

Е.Г.БАРАНОВ
О.Н.ОБЕРЕМОК

ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ НА ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКАХ

*Допущено
Госкомитетом СССР по профессионально-
техническому образованию в качестве учебника
для подготовки рабочих по специальности
«Взрывник (подземные горнорудные разработки)»*



МОСКВА „НЕДРА” 1985

Баранов Е. Г., Оберемок О. Н. Взрывные работы на подземных рудниках: Учебник для учащихся профтехобразования.— М.: Недра, 1985. 255.

Изложены основы техники и технологии ведения взрывных работ при подземной добыче полезных ископаемых. Приведены физико-механические свойства горных пород, классификации их по буримости и взрываемости, показаны место и значение буровзрывных работ в технологическом комплексе. Рассмотрены промышленные взрывчатые вещества, средства и способы взрывания зарядов, вопросы хранения, учета, выдачи и транспортировки взрывчатых материалов. Даны рекомендации по выбору рациональных типов ВВ, расчету параметров, составлению паспорта буровзрывных работ, монтажу взрывных сетей и производству взрывов при проведении выработок и очистной выемке. Освещены вопросы механизации заряжания, организации и безопасности взрывных работ.

Для учащихся профессионально-технических училищ и учебно-курсовой сети.

Табл. 17, ил. 88, список лит.— 20 назв.

Рецензенты: д-р техн. наук *Н. У. Турута* (Институт геофизики АН УССР) и инж. *В. Х. Кантор* (трест «Союзвзрывпром»)

Взрывные работы широко применяются в народном хозяйстве страны. Трудно найти отрасль, которая бы не использовала энергию взрыва в созидательных целях. Около 80 % минерального сырья добывается с применением взрывных работ.

Энергию взрыва применяют при проведении глубоких каналов, строительстве многих мелиоративных сооружений, высотных плотин в горной местности. В последнее время энергия взрыва широко используется при сварке и резке металлов, синтезе веществ с заданными свойствами. Наиболее ответственны и трудоемки взрывные работы в горном деле, при разработке полезных ископаемых открытым и подземным способом. Особенно важны они в подземных условиях, что объясняется громадными объемами, сложностью и многостадийностью подземных горных работ, каждая из которых требует использования энергии взрыва во все больших количествах при все более усложняющихся условиях эксплуатации как старых, так и вновь открываемых месторождений полезных ископаемых.

При всей простоте операций при выполнении взрывных работ в подземных условиях (подготовка взрывчатых веществ к применению, зарядание шпуров и скважин, взрывание, контроль за качеством взрыва и взорванной горной массы, вторичное взрывание и др.) работы в целом считаются сложными в части рациональной организации их производства, безопасности труда, обеспечения социальных и экономических требований.

Значителен вклад в развитие техники и технологии взрывных работ ученых и инженеров В. А. Асонова, Г. П. Демидюка, Г. И. Покровского, Н. Н. Семенова, Н. А. Соколова, Е. В. Антулаева, Н. У. Туруты, Б. Д. Росси, Г. М. Большедворского, Ж. К. Граубица, Б. Г. Кубалова, А. Ф. Беляева, М. А. Садовского, А. Ф. Суханова, М. А. Лаврентьева, Н. В. Мельникова, Л. Н. Марченко, А. Н. Дремина, Л. В. Дубнова, Б. Н. Кутузова, М. Ф. Друкованого, Ф. И. Кучерявого и др.

В учебнике приведены основные сведения о взрывных работах, выполняемых при подземной добыче полезных ископаемых на рудных месторождениях. Изложенный материал соответствует требованиям «Единых правил безопасности при взрывных работах», которые утверждены Госгортехнадзором СССР и согласованы с ведущими министерствами и ведомствами. Специфика взрывных работ такова, что взрывник обязан строго соблюдать положения этих правил, что обусловлено повышенной опасностью выполняемой работы не только для самого взрывника, но и для окружающих его горнорабочих, незнакомых со свойствами взрывчатых веществ, их действием при взрыве и

возможными последствиями при неправильном обращении и применении.

Эффективность и безопасность взрывных работ зависят от многих факторов и прежде всего от квалификации взрывников, непосредственно выполняющих эти работы. Для дальнейшего повышения эффективности и безопасности работ необходимо постоянное повышение квалификации. Профессия взрывника требует от человека четкого знания и исполнения своих обязанностей, соблюдения правил безопасности. Взрывник должен обладать знаниями в области электротехники, химии и физики взрывчатых веществ и взрыва, технологии горных и взрывных работ, механизации производства и безопасности труда.

Краткая история развития. Исторические документы показывают, что химическая энергия взрывчатого разложения была открыта намного позднее других видов энергии, известных человеку. Однако период времени с момента открытия этого источника энергии до начала его практического применения весьма непродолжителен. Любопытно, что если от момента открытия электрической энергии до ее практического применения потребовалось 2500 лет, энергии пара — 1700 лет (паровая машина Ползунова), то для использования химической энергии взрывчатых веществ (например, пороха) в военных целях потребовалось всего 150 лет и 300 лет — для применения в гражданском строительстве.

Возникновение и развитие взрывных работ находятся в тесной взаимосвязи с историей создания и производства взрывчатых веществ, буровой техники, развитием технологии подземной добычи полезных ископаемых.

Первым взрывчатым веществом, проникшим из стран Азии в Европу, был черный порох. Это произошло в 1313 г., когда бернардинский монах Бертольд Шварц предложил состав, напоминавший современный порох.

В первой половине XIII в., согласно новгородским, александровским и галицким летописям (1382—1389 гг.), порох появился в России. Изготавливался он вначале кустарным способом в буртах. Первый завод по промышленному изготовлению пороха на Руси был построен в Москве в 1494 г. Особенно широкое применение порох получил как метательное средство в огнестрельном оружии, разрывных снарядах, для разрушения крепостей и ведения других подрывных работ.

Уже в 1552 г. царь Иван Грозный использовал порох в качестве минных зарядов при разрушении крепостных стен Казани. В гражданском строительстве порох нашел применение в 1548—1572 гг. при расчистке фарватера р. Неман. Особую роль в становлении и развитии порохового дела в России сыграл М. В. Ломоносов, описавший в своих трудах теоретические основы явления взрывчатого разложения пороха и действия взрыва на окружающую среду.

Согласно данным горной летописи, порох в горном деле начал применяться с 1627 г., когда в районе Хемница (Венгрия) тирольским гражданином Каспаром Вайндой было произведено взрывание пороховых зарядов в Обер-Виберштольне. Черный порох господствовал свыше 5 веков и лишь XIX в. стал веком создания и производства новых мощных взрывчатых веществ и средств инициирования.

В 1845 г. Фридрих Шёнбайн (Германия) открыл коллоидный хлопок, а в 1846 г. Собrero (Италия) изобрел нитроглицерин, ставшие впоследствии основой для современных нитроглицериновых ВВ и в частности динамитов (1878 г.).

В 1853 г. в России Н. Н. Зинин и В. Ф. Петрушевский предложили взрывчатое вещество на основе нитроглицерина, аналогичное по составу динамитам. Уже в начале 1863 г. было изготовлено 3 т такого динамита, а затем в конце года еще 2,9 т. Однако запатентованы динамиты в 1866 г. шведским инженером А. Нобелем, около 10 лет работавшим до этого в лаборатории Н. Н. Зинина.

В горном деле предложенные динамиты нашли применение в 1868 г., когда капитан Черниловский-Сокол впервые применил их при разработке золотоносных россыпей в Забайкалье.

К 1892 г. относится изобретение бездымного пороха. Честь открытия его принадлежит нашему соотечественнику — Д. И. Менделееву.

Эра аммиачно-селитренных ВВ относится к 1886 г., когда впервые составы на основе аммиачной селитры были предложены русским академиком И. Чельцовым. Им же была разработана и первая классификация взрывчатых веществ. В 1867 г. шведские химики И. Ольсен и И. Норбин запатентовали взрывчатые вещества на основе аммиачной селитры с разнообразными горючими добавками. Нобель купил патент Ольсена и Норбина, чем почти на 20 лет задержал использование этих взрывчатых веществ в промышленности.

XIX в. известен еще как век создания различных средств инициирования. Так, в 1812 г. П. Л. Шилинг впервые использовал электрическую энергию во взрывном деле. Им был разработан электрический воспламенитель, с помощью которого была взорвана серия пороховых зарядов (1812, 1815, 1832 гг.). Бикфордов (огнепроводный) шнур с пороховой сердцевинкой для взрывания зарядов пороха был изобретен в 1831 г. в Англии инженером Бикфордом.

Детонирующий шнур предложен в 1879 г. французским ученым Мэссеном в качестве средства инициирования зарядов.

Для начинки средств инициирования (капсюлей-детонаторов, электродетонаторов, детонирующих шнуров) широкое применение получили гремучая ртуть, изобретенная Говардом в 1800 г., и тетрил, который, начиная с 1906 г., является основным инициирующим взрывчатым веществом.

Исходным продуктом для получения тетрила является анилин, создателем которого был профессор Н. Н. Зинин.

Тротил широко применяется в горной промышленности с 1891 г. Он входит в состав аммиачно-селитренных ВВ. В этот же период были созданы наиболее мощные ВВ — гексоген и ТЭН.

Гексоген как добавка к промышленным ВВ применяется с 1920 г., ТЭН начинает использоваться для начинки детонирующих шнуров. Таким образом, история развития взрывных работ в дореволюционный период характеризуется прежде всего бурным ростом открытий разнообразных взрывчатых составов и средств инициирования. В то же время в развитии горнодобывающей промышленности России больших сдвигов не наблюдалось. И лишь после Великой Октябрьской социалистической революции начался стремительный подъем народного хозяйства. За годы первых пятилеток гигантски возросли объемы строительных работ и массы добываемых полезных ископаемых.

Все это потребовало широкого внедрения взрывных работ, пересмотра ассортимента промышленных взрывчатых веществ. Уже в 30-е годы произошла замена нитроглицериновых взрывчатых веществ на более безопасные аммиачно-селитренные — аммониты и динамоны, честь внедрения которых на различных видах взрывных работ принадлежит советским ученым и инженерам В. А. Ассонову, Г. П. Демидюку, М. Н. Косачеву, Н. Е. Яременко и др.

Особенно широко использовались динамоны (простейшие ВВ на основе аммиачной селитры и дешевых горючих добавок) и оксиликвиты (жидкоокислородные ВВ) в годы Великой Отечественной войны, когда страна не имела возможности получать для народного хозяйства более мощные взрывчатые вещества.

Разработкой и внедрением оксиликвитов занималась группа ученых и инженеров — Л. Н. Марченко, М. М. Фугзан, К. И. Иванов и др. Непрерывный рост объемов работ на новостройках страны после войны обусловил новые разработки в области создания взрывчатых веществ и широкое их внедрение в промышленность. В конце 50-х годов в результате работ, выполненных группой ученых под руководством академика Н. В. Мельникова и проф. Г. П. Демидюка, была создана взрывчатая смесь гранулированной аммиачной селитры и соляного масла, которая получила название игданит (Институт горного дела АН СССР). Затем началась разработка гранулированных аммиачно-селитренных (гранулитов, граммонитов), водосодержащих акватолов, ифзанитов и горячельющихся взрывчатых веществ. Создаются тротиловые шашки из тротила (промежуточные детонаторы), детонирующие шнуры различной мощности. Разрабатываются средства короткозамедленного взрывания (электродетонаторы короткозамедленного действия,

детонационные пиротехнические реле и др.) и широко внедряется на подземных горных работах короткозамедленное взрывание скважинных зарядов при отбойке руд и проведении горных выработок. Внедрение короткозамедленного взрывания на подземных горных работах началось практически с 1960 г.

Технология массовой отбойки руд скважинными зарядами диаметром 100—200 мм в сочетании с короткозамедленным взрыванием позволила за короткий промежуток времени выполнить грандиозные планы развития черной и цветной металлургии страны.

Начиная с 70-х годов на большинстве крупных рудников началось широкое внедрение средств комплексной механизации заряжания скважин, шпуров и камер гранулированными простейшими взрывчатыми веществами.

Резкий рост добычи руд черных и цветных металлов в послевоенный период, продолжающийся и в настоящее время, потребовал внесения серьезных новшеств и в технологию взрывных работ при проведении выработок. Внедряются новые взрывчатые вещества и средства инициирования, контурное взрывание зарядов, что обеспечивает повышенную устойчивость пород, окружающих выработку, и резко снижает законтурные разрушения, создаются новые средства механизации заряжания шпуров и скважин, новые схемы их размещения в забое.

Все это позволило значительно повысить темпы проведения выработок и, обеспечив горные предприятия необходимыми запасами подготовленных для отбойки руд, существенно увеличить объемы добычи полезных ископаемых в стране.

Авторы выражают благодарность В. М. Скоробогатову, В. А. Хореву и Е. Э. Мурзину за ценные замечания, советы и пожелания, которые были учтены при подготовке учебника к изданию и способствовали улучшению его содержания.

Часть I

ОСНОВЫ ГОРНОГО ДЕЛА И БУРОВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ

Глава I

ГОРНЫЕ ПОРОДЫ И РУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

1.1. ОБРАЗОВАНИЕ И ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Земная кора, представляющая собой твердую оболочку земного шара, характеризуется небольшой, в сравнении с размерами земного шара, толщиной (до 70 км). Внутри земного шара, под оболочкой, находится высокотемпературный расплав, называемый *магмой*, в котором содержатся все известные на земле химические элементы.

Состоит земная кора из горных пород. *Горными породами* называют естественные минеральные агрегаты простого или сложного, более или менее постоянного состава и строения, слагающие земную кору и залегающие в виде самостоятельных тел, состоящих из более простых образований — минералов.

Минералами называют простые либо сложные природные тела, сравнительно однородные по химическому составу и физическим свойствам. Химический состав и физические свойства минералов различны — всего известно около 2000 минералов. Они подразделяются на *простые* (самородные вещества — алмаз, золото, сера и др.) и *сложные* (сульфидные, окисные, карбонатные и т. п. — пирит, кварц, кальцит, магнетит и др.) минералы. Большинство из них это твердые устойчивые химические соединения различных элементов, образовавшиеся в природных условиях.

Свойства горных пород определяются содержанием и свойствами входящих в их состав минералов, а также зависят от формы, размеров, взаимного расположения и ориентации минеральных зерен (кристаллов).

По происхождению все породы разделяются на три группы.

1. *Магматические* (изверженные) — породы, образовавшиеся из расплавленной магмы при ее застывании на некоторой глубине в трещинах и пустотах земной коры (породы *глубинные*, или *интрузивные*) или же при излиянии на поверхность в виде лавы (породы *излившиеся*, или *эффузивные*).

Магматические породы полиминеральные, массивного сложения, с кристаллической структурой, большой механической прочностью и выраженными свойствами твердого тела — упругостью, твердостью, вязкостью и др.

Если магма под покровом других пород при слабо изменяющихся условиях и при значительном давлении охлаждается медленно, образуются крупнокристаллические породы — граниты, сиениты и др. Излившиеся породы, наоборот, застывают быстро; структура пород при этом мелкокристаллическая — базальты, диабазы, трахиты и др. Прочность их выше, чем у крупнокристаллических пород.

2. *Осадочные* — породы, представленные продуктами разрушения других пород или образовавшиеся из продуктов жизнедеятельности организмов.

По строению и свойствам осадочные породы наиболее разнообразны. Среди них встречаются рыхлые образования, между частицами которых нет связи (пески, гравий, галечники), пластичные массы (глинистые породы) и твердые породы, приближающиеся по механическим свойствам к магматическим и метаморфическим (песчаники, известняки, доломиты).

3. *Метаморфические* — это глубоко измененные под воздействием высоких температур, давлений и химических растворов осадочные и магматические породы. Например, мрамор является продуктом взаимодействия известняков с расплавленной массой изверженных пород.

За счет метаморфизма прочностные свойства пород повышаются. Появляется выраженная слоистость; породы при разрушении расслаиваются.

В общем объеме горных пород магматические составляют около 95 %, метаморфические — 4 %, осадочные — 1 %. По площади же осадочные породы занимают более 75 % земной поверхности.

В зависимости от состояния и прочности породы подразделяют на скальные, полускальные, плотные, мягкие и сыпучие.

К *скальным* относят большинство магматических и метаморфических пород, а также некоторые осадочные породы с пределом прочности при одноосном сжатии в образце в интервале $5 \cdot 10^7$ — $3,5 \cdot 10^8$ Па; к *полускальным* — выветрелые изверженные и метаморфические, в основном осадочные породы с пределом прочности $2 \cdot 10^7$ — $5 \cdot 10^7$ Па.

К *плотным, мягким и сыпучим* породам относят осадочные с пределом прочности соответственно $5 \cdot 10^6$ — $2 \cdot 10^7$ Па, 10^6 — $5 \cdot 10^6$ Па и не больше $3 \cdot 10^4$ — $5 \cdot 10^4$ Па.

1.2. ПОНЯТИЕ О РУДЕ И РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Природные минеральные вещества, которые могут быть использованы в народном хозяйстве, называются *полезными ископаемыми*. Полезные ископаемые, содержащие металлические элементы, называют *рудой*.

Различают простые руды (например, железная руда с магнетитом) и сложные, полиметаллические (например, с минералами халькопиритом, золотом, пиритом и другими, содержащими несколько металлов). Руда с небольшим количеством породы называется *сплошной*. При относительно редких вкраплениях рудных минералов в породу руду называют *вкрапленной*. Если извлечение ценного компонента экономически оправдано, руда называется *кондиционной*. Если нет, руду считают на данном этапе развития техники *некондиционной*, не подлежащей разработке. Например, из более чем 100 минералов, содержащих марганец, промышленное значение сейчас имеют лишь три.

По использованию в народном хозяйстве и химическому составу различают четыре группы полезных ископаемых:

а) *металлических* ископаемых, в которую входят руды черных (железо, хром, марганец и др.), цветных (медь, свинец и др.), благородных (золото, серебро, платина) металлов и руды радиоактивных (уран, торий), редких (цирконий, тантал и др.), легких (литий, бериллий и др.) и рассеянных (германий, таллий и др.) элементов;

б) *неметаллических* ископаемых, в которую входят сырье для металлургической (магнезит, известняки, графит и др.), химической (фосфориты, апатиты, сера и др.), пищевой (бор, соли и др.) промышленности и индустриальное сырье (асбест, тальк, слюда, флюорит, алмазы и др.);

в) *горючих* ископаемых, в которую входят уголь, горючие сланцы, торф и др.;

г) *строительных* горных пород, в которую входят граниты, известняки, глины, песок, гравий и др.

Природное скопление того или иного полезного ископаемого внутри или на поверхности земной коры называют *месторождением*. Месторождение, пригодное по количеству, качеству и условиям залегания полезных ископаемых к промышленной разработке; называют промышленным месторождением. Породы, в которых залегают полезные ископаемые, называют *пустыми*. В зависимости от условий одна и та же порода может быть как полезным ископаемым, так и пустой породой. Например, известняк при добыче железных руд является пустой породой, а при добыче сырья для производства цемента или огнеупоров будет полезным ископаемым.

По форме залегания месторождения разделяют на *правильные* и *неправильные*. К правильным относят пластовые, пла-

стообразные и жильные месторождения, к неправильным — линзы, штоки, штокверки и др.

Пласт — форма залегания полезного ископаемого, которая имеет большую протяженность в длину и ширину и ограничивается двумя более или менее параллельными плоскостями сверху и снизу по границе с окружающими ее породами. Плоскости соприкосновения пластов разных пород называют *плоскостями напластования*. Прилегающие к пласту породы называют *вмещающими*: находящиеся сверху называют *кровлей* или висячим боком, а снизу — *почвой* или лежачим боком пласта. Тонкие слои пустой породы, находящиеся в пласте полезного ископаемого, называют *прослойками*, а пласты полезного ископаемого небольшой мощности и не подлежащие разработке называются *пропластками*.

Основными элементами залегания пластов являются их простирание, падение и мощность. *Простиранием* называют наибольшее горизонтальное протяжение пласта в ширину. Линия, лежащая в плоскости пласта перпендикулярно к линии простирания, называется *линией падения*, а угол, составленный линией падения с горизонтальной плоскостью, называется *углом падения пласта*.

Кратчайшее расстояние между кровлей и почвой пласта называется *мощностью пласта*.

Пластообразная залежь — форма залегания полезного ископаемого, подобная пласту, но имеющая ограниченные размеры по длине и ширине при относительно большой толщине. Концы залежи по длине называют *флангами*.

Линза — форма залегания полезного ископаемого в виде округленного или овального тела с уменьшением мощности к краям. Как и другие неправильные формы залегания, линзы образуются в результате заполнения пустот в земной коре. Размеры могут быть различными — от метров до десятков и сотен метров.

Жила — залегающее в трещине земной коры полезное ископаемое. Как и пласт, пластообразная залежь характеризуется простиранием, падением и мощностью.

Плоскости соприкосновения жил с вмещающими породами называют *зальбандами*. Жилы с ясно выраженными зальбандами называют простыми, с неясно выраженными — сложными. Небольшие боковые ответвления, отходящие от жилы, называют *апофизами*.

Шток — форма залегания полезного ископаемого в виде больших тел (до сотен метров) с весьма неправильными очертаниями. В зависимости от пространственного положения различают *лежащий* и *стоячий* штоки. К штокам также относят рудные тела в виде гнезд, шаров и почек небольших размеров.

Штокверк — рудное тело неправильной формы, аналогичное штоку, но представляющее собой густую сеть различно

ориентированных рудных жил и прожилков, прорезывающих горный массив.

Нормальное залегание пластов и пластообразных залежей горизонтальное. Однако в результате различных движений земной коры пласты после образования претерпевают нарушения, приводящие к образованию складок, трещин и подвижек одних частей пластов относительно других вдоль этих трещин.

1.3. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СТРУКТУРНО-ТЕКСТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРНЫХ ПОРОД

Чтобы добыть и переработать руды, их необходимо отделить от массива. Сопротивляемость горных пород и руд разрушающим воздействиям определяется их физико-механическими свойствами и структурно-текстурными характеристиками.

Наиболее важны из физико-механических свойств прочностные свойства, а также твердость, пластичность, хрупкость, вязкость, упругость и плотность. Из структурно-текстурных характеристик важны зернистость, трещиноватость, слоистость и выветренность.

Прочность — способность породы противостоять внешним силам без нарушения сплошности. Механическая прочность определяет поведение породы при силовом воздействии. Различают *прочность на сжатие, растяжение, изгиб, скалывание и удар*.

Сопротивляемость оценивают обычно по показателю прочности породы на одноосное сжатие, который определяется в лабораторных условиях путем раздавливания образцов на прессе. Минимальную нагрузку, при которой происходит разрушение образца, называют *пределом прочности на сжатие* — $\sigma_{сж}$. Величина $\sigma_{сж}$ у магматических пород достигает 250—300 МПа и больше, снижаясь до 0,2—0,3 МПа и ниже у осадочных пород. Прочность пород на растяжение $\sigma_{раст}$ обычно в 8—11 раз меньше прочности на сжатие. Различают *прочность породы в образце и массиве*. В образце прочность выше, чем в массиве.

Значение прочности в сопротивляемости так велико, что проф. М. М. Протодьяконов предложил прочность на одноосное сжатие считать крепостью пород. Крепость породы по М. М. Протодьяконову — это ее относительная сопротивляемость при добыче. Чем выше относительная крепость, так называемый коэффициент крепости, тем сложнее отделить породу от массива. Численное значение безразмерного коэффициента крепости f получают делением величины $\sigma_{сж}$ на 10 МПа.

Для нормирования работ все породы в зависимости от коэффициента крепости f по трудности добычи разделены на 10 категорий. Первую категорию составляют в высшей степени

крепкие породы с $f \geq 20$, десятую — пльвуны с $f \leq 0,3$. Показатели остальных категорий имеют промежуточные значения.

Твердость — сопротивляемость породы внедрению в нее инородного тела. Твердость минералов оценивают по шкале Мооса, в которой каждый последующий из 10 эталонных минералов может нанести царапину предыдущему: 1 — тальк; 2 — гипс; 3 — кальцит; 4 — флюорит; 5 — апатит; 6 — полевой шпат; 7 — кварц; 8 — топаз; 9 — корунд; 10 — алмаз.

Твердость пород определяют по отпечатку при вдавливании шарика или конуса, а также по величине отскока бойка при сбрасывании. Наиболее тверды изверженные и метаморфические породы. Твердость железистых роговиков, например, в 1,88 раза, а гранита в 1,77 раза превышает твердость известняка.

Пластичность — свойство породы под воздействием сил необратимо изменять форму и объем без микроскопических нарушений сплошности. Наиболее пластичны глины, камешная соль, магнезиты и другие породы. С ростом давления и температуры пластичность повышается. При давлениях больше 0,98—1,86 МПа пластичными становятся граниты и диабазы.

Хрупкость — свойство породы разрушаться при приложении внешних сил без остаточных (пластических) деформаций. Разрушение таких пород отличается наименьшей энергоемкостью.

Вязкость — сопротивление породы силам, стремящимся разъединить ее частицы. Наиболее вязкие мелкозернистые породы, особенно плотные и твердые. Такие породы характеризуются наибольшей сопротивляемостью взрывным и ударным нагрузкам. Например, трудноразрушаемый базальт обладает в 2,1—2,3 раза большей вязкостью, чем известняк, и в 1,5—1,6 раза, чем гранит. Железистый кварцит в 1,9—2,0 раза более вязкий, чем известняк, и т. д. Различие в ударной вязкости этих пород еще значительнее.

В однородных породах вязкость одинакова во всех направлениях, в слоистых — может резко меняться на плоскостях напластования.

Упругость — свойство породы восстанавливать форму и объем после прекращения действия сил. Оценивают по величине отскока сбрасываемого шарика. Чем большей упругостью обладает порода, тем ее труднее бурить перфораторами.

Характеризуется пределом упругости — максимальным значением нагрузок, при превышении которых в породе начинают проявляться пластические деформации.

Плотность — масса единицы объема породы со всеми содержащимися в ее порах жидкостями и газами. Зависит от пористости, которая характеризуется отношением объема пустот в породе ко всему ее объему и определяет наличие пустот и полостей в породе.

Пористость изменяется в широких пределах: от 0,5—1,0 % (габбро), до 45—48 % (глины) и больше. Плотность пород менее изменчива — от 1,2—2,1 г/см³ (глины) до 2,6—3,3 г/см³ (базальты). Плотность руд несколько выше — до 4—5 г/см³.

Пористые породы более пластичны. Их разрушение характеризуется повышенными потерями энергии взрыва в ближней зоне. В пористых породах эффективны взрывы по образованию внутренних полостей.

Зернистость характеризует форму зерен, их размеры и взаимное расположение в породе. Чем мельче зерна изверженных пород, тем сильнее внутренняя связь между зернами, тем прочнее порода. Такая порода трудноразрушаема.

Трещиноватость — нарушение монолитности пород трещинами в результате различных нарушений породы, происходивших в земной коре при ее образовании или после образования.

Наиболее важны трещины тектонического происхождения, связанные с сильным сжатием и растяжением пород в период складкообразования. Различают трещины, секущие большие массивы и свиты пластов, а также мелкую трещиноватость, переходящую в раздробленность. Сетью трещин с раскрытием 10^{-4} — 10^{-1} м породы разделяются на блоки и куски разной формы и размеров. Первый вид трещин с раскрытием 10^{-2} — 10^{-1} м существен при крупных взрывах, второй — при шпуровом методе взрывания. Снижая сопротивляемость массива разрушению, трещины затрудняют дробление отдельных блоков и кусков. Выделяют также трещины напластования, ослабляющие породы вдоль слоистости.

Характеризуется трещиноватость раскрытием, частотой и пространственным расположением трещин в массиве.

Слоистость — наличие в породе плоскостей напластования. Определяет резко отличную сопротивляемость породы при разнонаправленном действии сил. Наименьшая прочность пород наблюдается по плоскостям напластования, наибольшая — перпендикулярно к ним.

Слоистые (грубослоистая — мощность прослоек 0,5—3,0 мм, и микрослоистая — мощность менее 0,5 мм) текстуры характерны для осадочных железных и марганцевых руд. Внутреннее строение прослоек руд обычно плотное, или массивное.

Выветрелость — степень разрушенности породы под действием воздуха, воды, температуры и давления. Приводит к уменьшению прочности породы тем больше, чем больше степень выветрелости. Наиболее выражена вблизи поверхности земли у трещиноватых пород. Выветрелые породы относятся к категории легко добываемых.

Зернистость, трещиноватость, слоистость и выветрелость оказывают большое влияние на сопротивляемость пород взрывному разрушению.

1.4. БУРИМОСТЬ И ВЗРЫВАЕМОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД

Оценить не только абсолютную, но и относительную сопротивляемость пород взрыву по какому-либо одному физико-механическому или структурно-текстурному показателю в ряде случаев невозможно. Затруднительна количественная оценка и при учете других прочностных свойств породы вследствие недостаточной изученности процессов их разрушения и влияния на них большого числа факторов. В результате возможны ошибочные нормирование и планирование работ на предприятии. Например, менее прочный, но пластичный магнезит можно разрушить только при больших затратах энергии, чем более прочный, но менее пластичный доломит.

Поэтому физико-механические показатели сопротивляемости горных пород разрушению используют обычно в качестве приближенных, ориентировочных показателей на стадии проектных работ. Нормирование и планирование работ ведут с использованием технологических показателей сопротивляемости, в частности таких, как буримость, взрываемость, дробимость.

Буримость — сопротивляемость породы разрушению данным буровым инструментом в процессе бурения. Характеризуется чистой скоростью или энергоемкостью бурения 1 м шпура или скважины.

Все породы по показателю буримости подразделяются на несколько категорий — от легкобуримых (скорость бурения до 0,6 м/мин) до исключительно труднобуримых (скорость бурения менее 0,01 м/мин). В показателе буримости отражены все основные физико-механические свойства пород: прочность, твердость, упругость, пластичность и др.

Взрываемость — сопротивляемость породы разрушению при взрыве. Характеризуется расходом взрывчатых веществ (кг) для разрушения единицы объема породы (1 м³) в массиве. Определяют взрываемость при проведении опытных или производственных взрывов.

В производственных условиях устанавливают удельный расход взрывчатых веществ, необходимый для получения качественных результатов разрушения массива. Все породы по взрываемости на карьерах классифицируют на 5 категорий: от легковзрываемых (удельный расход взрывчатых веществ менее 0,35 кг/м³) до исключительно трудновзрываемых (удельный расход более 1,2 кг/м³).

На подземных разработках различие пород по взрываемости меньше, однако большое значение имеет здесь вид работ — проведение выработок или очистная выемка. Сопротивляемость пород при проходке всегда выше из-за меньшего числа свободных поверхностей. Между буримостью и взрываемостью полного соответствия нет: не всегда легкобуримые породы являются и легковзрываемыми и наоборот.

1.5. УСТОЙЧИВОСТЬ И РАЗРЫХЛЯЕМОСТЬ ПОРОД

В процессе производства взрывных работ в подземных условиях важны такие свойства пород, как их устойчивость и разрыхляемость. Первое важно при проведении подземных выработок, второе — при взрывном разрушении больших рудных массивов.

Устойчивость — способность породы не обрушаться при той или иной степени обнажения в массиве. По степени устойчивости породы бывают: слабые, средние, устойчивые и весьма устойчивые. К первым двум группам, требующим надежного крепления, относят мягкие, плотные, осадочные и полускальные породы, разбитые интенсивной сетью трещин. К другим группам относят крепкие монолитные скальные породы, не требующие, как правило, крепления.

От устойчивости зависит возможность вывалов породы при проведении горных выработок, выбор системы разработки месторождения, параметры взрывов, конструкция и параметры крепления выработанного пространства.

Разрыхляемость — способность породы занимать больший объем при отделении ее от массива по сравнению с тем, который она занимала в массиве. Зависит от структуры, а также физико-механических свойств и степени разрушения породы. Наибольшей разрыхляемостью обладают скальные породы, разрушенные на куски больших размеров (например, базальты, кварциты), наименьшей — сыпучие (песок, гравий и др.).

Характеризуют разрыхляемость *коэффициентом разрыхления*, который показывает, во сколько раз объем разрушенной породы превышает ее объем в массиве. Изменяется коэффициент разрыхления от 1,1—1,2 (пески) до 1,8—2,5 (весьма крепкие породы). Большое влияние на него оказывает крупность кусков: при размере основной массы (больше 60—70 %) кусков менее 400 мм коэффициент разрыхления не превышает 1,2—1,4; при размере до 2000 мм — превышает 2,0—2,2. В транспортных сосудах коэффициент разрыхления пород больше, чем во взорванной массе. Для взрывания в подземных условиях важно, чтобы увеличение объема разрушаемой породы компенсировалось заблаговременно созданной полостью соответствующего объема. В условиях ограниченного свободного пространства взрываемость пород уменьшается, а удельный расход взрывчатых веществ возрастает.

1.6. КУСКОВАТОСТЬ РУДЫ

В результате разрушающего воздействия на горный массив образуется горная (рудная) масса, состоящая из кусков разных размеров: от пылевидных частиц до неразрушенных блоков. Интенсивность разрушения, качество подготовки руды

к выемке и последующей обработке, а также объемы работ по дополнительному разрушению недостаточно разрушенных кусков можно оценить с помощью показателя кусковатости.

Кусковатость (гранулометрический состав) — характеризуется процентным содержанием в руде кусков различной крупности. Иногда ее оценивают по среднему размеру куска, учитывая, что между ним и содержанием в рудной массе крупных кусков имеется тесная взаимосвязь. Наибольшее значение на производстве имеет содержание в горной массе кусков особо крупных размеров.

Кусок руды или породы, размер которого превышает максимально допустимый по техническим условиям разработки (не соответствует ширине отверстий просеивающих решеток, установленных в пунктах выдачи руды, или размерам транспортных сосудов, дробилок и др.), называется *некондиционным* (негабаритным). Суммарное содержание негабаритных кусков (негабаритов) в горной массе, выраженное в процентах, называется *выходом негабарита*.

