При использовании огневого способа огнепроводный шнур зажигательной трубки необходимо прокладывать с подветренной стороны, расправлять и прикрывать землей во избежание скручивания шнура и преждевременного взрыва детонаторов.

Уничтожение сжиганием требует больше времени. Сжиганием нельзя уничтожать капсюли-детонаторы и детонирующий шнур. Взрывчатые вещества сжигаются небольшими количествами, не превышающими 20 кг, взрывчатые вещества повышенной мощности — не более

1 кг, динамит — не более 5 кг. Сжигают ВВ на кострах только в сухую погоду. Для этого на выбранном месте отрывается яма глубиной 1,5 м, на дне которой устраивается подстилка из горючего материала (дерева, соломы, бумаги, опилок) толщиной 8—10 см и площадью такой, чтобы уничтожаемые взрывчатые вещества можно было уместить на ней в один ряд. Взрывчатые вещества вынимают из ящиков и выкладывают на подстилку. После удаления людей в безопасное место взрывник поджигает подстилку факелом или другим устройством, после чего также уходит в безопасное место. Приближаться к месту сжигания можно лишь тогда, когда будет полная уверенность, что горение взрывчатого вещества закончилось.

Взрывчатые вещества, предназначенные для последующего уничтожения (взрыванием или сжиганием), располагают на безопасном расстоянии.

Дымный порох для уничтожения сжиганием рассыпают дорожкой шириной примерно 20 см и высотой около 2 см. Ввиду того, что он вспыхивает мгновенно от одной искры, для его поджигания целесообразно применять электровоспламенители и лишь в крайнем случае использовать огнепроводный шнур, находясь при поджигании с подветренной стороны.

По окончании взрыва или сжигания необходимо убедиться, что на площадке не осталось неуничтоженных взрывматериалов.

Аммиачно-селитренные взрывчатые вещества и дымные пороха целесообразнее уничтожать растворением в воде, которую затем можно использовать в качестве удобрения. Растворение производится в бочках или других сосудах. Нерастворимый осадок собирается и уничтожается сжиганием.

Уничтожение этих взрывчатых веществ потоплением в водоемах (реках и озерах) можно производить только в местах, согласованных с местными властями и расположенных ниже по течению от мест водопоя и забора воды для питьевых целей во избежание отравления животных и людей.

Нерастворимые в воде взрывчатые вещества можно уничтожать потоплением только в открытом море.

Глава 12

ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ В ГРУНТАХ И СКАЛЬНЫХ ПОРОДАХ

§ 63. Общие сведения

Взрывные работы в мирное и военное время выполняются инженерными, железнодорожными и военно-строительными войсками главным образом при строительстве и восстановлении железных и автомобильных дорог, при строительстве различных сооружений на военного значения, при осуществлении заграждений на дорогах, водных преградах и местности, при преодолении заграждений и т. п.

При производстве взрывных работ целесообразнее применять внутренние заряды, при которых лучше используется энергия взрывчатого вещества. Наружные контактные и неконтактные заряды применяются там, где невозможно расположение внутреннего заряда, или для экономии времени на подготовку взрыва, так как любой внутренний заряд требует предварительной выделки так называемых зарядных устройств.

Вид зарядных устройств зависит от характера выполняемой работы, материала среды, в которой располагается заряд, и его величины.

В соответствии с этим заряды размещают в шпурах, скважинах, камерах, рукавах и нишах. Работы по их выделке называются буровыми работами.

Шпур представляет собой цилиндрический канал диаметром до 75 мм и глубиной до 5 м, выделяемый пневматическими перфораторами или электрическими сверлами.

Скважина — такая же цилиндрическая выработка, но диаметром более 75 мм и глубиной более 5 м, иногда доходящая до нескольких десятков метров; диаметр скважин, как правило, 100—300 мм. Скважины выделяются с помощью станков глубокого бурения, рабочий орган которых бывает ударного, вращательного, ударно-вращательного и огневого действия.

При недостаточном объеме шпура или скважины для размещения требуемого расчетом заряда у их дна выделяются взрыванием небольших зарядов так называемые котлы.

Камера — специальная выработка, имеющая объем, равный объему размещаемого в ней заряда взрывчатого вещества, вес которого обычно измеряется десятками, сотнями и тысячами килограммов. Эта выработка располагается в конце шурфов или штолен, выделяемых в грунтах и скальных породах.

Рукав — горизонтальная или немного наклонная выработка, имеющая квадратное или прямоугольное сечение размером не менее 0,2×0,2 м. Глубина рукавов 1—2 м. Если же заряд ВВ располагается заподлицо с открытой поверхностью, выработка эта называется нишей. Рукава и ниши применяются только при разрушении (разборке) каменных и бетонных конструкций (мостовых опор, пилонов, стен и т. п.).

В соответствии с видом зарядных устройств различают следующие методы:

- шпуровых зарядов;
- скважинных зарядов;
- котловых шпуровых или скважинных зарядов;
- камерных зарядов;
- малокамерных зарядов (в рукавах и нишах);
- наружных контактных или неконтактных зарядов.

Наибольшее распространение в настоящее время на взрывных работах, связанных с разработкой горных пород, получил метод скважинных зарядов, который постепенно вытесняет другие методы, сохраняющие свое значение лишь в условиях, когда скважинные заряды не могут выполнить требуемой работы.

Взрывные работы выполняются в различных целях, в соответствии с которыми определяется и вид взрывной работы:

- выброс грунта или скальной породы из преде-

лов разрабатываемой выемки (канала, траншеи, котлована); в этом случае заряды ВВ помещаются ниже горизонта (ниже открытой поверхности) и преимущественно на уровне дна выемки; выброс породы может осуществляться или равномерно в обе стороны от линии расположения зарядов, или направленно, когда большая часть выбрасываемой породы перемещается в одну сторону;

— сброс грунта или скальной породы в какую-либо сторону для образования свободных площадок, главным образом при строительстве дорог; заряды ВВ в данном случае располагаются на уровне образующейся площадки, а порода перемещается в горизонтальном направлении за пределы площадки или вниз (на склонах);

— рыхление грунта или скальной породы с оставлением ее на месте для дальнейшей экскавации механизмами; при наличии двух обнаженных (открытых) поверхностей (в карьерах) происходит развал породы, т. е. высота разрыхленного массива уменьшается, а его основание по горизонтали увеличивается; в некоторых случаях при излишне больших зарядах может происходить разброс отдельных кусков породы;

— дробление отдельных больших кусков скальной породы (негабарита), валунов и конструктивных элементов на меньшие куски, поддающиеся уборке и транспортировке механическими средствами;

— вытеснение грунта или скальной породы для образования колодцев, шурфов, штолен небольшого сечения;

— разрушение отдельных сооружений при создании заграждений в ходе боевых операций или при ликвидации этих сооружений, когда в них миновала надобность.

На взрывных работах, как правило, применяются аммиачно-селитренные ВВ, требующие соответствующих мер защиты от увлажнения и слеживания, особенно в обводненных скважинах, шпурах и камерах. При невозможности получения хорошей гидроизоляции целесообразно использовать в зарядах чешуирующий тротил.

В сухих скважинах целесообразно применять игданы (смесь аммиачной селитры с 4—6% солярового масла) и им подобные составы, изготавливая их на месте работ.

§ 64. Метод шпуровых зарядов

Метод шпуровых зарядов применяется при небольшом объеме взрывных работ и там, где неприменимы другие методы. Он позволяет получать хорошее дробление взрывающей среды за счет более равномерного распределения ВВ в ней.

Однако метод шпуровых зарядов обладает большой трудоемкостью, так как требует значительного расхода бурения шпуров вследствие их близкого расположения друг к другу, поэтому шпуровые заряды используются лишь в следующих случаях:

- при рыхлении мерзлых грунтов и корчевке пней;
- при зачистке откосов в скальных породах при производстве выемок и полувыемок на выброс и сброс и доработке их до проектной величины;
- при дроблении негабарита, крупных валунов, фундаментов и каменных (бетонных) конструкций, подлежащих разборке;
- при проходке в скальных породах туннелей, шурфов и штолен;
- при расчистке дорожных завалов в горных местностях;
- при рыхлении скальной породы при устройстве мелких выемок.

При одной открытой поверхности шпуры выбуриваются перпендикулярно ей, а при двух открытых поверхностях — параллельно одной из них (рис. 12.1).

Глубина шпуров в скальных породах зависит от крепости этих пород и делается с перебором, т. е. больше глубины (высоты) разрабатываемого массива в крепких породах на 10—15%, в породах средней крепости на 5—10%, а в мягких породах и при разработке мерзлого грунта без перебора. Глубина перебора может быть определена по формуле

$$l_{пб} = K_{пб} d \text{ м}, \quad (12.1)$$

где $K_{пб}$ — коэффициент, равный при крепких породах 6—8, при средней крепости 4—6 и при мягких породах 1—2%;

d — диаметр шпура, м.