Негабаритные куски подвергают дополнительному разрушению на более мелкие кондиционные части так называемым *вторичным дроблением*. Разрушают их повторным взрыванием для удобства выемки и погрузки, транспортирования и дальнейшей технологической переработки на обогатительных фабриках или перерабатывающих предприятиях.

Определяют кусковатость прямыми и косвенными методами. При прямых методах измеряют, например, объемы, площади поперечного сечения или наибольшие размеры кусков выделенной фракции и подсчитывают их процентное содержание в общей массе. Получают относительное содержание кусков данной фракции.

Косвенные методы основаны на учете расхода взрывчатых материалов на вторичное дробление (при знании удельного расхода материалов на единицу объема негабарита) или на определении других показателей (например, производительности экскаватора или дробилки, зависящей от кусковатости).

Выход негабарита является показателем качества буровзрывных работ. С повышением выхода негабаритных кусков растут затраты не только на вторичное дробление, но и на выпуск, погрузку и транспортирование горной массы. В зависимости от условий отбойки и доставки выход негабарита достигает 25—35 %.

2.1. ГОРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

Чтобы добыть полезное ископаемое, необходимо его вскрыть, отделить от горного массива и извлечь на поверхность. Совокупность работ, производимых в толще земной коры с целью промышленной добычи полезного ископаемого и создания различных полостей или выемок, называют *горными работами*. Выполняют их горнопромышленные (горные) предприятия.

Совокупность специальных технических средств и экономически целесообразных и безопасных технологических процессов по вскрытию полезного ископаемого, отделению его от массива и извлечению из недр на поверхность называют *способом добычи* (разработки месторождения) полезного ископаемого. Известны следующие способы разработки месторождений: подземный, открытый, дражный, со дна морей и океанов, физико-химический.

Подземный способ характеризуется извлечением полезного ископаемого из толщи земных недр с выдачей на поверхность через специальные горные выработки. *Открытый способ* характеризуется комплексом работ по извлечению полезного ископаемого и пустых покрывающих и вмещающих пород непосредственно с поверхности. *Дражным способом* разрабатывают подводные россыпные месторождения глубиной до 50 м с помощью плавучей горной машины — драги.

Способ добычи полезных ископаемых со дна морей и океанов и *физико-химические способы* все интенсивнее развиваются в последние годы в разных странах. Учитывая, что на дне морей и океанов сосредоточены огромные запасы ценных ископаемых, можно видеть перспективность способа. Большое будущее у физико-химических способов добычи, в основе которых заложены физические, физико-химические, биохимические и другие процессы отделения полезного ископаемого от массива и извлечения на поверхность.

Горное предприятие, осуществляющее добычу полезного ископаемого подземным способом с отгрузкой его потребителю или на центральную обогатительную фабрику, называют *шахтой*, а при разработке рудного месторождения — *рудником*.

Современные отечественные шахты являются сложными высокомеханизированными предприятиями, ежегодно осуществляющими разрушение и перемещение десятков миллионов тонн горных пород. На предприятиях работают различные высокопроизводительные горные машины, горнотранспортное и подъемное оборудование, средства вентиляции и механизации вспомогательных процессов, а также широко используется энергия взрыва при все большей степени механизации взрывных работ.

Состоят шахты из наземных сооружений и системы подземных горных выработок. В зависимости от размеров месторождения могут разрабатываться одной или несколькими шахтами. Месторождение или его часть, отведенную для разработки одной шахтой, называют *шахтным полем*.

Размеры шахтного поля устанавливают в соответствии с производственной мощностью шахты и мощностью залежи таким образом, чтобы при рациональной производительности шахты (обычно в пределах 1—5 млн. т в год) срок службы был не менее 50—60 лет.

2.2. ПРОЦЕССЫ ГОРНЫХ РАБОТ

Непосредственно на руднике горные работы заключаются в выемке и перемещении на поверхность полезного ископаемого и мешающих доступу к руде пустых пород, а также в креплении выработанного пространства, образующегося при выемке. Соответственно выделяют *основные процессы горных работ*: подготовку пород и полезного ископаемого к выемке, выемочно-погрузочные операции, транспортирование горной массы, крепление выработанного пространства, складирование пустых пород и разгрузку или складирование полезных ископаемых. Если на руднике производят первичное обогащение или переработку полезного ископаемого до конечного продукта, они также входят в состав основных процессов.

Для обеспечения производства работ выполняют *ряд вспомогательных процессов*: вентиляцию, электроснабжение, водотлив, ремонт оборудования и др. Каждый основной процесс сопровождается вспомогательными работами, без которых его осуществление невозможно или затруднительно.

Способ производства и средства механизации горных работ зависят в первую очередь от сопротивляемости пород технологическому разрушению.

Сыпучие и мягкие породы (пески, суглинки и др.) непосредственно отделяют от массива механическим и гидравлическим способами. В плотных породах (тяжелых глинах, гипсе, меле и др.) ряд работ выполняют с помощью взрыва.

Полускальные породы (сланцы, мягкие известняки и песчаники, алевролиты и др.) с трудом разрабатываются машинами и могут подготавливаться к выемке энергией взрыва. Скальные породы с коэффициентом крепости $f \geq 6 \div 8$ разрабатывают только взрывным способом.

2.3. БУРОВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ

Подготовку горных пород к выемке производят с целью обеспечения безопасности работ и качества добываемого сырья, возможности и эффективности применения технических средств в основных процессах. Процессами подготовки скальных и по-

лускальных пород к выемке являются бурение и взрывание. Их выполняют для получения отбитой от массива и раздробленной до кусков заданных размеров горной массы, пригодной для выемки, транспортирования и дальнейшей переработке с наименьшими материальными и трудовыми затратами.

Разрушение породного массива при буровзрывных работах производят энергией взрыва специально применяемых взрывчатых веществ. Для достижения максимального разрушающего эффекта взрывчатые вещества помещают в специальные замкнутые взрывные (зарядные) полости. Их подготавливают в горном массиве *бурением*, поэтому весь комплекс работ по разрушению пород называют *буровзрывными работами*. Взрывными полостями служат шпуры, скважины и камеры.

Шпуром называют цилиндрическую полость в горной породе, имеющую глубину до 5 м и диаметр до 75 мм. Цилиндрическую полость, пробуренную глубиной более 5 м и диаметром более 75 мм, называют *скважиной*.

Начало шпура и скважины называют *устьем*, дно — *забоем*, внутренние боковые поверхности — *стенками*. По направлению бурения шпуры и скважины подразделяют на горизонтальные, наклонные и вертикальные. Наклонные шпуры, пробуренные сверху вниз, называют падающими, снизу вверх — восстающими. Расстояние между устьем и забоем шпура и скважины определяет их глубину.

Камерой называют выполненную в породе полость, имеющую при сравнительно больших поперечных размерах небольшую длину.

Буровзрывные работы не только позволяют произвести выемку пород, не разрушаемых другими способами, но и определяют трудоемкость и себестоимость остальных процессов и добычи в целом. Например, интенсивное взрывное дробление резко уменьшает объемы крупного и среднего дробления на обогатительных фабриках, повышает производительность погрузочных машин, увеличивает выход полезного компонента в руде. В себестоимости добычи руд удельные затраты на буровзрывные работы могут составлять от 5—10 % до 25—35 % и более. Наиболее велик их удельный вес при проведении горных выработок, однако суммарные затраты на проведение выработок меньше, чем при других способах, особенно при проведении криволинейных выработок небольшой длины и в крепких породах.

Основными процессами буровзрывных работ являются *бурение*, *заряжание* и *взрывание*. Заряжением называют процесс введения взрывчатых веществ в зарядные полости и подготовки к взрыву.

2.4. ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ

В результате выполнения горных работ в земной толще образуются полости, называемые *горными выработками*. Они различны по назначению, положению в пространстве относительно земной поверхности, форме и размерам, по времени функционирования.

По назначению горные выработки разделяют на *разведочные*, если их проводят для поисков и разведки, и *эксплуатационные*, если их проводят для разработки месторождений. Эксплуатационные разделяют на *добычные* или *очистные* (в них производят выемку полезного ископаемого) и *обслуживающие* (предназначенные для транспорта, вентиляции и других целей) выработки. В свою очередь, обслуживающие выработки состоят из *вскрывающих* — главных и вспомогательных, обеспечивающих доступ к залежи, *подготовительных* (обеспечивают подготовку руд к выемке) и *специальных* (для размещения различных служб и оборудования). *Вспомогательными* являются выработки для вентиляции, передвижения людей, транспортирования породы, доставки материалов и других целей. *Главными* считаются выработки, предназначенные для транспортирования полезного ископаемого.

Относительно земной поверхности выработки могут быть *открытыми* (карьерными), если расположены на поверхности, и *подземными* (шахтными), проводимыми в толще земной коры.

По форме поперечного сечения подземные выработки различают прямоугольные, трапециевидные, круглые, полигональные, несимметричные, сводчатые, эллиптические и с почвенным сводом. Протяженность их от нескольких метров до нескольких километров, площадь поперечного сечения от 1—2 м² до 60—80 м², диаметр (ширина, высота) от 1,5 до 12 м.

Элементами выработки являются: кровля, почва, забой, устье и бока. Забой выработки — это поверхность полезного ископаемого или вмещающих пород, передвигающаяся в пространстве, с которой непосредственно осуществляется их выемка. Устье — место примыкания подземной выработки к поверхности или к другой выработке. Кровлей, почвой и боками называют соответственно верхнюю, нижнюю и боковые ограничивающие выработку поверхности.

По времени функционирования выработки могут быть: долговременными, или *капитальными* (действуют более 10 лет); кратковременными, или *участковыми* (срок службы до 10 лет) и *временными* (функционируют до года).

В зависимости от положения в пространстве подземные выработки большей протяженности подразделяются на вертикальные, наклонные и горизонтальные. К вертикальным выработкам относят стволы, слепые стволы, шурфы и воестающие.

Ствол — вертикальная (иногда наклонная) горная выработка с непосредственным выходом на поверхность (рис. 1).

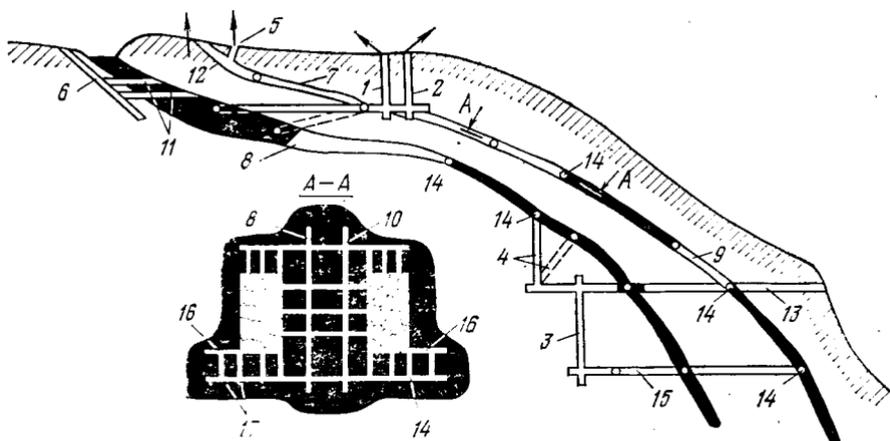


Рис. 1. Подземные горные выработки:

1 — главный ствол; 2 — вспомогательный ствол; 3 — слевой ствол; 4 — гезенк (восстающий); 5 — шурф; 6 — наклонный ствол; 7 — бремсберг; 8 — уклон; 9 — скат; 10 — ходок; 11 — орт; 12 — наклонный шурф; 13 — штольня; 14 — штреки; 15 — квершлаг; 16 — просеки; 17 — печи

Предназначен для обслуживания подземных работ: транспортирования полезного ископаемого и пустых пород, оборудования и материалов, спуска-подъема людей, откачки воды, подачи энергии, для проветривания. Различают *стволы главные* (для подъема руды) и *вспомогательные*: грузо-людские — для спуска-подъема людей, оборудования, материалов, породы; вентиляционные — для проветривания выработок; водоотливные — для откачки воды и др. При выполнении нескольких функций одновременно стволы называют по главной из них. Иногда называют по виду подъемных сосудов — скиповые, клетевые, скипо-клетевые.

По форме поперечного сечения стволы разделяют на круглые, прямоугольные, эллиптические. Диаметр стволов от 3—5 м до 10—12 м, глубина до 1000 м и более. Диаметр вентиляционных стволов до 5,5—6,5 м.

Комплекс работ, выполняемых для создания горной выработки, называют *проведением (проходкой) выработки*. Совокупность работ по возведению искусственного сооружения для предотвращения обрушения окружающих пород и сохранения необходимых размеров поперечного сечения выработки называют *креплением выработки*. Искусственное сооружение называют *горной крепью*.

Стволы с большим сроком службы проходят круглого сечения и крепят постоянной сплошной жесткой крепью. Крепь противодействует горному давлению, стремящемуся разрушить и переместить внутрь выработки прилегающие к ней породы. Сопrotивляемость пород давлению определяет их прочность,

в зависимости от которой толщину крепи принимают 200—500 мм и более.

Для направления движения подъемных сосудов, крепления труб и кабелей, устройства лестничных отделений (для перемещения людей в аварийных случаях) стволы армируют расстрелами и направляющими проводниками. *Расстрелы* — несущие балки, заделанные концами в стенке ствола и предназначенные для крепления проводников, полков лестничного отделения и трубопроводов. *Направляющие проводники* — закрепляемые на расстрелах брусья, балки, рельсы или канаты, препятствующие боковым перемещениям и вращению подъемных сосудов при движении в стволе.

Сечение ствола расстрелами делят на подъемное, лестничное, трубокабельное и другие. Расстрелы, к которым прикрепляют проводники, называются главными, а остальные — вспомогательными.

С горизонтальными выработками ствол сопряжен системой выработок, называемой *околоствольным двором*. Для погрузки руды и породы выполняют приствольные загрузочные камеры.

Слепой ствол — вертикальная выработка, не имеющая непосредственного выхода на земную поверхность. Предназначен для подъема полезного ископаемого с нижних горизонтов на верхние. Может быть использован для вентиляции, спуска-подъема людей, материалов, оборудования, породы.

Шурф — вертикальная (реже наклонная) неглубокая (до нескольких десятков метров) выработка обычно прямоугольной площади сечения, проведенная с поверхности. Оснащена легким вспомогательным подъемом, используется для вентиляции, водоотлива, доставки материалов, спуска-подъема людей.

Восстающий — вертикальная или наклонная выработка, проводимая по восстанию залежи, предназначенная для спуска руды или породы, проветривания, передвижения людей, доставки материалов и оборудования, подачи энергии и воды, а также для разведочных целей. Длина восстающих от нескольких метров до 60—80 м.

При подготовке руды к выемке проводят *разрезной восстающий*, развиваемый в *разрезную щель*, отличающуюся значительной шириной по простиранию залежи. В системах с закладкой восстающий служит для транспортирования закладочного материала. Для наблюдения за ходом обрушения и выпуска руды проходят за границей залежи *смотровые восстающие*.

Небольшой площади сечения (1—4 м² и редко больше) вертикальные или наклонные выработки, предназначенные для перепуска руды (породы) под действием собственной массы, называются рудоспусками (породоспусками). Проводят их из выработок грохочения и скреперования к месту погрузки руды в транспортные сосуды с верхнего горизонта на нижний. Длина рудоспусков может быть до нескольких десятков метров.

Применяемые для выпуска отбитой или обрушенной руды из очистного пространства на выработки грохочения или скреперования короткие (до 10—15 м) восстающие называют *дучками*. Верхнюю часть дучек для улучшения приема руды с большой площади очистного пространства расширяют в виде воронок. Обычно дучки не крепят.

2.5. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ И НАКЛОННЫЕ ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ

К горизонтальным выработкам относят штольни, квершлагги, штреки, орты, просеки; к наклонным — бремсберги, уклоны, скаты, ходки, печи, сбойки, а также наклонные стволы и шурфы. Площадь их поперечного сечения от 1,5—2,0 м² до 20 м² и более, длина — от нескольких метров до километров.

Штольня — горизонтальная выработка, имеющая непосредственный выход на поверхность, предназначенная для обслуживания подземных горных работ. По функциям аналогична стволу.

Квершлаг — горизонтальная (реже наклонная) выработка, не имеющая непосредственного выхода на поверхность, проведенная по вмещающим породам вкрест простирания залежи. Используется для транспорта, вентиляции, передвижения людей, водоотлива, прокладки линий связи и электрокабелей. В зависимости от обслуживаемого участка различают главные, горизонтные, блоковые, панельные, этажные, участковые квершлагги.

Штрек — горизонтальная выработка, проведенная по простиранию наклонно залегающего месторождения или в любом направлении при горизонтальном его залегании. Угол наклона не более 3°. Служит для транспортирования грузов, передвижения людей, вентиляции. Разделяются на *откаточные* (транспортные), предназначенные в основном для доставки полезного ископаемого и подвода свежего воздуха, и *вентиляционные* — для отвода отработанной воздушной струи. Штрек, по которому идет основной поток грузов, называют *главным*. Штрек, расположенный в днище выемочного участка и служащий для скреперной доставки выпускаемой на его почву руды, называют *скреперным* (штреком скреперования). Этажный штрек обслуживает работы в выше- или нижележащем этаже шахтного поля.

Штреки, проводимые по пустым породам, называют *полевыми*; по руде — *рудными*.

Орт — горизонтальная выработка, не имеющая непосредственного выхода на поверхность, проведенная вкрест простирания месторождения (при крутом и наклонном падении). Служит для транспортирования грузов, проветривания, передвижения людей. Орт, служащий для скреперной доставки выпускаемой на его почву руды, называют *скреперным*.

Просек — горизонтальная вспомогательная выработка, проводимая в толще залежи по ее простираению параллельно штрекам. От штреков отличается меньшими размерами, соединяется со штреками с помощью печей. Необходим для соединения очистного забоя с примыкающими выемочными выработками.

Основными формами поперечного сечения горизонтальных выработок являются трапецевидная, сводчатая и круглая. В выработках трапецевидной формы рациональней размещать трубы и кабели; выработки сводчатой формы более устойчивы за счет работы крепи на сжатие.

Поперечное сечение выработок определяется размерами размещаемого в них оборудования, зазорами между оборудованием и крепью, проходами для передвижения людей и необходимым количеством воздуха, подаваемым с допустимой скоростью. Откаточные выработки одно- или двухпутные. Различают размеры выработок в проходке, вчерне и в свету крепи. Размеры в свету крепи устанавливаются в соответствии с указанными нормами; размеры вчерне складываются из размеров в свету и толщины крепи; размеры в проходке зависят от переборов породы при взрывах, доходящих до 10—30 % площади вчерне.

По сроку службы крепь бывает постоянной и временной. Временную крепь устанавливают при проходке, затем заменяют ее на постоянную на весь срок службы выработки. *По характеру работы* различают жесткую, податливую и шарнирную крепь. *По конструкции* выделяют рамную, сплошную, бесстоечную и смешанную крепи, анкерную; *по материалу* — деревянные, металлические, каменные, бетонные и железобетонные.

Технология проведения наклонных выработок аналогична технологии проведения горизонтальных (при угле наклона меньше 45°) или вертикальных выработок (при угле наклона более 45°).

Шурф — вертикальная (реже наклонная) неглубокая выработка прямоугольной площади сечения, проведенная с поверхности.

Бремсберг — наклонная выработка, проведенная по падению залежи, предназначена для спуска полезного ископаемого на откаточный горизонт этажа или шахты. Вспомогательный бремсберг проводят параллельно основному для спуска породы и других грузов, а также подъема материалов и оборудования. Оснащен канатной откаткой и дополнительно служит для вентиляции.

Уклон — наклонная выработка, предназначенная для подъема полезного ископаемого на откаточный горизонт. Как и бремсберг, оснащен конвейером или канатной откаткой.

Скат — наклонная выработка, предназначенная для спуска различных грузов под действием собственной массы. Скаты именуют по типу спускаемого груза.

Ходок — наклонная или горизонтальная выработка, оборудованная трапами и предназначенная преимущественно для передвижения людей. Проводят ходки обычно рядом с уклонами, скатами и бремсбергами либо из откаточного штрека в очистные камеры.

Печь — наклонная выработка, проводимая по восстанью залежи и служащая для проветривания, доставки грузов и передвижения людей. Печь, из которой начинают добычу, называют разрезной.

Сбойка — наклонная или горизонтальная выработка, проводимая в процессе вскрытия между двумя главными выработками (стволами, штольнями, штреками) в основном для проветривания.

2.6. КАМЕРНЫЕ ВЫРАБОТКИ

Камерные выработки относятся к специальным горным выработкам. Предназначены для различных целей: капитальные, в основном, расположены около шахтных стволов, входя в состав выработок околоствольного двора, используются также в качестве буровых, взрывных, очистных, компенсационных, смесительных и других выработок.

Буровая камера предназначена для работ по обурированию окружающего рудного массива. Во *взрывные камеры* помещают взрывчатые вещества. *Очистная камера* представляет собой выработку с очистным забоем небольшой (5—10 м) длины, ограниченную по бокам массивом или целиками (оставленными частями массива для предупреждения его обрушения) полезного ископаемого.

Компенсационную камеру проводят в подготовленной к массовой отбойке и обрушению части рудной залежи для создания пространства, компенсирующего увеличение объема руды при ее разрыхлении в момент взрыва. Объем камер 15—30 % объема разрушаемого массива; выполняются камеры вертикальными и горизонтальными.

В *смесительных камерах* устанавливают смесительные устройства; в *камерах дробления* и в *камерах грохочения*, расположенных в днищах очистных блоков, производят дробление негабаритов. Большое число камер находится в околоствольном дворе. Назначение околоствольного двора: приемка руды и породы, поступающей к главному стволу шахты, формирование порожняковых составов, разгрузка поступающих с поверхности материалов и оборудования. Во многом он определяет производительность шахты.

Используют *петлевые* (рис. 2, а) и *челноковые* (рис. 2, б) схемы построения околоствольного двора. Из выработок дворов около 50—65 % их длины относится к прямолинейным выработкам, а 35—50 % составляют закругления, заезды и криволинейные участки. Около 50—60 % откаточных выработок одно-

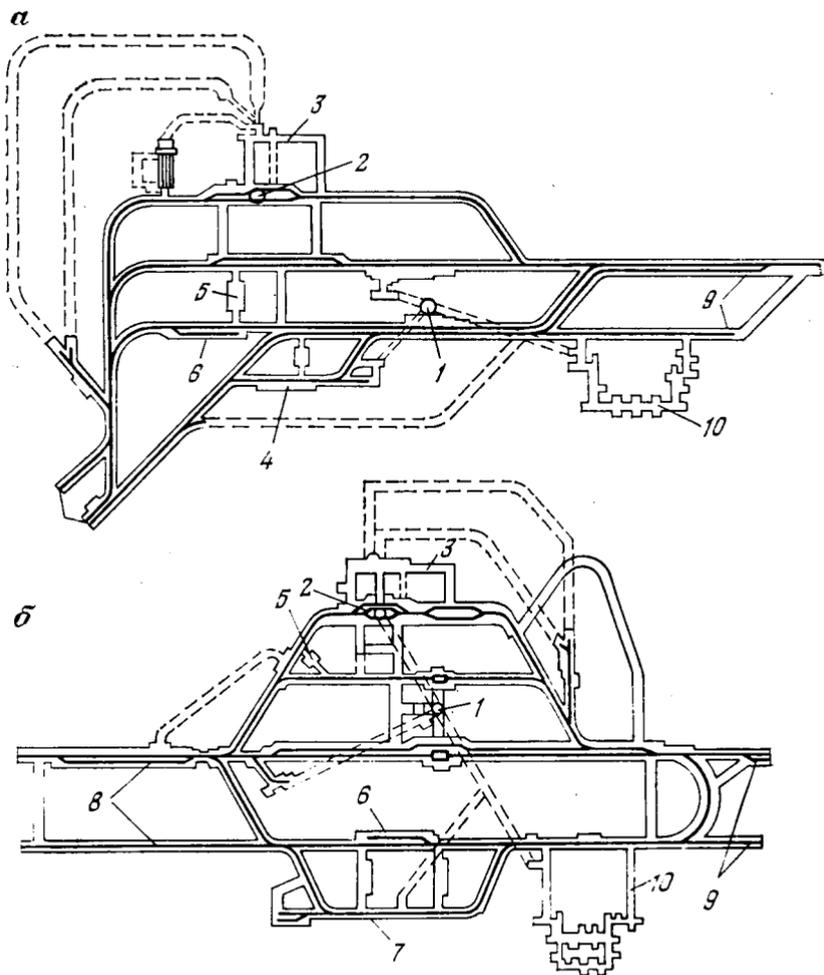


Рис. 2. Схемы околоствольных дворов шахт:

1 — скиповый ствол; 2 — клетевой ствол; 3 — электроподстанция и насосная; 4 — зарядная; 5 — медпункт; 6 — камера противопожарного поезда; 7 — гараж; 8 и 9 — грузовой и порожняковый квершлагги; 10 — склад взрывчатых материалов

путные, 40—50 % — двухпутные. В общем объеме околоствольного двора выработки, предназначенные для откатки и маневров, составляют 55—65 % и камеры — 35—45 %.

Предназначены камеры для размещения различных служб и оборудования: насосной центральной водоотлива, центральной электроподстанции, противопожарного поезда, медпункта, диспетчерской, гаража, опрокидывателя и толкателя, загрузочного устройства скипового ствола, ремонтных мастерских, склада

взрывчатых материалов и др. Проводят камеры параллельно основным выработкам — грузовой и порожняковой ветвям скипового и клетового стволов. Общее число типоразмеров сечений протяженных выработок и камер находится в пределах 20—40, в том числе камер с примыкающими выработками — от 12 до 20 типоразмеров.

Размеры камер определяются их назначением. Площадь поперечного сечения камер околоствольного двора, буровых и взрывных может быть от 3—5 м² до 80—100 м², длина — от 2—5 м до 60—80 м, объемы — от 4—10 м³ до 700—900 м³. Размеры очистных камер зависят от устойчивости пород и их объем достигает тысяч м³; объемы компенсационных камер определяются также объемами отбиваемых пород и достигают десятков тысяч м³.

Глава 3

ПРОВЕДЕНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

3.1. ВСКРЫТИЕ И ПОДГОТОВКА ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ И СПОСОБЫ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫРАБОТОК

Разработку месторождений полезных ископаемых производят в три этапа. Первоначально вскрывают шахтное поле, затем подготавливают его к выемке, после чего приступают к очистным работам.

Вскрытие шахтного поля — проведение комплекса капитальных выработок, открывающих доступ с поверхности к месторождению или его части и обеспечивающих проведение остальных, необходимых для выемки полезного ископаемого выработок.

Подготовка шахтного поля — проведение комплекса *подготовительных* выработок преимущественно по полезному ископаемому после вскрытия шахтного поля, обеспечивающих очистную выемку. Часть их, которая служит для отбойки, доставки, вторичного дробления, спуска руды, для создания дополнительной обнаженной поверхности компенсационного пространства, ослабления связи отбиваемой руды с основным массивом, вентиляции, называют *нарезными*.

Очистные работы — комплекс процессов, операций, производимых в очистных выработках с целью извлечения полезного ископаемого. При значительной длине очистного забоя выработку называют *лавой*.

Капитальными выработками являются вертикальные и наклонные шахтные стволы, штольни, выработки околоствольного двора, бремсберги и уклоны с ходками, слепые стволы, гезенки, квершлагги и главные штреки. Их проводят по устойчивым породам, стремясь расположить так, чтобы расходы на транспорт, водоотлив и вентиляцию были минимальными. Требования

к подготовительным выработкам менее жесткие вследствие меньшего срока их службы. *Подготовительные* выработки: откаточные и вентиляционные штреки, просеки, орты, скаты, сбойки, дучки, рудоспуски, разрезные восстающие. Нарезными из них могут быть штреки и орты, рудоспуски, дучки, сбойки, восстающие.

Способы вскрытия различают по типу главных вскрывающих выработок, проводимых с поверхности, и по числу горизонтов подъема полезного ископаемого на поверхность.

Применяют следующие *схемы вскрытия*: а) с центральным расположением главного и вентиляционного стволов (оба расположены примерно в центре шахтного поля); б) с центрально-отнесенным расположением (главный ствол расположен в центре шахтного поля, а вентиляционный — у границы поля по восстанию); в) с фланговым расположением (главный ствол расположен в центре шахтного поля, а два вентиляционных — на флангах); г) с комбинированным расположением (два основных ствола расположены в центре шахтного поля, а третий, вспомогательный — отнесен к его верхней границе).

Выбор системы вскрытия определяется большим числом геологических и технико-экономических факторов, типом месторождения, формой и размерами рудного тела, свойствами вмещающих и покрывающих пород, рельефом местности и др. Значение факторов неравноценное. Например, в гористой местности важен рельеф — эффективно вскрытие штольнями; мощные залежи рационально разрабатывать многогоризонтным вскрытием.

Каждое шахтное поле имеет *границы*. Верхнюю границу поля называют границей по восстанию, нижнюю — границей по падению, боковые — границами по простиранию. Для удобства отработки большие поля делят выработками на крылья, бремсберговые и уклонные поля, а также на этажи, панели, горизонты, блоки (рис. 3).

Крыло — часть шахтного поля, расположенная слева или справа по простиранию от ствола шахты. При заложении стволов в центральных частях полей поля делятся на два крыла. Если размах крыльев одинаков, поле *равнокрылое*, если нет — *неравнокрылое*. Когда ствол смещают к границе поля по простиранию, поле может быть *однокрылым*.

По линии падения выделяют *поле по восстанию*, или бремсберговое поле, под которым понимают часть шахтного поля выше горизонта с околовольным двором. Ниже основного горизонта шахты находится *поле по падению*, или уклонное поле.

Этаж — часть шахтного поля, ограниченная по падению откаточным и вентиляционным штреками, по простиранию — границами шахтного поля. Все этажи обслуживаются по восстанию капитальным бремсбергом, а по падению — капитальным уклоном. Различают *наклонную высоту* этажа и *вертикальную*. Наклонная высота представляет собой расстояние между этажными штреками по падению пласта.

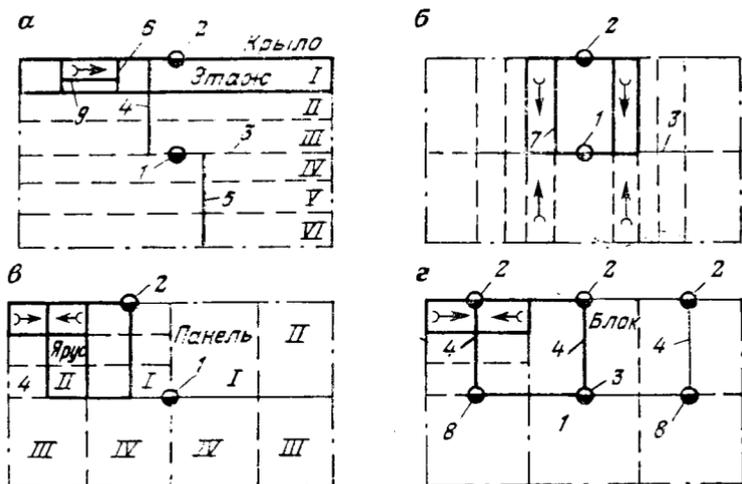


Рис. 3. Схемы подготовки шахтного поля:

а — этажная; б — погоризонтная; в — панельная; г — блоковая; 1 — главный ствол; 2 — вентиляционный ствол; 3 — главный откаточный штрек; 4 — бремсберг; 5 — уклон; 6 — выемочное поле; 7 — выемочный столб; 8 — воздухоподающий ствол; 9 — подэтажный штрек; I, II, III, ..., VI — последовательность отработки этажей и панелей

По простиранию крыло этажа делят на более мелкие части, в каждой из которых проводят участковые бремсберги или скаты. Часть этажа, обслуживаемая участковым бремсбергом или скатом, называется *выемочным полем*. По падению выемочные поля разделяют на части — *подэтажи*, в каждом из которых располагают по одной лаве. Границами между подэтажами являются подэтажные (промежуточные) штреки.

Панель — часть разделенного по простиранию или по падению шахтного поля. На середине каждой панели проводят обычно панельный бремсберг или уклон от главного откаточного штрека, который делит панель на два крыла. По падению панели делят ярусными (выемочными) штреками на *ярусы*.

Блок — выемочный участок в пределах этажа.

Рудные поля делят обычно на *этажи*. При разработке кругопадающих залежей этажи делят на *блоки* (выемочные участки). В ряде случаев применяют подэтажную систему подготовки. Высоту этажей принимают в пределах 20—300 м, чаще — 60—80 м, высоту подэтажей — в пределах 5—50 м, чаще 8—12 м. По простиранию блоки ограничивают восстающими выработками: высота блока при этом равна высоте этажа, длина соответствует расстоянию между восстающими (от 15 до 100 м, обычно 50—60 м), а толщина определяется мощностью залежи (от 0,25 до 100 м и более).

Объемы работ по проведению выработок значительны. Примерно 40 % капитальных затрат расходуется на проведение выработок. Около 55—60 % всех выработок проходят с углом на-

клона менее 4°, 15—20 % при угле наклона более 45°. Длина 45—50 % выработок превышает 300 м, поперечное сечение 50—55 % выработок не больше 6 м², а 75—80 % — 8 м². Объемы горизонтальных и наклонных выработок в общем объеме выработок строящейся шахты составляют 60—70 %, объемы выработок околоствольных дворов — 10—15 %, а вертикальных стволов — 15—25 %. Однако сооружение стволов — наиболее трудоемкое и сложное звено строительства шахты. Стоимость их составляет 15—20 % стоимости строительства шахты, а продолжительность работ достигает 40—50 % общего времени строительства.

Проведение выработок складывается из совокупности *основных* (разрушение горного массива, уборка породы, возведение постоянной крепи и сооружение транспортных коммуникаций) и *вспомогательных* работ (установка временной крепи, настилка путей, устройство водоотводной канавки и разминовок, наращивание или передвигка конвейера).

Горный массив разрушают механическим или буровзрывным способом. Механическим способом проводят вертикальные, горизонтальные и наклонные выработки с углом наклона до 8—10° в породах с коэффициентом крепости по шкале проф. М. М. Протодяконова $f \leq 6 \div 8$. Буровзрывной способ универсален. Его применяют в различных породах при проведении выработок любого сечения и длины при любом угле наклона. Механический способ эффективен только в протяженных выработках. Минимально целесообразная годовая протяженность выработок, проводимых комбайнами, составляет от 800 до 3200 м в зависимости от типа комбайнового комплекса. В менее протяженных выработках затраты на монтаж и демонтаж комплекса превышают зачастую стоимость буровзрывной проходки.

По характеру взаимосвязи выполняемых процессов различают *поточную* и *циклическую* технологические схемы организации работ. При поточной технологии основные процессы совмещены во времени и горная масса практически непрерывно извлекается из забоя. Так работают с помощью проходческих комбайнов, когда одновременно с разрушением и уборкой породы возводят постоянную крепь, сооружают транспортные коммуникации и выполняют вспомогательные работы. При циклической технологии разрушение массива и выемку горной массы производят с перерывами, в течение которых выполняют другие основные процессы. Так проводят все выработки с помощью буровзрывных работ, когда бурение, зарядание и взрывание шпуров, проветривание, уборку породы выполняют в строгой последовательности.

3.2. ПРОХОДЧЕСКИЙ ЦИКЛ И БУРОВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ

При циклической технологии проведения выработок одни и те же рабочие процессы выполняются периодически и в определенной последовательности. Уборка породы, например, производится

Таблица 1

Наименование процесса	Объем работ на цикл	Число проходчиков	Продолжительность, мин	Число смен								
				1	2	3	4	5	6	7		
Бурение шпуров, м	87	4	60	80					80			
Заряжание шпуров, шт	46	—	35	4	35				4	35		
Взрывание и проветривание	—	—	15			15						15
Уборка породы, м ³	23,2	8	55			50	15					
Крепление (арочная крепь)	1,2	4	95	20		8	61	19	60	20		
Настилка пути, м	3	4	40	4	40		4	8	4			40
Установка манорельса, м	1,5	4	20	20					20			
Устройство водоотливной канавки, м	1,5	2	45	14					45			
Прочие вспомогательные работы	—	2	145	2	35				2			40
Регламентированный передрыв	—	10	15			19			2			15
						70						70

после ее отбойки, отбойка — после бурения и заряжания шпуров и т. д. Совокупность основных рабочих процессов, выполняемых в определенном порядке и обеспечивающих проведение выработки на заданную в соответствии с утвержденным паспортом величину подвигания, называют *проходческим циклом*. Время, в течение которого осуществляется цикл, называется *продолжительностью цикла*.

Работы выполняют комплексные бригады из 40—80 рабочих различных квалификаций. Бригады разделены на сменные звенья в соответствии с числом рабочих смен в сутки.

Для проведения выработок разрабатывают технологические паспорта работ. Они состоят из следующих основных частей: а) графика организации работ; б) графика выходов рабочих; в) паспорта крепления; г) паспорта буровзрывных работ; д) схемы проветривания забоя; е) схемы размещения проходческого оборудования; ж) таблицы технико-экономических показателей.

График организации работ учитывает все основные процессы проходческого цикла: бурение, заряжание, взрывание, проветривание, уборку породы, возведение временной и постоянной крепи. Он предусматривает их продолжительность, трудоемкость, последовательность и время проведения. В табл. 1 приведен график организации работ при проведении двухпутной горной выработки (площадь сечения в проходке 15,5 м², в свету — 12,1 м²) по породам средней крепости. Временная крепь выработки — предохранительная выдвижная, постоянная — металлическая арочная с железобетонными затяжками. В числителе показана продолжительность работ (в мин), в знаменателе — число рабочих. Продолжительность цикла 4 ч 15 мин.

График выходов рабочих устанавливает работающих в сменах и их профессии. В паспорте крепления содержатся данные по размерам выработки, конструкции и способе крепления. *Паспорт буровзрывных работ* регламентирует порядок и параметры выполнения буровзрывных работ.

Буровзрывные работы в проходческом цикле являются ведущими и определяют показатели проходки. На их долю приходится более 25 % трудовых и 50—60 % стоимостных затрат. Продолжительность буровзрывных работ в цикле составляет в среднем 50—60 %. При этом более 60—70 % времени затрачивают на бурение шпуров. Основные требования, предъявляемые к буровзрывным работам, следующие: максимальное использование глубины шпуров при заданном подвигании забоя, точное оконтуривание сечения выработки, сохранность призабойной крепи, равномерное дробление и минимальный разброс породы при качественной проработке подошвы выработки, которые обеспечивают эффективность ее погрузки и транспортирования.

Наиболее эффективна проходка при комплексной механизации всех процессов. Применяют различного типа бурильные машины и установки, пневматические и механические зарядчики, пневмозабойники, погрузочные и буропогрузочные машины, призабойные транспортные машины, крепеукладчики, путеукладчики, машины для сооружения водоотливных канавок, прокладки труб и кабелей, дренажных работ, побелки стен и др.

3.3. ПРОВЕДЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ ВЫРАБОТОК ПО ОДНОРОДНЫМ ПОРОДАМ

В *однородных* породах проводят все горизонтальные и наклонные выработки. Проведение выработок возможно тремя способами: сплошным забоем, опережающим забоем (штольной) малого сечения и уступным забоем. Наиболее распространена проходка сплошным забоем. Другие способы оправданы в выработках большого сечения (более 20 м², высота 4—5 м и более), а также при отсутствии соответствующего оборудования для работ на полное сечение.

При проведении выработок *сплошным забоем* выработку разрабатывают на всей площади забоя одновременно на одинаковую глубину. Эффект взрыва повышают, применяя поочередное с миллисекундными задержками (задержками) взрывание групп шпуровых зарядов. Взрывая первыми заряды в центральных (врубовых) шпурах, получают в центре забоя *вруб*, выемку, свободная поверхность которой облегчает работу взрыва остальных зарядов. В ряде случаев для создания вруба бурят передовую (опережающую) скважину.

Опережающим забоем выработки проводят методом шпуровых зарядов. Параллельно с центральной опережающей штольной (при проходке выработок большого сечения) проводят вспомогательную (нижнюю) штольную малого размера. Она служит для вентиляции и транспорта. Проводят обе штольные как обычные выработки небольшого сечения. До проектного сечения выработку расширяют взрыванием шпуров, пробуренных параллельными веерами из центральной штольной перпендикулярно

к оси выработки. Применяют параллельное оси выработки расположение шпуров.

Уступным забоем выработки проводят с нижним или верхним уступом. Площадь забоя опережающего уступа принимают равной 40—60 % всей площади поперечного сечения выработки. В каждом уступе выполняют свой проходческий цикл, организационно увязанный с работами цикла в другом уступе. Например, в одном уступе производят бурение шпуров, а в другом — уборку породы.

С нижним уступом проведение целесообразно в трещиноватых породах. До выемки нижнего уступа в верхней части выработки возводят постоянную или временную крепь. Отбойку породы нижнего уступа производят горизонтальными или нисходящими вертикальными и наклонными шпурами.

С верхним уступом выработки проводят в устойчивых породах. Нижний уступ вынимают при этом сплошным забоем на всю длину выработки или более чем на 100 м. Шпуры в верхнем уступе бурят горизонтально, параллельно кровле нижнего уступа, вертикально или наклонно с навала взорванной породы.

Способы проведения наклонных выработок зависят от угла их наклона. При углах наклона выработки к горизонту до 15° выполнение буровзрывных работ практически не отличается от характерного для горизонтальных выработок. При углах наклона 15—30° выработки с сечением более 20 м² проводят только по схеме с передовым забоем. Опережающую выработку выполняют с уклоном, соответствующим уклону выработки в целом. Особенность работ в выработках с углами наклона 30—45° заключается в применении в нижних шпурах уменьшенных зарядов, что возможно благодаря отбросу породы от забоя под действием собственной массы.

Все наклонные выработки, в которых перемещают грузы по рельсовым путям, оборудуют отделением для прохода людей.

Выработки с уклонами к горизонту более 45° проводят по схемам, аналогичным применяемым при проходке вертикальных выработок. Ходовое отделение оборудуется так же, как лестничное отделение вертикальных стволов.

Проводят *наклонные выработки* как сверху вниз, так и снизу вверх. Проведение снизу вверх предпочтительней вследствие уборки породы из забоя под действием собственной массы. Проходка сверху вниз более трудоемка из-за необходимости применения подъемных средств для выдачи породы из забоя, притока воды, усложняющего работы и отсутствия механических погрузчиков породы для выработок с углом наклона более 18°.

В *мягких породах* выработки проводят взрывами на уплотнение. Вдоль продольной оси выработки бурят центральную скважину диаметром 300—500 мм, длиной 25—100 м и заряжают ее сплошным зарядом на всю длину. За счет уплотнения грунта при взрыве образуется цилиндрическая выработка, диаметр которой в 6—10 раз превышает диаметр скважины.

Нормативные скорости проведения: полевых штреков — 70—80 м/мес; штреков по полезному ископаемому ниже средней крепости — 100—140 м/мес; квершлагов — 60—70 м/мес; бремсбергов и ходков — 60—120 м/мес; нарезных выработок — 80—100 м/мес; уклонов — 50—70 м/мес. Передовые бригады за счет снижения продолжительности проходческого цикла (в результате правильного выбора глубины, диаметра и числа шпуров в забое, применения производительных бурильных машин, совершенствования обменных операций при погрузке горной массы, снижения времени на зарядание, взрывание и проветривание забоя и совмещения в ряде случаев основных процессов) проводят квершлаг и полевые штреки со скоростями до 300—500 м/мес, штреки по руде — до 800 м/мес, бремсберги — до 1300 м/мес, уклоны — до 150 м/мес.

Безопасность проведения во многом определяется устойчивостью выработки. Отставание временной крепи от забоя не должно превышать величину одной заходки.

В неустойчивых породах ниже средней крепости применяют комбинированную схему работ — взрывомолотковый способ. Верхняя часть выработки при этом не взрывается, а контур выработки в ней оформляют отбойными молотками.

Для комплексной механизации процессов разработаны шесть типовых комплексов КГ для проведения горизонтальных выработок и два комплекса оборудования КУ-1 и КУ-2 для наклонных выработок при угле наклона до 25°.

3.4. ОСОБЕННОСТИ РАБОТ В НЕОДНОРОДНЫХ ПОРОДАХ

В *неоднородных* породах выработки проводят по тонкому пласту или рудной жиле и вмещающему массиву. Обычно это штреки. При их проведении извлекают полезное ископаемое и пустые породы. Попутное извлечение вмещающих пород для обеспечения требуемых размеров поперечного сечения выработки называют *подрывкой*.

Штреки, в зависимости от угла падения пласта, устойчивости вмещающих пород, назначения выработки и способа выдачи полезного ископаемого из очистного забоя, проводят с *подрыжкой почвы, кровли* или с *двусторонней подрыжкой* (рис. 4).

С подрыжкой почвы проводят откаточные штреки по пластам с углом падения меньше 10—12° и больше 55°. Породы кровли и почвы подрывают в штреках, проводимых по пластам с углом падения 25—55°. При угле падения пласта 12—25° место подрыжки может быть различным.

Выработки проводят двумя способами — *узким* и *широким забоями*. При проведении узким забоем породу из выработки выдают на поверхность или размещают в выработанном пространстве шахты. При широком забое полезное ископаемое вынимают на ширину большую, чем ширина выработки. Получен-

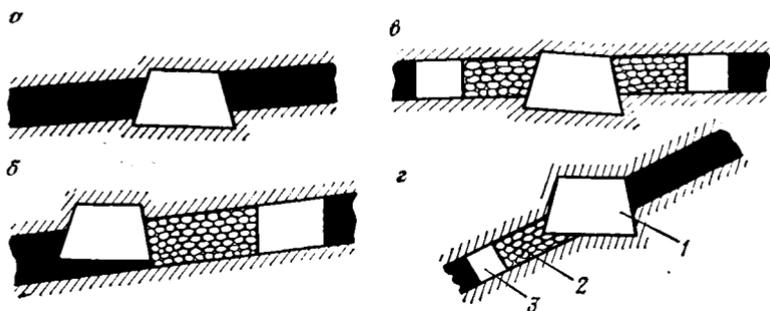


Рис. 4. Схемы проведения выработок в неоднородных породах:

а — узким забоем с нижней подрывкой; *б* — широким забоем с верхней подрывкой и верхней раскоской; *в* — с нижней подрывкой и двусторонней раскоской; *г* — с двусторонней подрывкой и нижней раскоской; 1 — штрек; 2 — бутовая полоса; 3 — косовичник

ное при этом выработанное пространство (раскоску) заполняют породой. У массива оставляют свободное пространство, образуя просек, называемый косовичником, шириной 1—2 м, для проветривания, стока воды, запасного выхода. По расположению относительно выработки раскоска может быть верхней, нижней или двусторонней.

Проводят выработку по двум схемам: *без разделения и с разделением* работ по руде и породе. По первой схеме выработки проводят сплошным забоем, по второй — руду вынимают раньше породы.

Работы по первой схеме не отличаются по существу от применяемых при проведении выработок по однородным породам. При раздельной выемке и выдаче руды и породы штрек проводят без опережения или с опережением породного забоя на 1,5—7,0 м рудным забоем. Сущность работ без опережения в том, что после выемки руды производится выемка породы на такую же глубину. Слагается цикл при проходке узким забоем из бурения шпуров, взрывания и выемки руды, подрывки и выемки породы, крепления штрека, настилки путей и вспомогательных работ.

Сущность проведения с опережением в том, что работы по руде совмещают с работами по породе. В опережающем рудном забое принимают последовательный порядок основных операций, а в отстающем породном забое бурение производят одновременно с погрузкой, за счет чего снижается продолжительность проходческого цикла и повышается скорость проведения.

Нормативные скорости проведения штреков узким забоем равны 90—120 м/мес, широким забоем — 70—80 м/мес. Максимально достигнутые скорости проведения соответственно превышают 550 и 450 м/мес.

3.5. ПРОХОДКА ШАХТНЫХ СТЕЛОВ

Проходка шахтных стелов значительно отличается от других проходческих работ.

Строительство начинают с *устья*, которым называют расположенную между поверхностью земли и коренными породами часть ствела. Проходят устья с выемкой пород на поверхность автокраном или экскаватором. Временную крепь заменяют на постоянную по достижении коренных пород. Выполняют крепь из монолитного бетона или железобетона толщиной у поверхности на глубине 2 м в пределах 1—1,5 м, а в остальной части — 0,5—0,9 м. Возводят крепь снизу вверх, начиная от *опорного венца*, представляющего собой расположенное на коренных породах бетонное утолщение крепи, воспринимающее нагрузки вышележащей части ствела. Для устройства запасного выхода, согласно правилам безопасности, а также калориферного или вентиляционного канала в крепи устья оставляют проемы.

Для производства работ монтируют оборудование для спуско-подъемных операций. В его состав входят: подъемные машины, постоянный или временный проходческий копер, подъемные сосуды, канаты для перемещения проходческого оборудования, направляющие устройства и приемные площадки на поверхности.

Металлический разборный *проходческий копер* в верхней части имеет подшивную площадку, на которой размещены направляющие шкивы для канатов подъемных сосудов и подвески проходческого оборудования — рабочего полка. На удалении 5—7 м от земной поверхности на копре расположена верхняя приемная площадка для поднимаемых бадей и их разгрузки в разгрузочные желоба. Площадка выполнена с ядами для пропуска бадей. На уровне поверхности земли оборудована нижняя приемная площадка, для чего устье ствела перекрывают полком, монтируя основную проходческую раму с деревянным настилом. Проемы в настиле для пропуска бадей, другого оборудования и аварийного передвижения людей перекрывают *ядами*. Управление ядами механизировано.

Рабочей площадкой, с которой возводят крепь, наращивают трубы, где устанавливают лебедки, тельферы, монорельсы пневмопогрузчиков и другое оборудование, служат *подвесные проходческие рабочие полки*. Распространение получили двухэтажные полки. В них предусмотрены проемы для пропуска бадей, подвесных насосов, различных труб и спасательных лестниц. Проемы для насосов и лестниц на обеих этажных площадках закрывают ядами, а проемы для бадей ограждают раструбами высотой более 140 см. Через эти проемы поднимают на поверхность и буровое оборудование перед взрывами.

В ствеле рабочие полки закрепляют с помощью гидродомкратов или выдвижных пальцев. Подвеска полка выполнена на канатах, рассчитанных с 6-кратным запасом прочности. Так как

полок должен двигаться как в незакрепленной, так и в закрепленной части ствола, его диаметр принимают на 120 мм меньшим диаметра ствола в свету. Зазор перекрывают откидными фартуками.

Проходку стволов ведут по трем технологическим схемам: последовательной, совмещенной и параллельной. *Последовательная* схема характеризуется разновременностью работ по выемке породы и возведению постоянной крепи. *Совмещенная* схема предполагает частичное совмещение этих работ. *Параллельная* схема предусматривает одновременную выемку пород и возведение постоянной крепи.

При последовательной схеме проходки достаточен один двухэтажный полок. Во время уборки породы он служит предохранительным. При других схемах одного полка недостаточно. Возведение постоянной крепи с нижнего этажа полка одновременно с выемкой породы, когда верхний этаж предохраняет крепильщиков от случайного падения кусков породы из бадей, возможно при защите работающих в забое от падающих кусков породы из бадей и с рабочего полка во время крепления. Для этого применяют дополнительный полок, называемый *натяжной рамой-полком*. Если для ускорения подготовки забоя к взрыву и к началу работ после взрыва полок выполняют с независимым от рабочего полка движением, его называют *полком-кареткой*. Помимо защитных полок-каретка выполняет и другие функции. Его оборудуют рамой для тельфера пневмопогрузчика и кабиной управления погрузчиком. На нем монтируют пневмосистему для подачи сжатого воздуха, кольцевой коллектор для питания бурльных машин, проходческие светильники, а также монорельс для передвижения погрузочной машины.

При проходке глубоких стволов с временной крепью выше рабочего полка помещают опорное кольцо, необходимое для перекрытия пространства между стенкой ствола и опалубкой при бетонировании. Соединено кольцо с рабочим полком цепями и подвешено к створчатой металлической опалубке. Последняя канатами подвешивается к подъемным лебедкам. Рабочий полок жестко связывают с металлическим цилиндрическим щитом, служащим временной крепью, под защитой которой на забое ведут работы. При проходке без временного крепления створчатая металлическая опалубка подвешивается ниже рабочего полка.

Подъемными сосудами служат *проходческие бадьи* и скипы. Применяют бадьи объемом 1,5—2,5 м³ и более. Для исключения раскачивания бадьи и увеличения скорости подъема используют направляющую рамку, движущуюся по некрутящимся канатам. Разгружают бадьи на поверхности опрокидыванием.

Погрузку породы осуществляют стволовыми погрузочными машинами с ковшовым или грейферным рабочим органом. Ковшовые погрузчики (ППН) выполнены на гусеничном ходу, грейферные (КС) — подвешивают к стенке ствола или к проходче-

скому полку. Выполнены они с круговым или секторным, ручным или механизированным вождением.

Воду из ствола откачивают подвесными проходческими или забойными насосами. Забойные насосы имеют малую производительность подачи (до 25 м³/ч) и создают низкие напоры (до 40 м). Их применяют при малых притоках воды с откачкой ее из забоя в бадью. Проходческие насосы более мощные и массивные — подача воды 35—70 м³/ч и напор 150—400 м.

Монолитную бетонную *крепь* возводят сверху вниз, вслед за забоем, с помощью передвижных металлических опалубок. Железобетонные и чугунные тубинги устанавливают с помощью пневмотельфера или пневмотали.

Для *бурения* шпуров применяют ручные перфораторы или ствольные бурильные установки типа БУКС-1М. Подвешивают установки к устройствам, перемещающим их по забою; состоят они из 2—4 бурильных машин, прикрепленных к раздвижной колонне. В рабочем положении колонна пневматически расправляется между забоем и тельфером погрузчика в соответствии со схемой обуривания забоя. Установки производительны, одна установка БУКС-1М заменяет в стволе 12—15 ручных перфораторов. В неглубоких стволах распространены буропогрузочные машины, снабженные попеременно навешиваемыми грейфером или бурильной установкой.

Полной механизации работ достигают при применении проходческих комплексов. Выпускают комплексы для проходки устья ствола, неглубоких стволов, стволов средней глубины и глубоких, а также для углубки стволов.

Проходческий цикл при работе комплекса, например, КС-10 по последовательной схеме начинается с уборки взорванной породы. Для этого рабочий двухэтажный полок 1 на канатах 2 опускают после взрыва на расстояние 15—20 м от забоя и ствольная погрузочная машина 3 с помощью грейфера 4 начинает частичную уборку породы 5 в бадью 6 (рис. 5). Затем на слой оставшейся породы 7 опускают опалубку 8 и по рукаву 9 и бетоноводу 10 подают бетон для монолитного крепления ствола. По окончании бетонирования убирают оставшуюся породу. На канат подъемной машины навешивают вместо грейфера бурильную установку и обуривают забой шпурами 11. Затем бурильную установку снимают, навешивают грейфер и поднимают полок на безопасное расстояние. Удаляют из забоя все оборудование и людей и производят взрыв, проветривают и осматривают ствол, после чего цикл работ повторяется.

Средние скорости проходки шахтных стволов составляют 70—80 м/мес, наибольшие скорости превышают 200—300 м/мес.

Значительный объем работ при проходке стволов приходится на их сопряжения с околоствольными дворами. Выполнение таких сопряжений носит название *рассечки околоствольного двора*. Производят рассечку, как и проходку стволов, по трем технологическим схемам: последовательной, совмещенной и

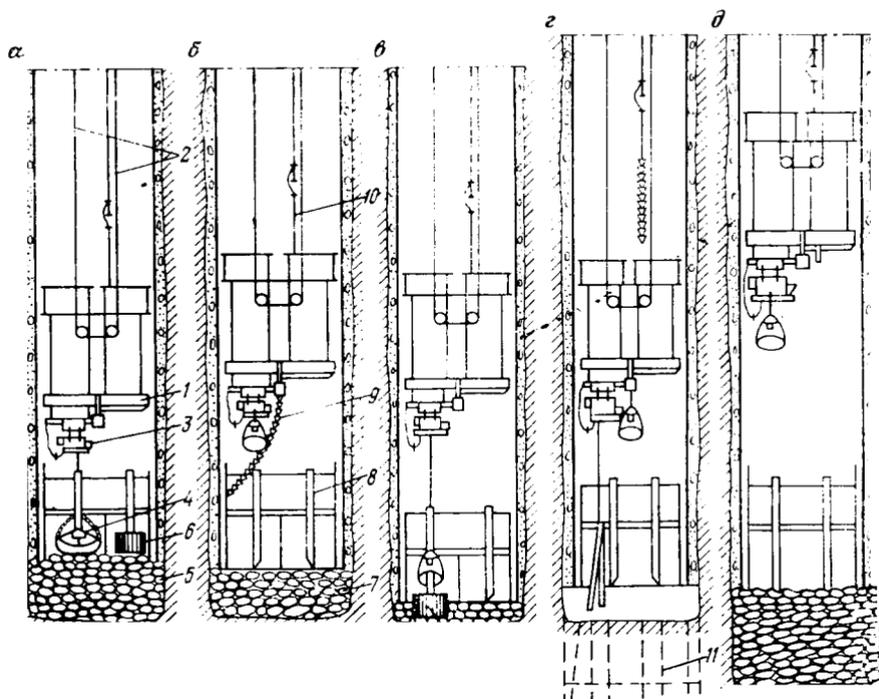


Рис. 5. Очередность выполнения операций при последовательной технологической схеме производства проходческих работ:

а — уборка основной части породы; *б* — возведение постоянной бетонной крепи; *в* — уборка оставшейся породы; *г* — бурение и зарядание шпуров; *д* — взрывание

параллельной. Высоту сопряжения ствола с грузовой и порожняковой ветвями околоствольного двора (3,5—4,5 м) принимают из условия возможности разгрузки длинномерных материалов. Размеры других сопряжений определяют размерами выработок.

Различают три варианта последовательной схемы: первый вариант — околоствольные выработки проводят после окончания проходки и крепления ствола; второй вариант — рассечку начинают после проходки и крепления ствола до нижней отметки сопряжения; третий — рассечку начинают после проходки ствола до отметки почвы первого слоя сопряжения.

В крепких устойчивых породах ствол с обычным временным креплением проходят до нижней отметки сопряжения, после чего приступают к проходке двумя уступами (с применением коротких шпуров и небольших зарядов) горизонтальной части сопряжения. Временную крепь ставят металлическую на все сечение.

В слабых и неустойчивых породах к проходке сопряжения приступают только по окончании крепления ствола на этом уча-

стке постоянной крепью с оставлением окон напротив примыкающих выработок. При ширине сопряжения менее 4—5 м проходку его ведут двумя уступами в нисходящем порядке. При большей ширине применяют способ независимых забоев; сначала проходят две узкие (до 1,6 м) выработки, после бетонирования стен которых разрабатывают верхний ярус сопряжения высотой 2—2,5 м. После возведения постоянной бетонной крепи перекрытия выработки удаляют оставшуюся часть массива.

Особенности проведения выработок околоствольного двора заключаются в их закруглениях, различии в форме и площади поперечных сечений, встречном ведении работ, проходке узким забоем с последующим расширением, малой степени механизации работ.

3.6. ПРОХОДКА ВОССТАЮЩИХ

Проходка восстающих выработок относится к наиболее трудоемким, опасным и дорогостоящим работам. Ведут проходку снизу вверх, распространение получили три способа.

При первом способе рабочие к забою поднимаются по лестницам, а доставку материалов и оборудования производят в гондолах с помощью лебедки, установленной на откаточном штреке. Шпуры бурят с отбойного полка, укрепленного у забоя восстающего.

По второму способу восстающие проходят с помощью подвесного рабочего полка (рис. 6, а), удерживаемого на канате с верхнего горизонта через специально пробуренную для этого скважину. Последняя служит также для контроля направления, вентиляции забоя и как врубовая полость.

В третьем способе применяют проходческие комплексы КПВ-1 (рис. 6, б) или КПВ-2А с самоходным полком, установленным на монорельсе.

Комплексы позволяют проходить восстающие сечением 2×2 м, которые можно расширить, используя их в качестве рудоспусков или компенсационных пространств. Состоит комплекс из людской кабины и рабочего полка, которые поднимают по постепенно наращиваемым секциям монорельса, укрепляемого на анкерах к стенке выработки. Монорельс выполнен так, что рабочий полк вместе с людской кабиной перед взрывом отводится в горизонтальную выработку.

Бурение и зарядание производят с рабочего полка. Для повышения безопасности комплекс оборудуют автоматическим эксцентриковым ловителем и ручным эксцентриковым тормозом. Средние скорости проходки с помощью подвесного полка и комплексов составляют 60—90 м/мес, наибольшие скорости превышают 350 м/мес.

При проходке *отрезных восстающих*, необходимых для образования свободной поверхности и компенсационного пространства при последующей очистной отбойке руд, проходку восстаю-

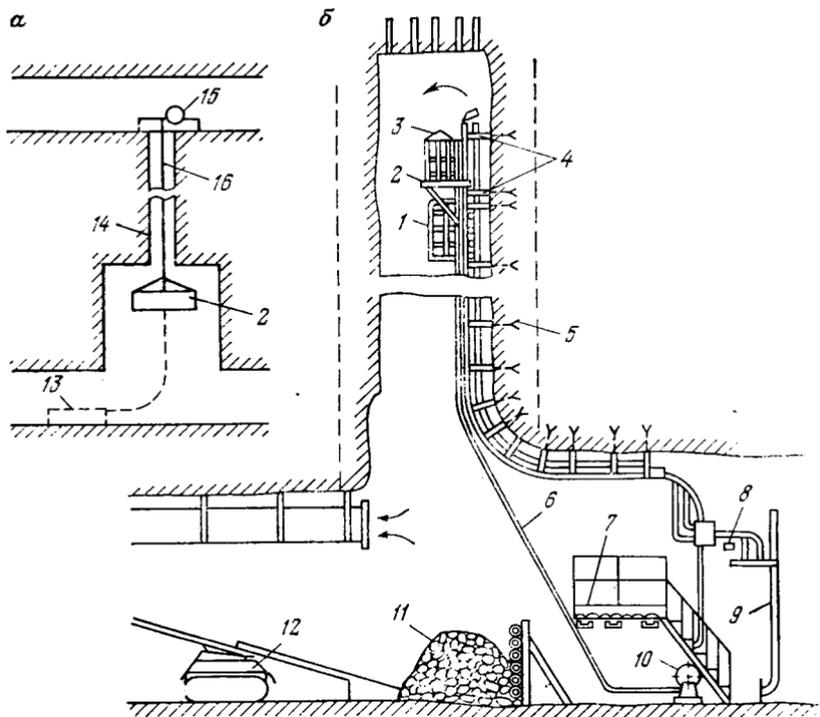


Рис. 6. Схемы проходки восстающего с применением подвешного рабочего полка (а) и проходческого комплекса КПВ-1 (б):

1 — людская кабина; 2 — рабочий полок; 3 — защитный козырек; 4 — секции монорельса; 5 — анкера крепления монорельса; 6 — шланги для подачи сжатого воздуха и воды; 7 — посадочная площадка с лестницей; 8 — газоанализатор; 9 — магистральный воздухопровод; 10 — шланговая лебедка; 11 — отбитая порода; 12 — погрузочная машина; 13 — положение полка перед взрывом; 14 — скважина; 15 — подъемная лебедка; 16 — канат

щих ведут с помощью скважин, пробуренных на всю высоту восстающего по всему его сечению. Удельные затраты труда снижаются при этом до 40 %, а себестоимость проходки до 30 %. Выработки, подходящие к восстающим, выполняют достаточными для размещения полного объема разрыхленной породы, полученной при взрыве. Взрывание производят секционное или бессекционное. Технологическая схема проходки состоит из следующих операций: подготовки камеры для бурового станка, бурения скважин, заряджания, взрывания, проветривания, уборки отбитой породы.

Развитие отрезных восстающих в *отрезные щели* производят шпуровым или скважинным методом. Проходку шпуровыми зарядами ведут снизу вверх или сверху вниз, выполняя послонную отбойку пород. Шпуры бурят параллельно или перпендикулярно к оси выработки. Восстающий при этом выполняет функции рудоспуска.

Более эффективна и безопасна скважинная проходка. Скважины бурят по всему сечению отрезной щели параллельно оси восстающего на всю его высоту. Сам восстающий служит свободной поверхностью, на которую производится отбойка, а также компенсационным пространством для разрыхленной при взрыве породы. Заряды взрывают доочередно с миллисекундными интервалами замедления. Начинают взрывание с ближайших к восстающему скважин, затем взрывают все более удаленные.

Глава 4

ОЧИСТНЫЕ РАБОТЫ

4.1. СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Система разработки — совокупность подготовительных, нарезных и очистных работ, проводимых в определенном порядке во времени и пространстве, обеспечивающая экономичную и безопасную эксплуатацию месторождения с заданной производственной мощностью при рациональном использовании запасов полезного ископаемого.

Комплекс работ, производимых в очистных выработках, включает отбойку, доставку полезного ископаемого из выработанного пространства до откаточного горизонта и поддержание выработанного пространства.

Направление очистной выемки возможно как от одного восстающего к другому, так и от восстающих к середине блока (камеры).

Основные типы забоев при отбойке полезного ископаемого следующие: потолкоуступный, почвоуступный и диагональный. Наиболее распространен потолкоуступный забой. Отбойку руды при потолкоуступном забое производят с применением либо горизонтальных скважин и шпуров, либо восходящих шпуров, пробуриваемых бурильными молотками (перфораторами).

Горизонтальные шпур и скважины можно располагать в несколько горизонтальных рядов. При малой мощности рудных тел шпур бурят ручными перфораторами; при большой мощности — колонковыми перфораторами. Колонки устанавливают горизонтально, распирая их между боками месторождения, или, при большой мощности рудного тела, вертикально, распирая их между рудой в кровле уступа и настилом.

Выемка руды сверху вниз производится либо без обрушения, либо с обрушением вмещающих пород. В этом случае тип забоя — почвоуступный. В подземных работах этот тип забоя мало распространен. При почвоуступном забое применяют исключительно крутопадающие скважины и шпур.

Применяемые на предприятиях системы разработок классифицируются на основании одного или нескольких признаков. Основными признаками являются: а) способ управления гор-

ным давлением; б) состояние выработанного пространства в период очистной выемки; в) состояние выработанного пространства после очистной выемки; г) способ отбойки руды от массива; д) последовательность и направление очистной выемки; е) форма очистного забоя; ж) горно-геологическая характеристика залежей полезного ископаемого; з) объем и порядок проведения подготовительных и очистных выработок; и) способ доставки руды.

Наибольшее признание получили классификации систем разработки, основанные на признаке поддержания выработанного пространства, т. е. на способе управления горным давлением.

4.1.1. Системы с открытым выработанным пространством

Сплошная система применяется при разработке шахтного поля или его этажа без деления на столбы или блоки в направлении от границ или к границам шахтного поля с оставлением целиков или без них.

Система без оставления целиков применяется при разработке небольших рудных тел с устойчивыми и крепкими вмещающими породами. При горизонтальном и весьма пологозалегающем (до $6-10^\circ$) месторождении применяют безэтажную выемку, при пологом и наклоннозалегающем месторождении применяют этажную выемку (по восстанию или по простиранию). Очистную выемку ведут сплошным забоем на всю высоту этажа.

Сплошная система с оставлением целиков руды применяется с регулярным или нерегулярным их расположением.

При мощности месторождения до 3 м выемка ведется сплошным забоем по высоте (на всю мощность), а при большей мощности — почвоуступным или потолкоуступным забоем.