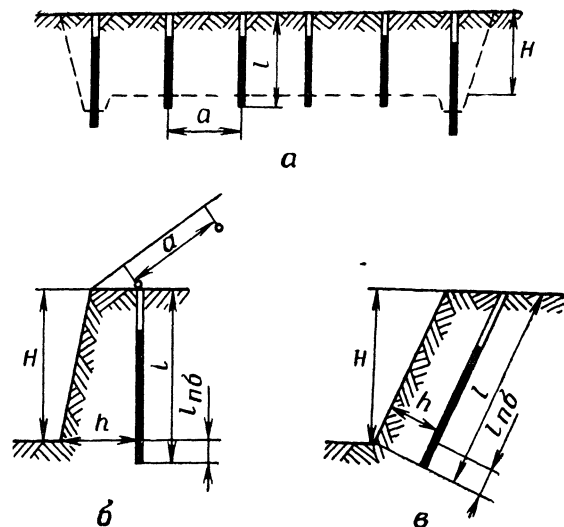


Рис. 12.1. Расположение шпуров или скважин:
а — при одной открытой поверхности; б — при двух открытых поверхностях; в — наклонные шпуров (или скважины), параллельные одной из открытых поверхностей

Величина шпурового заряда рыхления рассчитывается по формуле

$$C = Km h_p^2 H \text{ кг}, \quad (12.2)$$

где K — удельный расход ВВ, $\text{кг}/\text{м}^3$, принимаемый по табл. 9.2;

m — коэффициент сближения зарядов, принимаемый равным 0,9—1,6 в зависимости от крепости взрывающей породы;

H — высота уступа, м;

h_p — расчетная линия сопротивления (РЛС), м, принимаемая при одной открытой поверхности 0,9—1 H , а при двух открытых поверхностях 0,7—1 H ; она измеряется в этом случае на уровне подошвы уступа или рассчитывается по формуле

$$h_p = 0,85 \sqrt{\frac{P}{mK}}, \quad (12.3)$$

где P — вместимость 1 пог. м шпура (количество ВВ в кг , размещающееся в 1 пог. м шпура).

Расстояние между шпурами в одном ряду устанавливается по формуле

$$a = m h_p. \quad (12.4)$$

Чем крепче порода, тем меньше значение m ; при короткозамедленном взрывании величина m должна всегда быть больше единицы.

Заряд взрывчатого вещества должен занимать не более 0,7 глубины шпура. Остаточная часть шпура заполняется забойкой из песка, глины и т. п.

Если рассчитанный заряд ВВ не помещается в шпуре, то прибегают или к увеличению диаметра шпура, или к увеличению числа шпуров, уменьшая заряд ВВ в каждом, или, наконец, к переходу на взрывание котловых шпуровых зарядов (см. § 66).

В ряде случаев шпуры располагаются не в один, а в два ряда и более. Тогда при одновременном взрывании расстояние между рядами шпуров определяется по формуле

$$b = 0,85 h_p \text{ м}. \quad (12.5)$$

При проходке шурфов и штолен, предназначенных для закладки заряда ВВ в их голове, шпуры выделяются глубиной 1—2 м, а при проходке туннелей — глубиной 3—5 м; при этом они делятся на врубовые и отбойные (рис. 12.2). Врубовые шпуры предназначены для образования второй обнаженной (открытой) поверхности в целях облегчения работы зарядов ВВ в отбойных шпурах и бурятся на 15—20 см глубже отбойных; они взрываются первыми, а отбойные — с некоторым замедлением после взрыва врубовых; в этом случае применяется короткозамедленное взрывание. Отбойные шпуры располагаются вокруг врубовых в один-два ряда и более в зависимости от поперечного сечения выработки и взрываются последовательно, начиная с ближайшего к врубовым ряда.

Отбойные шпуры располагаются друг от друга и от врубовых на расстоянии 25—60 см в зависимости от крепости взрывающих пород.

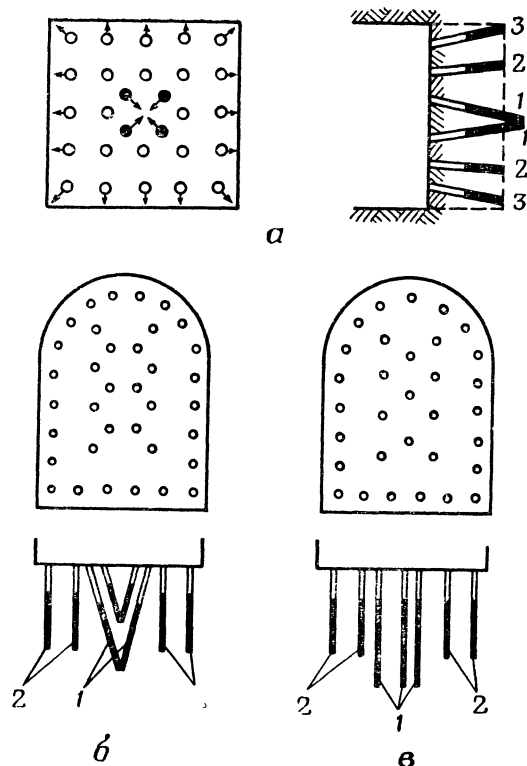


Рис. 12.2. Расположение шпуров при проходке шурфов и штолен:

а — пирамидальный вруб; б — клиновой вруб; в — прямой (щелевой) вруб; 1 — врубовые шпур; 2 и 3 — отбойные шпур

Суммарный заряд ВВ для всех шпуров определяется исходя из объема породы, взрывааемой одним комплектом шпуров (врубовых и отбойных), т. е.

$$C_{\Sigma} = KS l_{\text{ш}} \text{ кг}, \quad (12.6)$$

где S — площадь поперечного сечения выработки, м^2 ;

$l_{\text{ш}}$ — глубина шпура, м ;

K — удельный расход ВВ на 1 м^3 взрывааемой породы, зависящий от свойств этой породы (принимается по табл. 9.2).

Этот заряд распределяется равномерно между всеми шпурами.

Поперечное сечение шурфов принимается обычно $1 \times 1 \text{ м}$, а при необходимости крепления их стенок $1,4 \times 1,4 \text{ м}$. Для штолен эти размеры соответственно $1 \times 1,2$ и $1,4 \times 1,6 \text{ м}$.

§ 65. Метод скважинных зарядов

Метод скважинных зарядов применяется в 85—90% взрывных работ и является наиболее эффективным и экономичным (табл. 12.1).

Таблица 12.1

Методы	Расход ВВ	Расход машино-смен	Расход рабочей силы
Шпуровых зарядов	1,0	1,0	1,0
Скважинных зарядов	0,8—1,0	0,20—0,40	0,1—0,5
Камерных зарядов	1,2—2,0	0,18—0,40	1,0—1,3

Примечание. Показатели по шпуровому методу приняты за единицу.

Этот метод целесообразен при большом объеме взрывных работ, при необходимости разработки больших толщ породы (например, глубокие выемки). Он применяется:

— для добычи строительного камня и полезных ископаемых взрывами на рыхление;

— для рыхления пород при образовании или увеличении выемок, каналов и т. п. с последующей выборкой взорванной породы механизмами;

— для образования полувыемок на косогорах;

— для выброса породы в целях образования неглубоких выемок (до 3—4 м);

— для посадки насыпей и дамб на минеральное дно болот.

Расчет скважинных зарядов рыхления ведется по формулам, идентичным формулам для шпуровых зарядов.

Глубина перебура определяется по формуле (12.1) при коэффициенте $K_{\text{пб}} = 10 \div 15$ при крепких породах и $K_{\text{пб}} = 5 \div 10$ при породах средней крепости.

Длина забойки устьевой части скважины для получения достаточного дробления породы на этом участке принимается равной

$$l_{зab} = (20 \div 25) d_{скв}. \quad (12.7)$$

Иногда, для того чтобы заряд ВВ, рассчитанный по формуле, вместился в заданную глубину скважины, необходимо определить и ее диаметр, что может быть выполнено по формуле

$$d_{скв} = 2 \sqrt{\frac{C}{\pi \gamma l_a}} \text{ м}, \quad (12.8)$$

где γ — вес ВВ, кг/м^3 ;

l_a — длина заряда ВВ, м.

Обычно имеется определенное буровое оборудование и диаметр скважины оказывается заданным; тогда для получения удовлетворительных результатов взрыва приходится подбирать расстояние между скважинами (подбирать так называемую сетку скважин), пользуясь формулами (12.3) и (12.4).