Сплошная система — наиболее производительная система вследствие большого фронта очистных работ, незначительного объема подготовки и благоприятных условий для механизации погрузки и доставки руды. Она позволяет обрабатывать рудные тела с неправильными контурами, сортировать руду, оставлять в очистном пространстве пустую породу, применять раздельную выемку и т. д. Однако система обладает недостатками: значительные потери руды в целиках; трудность контроля за состоянием кровли, особенно при мощности залежей более 4—5 м; невозможность опережающей разведки и т. д.

Система разработки подэтажными штреками или ортами применяется при делении месторождения на этажи (рис. 7). Этаж в свою очередь разделяют на камеры и целики. Если мощность рудного тела 15—20 м, применяют вариант системы с выемкой камер по простиранию. При мощности более 20 м — вариант с выемкой камер вкрест простирания. Подготовительные работы включают проходку этажных штре-

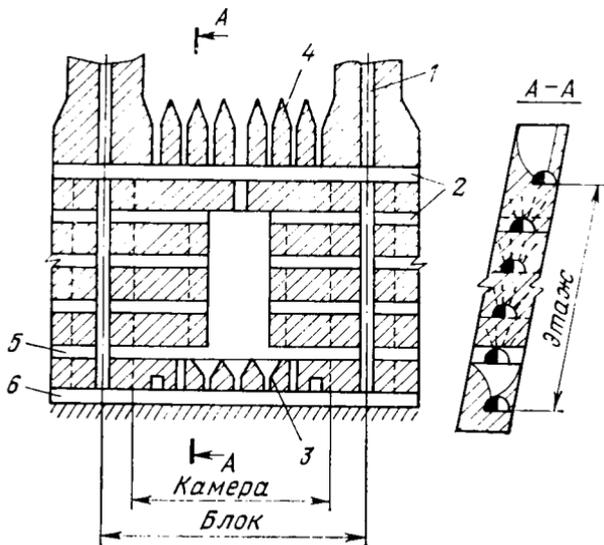


Рис. 7. Система подэтажных штреков:

1 — восстающие; 2 — подэтажные штреки; 3 — воронки с рудоспусками; 4 — этажный вентиляционный штрек; 5 — штрек горизонта подсечки; 6 — этажный откаточный штрек

ков и восстающих в целиках. Затем подэтажными штреками и ортами нарезают подэтажи для очистной выемки. Камеры подсекают из подэтажных штреков (ортов), горизонта воронок или из коротких рудоспусков одновременно с образованием воронок. Руду отбивают в подэтажах из заходок (открытых или закрытых) или без заходок.

Наиболее совершенный способ, исключаящий необходимость в проведении заходок, особенно при разработке мощных месторождений — отбойка руды веерными комплектами шпуров и скважин. Комплекты шпуров и скважин бурят из подэтажных штреков или ортов.

Достоинства системы — высокая производительность труда бурильщиков и рабочих забойного звена, низкая себестоимость добычи, интенсивная разработка месторождения, низкий расход взрывчатых веществ и крепежного материала и др.

К недостаткам относят: большой объем подготовительных работ; значительные потери и разубоживание руды; невозможность раздельной выемки и сортировки руд.

Этажно-камерная система разработки создана на основе системы подэтажных штреков и ортов.

Рудное тело в пределах этажа разделяют на камеры и целики. Камеры не разрезаются на подэтажи и руду отбивают горизонтальными или вертикальными слоями (рис. 8) после предварительной подсечки камер (для отбойки горизонтальными слоями) или после боковой отрезки рудного массива и подсечки

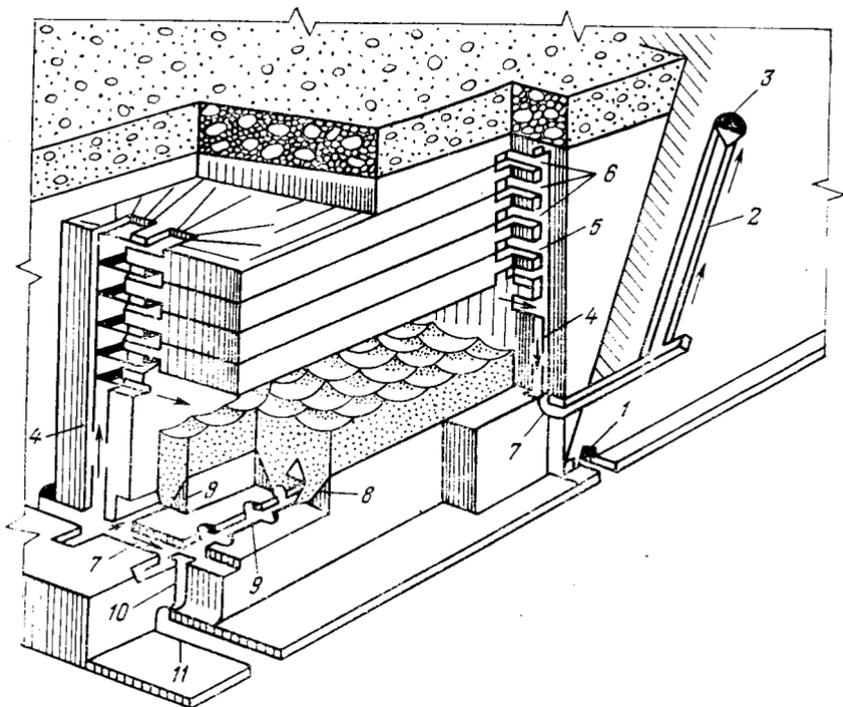


Рис. 8. Система разработки этажным обрушением:

1 — полевой откаточный штрек; 2 — восстающий; 3 — вентиляционный штрек; 4 — восстающие; 5 — короткие выработки; 6 — буровые камеры; 7 — штрек горизонта скреперования; 8 — дучки; 9 — орт скреперования; 10 — рудоспуск; 11 — рудный штрек

его (для отбойки вертикальными слоями). Отбитая руда попадает в воронки горизонта подсечки и выпускается из них под действием собственной массы.

Мощность отбиваемого слоя, определяющая объем одновременно взорванной руды и объем буровых работ в камере, достигает 5—6 м.

Систему широко применяют на месторождениях большой мощности, в условиях устойчивых и крепких руд и вмещающих пород. Система характеризуется: высокой производительностью труда, превышающей (даже с учетом подготовительных работ) показатели, достигнутые при системе подэтажных штреков или ортов; незначительным расходом ВВ и крепежного материала; хорошим проветриванием забоев; доставкой руды под действием собственной массы, выдачей руды из камер по мере ее отбойки.

Недостатки: относительно высокие потери и разубоживание руды, связанные с оставлением целиков и возможностью подрыва боковых пород; значительный выход негабаритных кусков руды.

4.1.2. Системы с магазинированием руды

Эти системы предусматривают: выемку руды в восходящем порядке с одновременным выпуском 30—40 % отбитой руды из блока (камеры); поддержание боковых пород замагазинированной рудой; полный выпуск замагазинированной руды после окончания отбойки в блоке (камере) на всю высоту магазина до потолочины под ее защитой. Распространение получила *массовая отбойка* руды глубокими скважинами, осуществляемая из специальных выработок.

К достоинствам этих систем относят: небольшой объем подготовительных работ; использование собственной массы руды для транспортировки в выработанное пространство; низкий расход крепежного материала; хорошие условия проветривания, сравнительно невысокая себестоимость добычи.

Недостатки: невозможность раздельной выемки и забойной сортировки рудной массы; разубоживание руд при выпуске за счет отслаивания боковых пород; необходимость содержания большого количества выпускных люков.

4.1.3. Системы с закладкой выработанного пространства

Отличительная особенность этой группы систем — использование закладки в процессе очистных работ. Закладочный материал используют в качестве основного средства поддержания выработанного пространства и устройства рабочей площадки для бурения при многослойной выемке.

Рудное тело (при данной системе) обрабатывают слоями в восходящем или нисходящем порядке. Обработка каждого последующего слоя невозможна до завершения закладки обрабатываемого слоя. Эффективность систем в значительной мере зависит от организации закладочных работ.

В качестве закладочного материала используют породу, полученную при обработке верхних этажей (если не требуется сохранение поверхности). На ряде рудников организованы специальные закладочные комплексы, расположенные на дневной поверхности и подающие закладочный материал в выработанное пространство по сети трубопроводов (гидравлическая закладка). Наибольшее распространение в практике получила система разработки горизонтальными слоями с закладкой. Систему применяют при разработке месторождений различных мощности и углов падения в устойчивой руде и вмещающих породах (от слабых до устойчивых) при необходимости сохранения поверхности и боков месторождения.

Основные достоинства этой системы: высокая степень извлечения и незначительное разубоживание руды; возможность сортировки руды и раздельной добычи; хорошие условия проветривания; сохранность дневной поверхности от обрушения.

Основные недостатки: относительно низкая производительность; большой срок отработки блоков; высокая себестоимость добычи.

4.1.4. Системы с креплением выработанного пространства

Эти системы нашли применение при отработке месторождений ценных руд в самых неблагоприятных горнотехнических условиях эксплуатации, когда руда и вмещающие породы неустойчивы, а главным требованием является максимальное извлечение запасов с минимальным разубоживанием.

Поддерживают выработанное пространство *станковой крепью* (брусом, образующие пространственную решетку, заполняющую выработку) или усиленной *распорной крепью* в редких случаях без закладки, чаще с закладкой выработанного пространства. Системы применяют на крутопадающих месторождениях при мощности рудных тел до 3—4 м и наклоннозалегавших и пологих месторождениях при мощности рудных тел 5—6 м с неустойчивыми породами всяческого бока.

К достоинствам систем относятся: отработка месторождений при весьма неблагоприятных условиях залегания и устойчивости руд и вмещающих пород; высокое извлечение ценных руд; раздельная выемка и удобная сортировка руд в забоях; удовлетворительные условия проветривания; гибкость системы; сохранность поверхности от обрушения.

Главные недостатки: высокая себестоимость добычи руды; низкая производительность; пожарная опасность из-за большого расхода леса.

4.1.5. Системы с обрушением руд и вмещающих пород

Основной признак этой группы систем разработки — обрушение вмещающих пород вслед за выемкой руды, а в некоторых случаях и обрушение руды. В отличие от других групп систем, рассматриваемые системы полностью используют *горное давление* (давление вмещающих пород) и силы собственной массы руды. Неустойчивость вмещающих пород и склонность руды самообрушаться являются здесь положительными факторами.

Порядок и особенности отработки месторождений следующие: крутопадающие месторождения отрабатываются в направлении сверху вниз; отработка месторождений пологого залегания возможна в восходящем порядке; выработанное пространство в процессе перемещения очистных работ постепенно заполняется обрушенными породами, покрывающими выработанное пространство; вслед за обрушением пород происходит обрушение поверхности.

Достоинства систем: высокая производительность труда; интенсивность отработки месторождений; наиболее благоприятные условия труда; широкая область применения.

Основные недостатки: большие потери и разубоживание руды; невозможность раздельной выемки и сортировки; сложность в управлении процессом самообрушения и кусковатостью отбитой руды; обрушение дневной поверхности.

4.2. ВЗРЫВНАЯ ОТБОЙКА РУДЫ

Различают несколько методов отбойки руды в зависимости от вида зарядных полостей: шпуровыми, скважинными и минными (камерными) зарядами.

Отбойка руды шпуровым методом применяется при системах с открытым выработанным пространством, с закладкой и магазинированием, слоевым обрушением, поэтажным обрушением и др.

Шпуры в очистных забоях располагают: а) горизонтально или слабо наклонно (вверх и вниз) — при потолкоуступной и слоевой выемке; б) вертикально или наклонно вниз — при почвоуступной и поэтажной выемке; в) вертикально или наклонно — при потолкоуступной, слоевой и поэтажной выемке; г) комбинированно — в различных направлениях.

Эффективность шпуровой отбойки определяется двумя основными показателями: выходом руды с 1 м шпура и расходом взрывчатого вещества на 1 м³ руды.

Отбойка руды скважинным методом нашла применение в системах с открытым выработанным пространством (поэтажные штреки, этажно-камерная), с обрушением (подэтажным и этажным), с закладкой (при отработке камер и целиков). Отбойку в зависимости от положения обнаженной плоскости забоя ведут вертикальными, горизонтальными или наклонными слоями. Скважины в плоскости слоя располагают параллельно или веерообразно, в ряде случаев — пучкообразно.

При параллельном расположении скважин достигается меньший объем буровых работ, а значит, и больший выход руды с 1 м скважин. Обеспечиваются лучшие условия заряжания и равномерное дробление руды взрывом по всей высоте (длине) слоя, а также лучшая сохранность границ блока и устойчивость целиков.

Достоинства веерного расположения скважин заключаются в значительном снижении объема подготовительно-нарезных работ (буровая камера вместо буровых заходок) и снижении затрат на перестановку буровых станков.

Недостатки веерного расположения скважин связаны с неравномерным распределением взрывчатого вещества в объеме взрываемого массива, что приводит к резкому повышению выхода негабаритных кусков руды и затрудняет их последующий выпуск через воронки и дучки; с неполным использованием скважин по их длине (не используется до 20—30 % их длины); с узким фронтом размещения буровых станков и неудобством заряжания скважин. Выбор того или иного способа расположения скважин при отбойке слоев в камерах (блоках) произ-

водится с учетом конкретных условий ведения очистной выемки.

Отбойка руды минным (камерным) методом применяется в основном при выемке крепких и весьма крепких руд при системах разработки с массовым обрушением и отбойкой руды, при массовых обрушениях целиков и вмещающих пород, для ликвидации подземных пустот, образованных в результате горных работ, при посадке потолочин. Отбойку руды производят слоями путем взрывания расположенных в одной плоскости камерных зарядов.

4.3. ВТОРИЧНОЕ ДРОБЛЕНИЕ РУДЫ

Вторичное дробление осуществляют на горизонтах выпуска и в выработках, расположенных на уровне откаточного горизонта, а также на полках под рудоспусками. Выборочное вторичное дробление производят взрывами, механическими приспособлениями и специальными методами (термическим, электрофизическим и др.).

Взрывное дробление выполняют с помощью взрывчатых веществ, помещенных в шпуры или непосредственно на поверхность негабарита. Применение получили специальные заряды — *кумулятивные*. Шпуровой метод применяют чаще всего при разделке негабарита монолитных крепких руд. Однако из-за сложности осуществления его используют все реже. О целесообразности метода вторичного дробления судят по результатам технико-экономического анализа.

Достоинство взрывного способа разделки негабарита — простота и быстрота исполнения.

Недостатки: разлет осколков; образование вредных газов; необходимость проветривания после взрывания; разрушение крепи и решеток грохочения; запыленность воздуха.

Механическое дробление основано на использовании устройств и механизмов, называемых *бутобоями*, обеспечивающих дробление негабаритных кусков руды энергией удара.

Предложен и используется ряд оригинальных конструкций пневматических, гидравлических и пневмогидравлических *бутобоев* (типа пневматического молотка). Достоинства их в относительной безопасности работ. Однако мощность их ограничена, надежность недостаточно велика. Известен опыт применения термического и электрофизического (например, термитом, токами высокой частоты и др.) методов вторичного дробления. Однако их широкое распространение в практике до сих пор является проблематичным.

4.4. ВЫПУСК РУДЫ

Распространение получило несколько схем выпуска руды из блоков (камер): с горизонта грохочения, с горизонта скрепирования, вибровыпуск с помощью виброустановок, а также с помощью выпускных траншей при траншейной схеме подготовки блоков.

По классической схеме *выпуск руды* осуществляют через воронки, решетки грохочения, рудоспуски и далее через погрузочные люки в откаточные сосуды под действием силы тяжести.

Достоинства этого способа выпуска: использование собственной массы руды; независимость выпуска по площади блока на подсечном горизонте; небольшие эксплуатационные затраты.

Недостатки: опасность работ на решетках грохочения; большие объемы подготовительно-нарезных работ; большое количество решеток грохочения и люков; значительные запасы руды в целниках.

Эти недостатки частично компенсируются применением горизонта скреперования, когда выпуск руды осуществляют *через дучки* на выработки скреперования (обычно сечением 2×2 м), по которым руда доставляется до мест погрузки.

Широкое распространение на рудниках получила схема выпуска с *помощью виброустановок*. В этом случае выпуск руды из воронок производят через дучки и рудоспуски, оборудованные вибропитателями различных конструкций.

При траншейной схеме подготовки блоков *выпускная траншея* проводится под их днищем. Такая конструкция горизонта выпуска не только улучшает условия истечения руды из блоков, но и вдвое сокращает объем проходческих работ, выполняемых мелкошпуровым способом. Погрузку руды при траншейной схеме выпуска осуществляют с помощью погрузочных машин.

4.5. ПОГРУЗКА РУДЫ

Погрузку руды осуществляют погрузочными машинами. Они подразделяются: по виду применяемой энергии — на пневматические и электрические; по способу перемещения — на колесные и гусеничные; по принципу действия — на машины с погрузочным органом (погрузочные машины и скреперные погрузчики) и машины без погрузочного органа (перегрузатели).

4.6. СПОСОБЫ ДОСТАВКИ РУДЫ

Перемещение руды или породы в пределах выемочного участка от места отбойки до места погрузки в основные транспортные средства называется *доставкой*. Она осуществляется: а) под действием собственной массы; б) в вагонетках; в) машинами различных конструкций; г) под действием взрыва путем метания взорванной массы к месту ее выпуска.

Широко применяют конвейерную доставку и самоходное транспортное оборудование. Из всех способов наиболее эффективным является доставка под действием собственной массы, однако удельный вес этого способа в настоящее время на рудниках еще не превышает 30—40 %.

К *стволу* руду доставляют обычно в вагонетках с помощью электровозов.

На *поверхность* руду доставляют в скипах (при скиповом подъеме) или в вагонетках (при клетевом подъеме).

Часть II

ВЗРЫВ И ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА

Глава 5

ПОНЯТИЕ О ВЗРЫВЕ И ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВАХ

5.1. ТИПЫ ВЗРЫВОВ И ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО ВЗРЫВА

Широкое применение взрыв получил благодаря высокой мощности механического воздействия на окружающую среду.

В общем случае *взрывом называют* превращение вещества с весьма быстрым переходом его энергии в энергию сжатия и движения исходного вещества или продуктов его разложения и окружающей среды.

Именно *большая скорость* выделения энергии при взрыве позволяет развить *громоздкие мощности*, получение которых с помощью обычных машин требует применения громоздких и дорогостоящих механизмов.

Характерным признаком взрыва является весьма быстрое проявление действующего на окружающую среду давления.

По виду исходной энергии различают физические (электрические, механические, тепловые и др.), химические, атомные и термоядерные взрывы.

При протекании *физических взрывов* изменяется только физическое состояние вещества, но сохраняется неизменным его химический состав. Причем накопление энергии сжатия вещества может быть весьма быстрым или медленным. В остальных взрывах изменяется как физическое состояние, так и химический состав вещества.

Например, при пропускании тока большой силы через тонкую проволочку исходная электрическая энергия весьма быстро переходит в энергию нагретого и сжатого воздуха и паров металла, сообщая им движение в разные стороны. Падение метеорита на землю также приводит к весьма быстрому переходу его исходной (кинетической) энергии в энергию сжатия метеоритного вещества и приконтактного грунта, а также образовавшихся сильно сжатых газообразных продуктов с соответствующим движением (разлетом) от места взрыва (места падения метеорита).

Напротив, в ряде других физических взрывов весьма быстр переход энергии вещества в энергию только движения. Относительно медленное заполнение баллона сжатым газом вследствие

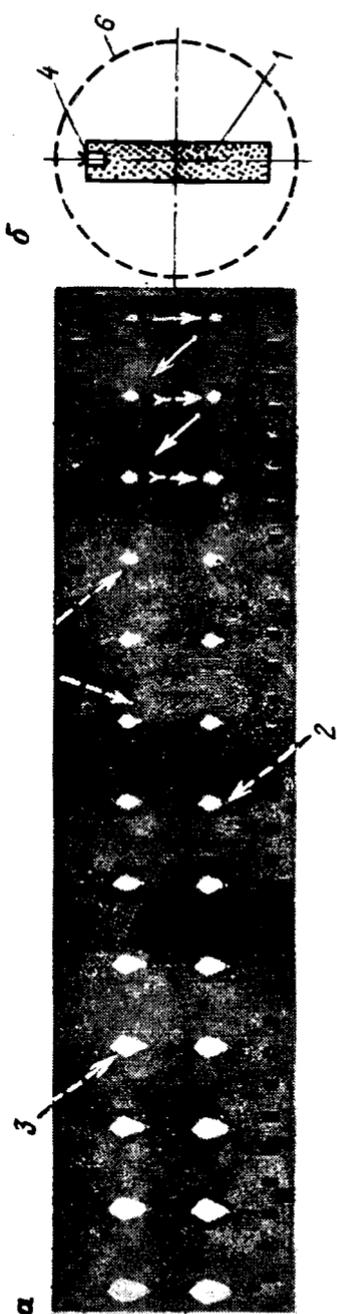


Рис. 9. Сверхскоростная киносъемка химического самораспространяющегося взрыва (а) и схема подготовки взрыва (б): 1 — исходное ВВ; 2 — зона быстрой химической самораспространяющейся реакции; 3 — продукты химического превращения, вовлеченного в быструю реакцию исходного ВВ; 4 — инициатор (возбудитель) взрывчатого превращения ВВ; 5 — кадры сверхскоростной киносъемки (на рисунке позиция не указана); 6 — поле съемки; / — начало взрывчатого превращения (справа); // — окончание взрывчатого превращения (слева), длина столба ВВ 1 м, время между кадрами киносъемки 6 мкс; стрелки показывают очередность кадров)

чрезмерного повышения давления и недостаточной прочности оболочки приводит к взрыву за счет *весьма быстрого перехода* энергии сжатого газа в энергию движения газа, оболочки и окружающего воздуха. Аналогично протекание взрыва при замерзании или перегревах воды в котлах, при землетрясениях и т. д.

Атомная энергия — энергия цепных реакций деления атомных ядер радиоактивных элементов. При *атомном взрыве* превращение атомных ядер сопровождается освобождением энергии связи элементарных частиц.

При *термоядерном взрыве* энергия синтеза ядер атомов легких элементов, в частности дейтерия и трития, весьма быстро переходит в энергию сжатия и движения окружающей среды. Как и при атомном взрыве, она газифицирована и ионизирована вследствие громадных концентраций энергии на несколько порядков больших, чем при других взрывах.

Химический взрыв наиболее применим в технике, он происходит за счет потенциальной химической энергии так называемых *взрывчатых веществ* (ВВ).

Химические взрывы могут быть *тепловыми*

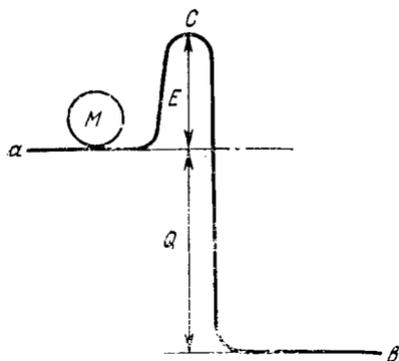


Рис. 10. Схема энергетических уровней молекулы до активации (а), после активации (с) и после реакции (в):

E — энергия активации; Q — энергия реакции; M — молекула

(гомогенными) или самораспространяющимися. Первые происходят при постепенном и равномерном нагреве всего объема ВВ. Скорость химической реакции возрастает и достигает весьма больших значений за счет интенсивного саморазогрева вещества, ускоряющегося по мере выделения тепла. Вторые протекают при возбуждении быстрой химической реакции первоначально в небольшой части объема исходного ВВ, откуда эта реакция с высокой скоростью самопроизвольно распространяется на остальной объем исходного ВВ (рис. 9). Вся современная взрывная техника основана

на использовании именно самораспространяющегося взрыва.

Взрывом ВВ в этой связи называют самораспространяющееся с весьма большой скоростью химическое превращение, протекающее с выделением тепла и образованием газов.

Взрыв происходит, если вещество превращается: с выделением тепла; образованием газов; с весьма высокой скоростью и путем быстрого самораспространения. Все условия обязательны и равнозначны.

Первое условие очевидно — любое превращение, протекающее с поглощением тепла, не может быть взрывом. Второе условие определяет особенности использования выделяющейся энергии. Если вся энергия выделяется в виде тепла, то переход происходит путем медленного процесса теплопередачи. Это характерно для горения вещества, когда повышение давления при отсутствии оболочки незначительно и механическое действие продуктов реакции невелико. Вследствие того, что газы имеют значительно меньшую плотность, чем твердые или жидкие вещества, их быстрое образование в постоянном объеме сильно повышает давление, обеспечивая в ряде случаев передачу энергии химической реакции путем распространения скачка давления, так называемой *ударной волной*. Скорость передачи энергии таким образом много больше скорости теплопередачи и весьма быстро распространяется реакция по ВВ и взрывное воздействие сжатых газов на окружающую среду.

Третье условие — большая скорость реакций — определяет скорость энерговыделения, т. е. ту огромную мощность, которая характерна для взрыва. При малых скоростях превращения протекают в форме горения.

Способность к самораспространению — четвертое условие взрыва — обеспечивает превращение всего вещества при локаль-

ном его возбуждении. Известно, что в реакциях участвуют только активные молекулы, тогда как обычные неактивные молекулы химически инертны. Активируют молекулы, расходуя так называемую *энергию активации*. Способность реакций к самораспространению зависит поэтому от соотношения между энергией реакции Q и энергией активации E (рис. 10). *Вещество может быть взрывчатым*, если теплота реакции больше энергии активации, т. е. больше той энергии, которая затрачивается на возбуждение реакции. *Природа возбуждения реакций* тепловая, хотя источники инициирования взрыва могут быть механические, электрические, взрывные, тепловые и др.

Роль активации заключается, как видно из схемы, в том, чтобы увеличить энергию молекулы на величину E до уровня c , после чего молекула может вступать в реакцию с выделением энергии $Q+E$. Эта энергия расходуется на возбуждение последующих молекул и т. д. Очевидно, что Q должна быть больше E ($Q > E$).

5.2. ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА

Взрывчатое превращение представляет собой *совокупность реакций окисления* горючих элементов, входящих в состав ВВ, в частности углерода, водорода и др.

Характерным признаком ВВ является наличие в его составе всех необходимых для протекания реакций окисления элементов. Поэтому, если, например, горение угля невозможно без доступа кислорода извне, то взрывчатое превращение ВВ, напротив, происходит в любых условиях, в том числе и при полной изоляции от окружающей среды.

В принципе *взрывчатое вещество* представляет смесь горючего с окислителем. Старейшее ВВ — дымный порох — является смесью *двух горючих* (угля и серы) и *окислителя* (кальциевой селитры), простейшее ВВ игданит — смесью *горючего* (дизельного топлива) и *окислителя* (аммиачной селитры), аммониты — смесью *взрывчатого горючего* (тротила) и *окислителя* (аммиачной селитры) и т. д. При этом в молекуле тротила $C_7H_5N_3O_6$ кроме углеродных и водородных атомов содержатся атомы кислорода, а в молекуле селитры NH_4NO_3 кроме атомов кислорода содержатся атомы водорода, в связи с чем тротил и аммиачная селитра являются сами по себе взрывчатыми веществами, причем тротил — мощным, а аммиачная селитра — очень слабым и низкокочувствительным.

Полностью из невзрывчатых компонентов состоят, например, окисилквиты, представляющие собой горючее (сажа, мох и т. п.), пропитанное жидким кислородом.

Химические вещества или смеси этих веществ, способные под влиянием внешних воздействий к быстрому самораспространяющемуся химическому превращению с выделением большого количества тепла и газообразных продуктов, называют *взрывчатыми веществами* (ВВ).

Таблица 2

ВВ, компоненты	Формула	Молекулярная масса	Кислородный баланс, %
Индивидуальные			
Тротил	$C_7H_5N_3O_6$	227	-74
Гексоген	$C_3H_6N_6O_6$	222	-22
Тэн	$C_5H_8N_4O_{12}$	316	-10
Нитроглицерин	$C_3H_5N_3O_9$	227	+3,5
Смесевые			
Граммонит 79/21	—	—	0
Аммонит скальный № 1	—	—	-0,78
Гранулит АС-4	—	—	+0,4
Компоненты			
Азотнокислый аммоний	NH_4NO_3	80	+20
Алюминий	Al	27	-84
Соляное масло	$C_{7.2}H_{13.4}O_{0.1} \times$ $\times S_{0.1}N_{0.1}$	101	-336

Взрывчатые вещества в виде механических смесей твердых, жидких или газообразных компонентов называются *смесевыми*. ВВ, в молекулах которых содержатся и горючие элементы, и окислитель, чаще всего кислород, являются взрывчатыми химическими соединениями и их называют *индивидуальными*. Атомы кислорода в молекулах таких ВВ соединены с атомами горючих элементов не прямо, а через посредство атомов азота или хлора, инертных и к кислороду, и к горючим элементам (обычно к углероду и водороду).

Характеристикой ВВ, определяющей соотношение горючих и окисляющих элементов в составе, является *кислородный баланс*. Под последним понимают избыточное, достаточное или недостаточное количество кислорода в ВВ по сравнению с тем, которое необходимо для полного окисления при взрыве горючих элементов. При избытке кислорода кислородный баланс ВВ считают *положительным*, при недостатке — *отрицательным*, в случае сбалансированности состава — *нулевым*. Кислородный баланс некоторых индивидуальных и смесевых промышленных ВВ и их компонентов показан в табл. 2.

Кислородный баланс (%):

$$КБ = \frac{d - (2a + b/2)}{\mu} n \cdot 100,$$

где a , b и d — соответственно число атомов углерода, водорода и кислорода в молекуле; μ — молекулярная масса ВВ; n — атомная масса кислорода.

В случае смесей расчет КБ ведут на один килограмм, тогда в числителе дроби записывают количество грамм-молей соответствующих элементов, содержащихся в 1 кг ВВ, а в знаменателе вместо μ ставят число 1000.

Из *смесевых ВВ* более всего распространены ВВ на основе аммиачной селитры с взрывчатыми компонентами (аммониты, водосодержащие ВВ, детониты, аммоналы, победиты и др.) и невзрывчатыми (игданиты, гранулиты, эмульсионные ВВ и др.). Менее известны смеси индивидуальных ВВ — пентолита (сплав тротила с тэном), тротило-гексогеновых сплавов и др.

Из *индивидуальных ВВ* распространен ряд классов: нитроэферы (нитроглицерин, нитроглицоль, тэн, пироксилин и др.), нитросоединения (тротил, динитронафталин, пикриновая кислота и др.), нитрамины (тетрил, гексоген, октоген и др.), азиды (азиды свинца, кальция и др.).

ВВ, принадлежащие по своей химической структуре к определенному классу соединений, обладают некоторыми общими свойствами и особенностями. Общеизвестны высокая чувствительность нитроэфиров к нагреву и удару, повышенные физическая и химическая стойкости нитросоединений, невысокая скорость химического превращения простейших ВВ — игданита, гранулитов и т. д.

По степени устойчивости горения и обусловленным ею возможностям применения ВВ подразделяют на: *бризантные* (иницирующие), *бризантные* (промышленные) и пороха. Особенность инициирующих ВВ заключается в том, что их горение очень легко и быстро переходит во взрыв. Горение бризантных (промышленных) ВВ переходит во взрыв лишь при некоторых особых условиях — большая масса, прочная оболочка, пористая структура и др. Горение же порохов, в принципе не отличающихся от бризантных ВВ по химическому составу, наиболее устойчиво и не переходит во взрыв даже при наличии больших масс ВВ и прочной оболочки, что обеспечивает их применение в огнестрельном оружии. Быстрота возбуждения взрыва инициирующих ВВ обусловила их применение в капсюлях-детонаторах, с помощью которых производят взрывы промышленных ВВ.

Помимо горючих элементов и окислителя в составе ВВ могут быть и другие добавки. При чрезмерно высокой чувствительности к внешним воздействиям в состав добавляют *флегматизаторы* — парафин, воду и др., снижающие чувствительность ВВ. Для повышения чувствительности вводят *сенсibiliзаторы* — твердые частицы, мощные индивидуальные ВВ и др. Увеличения физической и химической стойкости достигают *стабилизаторами* — гидрофобными добавками, централитом и др. Взрывание в условиях, опасных по газу и пыли, производят при введении в ВВ *пламегасителей*, обычно тонкодисперсной поваренной или другой соли, снижающей вероятность воспламенения пылегазовых смесей. Текучесть ВВ придают с помощью *пластификаторов* — обычно загущенных водных растворов и т. д.

Для практического использования ВВ важны их взрывчатые, детонационные, физические и физико-химические характеристики и свойства.

5.3. ОСОБЕННОСТИ ПРЕВРАЩЕНИЯ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВВ

Для совершения механической работы ВВ должно весьма быстро превратиться в газы и сообщить им свою потенциальную энергию. Такая передача энергии происходит в процессе адиабатической необратимой *экзотермической реакции* превращения ВВ в конечные продукты. В идеальном случае эти продукты представляют собой наиболее устойчивые в термодинамическом отношении *химические соединения*, например углекислый газ CO_2 , вода H_2O и др., образование которых происходит при выделении максимального количества тепла.

Продуктами реального взрыва ВВ могут быть и другие газообразные и твердые вещества: CO , N_2 , O_2 , H_2 , CH_4 , NH_3 , C_2N_2 , NO , NO_2 , N_2O_3 . Если в состав ВВ входит сера или хлор, возможно образование SO_2 , H_2S , HCl , Cl_2 . При содержании металлов (например, Al и др.) или их солей (нитратов, хлоратов) в продуктах взрыва будут также окислы, карбонаты, сульфаты, хлориды, цианиды и другие соединения. В продуктах взрыва инициирующих ВВ содержатся пары ртути или свинца.

Такие продукты превращения, как окись углерода (угарный газ) CO , окислы азота NO , NO_2 , N_2O_3 , сероводород H_2S , сернистый ангидрид SO_2 , пары ртути и свинца, являются ядовитыми. Для работы в подземных условиях допускают ВВ, которые при взрыве 1 кг в лабораторных условиях образуют менее 50 л ядовитых газов в пересчете на окись углерода. Считается, что *токсичность* окислов азота в 6,5 раза, а сероводорода и сернистого ангидрида в 2,5 раза больше, чем окиси углерода.