При рыхлении породы в карьере с двумя обнаженными поверхностями скважины выбуриваются вертикально или параллельно откосу (рис. 12.1) в один ряд и более и взрываются последовательно с применением короткозамедленного способа взрывания по различным схемам (рис. 12.3).

При рыхлении породы в выемках скважины бурятся параллельно откосу в несколько рядов (в зависимости от ширины требуемой выемки), за исключением скважин, расположенных на оси выемки (рис. 12.4), которые бурятся вертикально и взрываются первыми.

Как при работах в карьерах, так и при образовании выемок скважины, расположенные по откосу намеченной выемки, следует взрывать первыми (до врубных). Такие скважины называются контурными; они, взрываясь ранее скважин рыхления на 75—100 мсек, образуют по контуру выемки (или откоса) щель шириной 10—50 мм, которая не дает волне сжатия, идущей от скважин рыхления, проникнуть за контур выемки.

Контурные скважины заряжаются цепочкой из патронов ВВ, взрываемых детонирующим шнуром (рис. 12.5, а). Так как в данном случае заряд ВВ сущест-

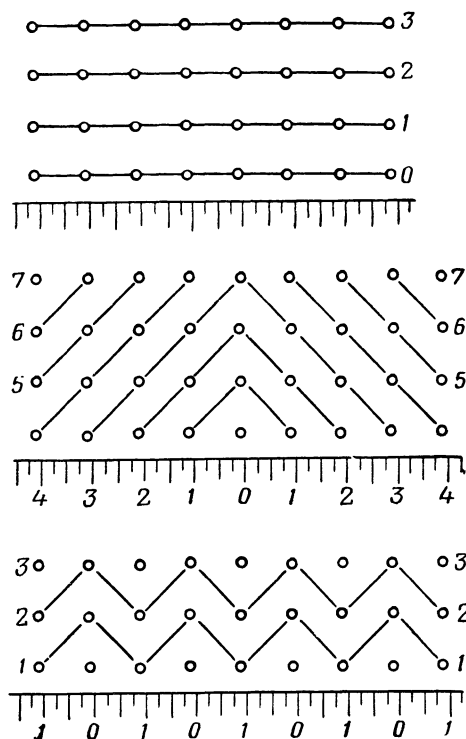


Рис. 12.3. Схемы короткозамедленного взрывания скважин при разработке откосов (карьеров) и выемок: 0—1—2—3 и т. д. — порядок (ступени) взрывания

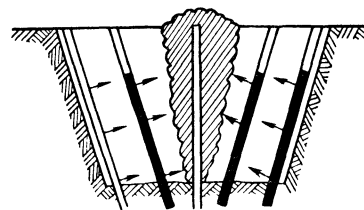


Рис. 12.4. Расположение скважин при рыхлении породы в выемках

венно мал (около 1 кг на 1 пог. м), то расстояние между такими скважинами уменьшается до 0,5—1,2 м в зависимости от крепости породы.

Уменьшенные (по весу) заряды ВВ не вызывают практически дробления породы, но, будучи расположенными на сближенных расстояниях, создают при встрече их волн сжатия в породе растягивающие усилия (рис. 12.5, б), которые и приводят лишь к образованию щели по контуру выемки (откоса). В итоге откос после расчистки породы получается ровным, без заколов, и не требуется впоследствии его доработки.

Для получения более равномерного дробления породы и тем самым одновременного уменьшения

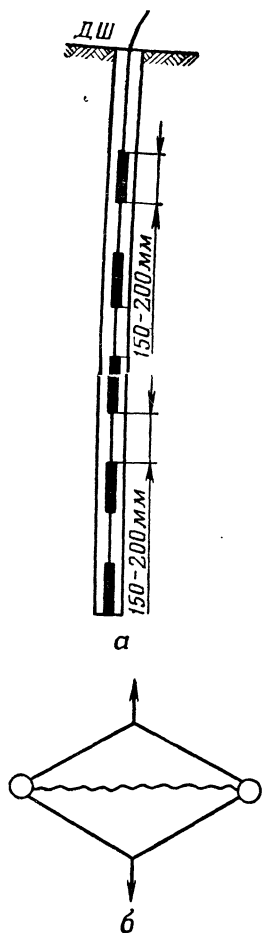


Рис. 12.5. Контурная скважина:
а — схема заряжения скважины;
б — схема образования трещины между двумя контурными скважинами

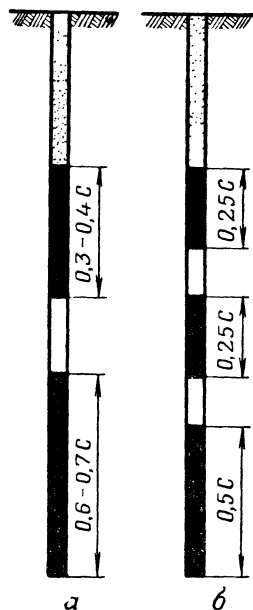


Рис. 12.6. Рассредоточенное заряжение скважин:
а — зарядом, разделенным на две части; б — зарядом, разделенным на три части

выхода негабарита рекомендуется применять рассредоточенное заряжение скважин взрывчатым веществом, деля рассчитанный заряд на две или три части (рис. 12.6).

При делении заряда на две части в верхнюю часть выделяют 30—40% общего веса заряда, а при делении на три части (и более) в нижней части оставляют 50%, распределяя другие 50% поровну между верхними частями.

Промежутки между рассредоточенными частями заряда делаются в пределах 0,17—0,35 общей высоты заряда.

Рассредоточение заряда уменьшает плотность заряжения, и продукты взрыва, расширяясь сначала в воздушные промежутки, снижают давление на стенки скважины, увеличивают время действия этого давления на породу; в результате при наличии дополнительного взаимодействия продуктов взрыва и волн сжатия происходит более равномерное дробление породы и уменьшается переизмельчение породы, прилегающей к заряду.

Образование полувыемок на косогорах (рис. 12.7) со сбросом породы за пределы проектируемой площадки может быть выполнено взрывом одного или двух рядов скважинных зарядов, располагаемых на расстояниях

$$a = (0,7 \div 0,8) h. \quad (12.9)$$

Вес заряда в скважине рассчитывают по формуле (9.9), принимая l равным глубине скважины в м, а M_y по табл. 9.3 при показателе действия взрыва $n=1 \div 1,25$.

При двух рядах скважин заряды второго ряда рассчитываются при $n=1,5$ и взрываются через 2—4 сек после взрыва зарядов первого ряда.

Посадка насыпей на болота производится обычно или выбросом торфа перед головой отсыпанной насыпи (рис. 12.8, а), или удалением торфа из-под отсыпанной насыпи (рис. 12.8, б).

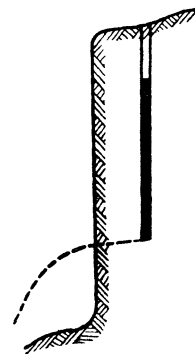


Рис. 12.7. Образование полувыемки скважинными зарядами

В первом случае заряды закладываются в наклонные скважины, пробуриваемые под углом примерно 45° к горизонту и на расстояниях между скважинами

$$a = 0,94h \sqrt[3]{f(n)}, \quad (12.10)$$

где $h \approx 0,9$ глубины выторфовываемого слоя.

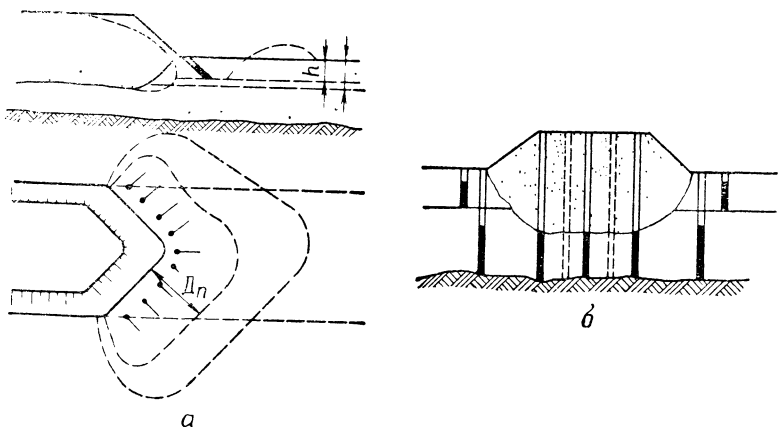


Рис. 12.8. Схемы выторфовывания при посадке насыпей на минеральное дно болот:

а — расположение скважин для выброса торфа перед головой отсыпаемой насыпи; б — расположение скважин для выброса торфа из-под отсыпанной насыпи

Заряд для вытеснения торфа рассчитывают по формуле

$$C_z = (0,7 \div 0,9) h f_z(n), \quad (12.11)$$

принимая $f(n)$ по табл. 12.2, а $n = 0,8 \frac{D_{\text{п}}}{h}$, где $D_{\text{п}}$ — ширина канавы, очищаемой от торфа перед головой насыпи.