Образование различных газов при неполном выделении энергии ВВ обусловлено такими влияющими на протекание реакции факторами, как состав ВВ и условия взрывания, условия разлета и взаимодействия газов с окружающей средой, качество приготовления и плотность ВВ.

Считается, что при взрыве органического с положительным кислородным балансом ВВ типа $\text{C}_a\text{H}_b\text{N}_c\text{O}_d$ реакция должна идти в направлении *полного окисления углерода* и водорода, т.е. до образования CO_2 и H_2O и молекулярных N_2 и O_2 .

Разложение ВВ с отрицательным кислородным балансом сложнее. Преимущественное развитие реакций с большим выделением тепла, например окисления водорода в сравнении с окислением углерода, должно приводить к следующим продуктам взрыва: H_2O , CO_2 , N_2 и C . В табл. 3 приведены энергетические характеристики некоторых реакций, протекающих при взрыве.

Разложение смесевых ВВ еще сложнее. Первоначально происходит химическое превращение взрывчатых и физическое превращение (разложение, газификация и др.) невзрывчатых компонентов. Затем взаимодействуют продукты превращения компонентов.

Таблица 3

Уравнение реакции	Теплота реакции, кДж моль	Уравнение реакции	Теплота реакции, кДж моль
$2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	485,6	$2\text{C} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO}$	224
$\text{C} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_2$	394,5	$2\text{CO} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{C}$	172,5
$4\text{Al} + 3\text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{Al}_2\text{O}_3$	1114,7	$2\text{CO}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO} + \text{O}_2$	-566,8
$2\text{Al} + 3\text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{CO}$	585,6	$2\text{CO} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO}_2$	566,8
$2\text{Al} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2$	947,5	$3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{H}_2 + \text{O}_2$	-484

Завершенность реакций при взрыве тем полнее, чем дольше газы пребывают в образующейся зоне высоких давлений и температур. Полноте превращения способствуют увеличение массы ВВ, наличие прочной и массивной оболочки, измельченность компонентов.

Присутствующий в ВВ дисперсный алюминий окисляется при взрыве обычно до высшего окисла Al_2O_3 . Окислителями по отношению к Al проявляют себя не только кислород и окислы азота, но и H_2O и CO_2 (см. табл. 3). Установлено, что низшие окислы (Al_2O и AlO) образуются при превращении ВВ, высший (Al_2O_3) — на стадии расширения газов, т. е. в процессе выполнения механической работы.

Ядовитые газы могут образовываться как на начальной, так и на конечной стадии взрыва. Большое значение имеет взаимодействие газов с горной породой. Выход ядовитых газов увеличивается при несбалансированности состава ВВ (влияние кислородного баланса ВВ на образование ядовитых газов взрыва показано в табл. 4), неполноте превращения (в табл. 5 — влияние дисперсности компонентов на превращение сбалансированных ВВ), химическом и физическом взаимодействии с горной породой (в табл. 6 — влияние типа горных пород на выход ядовитых газов взрыва), сгораемости оболочки (табл. 7).

Таблица 4

Состав ВВ	Кислородный баланс, %	Количество ядовитых газов, л кг		
		СО	окислы азота	условная сумма*
Тротил, аммиачная селитра	-15,3	125,0	2,7	142,6
	-0,7	30,4	5,5	65,9
	+3,5	20,0	13,3	106,5
Тротил, аммиачная селитра, калиевая селитра	+7,4	16,6	5,3	51,1

* Ядовитые газы в пересчете на окись углерода с учетом токсичности окислов азота.

Таблица 5

ВВ	Количество ядовитых газов, л кг			ВВ	Количество ядовитых газов, л кг		
	СО	NO	условная сумма		СО	NO	условная сумма
Аммонит № 6ЖВ * крупнодисперсный	28,0	9,8	91,8	Аммонит ПЖВ-20 ** крупнодисперсный	23,8	5,8	61,5
мелкодисперсный	23,9	2,0	36,9	мелкодисперсный	21,4	0,9	27,3

* Размеры частиц крупнодисперсного аммонита № 6ЖВ 0,22—0,50 мм, мелкодисперсного — меньше 0,22 мм.

** Размеры частиц поваренной соли 0,36—1,0 мм.

Таблица 6

Горная порода	Количество ядовитых газов, л кг		
	СО	NO	условная сумма
Антрацитовые угли	3—7	9—16	50—100
Глинистые сланцы	3—7	1—6	10—45
Свинцово-цинковые руды	18—35	3,5—9,5	45—95
Железные руды	10—30	5—10	50—75
Апатитовые руды	13—25	1,5—2	18—32
Сульфидные руды	6,6—11,2	3,1—4,3	28,5—39,5

Таблица 7

ВВ	Материалы оболочки на 100 г ВВ, г		Кислородный баланс, %		Количество ядовитых газов, л кг		
	бумага	парафин	ВВ	патронов ВВ	СО	NO	условная сумма
Аммонит № 6ЖВ	1,7	2,3	+0,3	—9,8	30,1	3,4	51,2
	1,7	4,8	+0,3	—18,3	34,1	3,4	55,2
Динафталит	2	2,5	+0,9	—10,3	30,7	6,2	71,0

Уменьшения загазованности подземных выработок достигают применением сбалансированных, близких к нулевому кислородному балансу ВВ, заменой бумажной оболочки патронов ВВ на полиэтиленовую, добавлением в состав калиевой селитры, измельчением компонентов ВВ.

Знание особенностей превращения и состава продуктов реакции позволяет определить теплоту, температуру и давление

взрыва, скорость распространения самоподдерживающейся реакции и другие характеристики.

Энергия (теплота) взрыва зависит от типа ВВ и состава продуктов его разложения. Определяется она как разность известных из справочников теплоты образования продуктов взрыва $Q_{\text{пв}}$ и теплоты образования ВВ $Q_{\text{вв}}$

$$Q_{\text{взр}} = Q_{\text{пв}} - Q_{\text{вв}},$$

где $Q_{\text{пв}}$ рассчитывают в соответствии с выбранной схемой взрывчатого разложения ВВ.

Теплота образования $Q_{\text{вв}}$ является точной константой ВВ. Величина $Q_{\text{взр}}$ определяется составом газов и зависит от тех же факторов, что и состав газов. Константой ВВ считают поэтому *идеальную теплоту* взрыва, в качестве которой принята максимально возможная теплота Q_{max} , соответствующая превращению с образованием наиболее устойчивых соединений при максимальном тепловыделении. Истинная теплота $Q_{\text{взр}}$, как видно из приведенных выше изменений состава газов в зависимости от условий взрыва, может значительно отличаться от Q_{max} , причем тем больше, чем выше отрицательный кислородный баланс ВВ. Если кислородный баланс ВВ близок к нулевому (например, граммонит 79/21, гранулит АС-8, граммонал А-8), значения идеализированной и получаемой в экспериментальных взрывах теплот практически равны между собой. При взрывании ВВ с положительным кислородным балансом (например, нитроглицерина) различие между идеализированной и экспериментальной теплотами становится существенным.

В целом теплота взрыва большинства ВВ находится в пределах 3200—6600 кДж/кг, или 2900—10000 кДж/л. Сравнивая с теплотой сгорания 1 кг, например, угля или бензина (соответственно 33600 и 42000 кДж), видно, что при взрыве энергии выделяется в 5—12 раз меньше. Однако если рассчитать теплоту горения 1 кг смеси топлива с кислородом, то разница становится меньше, но еще достаточно ощутимая — полтора-три раза. Поэтому очевидно, что огромное разрушающее действие взрыва обусловлено только громадной его мощностью, которая, например, при взрыве всего 200 г аммонита № 6ЖВ превышает 1,1 ГВт (1,5 млн. л. с.) за счет скорости реализации энергии.

Температуру взрыва, зная величину $Q_{\text{взр}}$, можно определить

$$T_{\text{взр}} = Q_{\text{взр}} / \bar{n} \bar{c}_v,$$

где n — число молей продуктов взрыва; \bar{c}_v — средняя молярная теплоемкость газов при постоянном объеме.

Величина \bar{c}_v зависит от температуры следующим образом:

$$c_v = a + bt + ct^2,$$

где t — температура; a , b и c — коэффициенты, различные для разных газов.

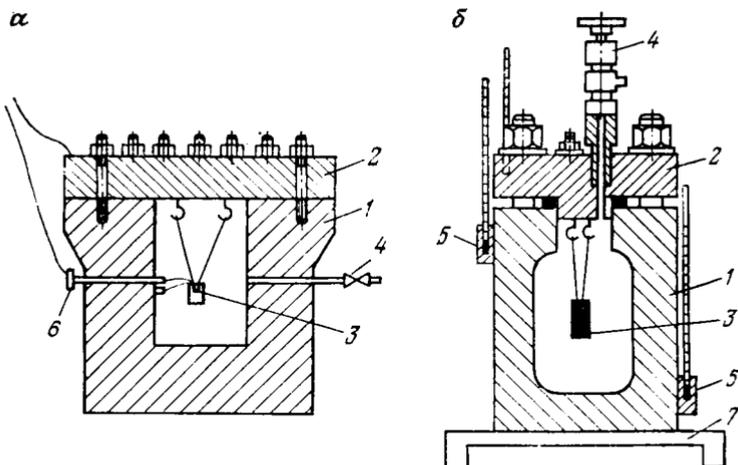


Рис. 11. Калориметрическая бомба Апина — Беляева (а) и манометрическая бомба Бихеля (б):

1 — корпус бомбы; 2 — крышка; 3 — заряд ВВ; 4 — вентиль для отбора газов после взрыва; 5 — термометр; 6 — электронизолированный ввод; 7 — деревянная подставка

Температура $T_{\text{взр}}$ характеризует температуру, при которой образуются газы и начинается работа взрыва. У обычных ВВ она равна 900—4500 К, у предназначенных для взрывания в шахтах, опасных по газу или пыли, — менее 2500 К.

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

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

где V — удельный объем ВВ, $\text{см}^3/\text{кг}$; α — несжимаемая часть газов (коволум), $\text{см}^3/\text{кг}$; k — показатель изэнтропы расширения газов, равный $k = \bar{c}_p / \bar{c}_v$; \bar{c}_p и \bar{c}_v — соответственно средняя теплоемкость газов при постоянном давлении и объеме, $\text{ккал/г} \cdot \text{моль} \cdot ^\circ\text{C}$; $427/9,8$ — численный коэффициент перевода тепловых единиц в механические.

Величину α при не очень высоких давлениях принимают равной 0,001 объема газов при атмосферном давлении и температуре 0°C .

Давления $P_{\text{взр}}$, развивающиеся при взрывах различных ВВ, могут достигать от 0,3—0,5 до 15—20 ГПа и выше. Возможны они благодаря огромным скоростям протекания самоускоряющихся реакций.

Объем газов можно рассчитать по известному их составу. Его величина при взрывах ВВ изменяется от 200 до 1100 л/кг.

Экспериментальные определения теплоты взрыва, состава и объема продуктов взрыва выполняют в специальных термометрических и манометрических бомбах (рис. 11).

5.4. ДЕТОНАЦИЯ

ВВ может термически разлагаться, гореть и взрываться. Термическое разложение характеризуется одинаковой температурой всего разлагающегося ВВ, причем близкой к температуре окружающей среды. Скорости реакции низкие, соответствуют температуре и во всех точках ВВ одинаковые. При повышении температуры среды и в результате самоускорения реакций термическое разложение может перейти в *тепловой взрыв*.

Горение и взрыв характеризуются тем, что в каждый момент времени в превращении участвует лишь незначительная часть ВВ, температура которой намного выше, чем во всей остальной массе ВВ. Реакции быстрые, протекают в узкой зоне, называемой *зоной химических реакций 1*, перемещающейся по массе ВВ (рис. 12). Впереди зоны находится исходное ВВ 2, позади — газообразные продукты превращения 3. ВВ превращается при высоких разогревах, а скорость перемещения зоны реакций, определяемая интенсивностью выделения энергии в ней и условиями передачи энергии исходному ВВ, может быть существенно различной.

При горении разогрев ВВ происходит посредством медленного процесса теплопередачи, при взрыве — высокоскоростной *ударной волной*. В результате скорости горения не превышают 1—10 м/с, тогда как скорости взрывов составляют 1—9 км/с.

Известно протекание взрыва с *переменной* (неустановившейся) и *постоянной* (стационарной) скоростью. Взрыв, распространяющийся с постоянной и максимальной для данного ВВ скоростью, называют *детонацией*.

Рис. 12. Схема самораспространяющегося превращения ВВ

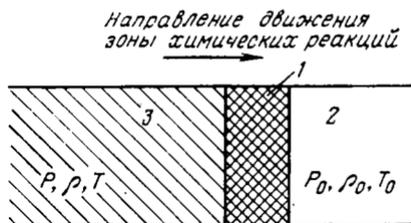
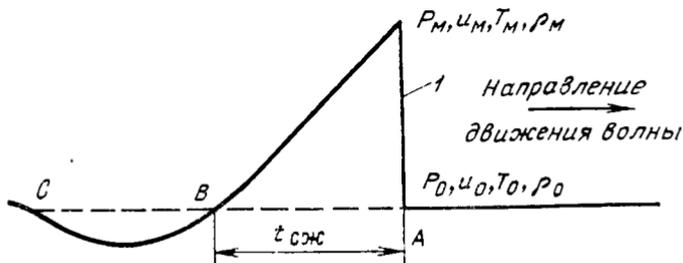


Рис. 13. Профиль ударной волны
1 — передний фронт ударной волны



Прежде чем остановиться на детонации, рассмотрим подробнее особый вид волн — ударную волну.

Ударная волна — это перемещающаяся со сверхзвуковой скоростью зона сжатия среды. Плоскость, разделяющую исходную среду и зону сжатия, называют передним фронтом ударной волны. Кроме скорости распространения — тем большей, чем выше давление на переднем фронте волны, для нее характерны резкий (практически мгновенный) скачок давления на переднем фронте волны и движение вещества за этим фронтом, определяемое так называемой массовой скоростью.

Профили (характер изменения) массовой скорости и давления подобны и имеют следующий вид (рис. 13). На переднем фронте волны давление P и массовая скорость u скачком возрастают от исходных P_0 и u_0 до максимальных P_M и u_M значений. Затем в фазе сжатия волны (участок AB) давление уменьшается до исходного, а массовая скорость до нуля. После чего среда подвергается растяжению (участок BC) при сообщении массовой скорости вещества противоположного направления.

В связи с разогревом среды при быстром ее сжатии температура на фронте волны также резко возрастает (в мощных волнах до 1000°C и более), но снижается менее интенсивно. За счет потерь энергии на разогрев среды давление волны по мере ее распространения падает и она вырождается в волну напряжений и звуковую. Длина волны увеличивается за счет отставания хвостовой части, что еще больше уменьшает ее параметры.

При перемещении ударной волны по ВВ температуры на ее фронте могут стать достаточными для возбуждения весьма быстрых реакций. Энергия, выделяющаяся в зоне реакции, в ряде случаев достаточна для самоподдерживающегося превращения ВВ. Комплекс из ударной волны и следующей за ее передним фронтом зоной химических реакций (химпиком) называют детонационной волной (рис. 14).

Согласно гидродинамической теории детонации максимальное давление P_M , как и максимальные массовая скорость u_M , температура T_M , плотность ρ_M создаются на фронте волны. По мере превращения ВВ (зона реакции AB — где точка A определяет положение фронта детонационной волны, а точка B — положение плоскости Чепмена-Жуге, плоскости завершения реакции) давление не возрастает, как при горении, а существенно падает. В частности, давление газов в момент завершения реакций, т. е. давление в плоскости Чепмена-Жуге P_j , в 2 раза меньше давления на фронте P_M . Причем уменьшение происходит в зоне реакции, ширина которой у большинства ВВ не превышает 0,2—4,0 мм (у крупнодисперсных простейших смесевых ВВ — до нескольких см) и превращение ВВ в которой происходит за 0,5—5 мкс. Но и это давление P_j , называемое детонационным давлением или давлением Жуге, в 2 раза больше давления мгновенного взрыва. Разлет газов и характер

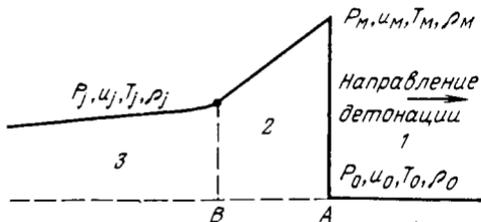
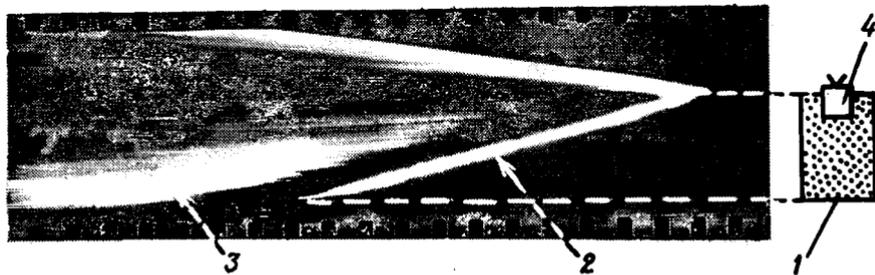


Рис. 14. Профиль детонационной волны:

1 — исходное ВВ; 2 — зона химических реакций (химпик); 3 — газообразные продукты детонации

Рис. 15. Регистрограмма детонации гранулита АС-4:

1 — исходное ВВ; 2 — фронт детонации; 3 — продукты детонации; 4 — инциатор (возбудитель) детонации



дальнейшего уменьшения давления определяются только условиями расширения газов (наличием оболочки, диаметром заряда и др.).

Скорость детонации является константой. Она постоянна для каждого ВВ при неизменных условиях его взрывания. Также постоянен (стационарен) профиль и другие параметры: давление, время реакции.

Распространение детонационной волны по ВВ отчетливо фиксируется покадровой (см. рис. 9) и непрерывной (рис. 15) сверхскоростными фотосъемками.

Скорость детонации D приблизительно рассчитывают по формуле

$$D = f(\rho_0) \sqrt{2Q_0(n^2 - 1)},$$

где Q_0 — эффективная теплота, реализуемая в зоне реакции, стремится в пределе к $Q_{\text{взр}}$; n — показатель политроны, равный отношению c_p/c_v ; $f(\rho_0)$ — коэффициент, учитывающий влияние плотности ВВ ρ_0 .

Массовая скорость u и время химической реакции τ

$$u = D/(n + 1) \text{ и } \tau = a/(D - u),$$

где a — ширина зоны реакции.

Давление детонации зависит от скорости и может быть оценено

$$P_j = \rho_0 D^2/(n + 1) \text{ или } P_j = \rho_0 u_j D.$$

Величину n конденсированных ВВ принимают равной трем. Тогда $u = D/4$ и $P_j = \rho_0 D^2/4$.

Скорость детонации и массовая скорость связаны следующим соотношением:

$$D = u_j + c_j,$$

где c_j — скорость звука в химике.

Все приведенные параметры детонации взаимосвязаны и полностью характеризуют детонационные свойства ВВ.

5.5. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПАРАМЕТРЫ ДЕТОНАЦИИ

Важнейшим параметром скорость детонации является потому, что с ее помощью можно определять другие параметры процесса и относительно просто ее измерить с помощью осциллографа, сверхскоростного фоторегистратора или метода Дотриша. По изменению скорости можно судить и о влиянии на детонацию различных факторов.

Детонационная волна по заряду распространяется за счет энергии, выделяющейся в зоне реакции. В связи с конечной шириной зоны реакции и временем реакции в ней, часть выделяющейся энергии теряется из-за *бокового разлета* образующихся газов (рис. 16). Доля потерь тем больше, чем меньше диаметр заряда из-за увеличения относительного количества вовлекающихся в боковой разброс из зоны реакции газов. В зарядах, в которых энергия «подпитки» детонационной волны недостаточна для компенсации потерь энергии сжатия и разогрева последующих слоев исходного ВВ, детонация прекращается. Диаметр, при уменьшении которого устойчивое распространение детонации по заряду становится невозможным, называется *критическим* $d_{кр}$.

Величину $d_{кр}$ можно оценить из выражения

$$d_{кр} \approx 2 \cdot \bar{c} \tau \approx 2ca/D - u,$$

где c — скорость звука в продуктах разложения, принимаемая при грубых оценках равной $1/2 D$.

Скорость, с которой ВВ детонирует в заряде критического диаметра, называют *критической*. Она является наименьшей для данного ВВ выбранной плотности (рис. 17). С увеличением диаметра заряда скорость повышается. Детонация грубодисперсных ВВ (кривая 1) характеризуется наибольшей зависимостью от диаметра заряда $d_{зар}$, меньшей — у порошкообразных ВВ (кривая 2), еще меньшей — у водосодержащих, пресованных и литых (кривые 3, 4 и 5) и наименьшей — у жидких ВВ (кривая 6).

Диаметр заряда, при превышении которого параметры детонации не возрастают, называется предельным или идеальным $d_{пр}$. Скорость, с которой ВВ детонирует в таком заряде, наибольшая и называется *предельной* или идеальной $D_{и}$.

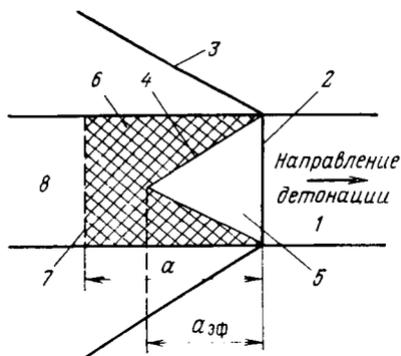


Рис. 16. Схема разлета продуктов детонации открытого заряда:

1 — исходное ВВ; 2 — фронт детонационной волны; 3 — фронт разлета продуктов реакции; 4 — фронт волны разрежения; 5 — эффективная зона реакции (зона реакции, не охваченная волной разрежения); 6 — часть зоны реакции, не участвующая в усилении (подпитке) детонационной волны; 7 — плоскость Чепмена—Жуге; 8 — продукты реакции

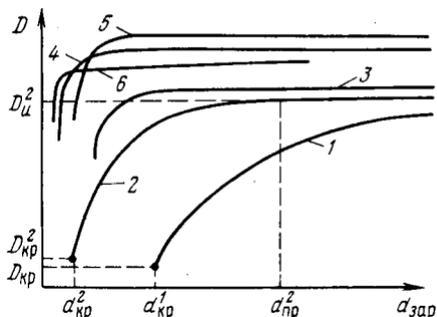


Рис. 17. Зависимость скорости детонации от диаметра заряда:

$d_{кр}^1$ и $d_{кр}^2$ — критические диаметры грубодисперсного и порошкообразного ВВ; $D_{кр}$ и $D_{кр}^2$ — критические скорости детонации грубодисперсного и порошкообразного ВВ; $d_{пр}^2$ и $D_{и}^2$ — предельный диаметр и идеальная скорость детонации порошкообразного ВВ

При взрывании в зарядах больших $d_{кр}$, но меньших $d_{пр}$ детонация протекает в *неидеальных*, но все же *нормальных* стационарных режимах.

С уменьшением *размера частиц ВВ* величина критического и предельного диаметров уменьшается, а значения $D_{кр}$ возрастают (см. кривые 1 и 2 на рис. 17). В области *неидеальных* режимов с большей скоростью в зарядах одинакового диаметра детонируют более дисперсные ВВ. У смесевых ВВ, кроме того, важно и качество смешения компонентов. Однако значение $D_{и}$ не зависит от дисперсности, а определяется только химическим составом ВВ. Наименьшими значениями $d_{кр}$ отличаются мощные ВВ (тэн, гексоген, тетрил и др.— 1—4 мм), наибольшими — грубодисперсные и водосодержащие (игданит, ифзанит и др.— 100—200 мм).

Прочная и массивная оболочка заряда, затрудняя боковой разброс газов, снижает критический и предельный диаметры особенно дисперсных ВВ (рис. 18). Скорость детонации повышается, причем тем значительнее, чем ближе диаметр заряда к критическому. Это повышение, например, при взрывании гранулированных ВВ достигает 1000—1500 м/с. При размерах зарядов, больших $d_{пр}$, влияние оболочки прекращается.

Повышение плотности вследствие увеличения концентрации энергии в единице объема увеличивает скорость детонации индивидуальных ВВ в среднем на 300—400 м/с на каждые 0,1 г/см³ плотности (рис. 19, прямая АВ) и уменьшает предельный диаметр заряда.

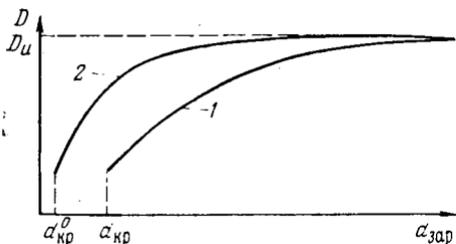


Рис. 18. Влияние оболочки на скорость детонации дисперсных ВВ: 1 — изменение скорости детонации от диаметра заряда без оболочки; 2 — изменение скорости детонации от диаметра заряда с оболочкой; $d_{кр}$ и $d_{кр}^0$ — критические диаметры зарядов без оболочки и с оболочкой; D_u — идеальная скорость детонации зарядов с оболочкой и без оболочки

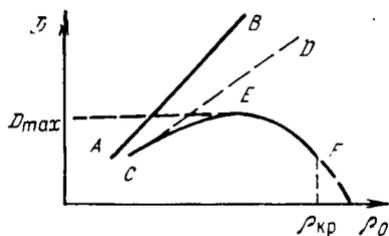


Рис. 19. Влияние плотности на скорость детонации индивидуальных и смесевых ВВ

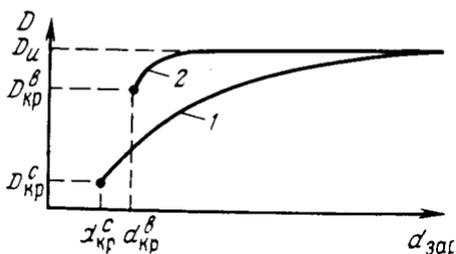


Рис. 20. Влияние водоуплотнения на скорость детонации водоустойчивых гранулированных ВВ:

1 и 2 — изменение скорости детонации от диаметра сухого и водоуплотняемого зарядов; $d_{кр}^с$ и $d_{кр}^в$ — критические диаметры сухого и водоуплотняемого зарядов; $D_{кр}^с$ и $D_{кр}^в$ — критические скорости детонации сухого и водоуплотняемого зарядов; D_u — идеальная скорость детонации

Влияние плотности на детонацию смесевых ВВ сложнее. В зарядах диаметром больше предельных параметры детонации изменяются так же, как и у индивидуальных ВВ (прямая CD на рис. 19). В области неидеальной детонации рост скорости имеет место при увеличении плотности лишь до некоторой величины (точка E), после которой наблюдается ее спад вплоть до критической плотности $\rho_{кр}$, выше которой детонация невозможна из-за ухудшения условий для протекания реакции между компонентами смеси (точка F). Применение зарядов больших диаметров смещает точку F в область больших значений плотности. В результате при *переуплотнении* ВВ в шпурах наблюдаются затухания детонации и отказы взрывов.

Критический диаметр при увеличении плотности смесевых ВВ возрастает. У индивидуальных ВВ критический диаметр с увеличением плотности (вплоть до близкой к плотности монокристалла) уменьшается, а при дальнейшем повышении — резко возрастает. В то же время предельный диаметр уменьшается.

Влияние *инертных добавок* различно. Дисперсные добавки уменьшают скорость детонации; жидкие, напротив, повышают. Аммонит № 6ЖВ детонирует с инертной пылью со скоростью меньшей, чем без примесей. При содержании пыли более 50% детонация затухает.

Заполнение зарядов грубодисперсных индивидуальных ВВ водой, бензином, дизельным топливом и т. п. повышает скорость их детонации. Однако чем больше диаметр заряда, тем меньшая разница в скоростях детонации водосодержащих и сухих ВВ (рис. 20).

5.6. ФУГАСНОСТЬ И БРИЗАНТНОСТЬ ВВ

Образовавшиеся под высоким давлением газы при расширении наносят резкий удар по окружающей среде, производя ее сжатие, разрушение и метание. Среди различных форм работы, совершаемой газами, выделяют общее (или фугасное) и местное (или бризантное) действие взрыва.

Общее действие взрыва проявляется в разрушении (дроблении), отрыве и метании значительных масс горных пород. Процесс заканчивается, когда остаточное давление газов уравновешивается противодействием среды. Полная работа пропорциональна энергии взрыва и коэффициенту ее преобразования η_n в механическое воздействие на среду:

$$A_n = \eta_n Q_{\text{взр}} = Q_{\text{взр}} \left[1 - (P_2/P_1)^{\frac{k-1}{k}} \right],$$

где P_1 и P_2 — начальное и конечное давление газов при воздействии на среду; $k = c_p/c_v$ — показатель изэнтропы расширяющихся газов.

Чем больше давление P_1 и меньше P_2 , тем больше величина η_n и соответственно полная работа взрыва.

Обычно величина η_n не превышает 40—60 %, тогда как на полезные формы работы расходуется и того меньше — менее 5—15 % энергии взрыва. Только при взрыве в воздухе с целью образования воздушной волны, когда давление P_2 равно атмосферному, в работе используется около 85 % энергии взрыва.

Работа в какой-либо полезной форме общего (фугасного) действия взрыва (дробление, выброс и др.) пропорциональна полной работе взрыва:

$$A_{\text{оп}} = \eta_{\text{оп}} A_n,$$

где $\eta_{\text{оп}}$ — коэффициент полезного действия взрыва.

Бризантное действие взрыва совершается в непосредственной близости от поверхности заряда. Проявляется оно в сильнейшем излишнем дроблении среды и происходит со значительными затратами энергии на пластические деформации. Определяется бризантное действие плотностью энергии во фронте детонационной волны, пропорциональной произведению $\rho_0 D^2$. Завершается процесс при падении давления газов примерно до величины 4—6 значений прочности среды на сжатие. Затраты энергии на местное действие в прочных средах много меньше, чем на общее, однако могут достигать значительных в ряде случаев величин, ухудшая общее действие взрыва. Бризантным

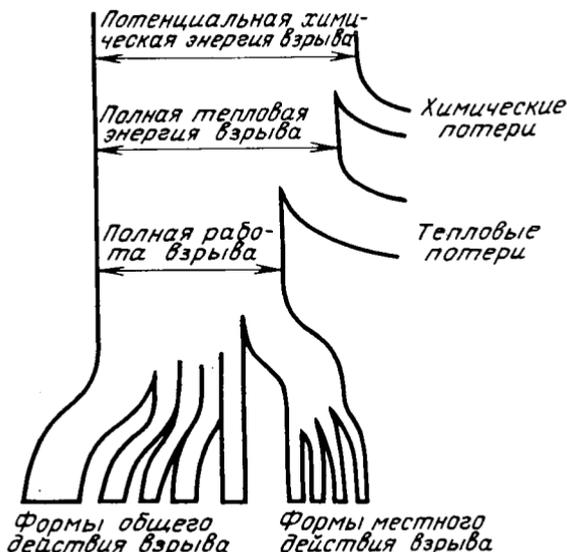


Рис. 21. Баланс энергии ВВ при взрыве

действием обладают только *бризантные ВВ*, т. е. взрывчатые вещества, для которых характерным видом взрывчатого превращения является детонация.

В целом потенциальная энергия ВВ используется при взрыве следующим образом (рис. 21). Из-за неполноты взрывчатого превращения имеют место химические потери. В свою очередь, фактическая теплота взрыва $Q_{\text{взр}}$ не превращается полностью в работу вследствие наличия в газах остаточного тепла, так называемых тепловых потерь, тем больших, чем больше противодействие среды, определяющее величину P_2 . Большая часть полной работы проявляется в виде общего (фугасного) действия взрыва, меньшая — в виде местного (бризантного). Между различными формами действия взрыва и полной работой взрыва наблюдается пропорциональная зависимость.

Способность ВВ совершать общее и местное воздействие на среду при взрыве называют соответственно *фугасность* и *бризантность*.

Наиболее распространенным стандартизированным *методом оценки фугасности ВВ* с критическим диаметром не более 20 мм является испытание в стандартной бомбе Трауцля, которая представляет собой свинцовый цилиндр высотой и диаметром 200 мм с осевым каналом диаметром 25 мм на глубину 125 мм (рис. 22).

Испытание заключается во взрывании $10 \pm 0,01$ г ВВ на дне канала с помощью электродетонатора, после чего измеряют объем полости за вычетом объема канала и расширения, про-

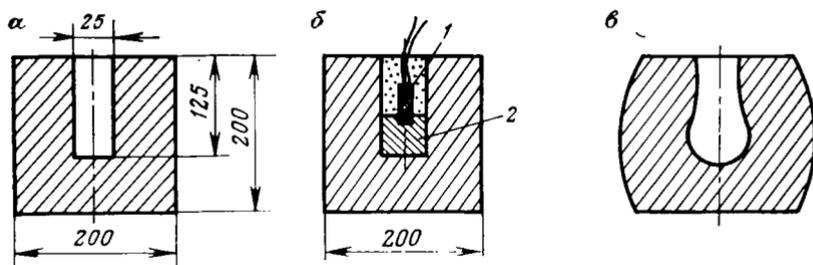
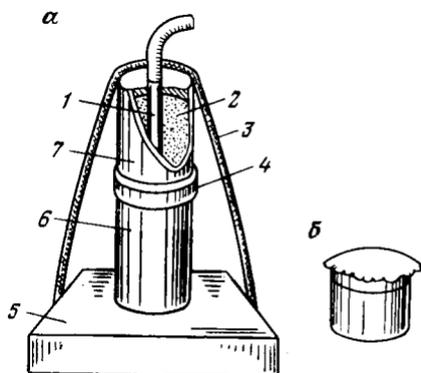


Рис. 22. Испытания ВВ на фугасность: а — бомба Трауцля; б, в — бомба до и после взрыва; 1 — электродетонатор; 2 — заряд ВВ

Рис. 23. Определение бризантности ВВ:

а — сборка перед взрывом; б — обжатый свинцовый столбик



изведенного электродетонатором. Этот объем и принимают за меру фугасности, которая у большинства ВВ составляет 250—550 см³. На расширение полости затрачивается от 50 до 75 % энергии взрыва. Иногда фугасность тех же ВВ определяют с помощью специальных баллистической мортиры или маятника.