Таблица 12.2

n	1	1,5	2	2,5
$f(n)$	1	1,2	2,1	3,6

Во втором случае, когда насыпь уже отсыпана, в ней бурят скважины до минерального дна болота, а по сторонам насыпи выделяют несколько скважин до минерального дна и мелкие скважины в 2—3 м от насыпи на глубину торфяной корки. Основные скважины заполняются взрывчатким веществом до нижней поверхности (основания) насыпи, а мелкие — на 0,75 их глубины. Расстояние между основными скважинами в ряду и между рядами принимается равным 30 диаметрам скважины, а расстояние между мелкими скважинами — равным их глубине.

Взрываются сначала заряды в скважинах, расположенных на оси насыпи, и мелкие скважины, затем через 2 сек — заряды в скважинах, размещенных между осью и откосами насыпи, и еще через 2 сек — заряды в скважинах по сторонам насыпи.

§ 66. Метод котловых зарядов

Метод котловых зарядов (шпуровых или скважинных) применяется в тех случаях, когда заряд, рассчитанный по формулам, не помещается в шпур или скважину, а также для уменьшения буровых работ, так как позволяет увеличить расстояния между скважинами (шпурами). Однако при этом возрастает неравномерность дробления породы с соответственным увеличением выхода негабарита. Этот метод может применяться в необводненных породах IV—VII категорий крепости. Сущность его заключается в предварительном образовании в донной части скважины (шпура) уширения, называемого котлом (рис. 12.9). Для получения этого уширения на дне скважины взрывают прострелочный заряд, вес которого определяется по формуле

$$C_{\text{пр}} = K_{\text{пр}} C_{\text{осн}} \text{ кг}, \quad (12.12)$$

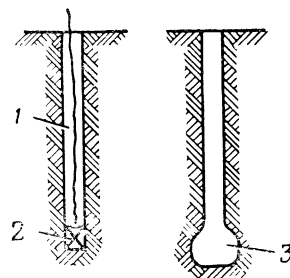


Рис. 12.9. Котловые скважины и шпуры:

1 — скважина (шпур); 2 — прострелочный заряд; 3 — котел, образованный взрывом прострелочного заряда

где $C_{осн}$ — вес (масса) основного заряда в кг, определяемый в этом случае по формуле (12.2) при $h=0,6\div 0,9$ высоты уступа;
 $K_{пр}$ — коэффициент простреливаемости, определяемый по табл. 12.3.

Таблица 12.3

Наименование породы	Категория крепости по СНиП	Значение $K_{пр}$
Мергель мягкий	IV	0,01—0,006
Глина тяжелая	III	0,01—0,007
Мел мягкий	V	0,028—0,015
Известняк средней трещиноватости	V—VII	0,30—0,06
Песчаники	VII—VIII	0,5—0,1
Граниты, сланцы мягкие	IX	0,5—0,15

Расстояние между скважинами

$$a=(0,8\div 1,4)h. \tag{12.13}$$

Прострелочный заряд должен разместиться в шпуре или скважине на длине, равной 2—3 диаметрам шпура (скважины); если заряд будет большей длины, то его делят на две или три части, взрываемые по очереди. При двукратном простреливании сначала взрывают 30% веса заряда, а затем в образовавшееся котловое уширение вводят остальные 70% заряда и взрывают их. При трехкратном простреливании соответственно взрывают сначала 20, затем 30 и, наконец, 50% общего веса прострелочного заряда.

Каждый последующий прострелочный заряд, как и основной, в уже подготовленное котловое уширение вводится не ранее чем через 30 мин с момента взрыва предыдущего заряда, чтобы стенки котла, нагретые взрывом, охлаждались.

При взрыве прострелочных зарядов забивка шпуров (скважин) не производится.

§ 67. Метод камерных зарядов

Метод камерных зарядов применяется в основном при работах на выброс и сброс и редко для рыхления выветренных, трещиноватых пород, когда одновременно

необходимо и некоторое перемещение взрываемой породы от подошвы уступа. При взрывах только на рыхление, как правило, получают большое количество негабарита и весьма неравномерная кусковатость разрыхленной породы.
 Для размещения камерного заряда (рис. 12.10) у дна шурфа или в голове штольни выделяется камера, объем которой рассчитывается по формуле

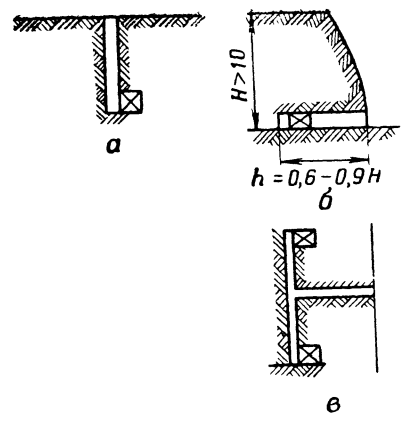


Рис. 12.10. Расположение камерных зарядов:
 а — камерный заряд в шурфе; б — камерный заряд в штольне; в — камерный заряд в штольне с рукавами

$$V_{к}=K_v \frac{C}{\Delta} \text{ м}^3, \tag{12.14}$$

где K_v — коэффициент, учитывающий крепление стенок и потолка камеры (табл. 12.4);
 C — вес заряда ВВ, т;
 Δ — плотность ВВ, т/м³ (табл. 12.5).

Таблица 12.4

Вид крепления	ВВ	K_v
Без крепления	Порошкообразное насыпкой	1,1
Без крепления	Порошкообразное в мешках	1,3
Крепление вразбежку	Порошкообразное насыпкой	1,3
Крепление вразбежку	Порошкообразное в мешках	1,6
Крепление сплошное	Порошкообразное насыпкой	1,5
Крепление сплошное	Порошкообразное в мешках	1,8

Таблица 12.5

ВВ	Δ , т/м ³
Аммониты порошкообразные	1—1,1
Аммониты гранулированные	0,8—0,9
Тротил чешуированный	0,8—1,0
Пороха бездымные	0,5—0,8

Величина камерного заряда определяется или по теоретической формуле (9.7), или эмпирической формуле Борескова

$$C = Kh^3(0,4 + 0,6n^3), \quad (12.15)$$

где буквенные обозначения те же, что и в формуле (9.7).

Формула (12.15) часто записывается в таком виде:

$$Q = KW^3(0,4 + 0,6n^3). \quad (12.15a)$$

Обе формулы дают примерно одинаковые величины зарядов.

Выброс породы при производстве выемок осуществляется несколькими зарядами, расположенными в один или два и реже три ряда (при неглубоких, но широких выемках). В этих случаях расстояния между зарядами в ряду и между рядами принимаются по формуле (9.13) или по формулам

$$a = 0,5h(n + 1); \quad (12.16)$$

$$b = 0,43h(n + 1). \quad (12.17)$$

Соответственно видимую глубину выемки можно определить либо по формуле (9.14), либо по формуле

$$p = 0,28 - 0,40h(2n - 1). \quad (12.18)$$

Эти формулы дают почти такие же результаты, как и соответствующие формулы главы 9 (табл. 12.6), особенно при наиболее часто применяемых показателях действия взрыва $n = 2 \div 2,5$. Лишь формула (12.17) дает несколько меньшие (на 15—20%) расстояния между рядами зарядов в целях увеличения объема выбрасываемого грунта до 80—85% проектного объема выемки.

Когда линия открытой поверхности не будет параллельна линии расположения зарядов, тогда расстояние между соседними зарядами по горизонтали следует вычислять по формуле

$$a = h \frac{2(n + 1)}{4 \pm (n + 1)i}, \quad (12.19)$$

где i — уклон открытой поверхности по оси ряда зарядов; знак «+» принимается при понижающемся профиле местности, а знак «—» — при повышающемся профиле (линия, соединяющая заряды, считается горизонтальной).

Все заряды, которые должны образовать выемку, взрываются одновременно при их расположении в один или два ряда; при трехрядном взрывании средний ряд зарядов следует взрывать с замедлением в 2—4 сек, а заряды этого ряда рассчитывать при показателе действия взрыва n , на 0,5 больше, чем показатели действия взрыва для крайних зарядов.