Фугасность грубодисперсных ВВ оценивают по воронкообразованию (взрывают заряды в заданной горной породе и определяют объемы разрушения) или по дроблению породных блоков и кубиков (взрывают блоки или кубики и определяют качество дробления).

Большое влияние на фугасные свойства ВВ оказывают их детонационные характеристики. Обычно в крепких скальных породах большее фугасное действие производят ВВ, детонирующие с большей скоростью, в мягких грунтах — с меньшей скоростью.

Стандартные испытания на бризантность ВВ с критическим диаметром до 60 мм проводят с помощью обжатия свинцовых столбиков б зарядами 2 массой 50 г при плотности 1,0 г/см³ в бумажных патронах 7 (проба Гесса). Между столбиком и зарядом прокладывают стальную пластину 4 диаметром 41 мм, а столбик располагают на массивной подставке 5 (рис. 23). Сборку укрепляют шпагатом 3, взрывание производят капсюлем-детонатором 1. О бризантности судят по величине обжатия

столбика, т. е. по разности между средними его высотами до и после взрыва, выраженной в мм. Бризантность большинства ВВ находится в пределах 10—30 мм. Бризантность ВВ с предельным диаметром детонации не более 20 мм оценивают по *пробе Каста* — по обжатию медных крешерных столбиков.

5.7. ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ВВ К ТЕПЛОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

Наличие взрывчатых свойств у ВВ определяет лишь потенциальную возможность взрыва. Чтобы ее реализовать, надо воздействовать на ВВ так, чтобы возбудить протекание в нем интенсивных реакций и вызвать взрыв. Такое воздействие называют *начальным* (инициирующим) *импульсом*.

В зависимости от свойств для возбуждения взрыва одних ВВ достаточно незначительного воздействия, для других — необходимо очень сильное воздействие. Например, иодистый азот взрывается от прикосновения птичьего пера, азид свинца — от легкого удара, тротил не взрывается и от удара винтовочной пули, а игданит — и от взрыва 15—20 капсюлей-детонаторов. Все они обладают разной чувствительностью, которая характеризует способность ВВ реагировать на внешние воздействия возникновением горения или взрыва. Оценивают чувствительность *минимальной величиной начального импульса*.

В общем случае чувствительность ВВ не является постоянной, а зависит от большого числа факторов. Наибольшее значение для безопасности и эффективности взрывных работ имеет чувствительность ВВ к тепловым, механическим и взрывным воздействиям. Известно много мощных ВВ, обладающих, однако, очень высокой чувствительностью, которая исключила их применение в технике.

Возбудить взрыв можно тепловыми, механическими, электрическими, взрывными и другими начальными импульсами. *Особенностью* ВВ является их избирательная чувствительность к отдельным видам воздействий. Начальные импульсы одинаковой энергии при возбуждении взрыва неравноценны. Например, тротиловая шашка при поджигании спокойно сгорает, а от капсюля-детонатора детонирует с большим механическим эффектом; азид свинца от легкого удара взрывается, а на тепловое воздействие такой же энергии реагирует слабо.

Возникновение *вспышки ВВ* при тепловом воздействии подобно механизму теплового взрыва.

Допустим, что температура среды равна T_0 . Тогда температура ВВ за счет *саморазогрева* при разложении поднимется до величины T_1 (рис. 24). При ней обеспечивается равенство *теплоприхода* (определяется кривой 1) и *теплоотвода* (определяется прямой 2). Дальнейшего повышения температуры не будет из-за того, что отвод q_1 энергии разложения больше, чем ее выделяется при температуре среды T_0 , — прямая 2 выше кривой 1

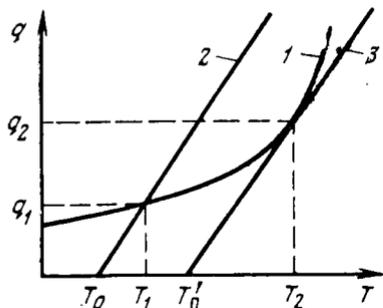
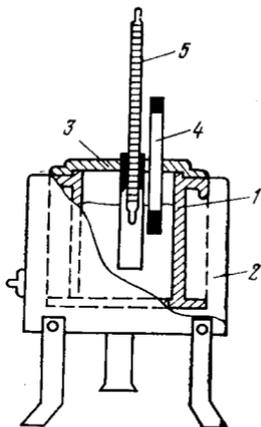


Рис. 24. Изменение соотношения между теплоприходом и теплоотводом при нагреве среды

Рис. 25. Термостат для определения температуры вспышки:

1 — корпус бани; 2 — футляр; 3 — крышка; 4 — пробирка с ВВ; 5 — термометр



при всех $T > T_1$. При нагреве среды до температуры T_0' теплоотвод q_2 от ВВ происходит по прямой 3, которая при любой температуре ниже, чем кривая 1. Теперь теплоотвод q не в состоянии компенсировать теплоприход. Разогрев ВВ прогрессирует и резко ускоряется его превращение — возникает воспламенение. Минимальную температуру среды T_0' , при которой наступает воспламенение ВВ, называют *температурой вспышки* и используют в качестве показателя чувствительности ВВ к тепловому воздействию.

Температура вспышки $T_{всп}$ определяется свойствами ВВ (скоростью разложения и его тепловым эффектом) и факторами, влияющими на теплоотвод (величиной и формой навески ВВ, толщиной оболочки, скоростью нагрева и т. д.).

С уменьшением навески разложение ВВ проходит без вспышки из-за увеличения отношения поверхности навески (определяющей теплоотвод) к объему (определяющему теплоприход). С увеличением навески $T_{всп}$ понижается. Наличие оболочки ухудшает теплоотвод, повышая чувствительность ВВ.

Большая скорость нагрева повышает $T_{всп}$, малая — снижает. Однако при очень медленном нагреве вспышки может и не быть — из-за разложения ВВ в области малых температур. Также может не быть вспышки и при очень быстром нагреве — из-за быстрого плавления и кипения ВВ с образованием паров низкой плотности. Например, тротилловые навески весом 0,05 г вспыхивают при бросании в пробирку с температурой 320 °С и беспламенно разлагаются при температуре пробирки 400 °С.

В этой связи для сопоставления чувствительности испытания проводят в одинаковых для всех ВВ условиях.

Температуру вспышки определяют в термостате (рис. 25). Навеску ВВ массой 0,05 г помещают в пробирку и опускают

в баню с легкоплавким сплавом Вуда, предварительно нагретым до 100 °С. Повышая затем температуру бани со скоростью 20 °С в минуту, устанавливают температуру, при которой произошла вспышка. Показательно, что опасный в обращении азид свинца взрывается при температурах больших, чем менее опасные тэн, гексоген. Температуры вспышки большинства ВВ находятся при этом в пределах 170—350 °С.

Другой метод определения $T_{всп}$ заключается в установлении времени с момента помещения ВВ в баню до вспышки. Получаемые показатели в основном подтверждают данные предыдущего метода. Температуры вспышки при задержке 5 с равны 200—500 °С.

Чувствительность к лучу огня оценивают поджиганием 1 г навески ВВ в пробирке отрезком огнепроводного шнура. Определяют наибольшее расстояние между ВВ и торцом шнура, при котором происходит поджигание ВВ. Большинство бризантных ВВ в условиях свободного оттока образующихся газов сгорает без взрыва. Исключенные составляют пластичные динамиты, которые могут взрываться. При наличии оболочки горение многих ВВ может перейти во взрыв.

Особенностью иницирующих ВВ является быстрый переход их горения в детонацию. Этот переход обеспечивается высокой скоростью горения, большой зависимостью этой скорости от давления и большой газопроницаемостью или диспергируемостью (дробимостью) вещества при поджигании.

Скорость горения так велика, что и при свободном горении повышения давления у поверхности горящего ВВ достаточно для проникновения газов в поры впереди фронта горения. С ростом давления скорость реакции становится еще большей и возможно увеличение поверхности горения не только за счет опережающего проникновения газов в глубь заряда, но и диспергирования вещества. Толщина слоя взвеси диспергированных и окруженных горячими газами частиц увеличивается и при определенных критических их значениях, вследствие динамического роста давления или по тепловому механизму, возникает взрыв. При достаточном количестве взвеси возбуждается детонация ВВ.

5.8. ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ВВ К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

В процессе применения и при изготовлении, перевозке и хранении ВВ подвергаются как случайным, так и вызванным технологической необходимостью воздействиям — ударам, трению и др. Такие воздействия возможны при ручном и механизированном зарядании, транспортировании, погрузке и разгрузке, разбурировании массивов с отказавшими зарядами и др.

Возбуждение взрыва представляется следующим образом. Часть энергии механического воздействия трансформируется в тепловую. В случае удара происходят локальные разогревы за

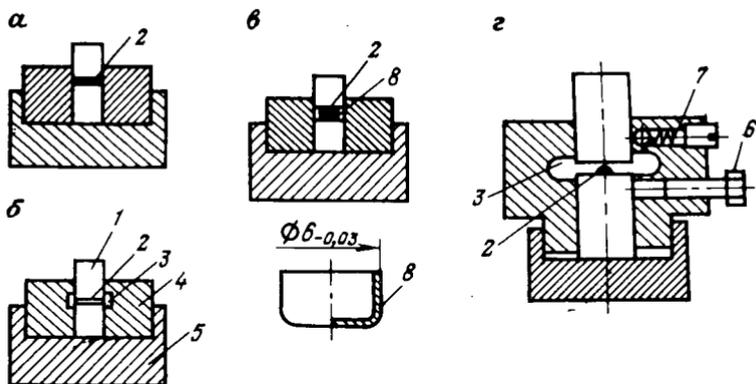


Рис. 26. Приборы а, б, в, г для определения чувствительности ВВ к удару: 1 — ролик; 2 — ВВ; 3 — канавка; 4 — муфта; 5 — поддон; 6 — винт; 7 — фиксатор; 8 — колпачок

счет интенсивных пластических деформаций и течений в областях механических неоднородностей ВВ с образованием так называемых «горячих точек». При трении тепловая энергия локализуется в «горячих точках» поверхностного слоя ВВ. При достаточной мощности воздействия из совокупности «горячих точек» образуется и развивается очаг теплового возбуждения взрыва такой величины и интенсивности, что выделяющаяся в нем энергия реакций обеспечивает постепенное его превращение в зону химической реакции стационарной детонационной волны.

Чувствительность ВВ, таким образом, зависит от его химических и физических свойств и особенностей механических воздействий. Из физических свойств важна текучесть, из особенностей воздействий — те, которые определяют поглощение и локализацию их энергии. Также важны поверхностная энергия и прочность ВВ.

Чувствительность к удару определяют на копрах. Копер обычно состоит из двух вертикальных направляющих, по которым свободно перемещается груз, производящий при сбрасывании удар по навеске ВВ. Груз фиксируют на определенной высоте захватами, навеску ВВ (не менее 10 мг) располагают в испытательных роликовых приборах (рис. 26, а, б, в, г). Повторяемость испытаний не менее 25.

В приборе а ролики 1 точно подогнаны к обойме, что затрудняет свободное течение ВВ. Прибор б отличается наличием кольцевой канавки 3 в обойме на уровне расположения навески, обеспечивающей свободное истечение в нее ВВ. В приборе в испытывают жидкие и текучие ВВ, помещенные в колпачок 8. С помощью прибора г определяют высоту сбрасываний, соответствующую заданной частоте взрывов.

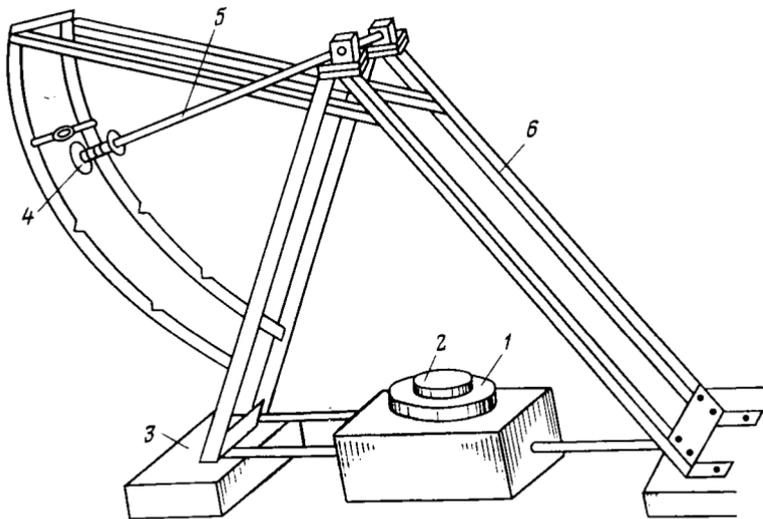


Рис. 27. Фрикционный маятник для оценки чувствительности ВВ к трению: 1 — наковалья; 2 — поперечные канавки с ВВ; 3 — основание; 4 — башмак; 5 — маятник; 6 — корпус

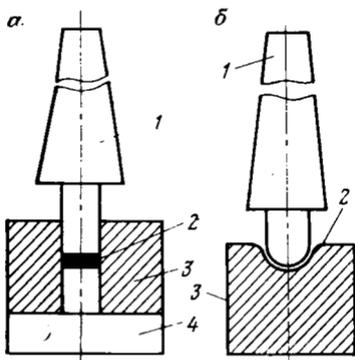


Рис. 28. Прибор для оценки чувствительности ВВ к трению с плоскими (а) и шаровыми (б) поверхностями: 1 — вращающийся пуансон; 2 — навеска ВВ; 3 — обойма; 4 — поддон

Чувствительность ВВ к удару оценивают либо по максимальной высоте падения груза массой 2 или 10 кг, при которой не получают ни одного или не более одного взрыва из 25 определений (так называемый нижний предел чувствительности), либо по частоте взрывов на заданной высоте в процентах при постоянном числе сбрасываний груза.

Зависимость чувствительности от условий испытаний требует их приближения к натурным условиям. На большом копре испытывают ВВ, имитируя падение их на жесткое основание, защемление между плитами и т. п. При этом навеску ВВ массой 3 г и диаметром 20 мм помещают между двумя дисками диаметром 41 мм и толщиной 10 мм. Масса груза составляет 24 кг.

Чувствительность аммонита № 6ЖВ, аммонита скального № 1, алюмотола и других выше, чем в испытаниях на малом

копре, что указывает на большое значение не только течения, но и сжатия ВВ при его ударе и требует учета условий предполагаемых воздействий.

Чувствительность к трению не тождественна чувствительности при ударе, хотя роль трения в возбуждении взрыва при ударе существенна. *Чувствительность к трению* определяют с помощью фрикционного маятника, прибора Боудена-Козлова или истиранием между двумя стальными поверхностями.

Фрикционный маятник (рис. 27) состоит из стальной наковальни 1, в трех поперечных канавках 2 которой помещают 7 г ВВ, и маятника 5 длиной 185 см с башмаком 4 на конце. При проходе башмака над наковальней ВВ подвергается трению, сила которого регулируется.

ВВ считается выдержавшим испытание, если в 10 опытах при башмаке из твердой фибры и высоте подвеса маятника 1,5 м с дополнительным грузом массой 20 кг оно не взрывается и не горит. При этих испытаниях взрывов тротила и тетрила не происходит, гексоген взрывается в 2 из 10 опытов, тэн — в 5, нитрогликоль — в 7, нитроглицерин — в 10.

Чувствительность к трению оценивают на приборе при истирании навески ВВ $0,03 \pm 0,005$ г (рис. 28) между плоскими (а) или шаровыми (б) поверхностями. Одну из поверхностей вращают со скоростью $5,43 \text{ с}^{-1}$. Определяют то максимальное *давление прижатия* поверхности, при котором не наблюдается взрыва ВВ. Его считают нижним пределом чувствительности ВВ к трению.

Технологические воздействия возможны при бурении пород с остатками ВВ, при механическом зарядании зарядчиками метательного типа, барабанными, роторными, камерными зарядными установками и т. п. Исследования технологических воздействий проводятся на специальных стендах.

5.9. ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ВВ К ИНИЦИИРОВАНИЮ

Детонацию ВВ обычно возбуждают *взрывным импульсом*, инициирующим агентом которого является ударная волна от взрыва инициирующего ВВ. Последний возбуждают тепловым, электрическим, механическим или другими импульсами. Роль горячих продуктов взрыва и разлетающейся оболочки в инициировании ВВ незначительна.

Знание чувствительности ВВ к взрывным воздействиям необходимо как для безотказного взрывания зарядов, так и для безопасного хранения ВВ.

Для возбуждения детонации необходимо, чтобы ударная волна инициирующего ВВ образовала тепловой очаг возбуждения таких размеров и интенсивности, при которых выделяющаяся в нем энергия была бы достаточной для преобразования ее в детонационную. Чем больше давление и продолжи-

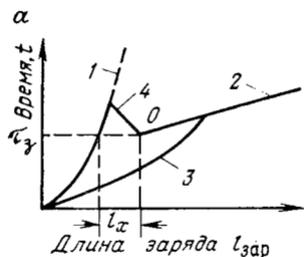
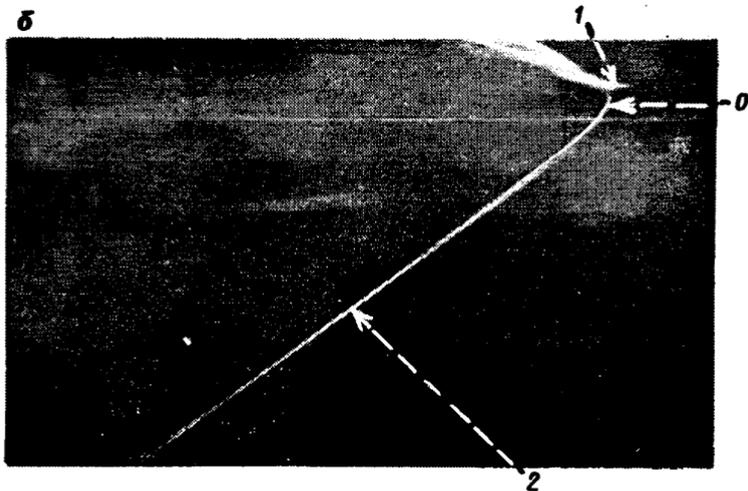


Рис. 29. Схема детонации однородных и близких к ним ВВ (а) и регистрограмма возбуждения детонации водонаполняемого грануло-тола (б):

1 — траектория движения торца заряда; 2 — распространение детонационной волны; 3 — перемещение фронта ударной волны; 4 — распространение ретонационной волны; O — очаг возбуждения детонационной волны



тельность действия ударной волны, тем выше температура разогревов ВВ, а следовательно, тем больше скорость протекающих в очаге реакций. Наибольшей инициирующей способностью обладают ударные волны с параметрами, близкими к параметрам детонационной волны ВВ.

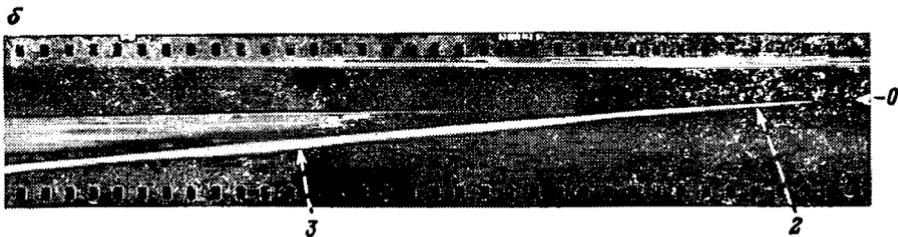
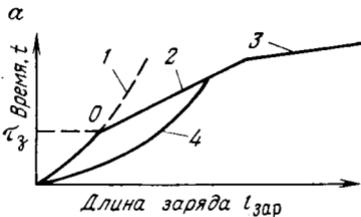
Каждое ВВ характеризуется критическим значением давления инициирования $P_{кр}$, называемого *порогом инициирования*. Ударные волны с давлением ниже критического не возбуждают детонации ВВ. Порог инициирования зависит от химической природы ВВ, его плотности, агрегатного состояния, размера частиц, диаметра заряда и других факторов, определяющих особенности механизма и параметры детонации ВВ.

Ударные волны с разным давлением можно получить, помещая между *активным* (генерирующим ударную волну) и *пассивным* (воспринимающим взрывное воздействие) зарядами преграды различной толщины.

Разогрев *однородных* по физико-механическим свойствам ВВ в ударных волнах равномерен. В этой связи необходимый высокотемпературный разогрев образует только мощные волны — волны с давлением на фронте 10—20 ГПа. Детонаци-

Рис. 30. Схема детонации неоднородных ВВ α (а) и регистрограмма возбуждения детонации граммонита 79/21 (б):

1 — траектория движения торца заряда; 2 — распространение низкоскоростной детонационной волны; 3 — распространение высокоскоростной нормальной детонации; 4 — перемещение фронта ударной волны; 0 — очаг возбуждения детонации



онная волна формируется с задержкой τ_z в результате возбуждения теплового очагового взрыва на удалении от поверхности заряда. Нагоняя фронт ударной волны, детонационная волна обеспечивает разложение всего ВВ в детонационном режиме с постоянной скоростью (рис. 29). Удаление очага возбуждения детонации l_x от поверхности заряда тем меньше, чем интенсивней ударная волна. Однако скорость детонации постоянная и не зависит от давления, если оно превышает критическое $P_{кр}$. В направлении от очага 0 к торцу заряда распространяется ретонационная (обратная) волна.

В неоднородных по физико-механическим свойствам ВВ необходимый разогрев образуется не во всем объеме сжатия, а лишь на механических неоднородностях вещества. В этой связи мощность инициирующей волны может быть значительно меньшей. Энергия протекающих в «горячих точках» совокупности очаговых тепловых микровзрывов усиливает ударный фронт, ускоряя его от поверхности заряда и преобразуя постепенно или скачкообразно в детонационный (рис. 30). Участок ускорения волны тем меньше, чем мощнее инициирующие воздействия.

Применяемые ВВ (литые, водосодержащие, прессованные и др.) детонируют при сочетании обоих механизмов разложения. Критические значения давления их инициирования находятся в пределах 3,0—8,0 ГПа.

Увеличение диаметра заряда существенно снижает порог инициирования ВВ.

Помимо величины важно время действия инициирующего давления. Более точную оценку чувствительности ВВ получают, пользуясь критическим импульсом возбуждения детонации, равным произведению давления на время его действия $I_{кр} = P \cdot t$.

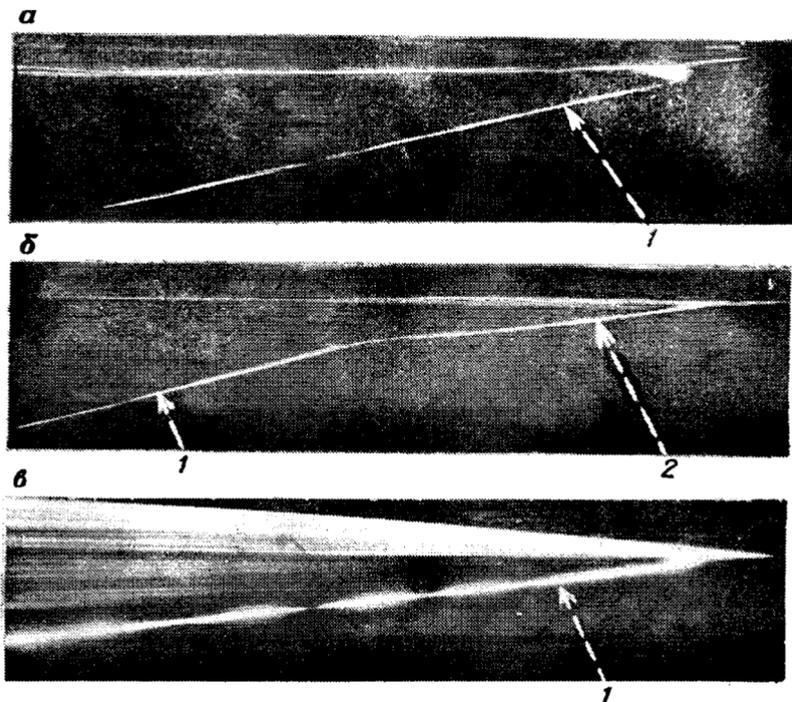


Рис. 31. Возбуждение детонации грубодисперсных ВВ:

a — водонаполняемого гранулозола тротиловой шашкой массой 20 г; *б* — гранулита АС-4 шашкой массой 100 г; *в* — граммонита 79/21 шашкой массой 400 г; 1 — нормальная высокоскоростная детонация; 2 — низкоскоростная детонация

В связи с зависимостью времени действия взрыва от массы ВВ чувствительность оценивают по минимальной массе инициатора, возбуждающего устойчивую детонацию. Такую массу называют *минимальным иницирующим импульсом*. Величина минимального иницирующего импульса (в граммах гремучей ртути) для порошкообразных ВВ составляет доли грамма, для гранулированных — десятки граммов, для ряда водосодержащих — десятки—сотни граммов.

Применение иницирующих ВВ в больших количествах опасно и нерационально. Поэтому для возбуждения взрыва низкочувствительных ВВ их используют только в сочетании с менее опасными высокочувствительными бризантными ВВ, которые усиливают воздействие иницирующих ВВ.

Детонация однородных и близких к ним ВВ возбуждается в *нормальных высокоскоростных режимах* во всех случаях, когда масса инициатора превышает минимально необходимую величину (рис. 31, *a*). Исключение составляют особые случаи иницирования с образованием низкоскоростной детонации.

Детонация неоднородных ВВ хотя и возбуждается инициаторами меньшей массы, но на значительных (до 3—4 диамет-

ров заряда) участках протекает в *низкоскоростных* (менее 0,4—0,5 величины скорости нормальной детонации) режимах. Последние плавно или скачком переходят в *высокоскоростной нормальный* процесс (рис. 31, б). Длина участка перехода и скорости процесса на нем зависят от массы инициатора. Например, взрывание гранулитов без низкоскоростных режимов протекает при массе тротиловой шашки больше 250—300 г, грамонитов — 150—200 г.

Превращение ВВ при низкоскоростной детонации происходит *по механизму горения частиц* с поверхности и характеризуется значительными потерями энергии. Если не принимать должных мер к их устранению посредством основного или дополнительного мощного инициирования, эффект взрыва существенно снижается. При комбинированном инициировании (первоначально слабым, а затем — мощным детонаторами) возможно снижение бризантного и повышение фугасного действия взрыва.

Детонация после возбуждения является самораспространяющимся процессом, не только незатухающим, но и трудно прерываемым различными преградами.

Передачу детонации через инертные преграды называют *детонацией через влияние*. Расстояние, на котором через преграду вызывается детонация, называют *расстоянием передачи детонации S*. В качестве преграды используют инертные среды — воздух, воду, горные породы, стены и др. С увеличением толщины преграды уменьшается давление проходящей через нее ударной волны и падает ее иницирующая способность.

Расстояние передачи детонации сосредоточенных зарядов небольшой массы (до 150 кг) определяют по формуле

$$S = k_1 \sqrt{G},$$

где k_1 — коэффициент, характеризующий свойства ВВ обоих зарядов и среды между ними, равный, например, 0,48 при взрыве аммонита № 6ЖВ в воздухе; G — масса заряда.

Для случаев зарядов большей массы (более 1000 кг) используют формулу

$$S = k_2 \sqrt[3]{2G} \sqrt[4]{d},$$

где k_2 — коэффициент, характеризующий свойства ВВ и среды, равный, например, 0,65 при взрыве аммонита № 6ЖВ в воздухе; d — поперечный размер пассивного заряда; $\sqrt[3]{2}$ — коэффициент, учитывающий взрывание на поверхности земли.

Вероятность передачи детонации важна для надежного взрывания зарядов, состоящих из отдельных патронов или частей, для установления толщины стен между ячейками хранилищ ВВ, обеспечивающих локализацию взрыва в одной из них, для проектирования средств заряжания. Промышленные патронированные ВВ детонируют, например, если промежутки между патронами диаметром 32—36 мм достигают 3—25 см.

При испытаниях два патрона соосно укладывают на грунт. Один из них взрывают. Определяют максимальное расстояние между ними, при котором в двух последовательных опытах происходит взрыв второго патрона.

Передача детонации через плотные среды происходит на меньшие расстояния, чем в воздухе. Так, в воде это уменьшение составляет 5—6 раз, в известняках — 9—12 раз, в песке — 2—8 раз и т. д. Передача детонации при наличии оболочки увеличивается до 3—5 и более раз. Чем выше чувствительность ВВ пассивного заряда, тем больше расстояние передачи детонации.

Глава 6

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА

6.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВВ

Бризантные ВВ, предназначенные для взрывных работ в народном хозяйстве, называются *промышленными*.

По условиям применения промышленные ВВ подразделены на восемь классов (табл. 8).

Непредохранительными ВВ называют промышленные ВВ, используемые в условиях, когда в месте ведения взрывных работ исключено образование взрывоопасной среды. *Предохранительными* — промышленные ВВ, обладающие пониженной способностью к воспламенению взрывоопасных сред, применяемые в опасных по газу или пыли шахтах.

К V и VI классам относят ВВ, выдержавшие испытания взрыванием открытого заряда массой 200 г (V класс) и 1000 г (VI класс) в среде газа и угольной пыли.

Выпускают ВВ в патронах, пакетах, мешках и ящиках. Для отличия соответствующих ВВ цвета оболочек патронов и диагональных полос на ящиках, мешках и пакетах приняты разными.

На всех патронах, пачках, мешках, ящиках ставится штамп завода-изготовителя с указанием индекса завода, наименования ВВ, номера партии, массы патрона, мешка, ящика, даты изготовления (месяц и год) в соответствии с существующим ГОСТом. Каждая партия ВВ сопровождается кратким руководством по применению, гарантийному сроку хранения, порядку испытаний, правилам обращения.

По химическому составу ВВ разделяются на:

- 1) нитросоединения и их сплавы (тротил, алюмотол, гексоген, тэн, тетрил);
- 2) нитроэфирсодержащие (динамиты, детониты, победиты, углениты);

Таблица 8

Класс ВВ	Вид ВВ и условия применения
I	Непредохранительные ВВ для взрывания только на дневной поверхности
II	Непредохранительные ВВ для взрывания на земной поверхности и в забоях подземных выработок, в которых либо отсутствует выделение горючих газов или пыли, либо применяется инерттизация призабойного пространства, исключающая воспламенение взрывоопасной среды при взрывных работах
III	Предохранительные ВВ для взрывания только по породе в забоях подземных выработок, в которых имеется выделение метана и отсутствует взрывчатая пыль
IV	Предохранительные ВВ для взрывания: по углю и(или) породе, или горючим сланцам в забоях подземных выработок, опасных по взрыву угольной или сланцевой пыли при отсутствии выделения метана; или по углю и (или) породе в забоях подземных выработок, проводимых по угольному пласту, в которых имеется выделение метана, кроме забоев, отнесенных к особоопасным по метану при взрывных работах; или для сотрясательного взрывания в забоях подземных выработок
V	Предохранительные ВВ для взрывания по углю и (или) породе в особоопасных по метану при взрывных работах в забоях подземных выработок, проводимых по угольному пласту, когда исключен контакт боковой поверхности шпурового заряда с метановоздушной смесью, находящейся либо в пересекающих шпур трещинах горного массива, либо в выработке
VI	Предохранительные ВВ для взрывания: по углю и (или) породе в особоопасных по метану при взрывных работах в забоях подземных выработок, проводимых в условиях, когда возможен контакт боковой поверхности шпурового заряда с метановоздушной смесью, находящейся либо в пересекающих шпур трещинах горного массива, либо в выработке; или в угольных и смешанных забоях восстающих (с углом более 10°) выработок, в которых выделяется метан, при длине выработок более 20 м и проведения их без предварительного пробуренных скважин, обеспечивающих проветривание за счет общешахтной депрессии
VII	Предохранительные ВВ и изделия из предохранительных ВВ IV—VII классов для ведения специальных взрывных работ (для водораспыления и распыления порошкообразных ингибиторов, для взрывного перемещения деревянных стоек при посадке кровли, при ликвидации завалов горной массы в углеспускных выработках, для дробления негабаритов) в забоях подземных выработок, в которых возможно образование взрывоопасной концентрации метана и угольной пыли
Специальный (С)	Непредохранительные и предохранительные ВВ и изделия из них, предназначенные для специальных взрывных работ, кроме забоев подземных выработок, в которых возможно образование взрывоопасной концентрации метана и угольной пыли

Примечания. 1. Степень опасности забоев по метану при взрывных работах устанавливается специальными инструкциями или другими нормативными документами, утвержденными в установленном порядке.

2. Перечень конкретных видов подземных выработок, в которых должны применяться ВВ соответствующих классов, устанавливается «Едиными правилами безопасности при взрывных работах» или другими нормативными документами, согласованными с Госгортехнадзором СССР.

3) аммиачно-селитренные (аммониты, аммоналы, граммониты, граммоналы, гранулиты, игданиты, динафталиты);

4) пороха (дымные, пироксилиновые, нитроглицериновые).

По структурным особенностям ВВ выпускаются: дисперсные — порошкообразные, чешуирированные или гранулированные; прессованные; литые; водосодержащие — текущие, пластичные или отвердевающие; пластичные; полупластичные; непластичные.

По плотности различают: высокоплотные ($\rho_0 \geq 1,4 \text{ г/см}^3$), насыпной плотности ($\rho_0 = 0,8 \div 1,0 \text{ г/см}^3$) и с низкой плотностью ($\rho_0 \leq 0,5 - 0,6 \text{ г/см}^3$) ВВ.

По физико-химическим свойствам ВВ разделяют на: водоустойчивые и неводоустойчивые; гигроскопичные и негигроскопичные; слеживающиеся и неслеживающиеся; текущие и нетекущие.

Различают высокочувствительные (иницирующие ВВ), повышенной чувствительности (тэн, гексоген, динамиты и др.), нормальной чувствительности (аммониты, аммоналы) и низкочувствительные (гранулиты, акватолы) ВВ. Для механизированного заряжания допущены низкочувствительные ВВ и патронированные аммониты.