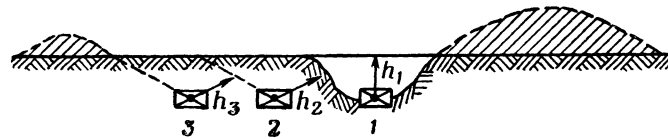


Рис. 12.11. Схема расположения зарядов для получения направленного выброса:

1—2—3 — очередность взрывания зарядов; h_1 — h_3 — линии наименьшего сопротивления для соответствующих зарядов

При таком взрывании выбрасываемая порода распределяется равномерно по обе стороны выемки. При необходимости основную часть (до 80%) породы выбросить в одну сторону прибегают к так называемому направленному выбросу. Это достигается взрыванием не менее двух рядов зарядов (рис. 12.11), из которых один ряд, расположенный со стороны направления выброса, взрывается первым, а второй и последующие ряды с замедлениями, рассчитываемыми по формуле

$$t = 0,45 \sqrt{h_1} \text{ сек.} \quad (12.20)$$

Взрыв первого ряда зарядов с опережением подготавливает вторую обнаженную поверхность для второго ряда зарядов, облегчая работу последних; но при этом следует соблюдать условие, чтобы линия наименьшего сопротивления h_2 для второго ряда зарядов всегда была меньше глубины заложения заряда h_1 .

Сброс породы камерными зарядами для образования полувыемок на косогорах осуществляется взрыванием одного или двух рядов зарядов (рис. 12.12), величина которых определяется по формуле (9.7) или (12.15) при показателе действия взрыва $n = 1 \div 1,25$ для первого ряда зарядов; $n = 1,5$ для второго ряда зарядов.

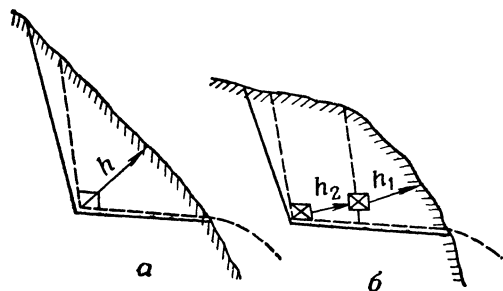


Рис. 12.12. Применение камерных зарядов для образования полувыемок (взрывание на сброс):
а — для нешироких полувыемок; б — для широких полувыемок

Таблица 12.6

Показатель действия взрыва	Расстояние между зарядами				Видимая глубина выемки	
	в ряду		между рядами		по формуле (9.8)	по формуле (12.18)
	по формуле (9.14)	по формуле (12.16)	по формуле (9.14)	по формуле (12.17)		
1	h	h	h	$0,86 h$	$(0,4 \div 0,6) h$	$(0,3 \div 0,4) h$
1,5	$1,26 h$	$1,25 h$	$1,26 h$	$1,08 h$	$(0,6 \div 0,9) h$	$(0,56 \div 0,8) h$
2	$1,56 h$	$1,5 h$	$1,56 h$	$1,3 h$	$(0,8 \div 1,2) h$	$(0,84 \div 1,2) h$
2,5	$1,87 h$	$1,75 h$	$1,87 h$	$1,5 h$	$(1 \div 1,5) h$	$(1,1 \div 1,6) h$
3	$2,2 h$	$2 h$	$2,2 h$	$1,72 h$	$(1,2 \div 1,8) h$	$(1,4 \div 2) h$

Второй ряд зарядов взрывается с замедлением в 2—4 сек.

При очень высоких уступах над проектируемой поверхностью полувыемки приходится располагать заряды в два-три ряда по высоте; расстояние между зарядами по высоте берется равным $1,5—2h$; заряды второго и третьего рядов рассчитываются на рыхление и взрываются первыми, начиная с верхнего ряда зарядов.

Для получения нешироких полок и при возможности использования станков глубокого бурения целесообразнее вместо камерных зарядов применять скважинные заряды (см. § 65).

Взрывами на сброс можно из полувыемки сбросить под откос 50—60% проектного объема породы.

§ 68. Метод наружных зарядов

Метод наружных зарядов применяется при дроблении негабарита и валунов, разделке металлических, железобетонных и бетонных конструкций и валке деревьев.

Основные показатели по применению и расчету величины наружных контактных зарядов рассмотрены в главе 7.

Здесь остановимся на использовании метода наружных зарядов только для случая дробления негабаритных кусков породы и валунов.

Заряды размещают сверху на поверхности камня по возможности в естественных глубинах, придавая заряду плоскую форму с толщиной слоя ВВ 2,5—3 см (для аммонита) и прикрывая заряд сверху забойкой из грунта без включения в него гальки и щебня.

Вес заряда ВВ рассчитывается по формуле

$$C = KV \text{ кг}, \quad (12.21)$$

где K — коэффициент, равный 0,8—2,5 в зависимости от крепости породы;

V — объем дробимого куска, м^3 .

Разброс осколков камня возможен на расстояние до 400 м.

При возможности целесообразно вместо наружных зарядов дробление камня производить зарядом, расположенным в шпуре, пробуренном на глубину, равную половине высоты камня. Вес шпурового заряда рассчитывается по той же формуле, но с коэффициентом $K=0,1 \div 0,4$.

Если рассчитанный заряд не помещается в одном шпуре, то выбурируется несколько шпуров, а заряд распределяется между ними.

Шпуры заряжаются взрывчатим веществом на $1/4—1/3$ их глубины с заполнением остального объема шпура забойкой; взрываются все заряды одновременно.

Можно вместо взрывчатого вещества в шпур вводить две-три нити детонирующего шнура, а шпур заполнять водой. Эффект дробления будет тот же.

§ 69. Образование колодцев, шурфов и т. п.

Используя энергию распространяющихся продуктов взрыва, можно, взорвав заряд ВВ в шпуре или скважи-

не, получить существенное расширение их стенок, так что вместо шпура образуется полость значительно большего диаметра с достаточно уплотненными стенками (рис. 12.13).

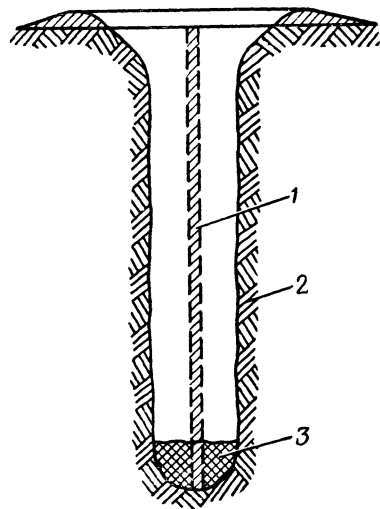


Рис. 12.13. Образование шурфов и колодцев:
1 — удлиненный заряд ВВ; 2 — стенки образованного шурфа (колодца); 3 — оставшийся грунт

Глубина шпура определяется по формуле

$$l_{\text{ш}} = H + D \text{ м}, \tag{12.22}$$

где H — требуемая глубина шурфа, м;
 D — требуемый диаметр шурфа, м.

Чтобы получить требуемый диаметр шурфа, необходимо подобрать соответствующий диаметр шпура по формуле

$$d_{\text{ш}} = \frac{D}{m} + 0,01 \text{ м}, \tag{12.23}$$

где m — коэффициент, выбираемый по табл. 12.7.
Диаметр полости, как правило, примерно равен 15—20 диаметрам шпура; стенки образовавшейся полости в пластичных и скальных грунтах сохраняются достаточно долго, а в сыпучих грунтах, особенно в песке, тре-

буют их крепления, к чему можно приступать после удаления вредных газов взрыва.

Заряжание шпуров осуществляется на всю их глубину зарядом, диаметр которого должен быть на 1—2 см меньше диаметра шпура.

Таблица 12.7

Наименование породы	Значение коэффициента m
Глина обычная	16,3—30,8
Глина и суглинки тяжелые	10,4—17,1
Мел, ракушечник	7,4—10,0
Известняк, мергель мягкие	2,4—5,6
Известняк и песчаник плотные	2—4
Песок влажный и растительный грунт	15—30

§ 70. Корчевка пней и валка деревьев

Корчевку пней и валку деревьев приходится производить при прокладке дорог и линий связи. Наиболее производительным способом выполнения этих работ является использование энергии взрыва.

Для выкорчевывания пня заряд ВВ помещается в небольшую наклонную скважину, выделяемую так, чтобы заряд находился под центром пня (рис. 12.14)

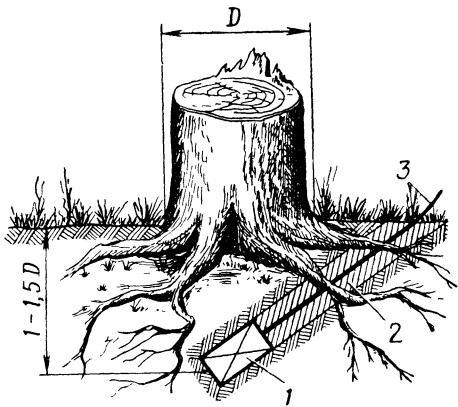


Рис. 12.14. Расположение заряда для корчевки пня:
1 — заряд ВВ; 2 — забивка грунтом; 3 — зажигательная трубка

на глубине одного — двух диаметров пня, измеряемых по корневой шейке. При наличии стержневого корня заряд ВВ должен вплотную примыкать к этому корню. У пней большого диаметра стержневой корень толстый, в этом случае около него следует размещать два заряда с противоположных сторон корня, делая две скважины.