6.2. ИНИЦИИРУЮЩИЕ ВВ

Иницирующие ВВ наиболее чувствительные и требуют большой осторожности в обращении. В порошкообразном состоянии их запрещено перевозить. Они легко детонируют от искры, пламени, накола, удара или трения, вызывая детонацию промышленных ВВ. Поэтому их применяют для снаряжения средств взрывания.

Гремучая ртуть — мелкокристаллический порошок белого или серого цвета. Ядовита, в сухом состоянии чрезвычайно чувствительна даже к таким воздействиям, как слабое царапание соломкой. При уплотнении порошка чувствительность снижается. В детонаторах гремучую ртуть применяют при объемной плотности около $3,3 \text{ г/см}^3$. Прессование под давлением более 50 МПа переуплотняет ВВ и оно не детонирует ни от искры, ни от удара, а только сгорает.

При температурах выше $50 \text{ }^\circ\text{C}$ гремучая ртуть начинает разлагаться, причем при соответствующих условиях со взрывом. В воде растворяется плохо, при увлажнении теряет детонационную способность. Например, при содержании влаги около 10 % она только горит, а при влажности более 30 % не взрывается ни от удара, ни от искры и не горит. Детонирует лишь от взрыва сухой гремучей ртути. Хранят поэтому ее во влажном состоянии. Увлажненная гремучая ртуть образует с медью, хотя и с трудом, фульминат меди, еще более чувствительный, чем сама гремучая ртуть. Допустимая влажность гремучей ртути при снаряжении детонаторов составляет 0,03 %.

Азид свинца — белый мелкокристаллический порошок. На свету окрашивается в желтый цвет. Хранят его в сосудах из темного стекла. Плохо растворим в воде, чувствительности при увлажнении не теряет. В присутствии CO_2 разлагается и не восприимчив к детонации. Не переуплотняется даже под давлением до 200 МПа. Чувствительность меньшая, чем у гремучей ртути. Но инициирующая способность, за счет более быстрого перехода горения в детонацию, в 3—5 раз выше, чем у гремучей ртути. С медью и латунию образует чувствительный азид меди. Поэтому детонаторы с азидом свинца в медных гильзах не производят.

Тенерес — тринитрорезорцинат свинца — золотисто-желтые, темнеющие на воздухе кристаллы. По инициирующей способности уступает и азиду свинца и гремучей ртути. Негигроскопичный, с металлами не взаимодействует, на влагу не реагирует. Чувствительней азид свинца к воздействию пламени. Поэтому является обязательным компонентом в азидовых детонаторах для обеспечения безотказности воспламенения и предохранения поверхности азид свинца от взаимодействия с влагой.

Теплота взрыва инициирующих ВВ 1500—1800 кДж/кг, скорость детонации 4500—5500 м/с.

6.3. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ БРИЗАНТНЫЕ ВВ

Эти ВВ применяют как вторичные инициирующие вещества в средствах взрывания, а также как сенсibiliзирующие компоненты промышленных ВВ, за исключением тротила, имеющего также и самостоятельное значение на открытых работах.

Тетрил — бледно-желтый кристаллический порошок. Водостойчив, с металлами не реагирует. От огня быстро загорается и быстро горит, иногда взрывается. Очень восприимчив к детонации. Чувствительность к удару и трению много меньше, чем у инициирующих ВВ, но выше, чем у тротила. Применяется для снаряжения детонаторов и изготовления шашек-детонаторов.

Гексоген — белый кристаллический порошок, не изменяющий свойств под влиянием влаги. Водостойчив, токсичен, плавится с разложением, химически стоек. В количествах до нескольких килограммов сгорает шипящим пламенем без взрыва. Для снижения чувствительности и улучшения пресуемости в гексоген добавляют флегматизатор — воск или парафин. Для отличия от чистого гексогена его окрашивают в красноватый цвет. Применяется для снаряжения детонаторов и детонирующих шнуров, а также в составах шашек-детонаторов и в аммонитах.

Тэн — белый кристаллический порошок. Водостойчив, с металлами не взаимодействует. Воспламеняется от огня с трудом, но при массе ВВ больше 1 кг взрывается. Высоко-

чувствителен к механическим воздействиям и более восприимчив к детонации, чем гексоген и тетрил. При флегматизаций окрашивается в розовый цвет. Сплав тэна с тротилом называют пентолитом, используют его для шашек-детонаторов. Применяют тэн в детонирующих шнурах и детонаторах.

Тротил — самое массовое индивидуальное ВВ светло-желтого цвета. Химически стойкий, водоустойчив, сгорает на воздухе со взрывом, если количество его велико — до сотен килограммов, или затруднен газоотвод. Чувствительность тротила низкая. Для взрывания литого, гранулированного и чешуированного тротила необходим промежуточный детонатор. Применяют тротил для литых и прессованных шашек-детонаторов, во многих смесевых составах, как самостоятельное мощное ВВ на открытых работах.

Нитроглицерин — бесцветная, маслянистая, вязкая, прозрачная жидкость, желтоватая при наличии примесей. Чрезвычайно чувствителен к механическим воздействиям. Химически стойкий, но при нагреве более 50—60 °С заметно разлагается, иногда со взрывом. Хорошо растворим в органических растворителях и сам является растворителем для нитроцеллюлозы. Это свойство используют для желатинизации нитроглицерина с целью уменьшения чувствительности. Ядовит, соприкасаясь с кожей человека, вызывает острые головные боли; также вредны его пары. Загорается от пламени с некоторым трудом. При быстром нагреве до 200 °С взрывается. Теряя пластичность, затвердевает при +13,2 °С, что повышает опасность при обращении. Максимальная высота падения груза массой 2 кг, при которой не происходит взрыва, составляет всего 4 см. Применяется в желатинизированном состоянии в качестве компонента бризантных ВВ и порохов.

Нитроглицоль — прозрачная жидкость, близкая по свойствам к нитроглицерину. Однако более ядовит и чувствителен. Затвердевает при —22 °С. Смешиваясь с нитроглицерином он понижает температуру замерзания смеси до —19 °С при своем содержании 30 %. Применяется для снижения температуры замерзания нитроглицериновых ВВ.

Динитронафталин — серо-желтый порошок. Водоустойчив, мало растворим в спирте и эфире. Детонирует от промежуточных детонаторов. В чистом виде это слабое ВВ и применяется только в смесевых составах.

6.4. АММИАЧНО-СЕЛИТРЕННЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВВ

Наиболее дешевые и распространенные на горных работах ВВ. Представляют собой смеси аммиачной селитры с твердыми ВВ или с различными горючими компонентами. Чаще всего из ВВ используется тротил. Смеси с динитронафталином называют динафталитами, с гексогеном — скальными аммонитами. Порошковые смеси с тротилом называют аммонитами, гранулиро-

ванные — граммонитами. При наличии алюминия ВВ называют аммоналами или граммоналами. Аммиачно-селитренные промышленные ВВ для подземных работ приведены в табл. 9.

Аммиачная селитра — один из основных компонентов многих ВВ. Как носитель связанного избыточного кислорода она входит в состав в качестве окислителя и предопределяет свойства ВВ. В сухом состоянии это белый сыпучий порошок или гранулы. Сильно гигроскопична. Поглощает влагу при упругости водяных паров в окружающей среде, большей упругости паров над насыщенным раствором селитры на поверхностях ее частиц. При обратном соотношении упругостей влага теряется и селитра подсыхает. Легко растворяется в воде. Растворимость увеличивается с ростом температуры. Если при 0 °С в 1 л воды растворяется 1,2 кг селитры, а при 40 °С — 2,8 кг, то при 120 °С — 18,9 кг.

Характеризуется *слеживаемостью*, т. е. потерей свойства сыпучести и образованием сплошной массы разной степени прочности. Хранение при переменной температуре приводит к увеличению объема увлажнений селитры и разрушению упаковки. Слеживаемость гранулированной селитры меньшая

Таблица 9

Разновидности ВВ по содержанию компонентов		Подгруппа ВВ	Тип ВВ
взрывчатых	металлических		
Со взрывчатыми компонентами	Металлизованные	Граммоналы Скальные аммонит, аммонит	Граммонал А-45 Аммонит скальный № 1, аммонал скальный № 3
	Неметаллизованные	Аммониты Граммониты Гранитолы Динафталиты	Аммонит № 6ЖВ Граммониты 79/21, 79/21В, 30/70, 30/70В Гранитолы 1; 7А Динафталит № 1
С невзрывчатыми компонентами	Металлизованные Неметаллизованные	Гранулиты Гранулиты Игданиты	Гранулиты АС-4, АС-8, АС-4В, АС-8В Гранулиты С-2, М Игданит
Водосодержащие*	Металлизованные Неметаллизованные	Акваналы Акваниты	Акванал № 1 Акваниты ЗЛ, № 2, № 16, АРЗ

* Обычно рассматриваются отдельно.

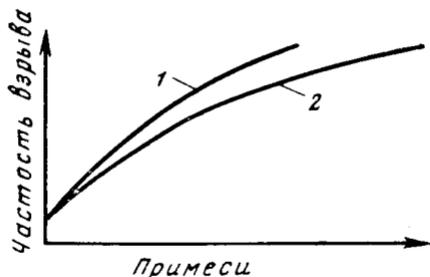


Рис. 32. Влияние горючих примесей на чувствительность аммиачной селитры:

1 — солярового масла; 2 — мазута

с сульфидными рудами), многими металлами, азотной и серной кислотой и другими соединениями, особенно в присутствии влаги. Менее активна селитра с углеводами, не реагирует с алюминием, железом, их окислами и солями. Горение больших масс селитры может переходить во взрыв. Некоторое время ее применяли на массовых взрывах как слабое самостоятельное ВВ, что не вполне оправдано вследствие лишь частичного использования ее кислорода.

Взрывчатые и детонационные свойства селитры крайне низкие. Критический диаметр, например, сухой тонкоизмельченной селитры равен 100—120 мм, с влажностью 1 % — более 200—220 мм. Свойства водоустойчивой селитры несколько выше, она детонирует от шашки тротила, тогда как чистая селитра взрывается лишь шашкой в 2 раза большей массы, а гранулированная не детонирует и от больших масс тротила.

Даже небольшие количества горючих примесей изменяют свойства селитры, повышается чувствительность к механическим воздействиям (рис. 32). Сейчас селитру применяют только как окислитель в различных взрывчатых составах.

Аммониты — порошкообразные смеси аммиачной селитры марки ЖВ с тротилом. Детонационные их свойства повышают измельчением частиц, улучшением качества смешения компонентов и увеличением содержания тротила. При содержании тротила более 50 % аммониты приобретают свойства, близкие к свойствам тротила. Взрывчатые свойства наибольшие при стехиометрическом (соответствующем нулевому кислородному балансу) соотношении компонентов, в связи с чем наибольшее применение получил аммонит № 6ЖВ. При сравнительной оценке ВВ его часто применяют за эталонное ВВ.

К трению аммониты нечувствительны, чувствительность к удару очень низкая. Наименьшая высота, при которой происходит взрыв в испытаниях с грузом массой 2 кг, равна 60—100 см.

и проявляется при влажности 2,5—4 %. Для придания водоустойчивости и уменьшения слеживаемости селитру обрабатывают жирными кислотами с парафином и соединениями железа. В качестве компонента порошковых ВВ применяется только водоустойчивая («ожелезненная») селитра марки ЖВ.

Аммиачная селитра взаимодействует, вплоть до самовоспламенения в ряде случаев, с серой и серными соединениями (в частности,

Аммониты *чувствительны* к капсулю-детонатору и характеризуются достаточно высокими взрывчатыми свойствами. По работоспособности они превосходят тротил.

Применяют аммониты россыпью или в патронах как на добычных, так и на подготовительных работах, а также при дроблении негабаритов. Диаметр патронов от 32 до 120 мм, иногда он равен 28 мм. Как и у других порошкообразных ВВ, патроны аммонитов покрывают влагоизолирующей смесью парафина с петролатумом из расчета менее 2,5 г на каждые 100 г ВВ, укладывают в пачки, которые упаковывают в мешок-вкладыш из полиэтиленовой пленки и укладывают в деревянные ящики. Возможно применение только бумажных или полиэтиленовых мешков без деревянной тары. Россыпные ВВ помещают в десятислойные битумированные с полиэтиленовым вкладышем или ламинированные полиэтиленом бумажные мешки. Аммониты слеживаются. Относительно водоустойчивы.

Ввиду плохого потопления зарядание обводненных скважин россыпью затруднительно. Как и другие порошкообразные ВВ, аммониты в сухом состоянии при пневмозарядании сильно пылят и способны электризоваться. Образующаяся пыль чувствительна к электроразряду.

Аммоналы — это аммониты с добавкой дисперсного алюминия. Тонкодисперсные водоустойчивые ВВ серого цвета. Превосходят аммониты по энергии взрыва за счет большой теплоты реакции селитры с алюминием, большей чем с тротилом.

По другим свойствам аммоналы близки к аммонитам. Детонируют от капсуля-детонатора.

Выпускаются в патронах диаметром от 32 до 120 мм, а также россыпью в бумажных мешках. Применяются на очистных и проходческих работах.

Аммониты скальные — это аммониты с добавкой гексогена, серо-стального цвета. Выпускаются в порошкообразном и прессованном виде. Гексоген существенно повышает чувствительность и параметры детонации ВВ. Аммонит скальный № 1 имеет повышенную чувствительность к механическим воздействиям, выделяет меньше ядовитых газов, чем другие аммониты.

Эти ВВ *наиболее мощные* и чувствительные из аммиачно-селитренных ВВ. Требуют повышенной осторожности в обращении, заряжаются вручную. Применяются при проходке стволов, восстающих и горизонтальных выработок в особо крепких породах.

Граммониты — гранулированные аналоги аммонитов. Тротил применяли в виде чешуек (граммонит 79/21), гранул (граммонит 30/70) или пленок, покрывавших селитренные гранулы (граммониты 50/50Б, 30/70Б). Тротил наносили на гранулы селитры так называемым горячим смешением: его расплавляли и после смешивания при застывании он пропитывал

и покрывал гранулы неплавящейся селитры. Детонационные свойства граммонитов горячего смешения выше. На подземных работах применяли обычно граммонит 79/21В, сейчас — граммонит 79/21. У граммонитов с индексом В гранулы селитры для увеличения водостойчивости покрыты слоем расплавленного тротила ВВ. Граммонит 79/21В был более чувствителен к капсулю-детонатору и детонировал со скоростью на 0,5—0,7 км/с большей, чем граммонит 79/21, менее чувствительный к капсулю-детонатору. За счет равномерного смешения компонентов граммонит 79/21 мало отличается по содержанию ядовитых газов в продуктах взрыва от аммонита № 6ЖВ. К постоянному применению допущены новые водостойчивые граммониты, получившие название *гранитолов*: гранитол—1, гранитол 7А. Гидроизоляция аммиачной селитры в них достигается с помощью эмульгаторов.

По взрывчатым свойствам граммониты близки к аммонитам. Однако параметры детонации в зарядах диаметром до 200—250 мм уступают соответствующим показателям аммонитов.

Граммониты выпускаются россыпью в бумажных мешках, ламинированных зачастую полиэтиленом. Для надежного взрывания требуют промежуточного детонатора. Предназначены для зарядания скважин и камер. Допускают применение механизированных зарядчиков при небольшом увлажнении состава.

Граммоналы — это гранулированные аммоналы. Отличаются от граммонитов тем, что их гранулы представляют собой отвердевшие суспензии измельченных селитры и алюминия в расплавленном тротиле.

Детонируют от капсуля-детонатора, но надежное возбуждение обеспечивается промежуточным детонатором. Взрывчатые свойства близки к свойствам аммоналов. Чувствительность, однако, ниже, а критический диаметр много больший, чем у аммоналов, за счет грубодисперсности состава.

Отличаются граммоналы пониженной гигроскопичностью, относительно водостойчивы. Чувствительнее к механическим воздействиям, чем гранулотол. Применяются на очистных работах, зачастую в комбинированных зарядах с граммонитом 79/21, гранулитам или другими простейшими ВВ. Выпускаются россыпью в мешках.

Динафталиты — смесь динитронафталина с парафинированной аммиачной селитрой. Представляют собой порошок с содержанием крупных зерен (размером 4—5 мм), состоящих из уплотненного тонкодисперсного порошка.

По взрывчатым свойствам мало отличаются от аммонитов. В частности, распространенный зерненный динафталит близок по характеристикам к аммониту № 6ЖВ.

Динафталит *водостойчив*, не слеживается. Производится в патронированном и россыпном виде. В последнем случае не пригоден для механизированного зарядания.

Игданиты — гранулированные простейшие ВВ. Гранулированная селитра обуславливает пониженную детонационную способность, которую повышают применением микропористых гранул. В качестве горючего компонента обычно применяют дизельное топливо.

Взрывчатые *свойства* игданитов уступают свойствам аммонитов. Игданиты гигроскопичны, водонестойчивы. Отличаются в случае непористых гранул невысокой физической стабильностью из-за стекания дизельного топлива с гранул. Однако они не слеживаются, самые дешевые из всех ВВ, изготавливаются непосредственно перед применением на горных предприятиях. Взрываются только от промежуточного детонатора, безопасны в обращении. Позволяют полностью механизировать работы, в связи с чем находят широкое применение.

Гранулиты — это игданиты, опудренные для повышения теплоты взрыва и физической стабильности алюминиевой пудрой (гранулиты АС-4 и АС-8) или древесной мукой (гранулиты марки С). Кроме того, применяются более вязкие, чем дизельное топливо, индустриальное и машинное масла. В случае микропористой селитры используют соляровое масло без припудривающих добавок — гранулит М.

Для снижения пыления и опасности электризации, как и другие гранулированные ВВ, гранулиты при пневмозарядании смачивают небольшим (1,5—2,5 %) количеством воды. При этом уменьшается прочность гранул и повышается плотность зарядания. По результатам взрывов гранулиты АС-4 и АС-8 уступают высокомоощным патронированным скальным аммонитам в крепких породах.

Как и игданиты, гранулиты *неводостойчивы*. Исключение составляют гранулиты, в которых гранулы покрыты пленкой застывших нефтепродуктов, например, гранулит М (парафинированный), а также гранулиты АС-4В и АС-8П. К капсюлетонатору гранулиты малочувствительны. Надежно детонируют только от промежуточного детонатора. Взрывчатые свойства гранулитов марок С и М близки к свойствам игданитов, а марки АС — к свойствам граммоналов.

Выпускаются россыпью в бумажных мешках с полиэтиленовыми вкладышами, применяются на добычных и проходческих работах.

6.5. ВОДОСОДЕРЖАЩИЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВВ

Водосодержащие ВВ представляют собой промышленные ВВ разной консистенции, содержащие водные растворы окислителей. Чаще всего это насыщенные гелеобразные растворы селитры. Применение воды в количествах 5—20 % придает текучесть или пластичность, повышает плотность ВВ и зарядания, снижает чувствительность, а в составах с алюминием, за счет реакции окисления алюминия, увеличивает энергию взрыва.

Однако в больших количествах ни вода, ни алюминий не применяются из-за потери детонационных свойств. Промышленные ВВ, межгранульные промежутки которых в заряде способны заполняться водой, называются *водонаполняемыми ВВ*. Это прежде всего гранулотол, граммонаты, водоустойчивые граммониты.

Кроме аммиачной селитры, алюминия, воды, тротила или гексогена в состав водосодержащих ВВ (ВВВ) для предотвращения расслоения и растворения компонентов включают загустители и структурирующие добавки, с помощью которых переводят ВВВ в *гелеобразное* (пластичное) или *текущее* состояние. Возможно введение в состав антифризных и пластифицирующих компонентов (мочевины, кальциевой селитры) и дополнительных окислителей (натриевой и калиевой селитры).

Обычно ВВВ низкочувствительны к начальному импульсу. По механизму возбуждения и распространения детонации они близки к жидким индивидуальным ВВ. Характер превращения ВВ весьма сложен.

К группе водосодержащих ВВ относятся акватолы, ифзаниты, карбаты, горячелюющие и эмульсионные ВВ, а также акваниты и акваналы. При этом *акваниты* и *акваналы* изготавливают на заводах, *акватолы, ифзаниты* — как на заводах-изготовителях ВВ, так и в условиях горного производства из отдельных составных частей на стационарных или в смесительно-зарядных установках непосредственно перед применением. Остальные ВВВ готовят только перед заряданием на горных предприятиях.

Ранее испытывавшиеся акваниты ЗЛ, № 2, № 16 и акванал № 1 имели близкий к нулевому кислородный баланс и отличались высокой детонационной способностью. В зависимости от содержания воды, загустителя и антифриза они имели тестообразное (пластичное) состояние (акваниты № 2 и № 16, акванал № 1) или жидкотекучее (акванит ЗЛ). В настоящее время не производятся. Прошел испытание акванит АРЗ — раздельного зарядания, который пластифицируют водой в процессе пневмозарядания.

В состав акванитов входили аммиачная селитра, тротил или тротил вместе с гексогеном (акванит № 2), натриевая (акванит ЗЛ) или кальциевая селитра, а также загуститель — натрийкарбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) и вода. В акванале № 1 меньше ВВ, но добавляли алюминий при наличии кальциевой селитры.

Водосодержащие составы — мощные ВВ. Их взрывчатые свойства близки к свойствам аммонитов и аммоналов. Однако концентрация их энергии, вследствие высокой плотности зарядания, в 1,2—1,5 раза выше, чем у аммонитов и аммоналов. Они нечувствительны к удару и трению, за исключением гексогенсодержащего акванита № 2 и акванала № 1. Акванит ЗЛ

детонирует только от промежуточного детонатора, остальные — восприимчивы к капсулю-детонатору.

Пластичные ВВ *выпускали* в патронах разного диаметра и в виде пасты в полиэтиленовых мешках. Патроны заряжали вручную или механическими средствами. Пластические свойства ВВ позволяют эффективно заряжать любые шпурсы и скважины, в том числе восстающие. Пастообразный акванит № 2 применяли также для дробления негабаритов наружными зарядами.

Акванит АРЗ-8 заряжают с помощью пневмозарядчиков. Эффективен при взрывании нисходящих скважин в различных скальных сухих горных породах.

6.6. НИТРОЭФИРОСОДЕРЖАЩИЕ ВВ

Отличаются присутствием в составе нитроглицерина. По содержанию последнего *различают* низкопроцентные (до 15 %), среднепроцентные (15—60 %) и высокопроцентные (более 60 % нитроэфиров) составы. Структура их при этом соответственно порошковая, полупластичная и пластичная. Последние две разновидности называются *динамитами*. Маркируют их по процентному содержанию нитроглицерина (или нитроэфиров).

Из *пластичных динамитов* за рубежом особо выделялся 93 %-ный динамит, называемый гремучим студнем, который состоял из 92—93 % нитроглицерина (чистого или с нитроглицеролем) и пироксилина (коллоидного хлопка). Основное достоинство динамитов состояло в получении высокой плотности заряжания за счет их уплотняемости в шпуре.

Динамиты весьма опасны в обращении. *Легко взрываются* от удара и трения. Очень чувствительны полузамерзшие патроны, так как они взрываются даже от слабого толчка или удара, а также от изгиба патрона. При этом для возбуждения взрыва достаточно легкого нажима одного образовавшегося кристалла на другой. Полностью замерзшие динамиты поэтому несколько менее опасны, чем *полузамерзшие*. Весьма склонны динамиты также к *старению*, т. е. к уплотнению и потере детонационной способности при длительном хранении за счет выхода пузырьков воздуха, образующихся при изготовлении динамитного теста. Кроме того, для динамитов характерна *эксудация*, т. е. выделение за счет миграции нитроэфиров в жидком виде на поверхность патрона. Такие патроны не менее опасны, чем чистый нитроглицерин.

Учитывая опасность в обращении, в СССР динамиты не применяют. Распространение получили только порошковые ВВ: непригодные — детониты и предохранительные — победиты, углениты, селектиты и др.

Детонит 10А близок по составу и структурным особенностям к аммоналам, но содержит нитроэфиры. Представляет собой малосыпучий, непьющий, жирный на ощупь порошок.

В детоните М тротила нет, но повышено содержание алюминия. Нитроэфиры для понижения температуры замерзания до $-19,5^{\circ}\text{C}$ приняты в соотношении — 3 части нитроглицерина и 2 части нитродигликоля.

Детониты чувствительней аммонитов к механическим воздействиям и огню, поэтому их применение россыпью запрещено. При горении в количествах более 5 кг возможны взрывы. Так как небольшая добавка нитроэфиров не придает ВВ опасных свойств динамитов, детониты по условиям хранения и обращения в остальном приравнены к аммонитам. Уплотняются детониты при патронировании легче аммонитов. Не боятся переуплотнений, увлажнения и намокания в шпурах. При температуре ниже -20°C твердеют. Безопасность применения практически не изменяется.

Водоустойчивость детонитов достигнута введением стеарата кальция или цинка. Химическую стойкость обеспечивает сода, которая нейтрализует возникающие при разложении ВВ кислоты.

Детониты обладают высокими взрывчатыми свойствами, являются высокомошными ВВ, однако уступают свойствам динамитов. Недостаток их — повышенное токсичное действие на человека.

Выпускаются в патронах диаметром 24—36 мм. Применяются при проведении выработок и в качестве промежуточных детонаторов.

6.7. ПОРОХА

На подземных работах пороха используются в средствах огневого инициирования.

По составу различаются нитроцеллюлозные и смесевые пороха.

Нитроцеллюлозные пороха (бездымные) получают обработкой нитроклетчатки: летучим растворителем (пироксилиновые пороха), слаболетучим нитроглицерином (нитроглицериновые пороха) и смешанными растворителями (нитроглицериновые кордиты). Выпускаются в виде элементов разных форм (пластинчатых, ленточных, трубчатых и др.) и размеров. При пересыпании могут электризоваться, образующаяся пороховая пыль чувствительна к возможному разряду. Водоустойчивы, смачивание исключает пылеобразование при зарядании и устраняет опасность воспламенения порохов.

Чувствительны к механическим воздействиям и огню, к инициирующему взрывному импульсу. Наибольшей детонационной способностью характеризуются пироксилиновые пороха, особенно в воде. Нитроглицериновые, напротив, детонируют в воде труднее. Скорости детонации высокие — как и у индивидуальных бризантных ВВ. Большое значение при этом имеют форма и размеры пороховых элементов.

Смесевые пороха бывают сыпучими (*дымными*) и твердыми монолитными.

Дымный порох состоит из калиевой селитры, серы и древесного угля. Это твердые зерна размером у крупного пороха 3—8,5 мм, у мелкого — 1,5—3,0 мм; допустимая влажность не более 1 %. Сера применяется как связующий компонент, кроме того, она горюча и улучшает воспламеняемость пороха.

Порох гигроскопичен; при увлажнении более 7 % зерна набухают и нарушается их структура. Подсушивать и использовать такой порох нельзя. Порох является опасным в обращении ВВ. От удара и трения возможны воспламенения пороховой пыли. Искра от удара металла о камень легко воспламеняет порох. Для возбуждения взрыва необходим промежуточный детонатор. Опасность пороха в огнепроводном шнуре значительно снижается за счет тканевой оплетки. Увлажненный шнур не горит или горит с замедленной скоростью, что недопустимо.

Твердые смесевые пороха представляют собой смеси неорганического окислителя (нитраты, перхлораты) и металлического горючего (алюминий, магний), соединенных органическим горючим — полимерами, смолами, каучуками. Формы зарядов твердого топлива разнообразны.

6.8. ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВВ

Предохранительные свойства ВВ получают введением в их состав солей — пламегасителей.

Первая цель введения в ВВ солей заключается в понижении температуры образующихся при взрыве газов до величин, исключающих воспламенение газо-пылевой среды: до 2500 °С — при взрывании ВВ III класса, до 2250 °С — ВВ IV класса, до 1800 °С — ВВ V класса и до 1500 °С — ВВ VI класса. *Второй целью* является создание во взрывоопасной среде эффекта отрицательного катализа (ингибирования), замедляющего и затрудняющего реакции окисления метана, других газов и пыли в области взрыва. Такие особенности ВВ позволяют удовлетворить указанным в 6.1 требованиям по безопасному взрыванию.

Дальнейшего снижения воспламенительной способности взрыва достигают применением ВВ в патронах с охлаждающими водонаполненными оболочками, образующими между ВВ и стенками шнура слой воды до 5—10 мм. Таким образом, например, ВВ III класса может применяться наряду с ВВ V класса.

К ВВ III класса относят аммониты АП-5ЖВ, серный аммонит № 1ЖВ, нефтяной аммонит № 3ЖВ и победит ВП-4; к ВВ IV класса — аммониты ПЖВ-20 и Т-19; к ВВ V класса — углениты Э—6 и № 5, селектит (гранулированный) и патроны ПВП-1-V и ПВП-1-A; к ВВ VI класса — угленит № 7 и патроны

СП-1. ВВ III и IV классов, исключая победит, серный и нефтяной аммониты, содержат тротил, остальные выполнены с нитроэффирами.

Для *исключения затухания* детонации и перехода ее в горение, при переуплотнении составов с тротилом, необходимо повысить детонационную способность ВВ. Достигается это увеличением содержания сенсибилизатора или введением упругих материалов, препятствующих уплотнению, например мипорита, а также более интенсивным измельчением компонентов. Перспективно применение гексогена или жидких нитроэфиров, эффективно сенсибилизирующих составы при большом содержании пламегасителей, как, например, у ВВ V и VI классов.

Углениты Э-6, №5 и № 7, селектит (гранулированный) содержат от 5 до 14 % нитроэфиров. Из них только селектит благодаря гранулированной структуре, существенно снижающей детонационную способность ВВ, составлен на аммиачной селитре при небольшом количестве хлористого натрия. Порошкообразный угленит № 5 содержит соли натрия при использовании тех же компонентов. Остальные выполнены на менее активных натриевой или калиевой селитрах и содержат повышенные количества пламегасителей.

В результате *характерной особенностью* предохранительных ВВ является сильно ослабленное разрушительное действие взрыва, тем меньше, чем больше солей-пламегасителей в составе.

Самос мощное из предохранительных ВВ — нитроглицериновый победит ВП-4, который близок по взрывчатым и детонационным свойствам к аммониту № 6ЖВ. Он допущен для работ по породным забоям всех шахт и рудников. Также относительно мощны аммониты АП-5ЖВ, ПЖВ-20 и Т-19 — содержат 12—20 % солей и по взрывчатым показателям уступают победиту ВП-4 на 5—10 %.

ВВ V класса содержат 40—75 % солей, VI класса — 80—90 %. Их разрушающая способность в 5—6 раз меньше, чем аммонита № 6ЖВ.

Среди высокопредохранительных ВВ повышенной работоспособностью отличается только гранулированный селектит. По энергии взрыва и работоспособности он несколько отличается от аммонита № 6ЖВ, хотя по скорости детонации разница превышает 150—200 %.

Патронированные ВВ диаметром 32-36 мм чувствительны к детонации капсюля-детонатора, удару и трению. Нитроэфирные ВВ требуют более осторожного обращения.

6.9. МАЛОПЛОТНЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ СОСТАВЫ

Отличаются плотностью, равной или меньшей 0,5—0,6 г/см³. Малоплотные взрывчатые составы применяются в подземных условиях при контурном и мягком («щадящем») взрывании,

а также на специальных работах. Малая плотность достигается повышенной пористостью составов (джезполиты).

Известны низкоимпульсные пористые ВВ типа *взрывной поролон*, которые представляют собой высокочувствительные индивидуальные ВВ с частичным заполнением ячеек эластичных поропластов.

Другой *разновидностью* ВВ являются смеси, в качестве одного из компонентов которых используют гранулированные пенопласты или пенополистирол. Пенопласты могут быть инертными или активными составляющими смеси. В последнем случае равномерность смешения компонентов достигают «холодным» или «горячим» способами. Остальные компоненты могут быть высоко- или низкочувствительными химическими соединениями.

Плотность смесей и скорость детонации определяется химическим и гранулометрическим составами компонентов.

Глава 7

СРЕДСТВА НЕЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИНИЦИИРОВАНИЯ

7.1. ПОНЯТИЕ ОБ ИНИЦИАТОРЕ И ПРОМЕЖУТОЧНОМ ДЕТОНАТОРЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВВ

Из всех разнообразных видов внешних воздействий, к которым чувствительны ВВ, для возбуждения детонации промышленных ВВ используют только взрывные. Обусловлено это повышенной чувствительностью ВВ к взрывам других ВВ, а также высокой возбуждающей способностью и наибольшими простотой и дешевизной получения эффективного начального импульса с помощью инициирующих ВВ. Их детонация, благодаря чувствительности к тепловым воздействиям, легко и безопасно вызывают различными *воспламенителями*.

Современные ВВ характеризуются широким диапазоном чувствительности. Именно поэтому применение опасных азидов свинца и ртутей сведено к минимуму.

Небольшие навески этих ВВ возбуждают взрывы менее опасных и чувствительных индивидуальных ВВ в *капсюлях-детонаторах* (КД) и *электродетонаторах* (ЭД). От взрыва КД и ЭД возбуждается детонация заряда промышленных ВВ. В этой схеме взрывания (рис. 33, а) возбудителем взрыва инициирующего ВВ служит воспламенитель (огневой или электрический), инициатором взрыва индивидуального бризантного ВВ — инициирующее ВВ, а инициатором взрыва заряда промышленного ВВ, принято говорить, является капсюль-детонатор.