Вес заряда ВВ берется в пределах 15—30 г на каждый сантиметр диаметра пня в его корневой шейке в зависимости от диаметра пня, твердости дерева, давности рубки и строения корневой системы.

В зимнее время ввиду трудности выделки скважины в грунте можно высверливать по оси пня вертикальные шпурь на такую глубину, чтобы заряд ВВ находился ниже поверхности грунта; величина заряда в этом случае может быть вдвое меньше, чем при разрушении его в скважине под пнем.

Валка деревьев осуществляется или одновременно с выкорчевыванием пня так, как это изложено выше, или перебиванием ствола накладными зарядами; вес заряда ВВ в этом случае определяется по формуле (7.5).

При валке деревьев следует иметь в виду, что дерево будет падать в ту сторону, с которой сделан подкоп или привязан заряд ВВ.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Расчет параллельно-ступенчатых электровзрывных сетей

Сложность расчета параллельно-ступенчатых электровзрывных сетей заключается в том, что напряжение в каждой параллельной ветви будет различным из-за падения напряжения в распределительных проводах. Различие в напряжениях приводит и к различным токам в каждой ветви, что крайне нежелательно с точки зрения обеспечения безотказности взрыва всех электродетонаторов в одной сети.

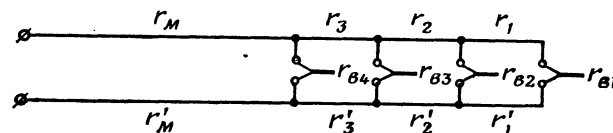


Рис. П.1.1

Для облегчения расчета параллельно-ступенчатых сетей (рис. П.1.1) следует каждую ветвь включать на равных расстояниях друг от друга, т. е. чтобы сопротивления участков проводов были равны:

$$r_1 = r_2 = r_3 = r'_1 = r'_2 = r'_3 = r.$$

Тогда сопротивление наиболее удаленной от источника тока ветви

$$R_{в1} = 2r + r_{в1}.$$

Общее сопротивление двух ответвлений $R_{в1}$ и $r_{в2}$ будет равно

$$R_{в2} = \frac{R_{в1} \cdot r_{в2}}{R_{в1} + r_{в2}}.$$

Продолжая расчет, можно определить сопротивление трех ветвей

$$R_{B_3} = \frac{r_{B_3} (R_{B_2} + 2r)}{r_{B_3} + (R_{B_2} + 2r)},$$

а затем общее сопротивление четырех ветвей

$$R_{B_4} = \frac{r_{B_4} (R_{B_3} + 2r)}{r_{B_4} + (R_{B_3} + 2r)}$$

и, наконец, общее сопротивление всей электровзрывной сети

$$R_{\Sigma} = R_{\mathbf{M}} + R_{B_4},$$

где $R_{\mathbf{M}} = r_{\mathbf{M}} + r'_{\mathbf{M}}$.

Ток в магистральных проводах

$$I_{\mathbf{M}} = \frac{U_{\text{ист}}}{R_{\Sigma}}.$$

Далее следует перейти к вычислению напряжений и токов в точках разветвления.

В точках 4—4 напряжение

$$U_{4-4} = U_{\text{ист}} - I_{\mathbf{M}} R_{\mathbf{M}},$$

а ток

$$I_{B_4} = \frac{U_{4-4}}{r_{B_4}}.$$

Напряжение в точках 3—3

$$U_{3-3} = U_{4-4} - (I_{\mathbf{M}} - I_{B_4}) 2r$$

и ток в ответвлении r_{B_3} будет

$$I_{B_3} = \frac{U_{3-3}}{r_{B_3}}.$$

Поступая таким же образом и далее, находим

$$U_{2-2} = U_{3-3} - (I_{\mathbf{M}} - I_{B_4} - I_{B_3}) 2r;$$

$$I_{B_2} = \frac{U_{2-2}}{r_{B_2}};$$

$$U_{1-1} = U_{2-2} - (I_{\mathbf{M}} - I_{B_4} - I_{B_3} - I_{B_2}) 2r;$$

$$I_{B_1} = \frac{U_{1-1}}{r_{B_1}}.$$

В этом наиболее удаленном ответвлении необходим ток не менее гарантийного. Если это условие соблюдено, то взрыв электродетонаторов будет обеспечен.

Допустим, что расстояние между ответвлениями 10 м (т. е. $2 \cdot 10 \cdot 0,025 = 0,5$ ом), в каждом ответвлении один электродетонатор с 20-м концевых проводов (т. е. $r_B = 2,5 + 20 \cdot 0,025 = 3$ ом), магистраль длиной 200 м (т. е. $r_M = 2 \cdot 200 \cdot 0,025 = 10$ ом) и источник тока напряжением 127 в (осветительная сеть).

Подсчеты дают такие результаты:

$$R_{B_1} = 0,5 + 3 = 3,5 \text{ ом};$$

$$R_{B_2} = \frac{3 \cdot 3,5}{3 + 3,5} = 1,6 \text{ ом};$$

$$R_{B_3} = \frac{3(1,6 + 0,5)}{3 + 2,1} = 1,24 \text{ ом};$$

$$R_{B_4} = \frac{3(1,24 + 0,5)}{3 + 1,74} = 1,1 \text{ ом};$$

$$R_{\Sigma} = 10 + 1,1 = 11,1 \text{ ом};$$

$$I_{\mathbf{M}} = 127 : 11,1 = 11,44 \text{ а};$$

$$U_{4-4} = 127 - 11,44 \cdot 10 = 12,6 \text{ в};$$

$$I_{B_4} = 12,6 : 3 = 4,2 \text{ а};$$

$$U_{3-3} = 12,6 - (11,44 - 4,2) \cdot 0,5 = 9 \text{ в};$$

$$I_{B_3} = 9 : 3 = 3 \text{ а};$$

$$U_{2-2} = 9 - (11,44 - 4,2 - 3) \cdot 0,5 = 6,88 \text{ в};$$

$$I_{B_2} = 6,88 : 3 = 2,29 \text{ а};$$

$$U_{1-1} = 6,88 - (11,44 - 4,2 - 3 - 2,29) \cdot 0,5 = 5,9 \text{ в};$$

$$I_{B_1} = 5,9 : 3 = 1,9 \text{ а},$$

т. е. взрыв всех электродетонаторов будет обеспечен, так как для взрыва одного электродетонатора переменным током необходимо иметь $I = 1$ а.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Определение сейсмически безопасных расстояний графоаналитическим методом

При одновременном взрывании нескольких зарядов, когда расстояния от отдельных зарядов до защищаемого объекта отличаются более чем на 10%, в формулу (10.1) подставляется вес заряда $C_{\text{экв}}$, эквивалентного по сейсмическому действию суммарному весу всех одновременно взрывааемых зарядов:

$$r_0 = aK_0 \sqrt[3]{C_{\text{экв}}}. \quad (\text{П.1})$$

Вес эквивалентного заряда определяется следующим образом (рис. П.2.1):

1. Определяется по формуле (10.1) безопасное расстояние r_c^I от ближайшего к защищаемому объекту заряда и на прямой линии, соединяющей этот заряд с защищаемым объектом, отмечается точка пересечения этой линии с окружностью, описанной радиусом r_c^I .

2. Определяются расстояния от найденной точки пересечения до всех прочих зарядов одновременно взрываваемой группы и вычисляются для этих зарядов их эквивалентные веса в первом приближении по выражению

$$C_{\text{экв}} = C \left(\frac{r_c^I}{r_n^I} \right)^3 \text{ кг},$$

где C — вес (масса) соответствующего заряда, кг;
 r_n^I — расстояния от этого заряда до точки пересечения, м.

3. Сумма отдельных эквивалентных зарядов подставляется в формулу (П.2.1), и определяется значение безо-

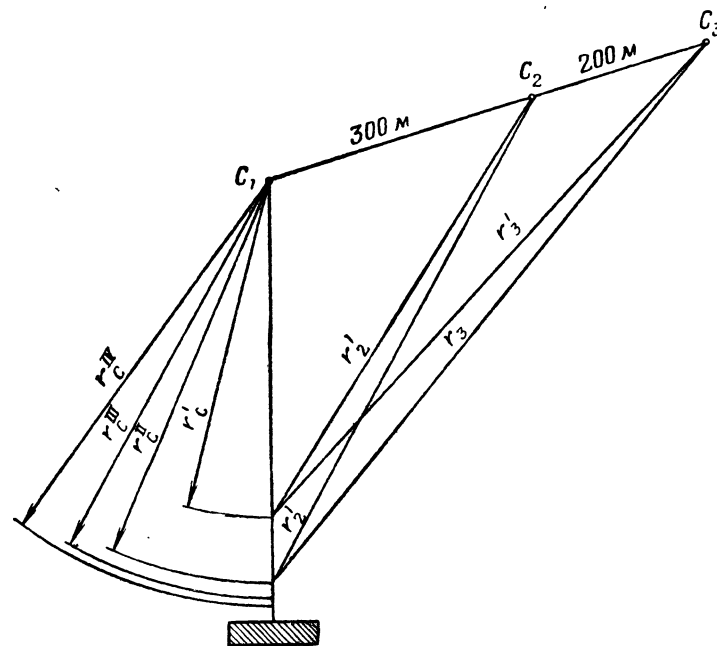


Рис. П.2.1

пасного расстояния r_c^{II} , величина которого также откладывается на прямой, соединяющей защищаемый объект с ближайшим к нему зарядом.

4. Действия, указанные в пп. 2 и 3, повторяются до тех пор, пока не будут получены два безопасных расстояния r_c^{n-1} и r_c^n , мало отличающиеся по своей величине друг от друга.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Определение сейсмически безопасных расстояний графоаналитическим методом

При одновременном взрывании нескольких зарядов, когда расстояния от отдельных зарядов до защищаемого объекта отличаются более чем на 10%, в формулу (10.1) подставляется вес заряда $C_{\text{экв}}$, эквивалентного по сейсмическому действию суммарному весу всех одновременно взрывааемых зарядов:

$$r_0 = aK_0 \sqrt[3]{C_{\text{экв}}}. \quad (\text{П.1})$$

Вес эквивалентного заряда определяется следующим образом (рис. П.2.1):

1. Определяется по формуле (10.1) безопасное расстояние r_c^I от ближайшего к защищаемому объекту заряда и на прямой линии, соединяющей этот заряд с защищаемым объектом, отмечается точка пересечения этой линии с окружностью, описанной радиусом r_c^I .

2. Определяются расстояния от найденной точки пересечения до всех прочих зарядов одновременно взрываваемой группы и вычисляются для этих зарядов их эквивалентные веса в первом приближении по выражению

$$C_{\text{экв}} = C \left(\frac{r_c^I}{r_n^I} \right)^3 \text{ кг},$$

где C — вес (масса) соответствующего заряда, кг;
 r_n^I — расстояния от этого заряда до точки пересечения, м.

3. Сумма отдельных эквивалентных зарядов подставляется в формулу (П.2.1), и определяется значение безо-

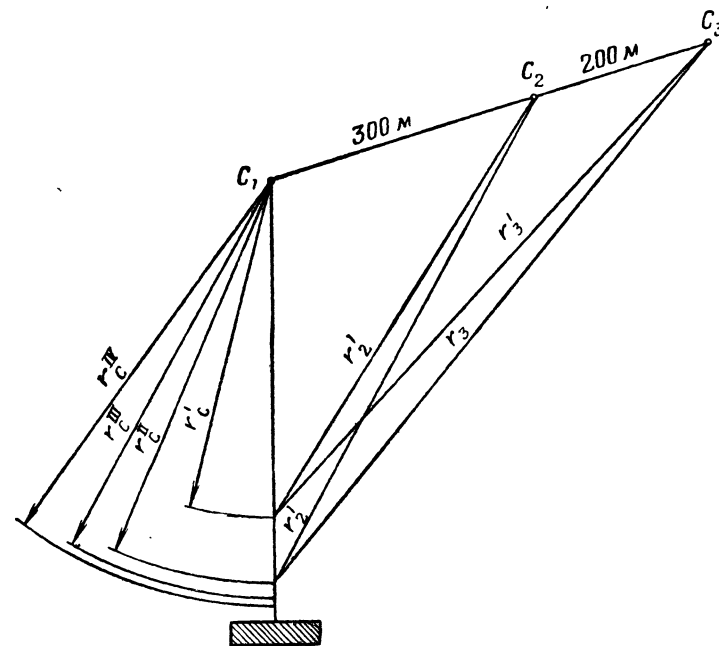


Рис. П.2.1

пасного расстояния r_c^{II} , величина которого также откладывается на прямой, соединяющей защищаемый объект с ближайшим к нему зарядом.

4. Действия, указанные в пп. 2 и 3, повторяются до тех пор, пока не будут получены два безопасных расстояния r_c^{n-1} и r_c^n , мало отличающиеся по своей величине друг от друга.

Пример. Три заряда, весом (массой) 64, 96 и 120 т расположены на одной прямой на расстояниях соответственно 300 и 200 м (рис. П.2.1). При расчете зарядов принято $n=1$. Ближайший к защищаемому объекту заряд $C_1=64$ т. Грунт — глина.

По формуле (10.1)

$$r_c^I = 9 \sqrt[3]{64000} = 360 \text{ м.}$$

Соответственно этому расстояния $r_2^I = 530$ м и $r_3^I = 695$ м.

Тогда

$$C_{\text{эKB}_2} = 96000 \left(\frac{330}{530} \right)^3 = 30100 \text{ кг};$$

$$C_{\text{эKB}_3} = 120000 \left(\frac{330}{695} \right)^3 = 16800 \text{ кг},$$

а

$$C_{\text{эKB}_\Sigma} = 64000 + 30100 + 16800 = 110900 \text{ кг}$$

и

$$r_c^{II} = 9 \sqrt[3]{110900} = 432 \text{ м.}$$

Этому расстоянию соответствуют $r_2^{II} = 590$ и $r_3^{II} = 750$, а следовательно:

$$C_{\text{эKB}_2} = 96000 \left(\frac{432}{590} \right)^3 = 37900 \text{ кг};$$

$$C_{\text{эKB}_3} = 120000 \left(\frac{432}{750} \right)^3 = 22900 \text{ кг};$$

и

$$C_{\text{эKB}_\Sigma} = 64000 + 37900 + 22900 = 124800 \text{ кг},$$

а

$$r_c^{III} = 9 \sqrt[3]{124800} = 450 \text{ м.}$$

При следующем приближении получаем $r_2^{III} = 610$; $r_3^{III} = 765$;

$$C_{\text{эKB}_2} = 96000 \left(\frac{450}{610} \right)^3 = 38300 \text{ кг};$$

$$C_{\text{эKB}_3} = 120000 \left(\frac{450}{765} \right)^3 = 24600 \text{ кг};$$

$$C_{\text{эKB}_\Sigma} = 64000 + 38300 + 24600 = 126900 \text{ кг};$$

$$r_c^{IV} = 9 \sqrt[3]{126900} = 452 \text{ м.}$$

Разница между двумя последними расстояниями в 450 и 452 м мала, а потому, приняв $r_c = 455$ м, получаем соответственно $r_2^{IV} = 615$ м и $r_3^{IV} = 770$ м и, проверив на соответствие условию (10.2):

$$(\alpha K_o)^3 \Sigma C r_c^{-1/2} = (1.9)^3 \left(\frac{64000}{455^3} + \frac{96000}{615^3} + \frac{120000}{770^3} \right) = 0,987 < 1.$$

видим достаточность этого расстояния.

Список литературы

1. Андреев К. К., Беляев А. Ф. Теория взрывчатых веществ. М., Оборонгиз, 1960.
2. Аптекарев Ф. Ф. Сейсмические колебания при землетрясениях и взрывах. М., «Наука», 1969.
3. Баум Ф. А., Станюкович К. П., Шехтер Б. И. Физика взрыва. М., Физматиздат, 1959.
4. Боуден и Иоффе. Возбуждение и развитие взрыва в твердых и жидких веществах. М., Изд-во иностр. лит., 1955.
5. Власов О. Е. Динамика взрыва. Изд. ВИА, 1951.
6. Власов О. Е. Основы теории действия взрыва. Изд. ВИА, 1957.
7. Власов О. Е., Смирнов С. А. Основы расчета дробления горных пород взрывом. Изд. АН СССР, 1962.
8. Горст А. Г. Пороха и взрывчатые вещества. М., Оборонгиз, 1957.
9. Давыдов С. А., Рубцов В. К. Многорядное взрывание. М., «Недра», 1965.
10. Евстратов Н. И. Взрывные работы в строительстве. М., Стройиздат, 1965.
11. Ершов Н. Н., Молчанов П. В. Энергия атомного взрыва в горном деле. Институт горного дела им. А. А. Скочинского, 1965.
12. Зельдович Я. Б., Компанеев А. С. Теория детонации. Изд-во технико-теоретической литературы, 1965.
13. Карпухин И. А., Боболев В. К. Физика горения и взрыва, 1967, № 4.
14. Кац А. З., Пучков С. В. О воздействии сейсмических волн на сооружения. Изд. АН СССР, 1955.
15. Лит Д. Сейсмическое действие взрыва. М., Госгортехиздат, 1963.
16. Ловля С. А. и др. Взрывное дело. М., «Недра», 1966.
17. Лурье А. И. Электрическое взрывание зарядов. Углетехиздат, 1957.
18. Марченко Л. Н. Увеличение эффективности взрыва при дроблении полезных ископаемых. М., «Наука», 1965.
19. Медведев С. В. Сейсмика горных взрывов. М., «Недра», 1964.
20. Мельников Н. В., Марченко Л. Н. Энергия взрыва и конструкция заряда. М., «Недра», 1964.
21. Новожилов Б. В. Горение и взрыв. М., «Знание», 1966.
22. Покровский Г. И. Взрыв. М., «Недра», 1973.
23. Покровский Г. И., Федоров И. С. Действие удара и взрыва в деформируемых средах. М., Промстройиздат, 1957.
24. Покровский Г. И., Черниговский А. А. Расчет зарядов при массовых взрывах на выброс. М., Госгортехиздат, 1963.
25. Подземные ядерные взрывы. М., Изд-во иностр. лит., 1962.
26. Проблемы разрушения горных пород взрывом. М., «Недра», 1967.
27. Саламахин Т. М. Разрушение взрывом элементов конструкций. Изд. ВИА, 1961.
28. Саламахин Т. М. Пособие для решения задач по теории механического действия взрыва. Изд. ВИА, 1967.
29. Сильвестрович С. И. Хранение взрывчатых веществ, средств взрывания и инженерных боеприпасов. Изд. ВИА, 1956.
30. Сильвестрович С. И. Взрывчатые вещества и условия их безопасного хранения. Промстройиздат, 1957.
31. Синицын А. П. Практические методы расчета сооружений на сейсмические нагрузки. М., Стройиздат, 1967.
32. Сборники «Физика взрыва». Изд. АН СССР, 1952 и 1953 гг.
33. Сборники «Взрывное дело», 1960—1970 гг.
34. Сборник «Контурное взрывание». М., «Недра», 1967.
35. Сборник «Короткозамедленное взрывание». М., Углетехиздат, 1958.
36. Эпов Б. А. Взрывное дело. Изд. МИИТ, 1964.
37. Эстеров Я. Х. и др. Буровзрывные работы на транспортном строительстве. М., «Транспорт», 1966.
38. Единые правила безопасности при взрывных работах. М., «Недра», 1972.
39. Действие ядерного оружия (перевод с английского). М., Воениздат, 1965.
40. Гушин В. И. Справочник взрывника на карьере. М., «Недра», 1971.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Введение	3
Глава 1. Взрыв и взрывчатые вещества	7
§ 1. Понятие о взрыве	—
§ 2. Процесс взрывчатого химического превращения	10
§ 3. Начальный импульс	12
§ 4. Устойчивость детонации	13
§ 5. Взрывчатые вещества	15
§ 6. Классификация взрывчатых веществ	16
§ 7. Основные свойства взрывчатых веществ	20
Глава 2. Свойства основных взрывчатых веществ	34
§ 8. Иницирующие взрывчатые вещества	—
§ 9. Бризантные взрывчатые вещества	33
§ 10. Метательные взрывчатые вещества	50
§ 11. Заряды взрывчатого вещества	52
Глава 3. Средства взрывания	55
§ 12. Капсюли-детонаторы	—
§ 13. Электродетонаторы	57
§ 14. Огнепроводные шнуры	66
§ 15. Детонирующие шнуры	68
Глава 4. Огневой способ взрывания	73
§ 16. Общие сведения	—
§ 17. Зажигательная трубка и ее изготовление	74
§ 18. Воспламенение зажигательных трубок	79
§ 19. Производство взрывных работ и техника безопасности	82
Глава 5. Электрический способ взрывания	85
§ 20. Общие сведения	—
§ 21. Электровзрывные сети	86
§ 22. Провода	89
§ 23. Источники тока — взрывные (подрывные) машинки	90
§ 24. Источники тока — гальванические батареи	99
§ 25. Источники тока — аккумуляторы	101
§ 26. Источники тока — постоянные осветительные и силовые линии и передвижные электрические станции	—
§ 27. Электроизмерительные приборы	102
§ 28. Защита электровзрывных сетей от грозовых разрядов и блуждающих токов	109

Стр.

§ 29. Обеспечение безотказности взрывания и техника безопасности	112
Глава 6. Взрывание детонирующим шнуром	114
§ 30. Общие сведения	—
§ 31. Сети детонирующего шнура	115
§ 32. Техника безопасности	118
Глава 7. Действие взрыва и расчет наружных контактных зарядов	119
§ 33. Начальный разлет продуктов взрыва	—
§ 34. Влияние формы заряда	120
§ 35. Характер разрушения различных материалов контактными зарядами	121
§ 36. Расчет наружных контактных зарядов	122
§ 37. Особенности действия контактных зарядов, расположенных под водой	125
§ 38. Практические формулы для расчета контактных зарядов	126
§ 39. Кумулятивный эффект и кумулятивные заряды	128
Глава 8. Действие взрыва и расчет неконтактных зарядов	132
§ 40. Ударная волна в воздухе	—
§ 41. Параметры воздушной ударной волны	134
§ 42. Расчет неконтактных зарядов	137
§ 43. Ударная волна в воде	140
§ 44. Практические формулы для расчета неконтактных зарядов	142
Глава 9. Действие взрыва и расчет внутренних зарядов	143
§ 45. Действие взрыва в неограниченной твердой среде	—
§ 46. Действие взрыва в ограниченной твердой среде	146
§ 47. Расчет внутренних зарядов	148
§ 48. Особенности разрушения железобетона	155
§ 49. Совместное действие внутренних зарядов	156
§ 50. Воронка выброса при использовании ядерных взрывчатых веществ	157
Глава 10. Техника безопасности	160
§ 51. Общие сведения	—
§ 52. Безопасные расстояния по сейсмическому действию	—
§ 53. Безопасные расстояния по действию ударной воздушной волны	163
§ 54. Безопасные расстояния, исключаяющие передачу детонации от одного заряда взрывчатого вещества к другому	166
§ 55. Безопасные расстояния по разлету осколков	168
§ 56. Общие правила техники безопасности	170
§ 57. Организация работ	172
Глава 11. Хранение, транспортировка и уничтожение взрывчатых веществ и средств взрывания	175
§ 58. Склады для хранения	—
§ 59. Хранение взрывчатых материалов	180
§ 60. Прием и выдача взрывчатых материалов	183
§ 61. Транспортирование взрывчатых материалов	184
§ 62. Уничтожение взрывчатых материалов	186

Стр.

Глава 12. Взрывные работы в грунтах и скальных породах	188
§ 63. Общие сведения	—
§ 64. Метод шпуровых зарядов	191
§ 65. Метод скважинных зарядов	195
§ 66. Метод котловых зарядов	201
§ 67. Метод камерных зарядов	202
§ 68. Метод наружных зарядов	207
§ 69. Образование колодцев, шурфов и т. п.	—
§ 70. Корчевка пней и валка деревьев	209

Приложения:

1. Расчет параллельно-ступенчатых электровзрывных сетей	211
2. Определение сейсмически безопасных расстояний гра- фоаналитическим методом	214
Список литературы	218

Борис Александрович Эпов

ОСНОВЫ ВЗРЫВНОГО ДЕЛА

Редактор *В. С. Киличенко*

Обложка художника *И. И. Карпикова*

Технический редактор *В. Г. Бадаева*

Корректор *В. В. Квятковская*

Г-51603. Сдано в набор 28.9.73 г. Подписано к печати 31.1.74 г.
Формат бумаги 84×108¹/₃₂. 7,0 печ. л., 11,48 усл. печ. л., 11,071 уч.-изд. л.
Бумага типографская № 2. Тираж 17 000 экз. Цена 50 коп.
Изд. № 4/7020 Зак. 656

Ордена Трудового Красного Знамени

Военное издательство Министерства обороны СССР

103160, Москва, К-160

1-я типография Воениздата

103006, Москва, К-6, проезд Скворцова-Степанова, дом 3

Эпов Б. А.

372 Основы взрывного дела. М., Воениздат, 1974 г.

224 стр.

Пособие содержит сведения о взрывчатых веществах (ВВ), средствах и способах взрывания, технике безопасности при производстве взрывных работ, о действии взрыва и расчете зарядов для разрушения конструктивных элементов из различных материалов и методах выполнения некоторых видов взрывных работ при прокладке дорог.

Пособие предназначено для курсантов военно-инженерных и военно-железнодорожных училищ и студентов гражданских вузов. Оно может быть использовано и офицерами инженерных и железнодорожных войск в их практической работе.