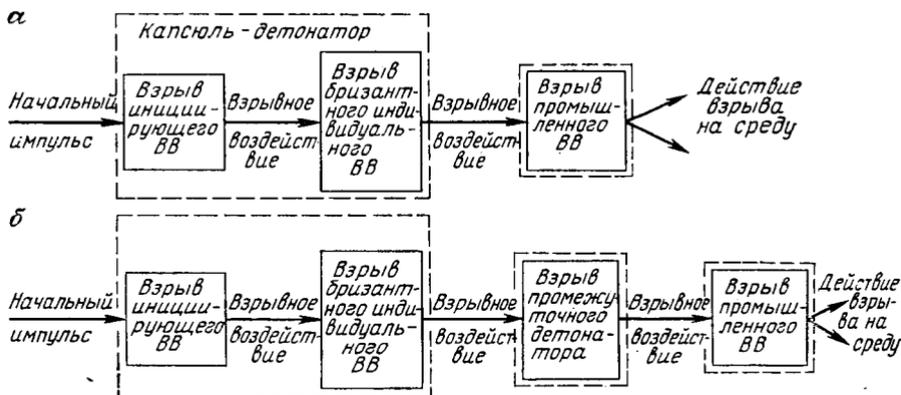


Рис. 33. Схемы инициирования промышленных ВВ:
 а — капсюлем-детонатором; б — промежуточным детонатором

Инициатором в этой связи называют определенное количество ВВ, применяемое для возбуждения взрыва другого ВВ. Соответственно инициированием называют процесс возбуждения взрыва. Навеску инициирующего ВВ в капсюле-детонаторе называют зачастую *первичным инициатором*, навеску индивидуального бризантного ВВ — *вторичным инициатором*.

Низкочувствительные (водосодержащие, гранулированные и др.) ВВ не детонируют от инициирующего воздействия капсюля-детонатора. Для их взрыва требуются более мощные инициаторы. Таковыми являются шашки и патроны, чувствительные к воздействию капсюля-детонатора (рис. 33, б). По существу они «усиливают» действие инициатора. Их называют *промежуточными детонаторами*. Шашки индивидуальных ВВ называют *шашками-детонаторами*.

Капсюли-детонаторы, электродетонаторы, промежуточные детонаторы и средства, приводящие к их срабатыванию, называются *средствами инициирования* (СИ) промышленных ВВ. В зависимости от начального импульса различают огневой, электроогневой, электрический и бескапсюльный способы взрыва.

Промежуточные детонаторы, подготовленные к взрыву, т. е. с введенными в них средствами их инициирования, называют *боевиками*. Патроны ВВ с инициаторами называют *патронами-боевиками*. Средства инициирования промежуточных детонаторов применяют соответствующие принятым способам взрыва: капсюли-детонаторы, электродетонаторы и детонирующие шнуры.

7.2. КАПСЮЛИ-ДЕТОНАТОРЫ

Капсюли-детонаторы со средствами их воспламенения относятся к средствам огневого инициирования и служат для инициирования зарядов ВВ, промежуточных детонаторов, а также

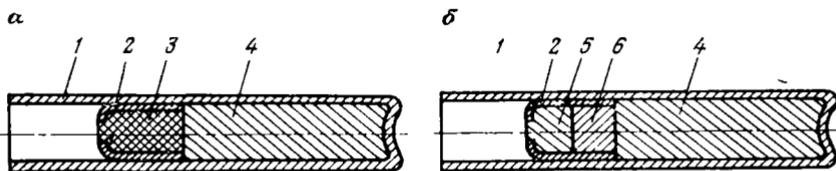


Рис. 34. Устройство гремучертутного (а) и азидового (б) капсюля-детонаторов;

1 — гильза; 2 — чашечка; 3 — гремучая ртуть; 4 — вторичное ВВ; 5 — тенерес; 6 — азид свинца

средств бескапсюльного инициирования в неопасных по газу или пыли условиях.

Промышленные капсюли-детонаторы представляют собой заряды из инициирующего индивидуального бризантного ВВ, помещенного в металлическую или бумажную гильзу. С одного конца гильза открыта, эта ее часть называется *дульцем*. С другого конца гильза заканчивается *донышком с выемкой*, которая называется *кумулятивной* и предназначена для усиления инициирующего действия. На две трети высоты в гильзу введены ВВ: у дна — бризантное (тетрил, тэн или гексоген), выше инициирующее (гремучая ртуть, реже азид свинца с тенересом). Бризантное ВВ запрессовано непосредственно в *гильзу*, инициирующее — в металлическую *чашечку с отверстием* для поджигания, которую устанавливают на столбик бризантного ВВ (рис. 34). Отверстие чашечки закрыто шелковой *сеточкой*, предохраняющей ВВ от просыпания.

В случае азидового детонатора у отверстия чашечки располагают чувствительный к воспламенению тенерес. Свободная часть гильзы от чашечки до дульца предназначена для ввода конца огнепроводного шнура.

Наиболее распространены капсюли-детонаторы № 8:

гремучертутные в бумажных (КД № 8Б) и стальных из биметалла (КД № 8С) гильзах; азидовые в алюминиевых (КД № 8А) гильзах.

Чашечки первых двух КД выполнены из латуни или стали, вторых — из алюминия. Они обеспечивают большую безопасность при запрессовке инициирующих ВВ, уменьшают площадь открытой поверхности ВВ, защищают от увлажнения и создают более прочную оболочку.

Несмотря на снижение чувствительности ВВ за счет их запрессовки и защиты гильзой и чашечкой, КД легко взрываются от удара, пламени, тряски и даже царапанья. Их нельзя ронять. Работать с ними нужно на мягком материале: войлоке, резине или брезенте. Попавшие в дульце случайные предметы ни в коем случае нельзя удалять какими-либо стержнями, соломинками. Нельзя и выдувать из-за возможного увлажнения

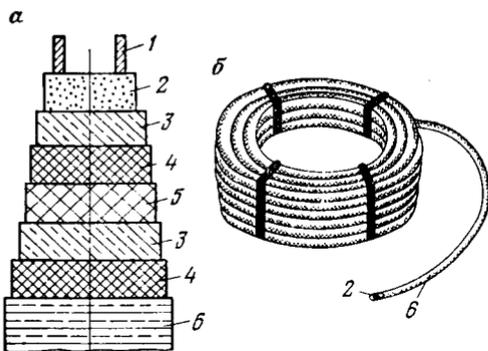


Рис. 35. Огнепроводный шнур:

а — продольное сечение; б — бухта шнура; 1 — направляющие нити; 2 — пороховая сердцевина; 3 — оплетки; 4 — смолы; 5 — асфальт; 6 — полихлорвиниловая, гуттаперчевая или асфальтовая оболочка

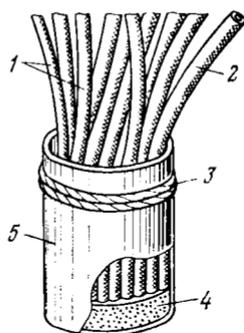


Рис. 36. Зажигательный патрон:

1 — отрезки шнуров к зарядам; 2 — зажигательный шнур; 3 — шпагат; 4 — пороховая лепешка; 5 — гильза

гремучей ртути с последующим отказом. Удалять их можно только легким постукиванием дульца детонатора о ноготь пальца.

Азидовые КД плотно, дульцем вверх упаковывают в металлические коробки, остальные — в картонные. В каждой коробке помещено по 100 детонаторов. Пять коробок упаковывают в картонные короба, а десять коробов — в оцинкованные короба с крышками пенального типа, которые ставят в деревянный ящик с транспортным знаком в виде равностороннего треугольника с цифрой «10» внутри. На крышках коробов указывают завод-изготовитель, тип детонаторов, дату изготовления, номер партии и номер стандарта.

7.3. ОГНЕПРОВОДНЫЙ ШНУР И ЕГО ПОДЖИГАНИЕ

Огнепроводный шнур (ОШ) служит для передачи за заданный промежуток времени пучка искр от источника воспламенения к капсулю-детонатору. Состоит из сердцевины, содержащей спрессованные зерна дымного пороха или медленногорящего состава СБ-90, помещенных в ряд внутренних и наружных нитяных оплеток, покрытых водоизолирующими веществами — смолой, асфальтом и др. Сквозь пороховую сердцевину диаметром 2—3 мм проходит направляющая нить (рис. 35). Такое выполнение делает шнур гибким и обеспечивает горение пороха даже под водой. Сердцевина его очень чувствительна к воспламенению искрой и пламенем.

В зависимости от скорости горения шнуры подразделены на *нормальногорящие* — ОШ (скорость горения 1 см/с) и *мед-*
100

ленногорящие (скорость горения 0,5 см/с). Заданная скорость выдерживается при влажности менее 1 %; при большем увлажнении шнуры горят с затуханием или не горят совсем.

Шнуры выпускают с несколькими *типами оболочек*: асфальтированной — ОШ-А, с дважды асфальтированной — ОШ-ДА, пластикатной — ОШ-П. Диаметр шнуров 5—6 мм. Шнуры ОШ-А предназначены для работ в сырых и сухих забоях, остальные — в обводненных. Наружная оболочка медленногорящих шнуров окрашена в желтый цвет, остальных — в черный.

Выпускают шнуры отрезками 10 м, свернутыми в бухты. В пачку, оборачиваемую бумагой и перевязанную шпагатом, вкладывают 25 бухт. На пачке указывают наименование и марку шнура, материал оплеток, дату изготовления. Не более 8 пачек двумя рядами укладывают в деревянный ящик, на этикетке которого, а в случае пластикатного шнура на ящике указывают завод-изготовитель, наименование и марку шнура, номер партии, номер ящика, число пачек, дату изготовления, брутто в кг, ГОСТ, а также транспортный знак с цифрой «31» внутри.

Из источников воспламенения шнура выделяют *индивидуальные* (тлеющий фитиль, зажигательная свеча) и *групповые* зажигательные патроны.

Тлеющий фитиль — шнур с сердцевинкой из льняных или хлопчатобумажных нитей, пропитанных концентрированным раствором калиевой селитры и помещенных в наружную нитяную оплетку. Скорость горения при поджоге открытым пламенем от 1,0 до 2,5 см/мин; диаметр шнура 6—8 мм.

Выпускают фитиль отрезками по 50 м в бухтах. Пять бухт упаковывают в пачку, завернутую бумагой и перевязанную шпагатом. Пачки по восемь штук помещают в деревянные ящики.

Зажигательные свечи — заполненные с одного конца горючим составом, а с другого — инертным веществом (для держания в руке при горении) бумажные гильзы диаметром около 10 мм и длиной 200 мм. На конце горючей части имеется зажигательная головка, воспламеняющаяся от спичечной терки. Время горения свечей 1, 2, 3 мин. Количество цветных полос на свечах (одна, две три) указывают на время их горения.

Горение свечей дает *пламя трех цветов*: белое — в момент воспламенения, *красноватое* — при основном горении, *ярко-зеленое* — сигнальное, за 15 с до конца горения свечи.

Зажигательные патроны предназначены для одновременного зажигания 37 отрезков огнепроводного шнура. Представляют собой бумажные парафинированные гильзы с открытым концом, на дне которых находятся упрочненные с помощью парафина и канифоли *пороховые лепешки* толщиной

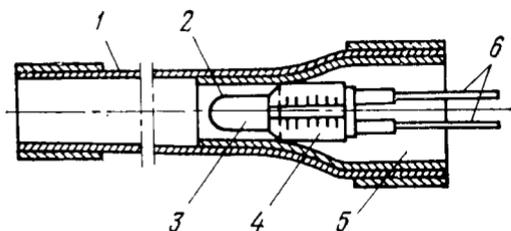


Рис. 37. Электрозажигатель огнепроводного шнура ЭЗ-ОШ-Б

2—3 мм (рис. 36). Диаметр зажигательных патронов 18—41 мм, длина 50—70 мм.

В патрон вплотную к лепешке помещают пучок шнуров и плотно обвязывают шпагатом. Укороченный отрезок является зажигательным шнуром для воспламенения пороховой лепешки, от которой поджигаются все шнуры, идущие к детонаторам. Поджигание небольшого количества отрезков шнура (до 5—6 шт.) допускается отдельным отрезком ОШ с надрезами для периодического получения открытого огня.

7.4. СРЕДСТВА ЭЛЕКТРООГНЕВОГО ИНИЦИИРОВАНИЯ

Отличаются от средств огневого иницирования наличием устройства дистанционного поджигания шнура или электрозажигательного патрона. Осуществляется электроогневое иницирование с помощью электрозажигательных средств *индивидуального* или *группового* поджигания.

Из первых наиболее распространены электрозажигатели огнепроводного шнура типа ЭЗ-ОШ-Б (рис. 37), которые состоят из бумажной гильзы 1 с электровоспламенителем 4. *Электровоспламенитель* представляет собой мостик накаливания 2, расположенный в воспламенительной головке 3, и введен в гильзу с помощью пластиковой пробки 5, обеспечивающей герметичность ввода. Ток к мостику подводится по проводам 6.

Поджигание шнура, введенного до упора с электровоспламенителем, производится пламенем головки 3, воспламеняющейся при протекании тока по мостику. Безотказное срабатывание обеспечивается при последовательном соединении до 20 электрозажигателей с постоянным током 1 А и переменным 2,5 А.

Упаковывают электрозажигатели по 20—40 шт. в картонные коробки, которые укладывают в деревянные ящики.

Электрозажигатель с введенным в него отрезком огнепроводного шнура называют *электрозажигательной трубкой*. Групповое поджигание осуществляют электрозажигательными патронами типа ЭЗП-Б, отличающимися по числу одновременно поджигаемых отрезков (от 7 до 40 шт.). В отличие от зажигательных патронов поджигание порохового горючего состава

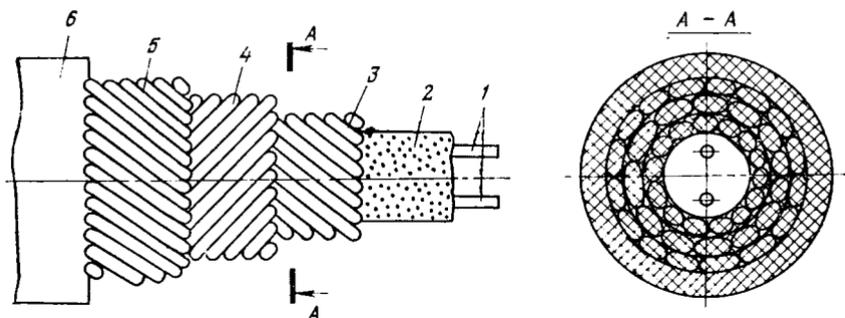


Рис. 38. Детонирующий шнур:

1 — направляющие нити; 2 — взрывчатая сердцевина; 3, 4, 5 — первая, вторая, третья оплетки; 6 — наружная изолирующая оболочка

в электрозажигательных патронах производится не отрезком шнура, а электровоспламенителем, который вставляют в патрон при его изготовлении на заводе.

7.5. ДЕТОНИРУЮЩИЕ ШНУРЫ

Внешне эти шнуры похожи на огнепроводные, однако по свойствам и назначению резко отличаются. Представляют собой сердцевину из мощного индивидуального бризантного ВВ, заключенную в нитяную или пластиковую оболочку. Предназначены для передачи детонации от инициатора взрыва промежуточному детонатору или непосредственно заряду ВВ, в том числе и от одного заряда к другому. Передается детонация детонационной волной, возбуждаемой и распространяющейся по взрывчатой сердцевине шнура со скоростью 2—7 км/с.

Взрывчатую сердцевину оплетают спиральными нитяными оплетками (рис. 38). Средние и наружная оплетки покрыты гидроизолирующей мастикой. Чтобы отличить от огнепроводного шнура, наружную оболочку детонирующего окрашивают в красный или белый с двумя красными нитями цвет.

Раньше применяли гремучертутные и гремучертутно-тетриловые детонирующие шнуры (ДШ). Сейчас изготавливают ДШ с тэновой сердцевиной, реже — с гексогеновой. *Термостойкие* шнуры выполняют с октогеном.

Для взрывания в опасных по газу или пыли условиях применяют *предохранительные* шнуры, которые отличаются от обычных наличием солей-пламегасителей либо в сердцевине, либо в оболочке шнура.

По величине навески ВВ шнуры могут быть: *нормальные* (шнуры ДША, ДШВ, ДШЭ); *мощные* (ДШУ); *маломощные* (ВДШМ-3). За рубежом используют маломощный ДШ с навеской тэна, нанесенного методом напыления на внутреннюю поверхность двухслойной полиэтиленовой трубки.

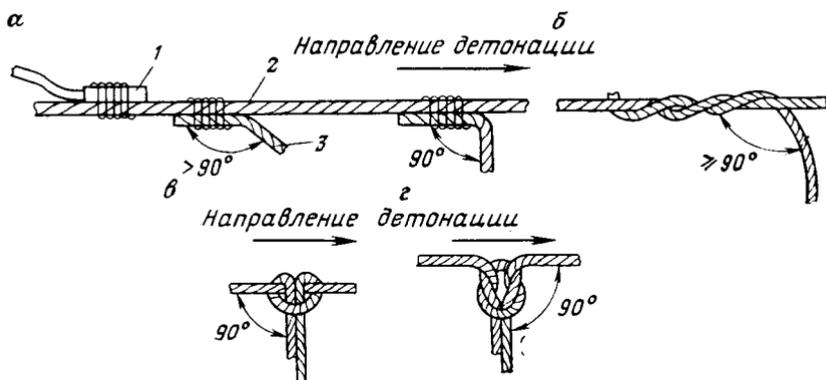


Рис. 39. Способы соединения детонирующего шнура: а — внакладку; б — навивкой; в — простым узлом; г — морским узлом; 1 — капсюль-детонатор; 2 — магистральный отрезок; 3 — подсоединяемый отрезок

Диаметр взрывчатой сердцевины на 1—3 мм превышает критический. Поэтому все шнуры, исключая ДШ с пластмассовой оболочкой, характеризуются ограниченной (12—24 ч) водостойкостью. В итоге надежность взрывания этими шнурами в обводненных условиях ограничена.

Увлажнение сердцевины ухудшает детонационные свойства шнура из-за флегматизирующего действия воды на порошковые ВВ. При увлажнении более 5—10 % надежность передачи детонации уменьшается, особенно в соединениях отрезков ДШ между собой и с промежуточным детонатором.

Детонация ДШ возбуждается от капсюля-детонатора и электродетонатора. Передача ее между отрезками производится ударной волной, проходящей к ВВ последующего отрезка через оплетки шнуров от ВВ предыдущего отрезка. Параметры шнуров выбирают так, чтобы передача детонации была надежной при любом соединении отрезков; внакладку, навивкой, простым и морским узлом (рис. 39).

Шнуры нормальной мощности применяют для передачи детонации, инициирования взрыва порошкообразных ВВ и промежуточных детонаторов. С помощью мощных ДШ производят инициирование ВВ. Маломощные шнуры применяют только для передачи детонации. Для соединения отрезков ДШ между собой и с детонаторами используют различного рода пластмассовые приспособления.

Детонирующие шнуры — наиболее безопасные в обращении средства инициирования. ДШ сравнительно устойчивы к ударам и трению, но при разборе отказавших зарядов с помощью механизмов следует проявлять осторожность. При зажигании ДШ горит спокойно, без вспышек, но жигать в отрезках длиной более 10—12 см не рекомендуется. В остальном требует такого же обращения, как и все средства инициирования.

В связи с отсутствием в заряде капсулей-детонаторов инициирование с помощью ДШ называют бескапсульным.

Выпускают ДШ отрезками 50 и 100 м, свернутыми в бухты. По 12 бухт упаковывают в деревянные ящики.

7.6. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ИНИЦИИРОВАНИЯ ДЕТОНИРУЮЩИМ ШНУРОМ

Наиболее часты отказы в обводненных скважинах при применении шнуров ограниченной водоустойчивости. Количество отказавших (невзорвавшихся) зарядов достигает 0,2—0,5 % и более. Происходят отказы как в соединениях, так и в магистральных сетях ДШ.

Для безотказного взрывания необходимо возбудить детонацию, «передать» ее по шнуру, в том числе в соединениях отрезков, взорвать промежуточный детонатор и заряд ВВ. На каждом участке этой взрывной сети возможны отказы.

Присоединение детонатора к ДШ производят на удалении 10—12 см от конца шнура во избежание большой увлажненности его сердцевины на участке инициирования. Отказы часто обусловлены дефектами ДШ при изготовлении (уплотнения, утолщения, повреждения оболочки, переломы и даже пропуски взрывчатой сердцевины).

Поэтому при выполнении работ по подготовке к взрыву необходимо особое внимание уделить монтажу взрывной сети с тщательным осмотром в процессе монтажа сети нитей детонирующего шнура. Участки с обнаруженными дефектами нитей детонирующего шнура удаляются и заменяются новыми. Хорошие результаты достигаются при такой организации работ, когда за каждым работником закрепляют определенные участки сети и каждый случай отказов подвергают тщательному анализу.

Для исключения отказов зарядов магистрали ДШ *дублируют*, т. е. выполняют из двух и более нитей ДШ. При прекращении детонации в одной из нитей детонация по другой нити ДШ будет распространяться за пределы дефектного участка, после чего вновь возбудится в первой при плотном прилегании шнуров один к другому. Как разновидность надежного дублирования эффективно применение *кольцевой взрывной сети*, в которой детонация распространяется по «кольцу» (рис. 40). Основная 1 и вспомогательная 6 ветви кольца соединены между собой отрезками шнура 3, которые служат для подачи инициирующего импульса к зарядам 5 и дополнительно «закольцовывают» заряды на взрываемом блоке 4. При необходимости короткозамедленного взрывания зарядов в основную и вспомогательную сеть устанавливаются пиротехнические замедлители 2.

При неплотном прилегании шнуров необходимо, чтобы скорость их детонации была одинаковой. В противном случае

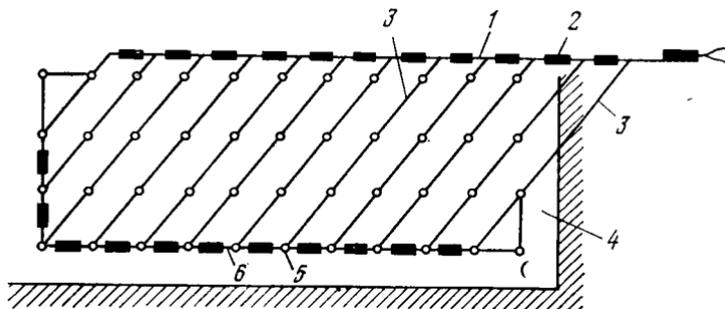


Рис. 40. Кольцевая схема инициирования детонирующим шнуром

детонирующий с большей скоростью ДШ может произвести *подбой*, т. е. разрушение другого шнура, а при наличии дефекта в нем детонация затем прекратится. В таких случаях дублирующие в скважине шнуры целесообразно удалять один от другого более чем на 50 мм, а в местах присоединения к магистрали сводить их и плотно обвязывать.

Не допускается присоединяемый к магистральной сети отрезок шнура отводить от нее под острым углом навстречу распространению детонации. Взрывная сеть не должна иметь резких изгибов. Соединения выполняются плотными, самое надежное — обеспечивается морским узлом и специальными приспособлениями, допущенными к применению. При температуре окружающей среды больше 40—50 °С необходимо применять, во избежание флегматизации ВВ расплавами мастик из оплеток, шнуры с более термостойкими гидроизолирующими составами.

Для применения в обводненных скважинах боевики необходимо *гидроизолировать*, что исключает замокание патрона или шашки-детонатора, резко ухудшающее их чувствительность. Также исключается намокание ДШ, в том числе водоустойчивого — со стороны открытого среза. В результате при нормальной чувствительности патронов высока и инициирующая способность детонирующего шнура и надежно взрывание.

7.7. ПИРОТЕХНИЧЕСКИЕ ДЕТОНАЦИОННЫЕ РЕЛЕ

Пиротехнические детонационные реле необходимы при бескапсюльном инициировании для поочередной подачи инициирующего импульса к различным зарядам через заданные промежутки времени. Вставляют пиротехнические детонационные реле в разрывы ДШ на участках, где необходимо «задержать» подачу импульса к заряду. Время замедления обычно 10, 20, 35, 50, 75 и 100 мс.

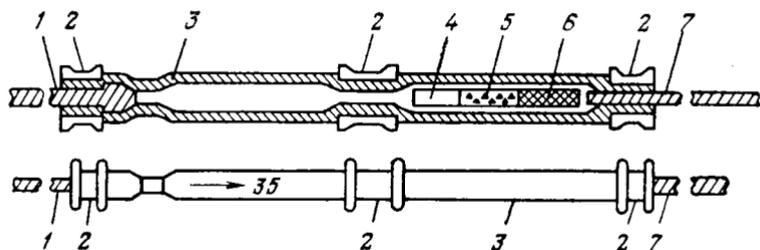


Рис. 41. Пиротехническое детонационное реле КЗДШ-69

Пиротехническое детонационное реле одностороннего действия КЗДШ-69 состоит из картонной трубки 3 (рис. 41), в которую введен капсуль-детонатор 6 и пиротехнический замедлитель 5. В концах трубки с помощью алюминиевых муфточек 2 закреплены отрезки ДШ 7 и 1. Замедляющий состав закреплен в трубке фиксатором 4.

Работа реле происходит следующим образом. Образовавшиеся при детонации отрезка ДШ 1 горячие газы и ударная волна распространяются внутри трубки и поджигают состав 5. В конце его сгорания происходит огневое воздействие на капсуль-детонатор, от которого в свою очередь взрывается отрезок шнура 7 и детонация продолжает распространяться к заряду. Время горения замедлителя определяет *время замедления* детонации.

Для правильной установки реле во взрывной сети на гильзе нанесены стрелка и цифры, которые указывают направление детонации и время замедления в мс.

7.8. РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ДЕТОНАТОРОВ

В качестве промежуточных детонаторов применяют патроны и пачки порошкообразных ВВ и специальные шашки-детонаторы.

Шашки изготавливают из прессованного тротила (Т-400, Ш-200, Ш-400), тетрила, тротило-гексогенового (ТГ-500М) и тротило-тэнового, иначе пентолитового (ПТ-150), сплавов цилиндрической или прямоугольной формы (рис. 42), с одним осевым или двумя коаксиальными отверстиями или без отверстий (Ш-200, Ш-400). Шашки чувствительны к инициированию одной (ТГ-500, ТГ-500М) или четырьмя нитями ДШ. Цифры в названии шашек указывают их массу, буквы определяют тип ВВ.

Иницирующая способность боевиков неодинаковая. Наименьшая она у патронированных аммонитов, наибольшая — у шашек ТГ и ПТ.

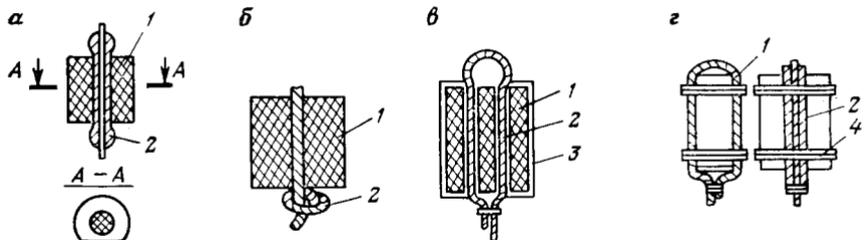


Рис. 42. Шашки-детонаторы:

а — тротиловая Т-400; б — тетриловая ТЕТ-150; в — пентолитовая ПТ-150; г — тротиловая Ш-400; 1 — шашка; 2 — детонирующий шнур; 3 — оболочка; 4 — шпигат

Назначение инициатора заключается только в возбуждении детонации, которая распространяется на остальную часть заряда без влияния извне. В этой связи очевидно, что боевик, эффективный для одного ВВ, может оказаться малопригодным для другого. Рассмотрим, какие параметры боевика наиболее рациональны.

С увеличением массы боевика надежность инициирования возрастает. Однако, где то предельное значение, при увеличении массы боевиков выше которого ухудшается только экономический показатель взрыва при безотказном его возбуждении? Ведь излишняя масса более дорогостоящего ВВ боевика удорожает взрыв, уменьшенная — приводит к отказу.

В связи с тем, что снижение надежности не оправдывается экономически, рациональным является надежный инициатор наименьшей массы.

Можно ли считать надежным наименьший из боевиков, возбуждающих взрыв? Безусловно нет, из-за протекания детонации на начальных участках в неустойчивых низкоскоростных режимах (см., например, рис. 31). Достаточно малейшего изменения какого-либо фактора (диаметра заряда, плотности и влажности ВВ, количества примесей в заряде и т. п.), чтобы детонация затухла. Кроме того, низкоскоростная детонация происходит при неполном выделении энергии ВВ.

С увеличением массы инициатора скорость неустойчивого режима повышается, условия возбуждения улучшаются, надежность увеличивается и, при определенной для каждого ВВ массе боевика m_1 или m_2 , детонация возбуждается без малых скоростей (рис. 43). Поэтому влияние различных факторов на характер процессов (затухание или дальнейшее распространение) существенно падает. Детонатор такой массы является надежным. Действие, которое он оказывает на ВВ, равноценно тому, которым обладает детонационная волна при движении по заряду.

Такой детонатор и есть рациональный, так как при большей массе он излишне дорог, а при меньшей — недостаточно надежен.

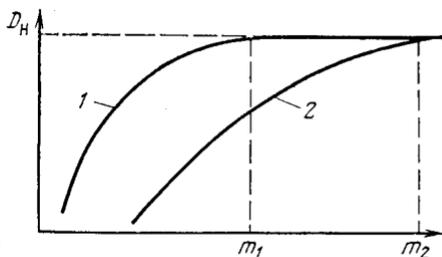


Рис. 43. Влияние массы промежуточного детонатора m на скорость возмущаемого начального детонационного процесса низкочувствительных ВВ D_n :

1 — инициирование детонатором из мощного ВВ; 2 — инициирование детонатором из порошкообразного ВВ

Приближенно считают, что рациональная масса детонатора в 15—20 раз больше установленной в опытах минимально необходимой массы детонатора для получения взрыва сухих дисперсных ВВ и в 3—5 раз больше — в случае водонаполняемых ВВ. Взрыванием зарядов боевиками разной массы легко устанавливается минимально необходимая их масса.

Эффективно применение литых шашек-детонаторов, чувствительность которых не изменяется в воде.

Глава 8

СРЕДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИНИЦИИРОВАНИЯ

8.1. ЭЛЕКТРОДЕТОНАТОРЫ

Электродетонаторы (ЭД) со средствами их воспламенения относятся к средствам электрического инициирования. Имеют то же назначение, что и капсули-детонаторы, но могут применяться также в опасных по газу или пыли условиях и при взрывании больших количеств зарядов в заданных временных режимах.

В принципе ЭД представляет собой капсуль-детонатор с введенным в него электровоспламенителем. Выпускаются в настоящее время только в металлических (медных, стальных или биметаллических) гильзах.

Кроме ЭД для электроинициирования необходимы электропровода, источники тока и контрольно-измерительные приборы.

В электровоспламенителе (ЭВ) за счет трансформации электрической энергии в тепловую поджигается воспламенятельный состав, луч которого возбуждает детонацию иницирующего ВВ и электродетонатора в целом. Состоит ЭВ из воспламенятельной головки 8, устройства для ее зажигания 3, концевых проводов 6 и пластиковой пробки 5 (рис. 44). Вводится в гильзу 4 и с помощью пробки фиксируется путем обжатия.

В качестве устройств для зажигания применяют токопроводящие воспламенятельные составы, искровые разрядники и

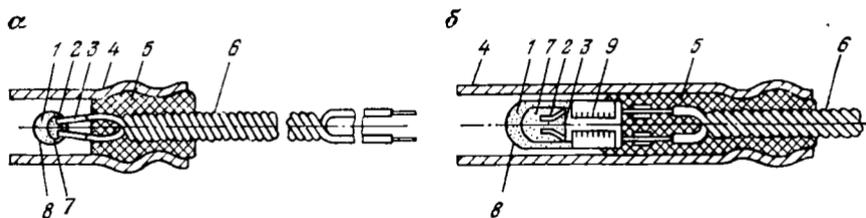


Рис. 44. Электровоспламенители с эластичным (а) и жестким (б) креплением мостика

металлические мостики накаливания. В устройствах первого типа головка зажигается от тепла, выделяющегося при прохождении тока через воспламенительный состав; в искровых разрядниках — от электрической искры, возникающей при пробое состава между электродами; в металлических мостиках накаливания — раскаленным при пропускании тока мостиком, находящимся внутри головки.

Отечественные ЭВ изготавливают обычно с металлическими (нихромовыми) мостиками накаливания. Крепление мостиков *эластичное* (тип электродетонаторов ЭДЭ), когда мостик 2 припаивают к проводам 6 (рис. 44, а), или *жесткое* (ЭДЖ), когда мостик приштамповывают к латунным контактным полоскам 9, соединенным пайкой с проводами 6 (рис. 44, б).

Для повышения чувствительности ЭД воспламенительные головки выполняют *двухслойными*. Внутренний слой 7 обладает большой чувствительностью к тепловому импульсу, а наружный 1 — образует более сильный луч пламени. Для предохранения от отсыревания воспламенительные головки покрывают водонепроницаемым лаком.

В качестве концевых проводов применяют одножильные медные (иногда стальные) провода диаметром 0,5 мм и сопротивлением 0,09 Ом/м. Изоляция концевых проводов пластиковая (полихлорвиниловая или полиэтиленовая).

Электродетонаторы подразделяются по времени срабатывания — на ЭД *мгновенного*, *короткозамедленного* и *замедленного* действия; по условиям применения — *непредохранительные* и *предохранительные* (для шахт, опасных по взрыву газа или пыли); по величине заряда — *обычные* и *повышенной* мощности; по напряжению токовой сети — *нормальные* и *высоковольтные*. В предохранительных ЭД в качестве инициирующего ВВ используется азид свинца, в остальных — гремучая ртуть.

Электродетонаторы *мгновенного* действия (маркируются буквами ЭД) характеризуются непосредственным срабатыванием инициирующего ВВ от воспламенителя. Изготавливаются на базе гремучертутных капсулей-детонаторов КД-8 со стальной гильзой. Крепление мостика у детонаторов ЭД-8Ж жесткое, у ЭД-8Э — эластичное.

Детонаторы короткозамедленного действия выпускают двух типов: ЭДКЗ-15 и ЭДКЗ-25. Это водостойкие азидовые ЭД с типовыми воспламенителями, безгазовые, соответствуют по мощности КД-8. Цифры в названии показывают интервал замедления между сериями ЭД. Детонаторы ЭДКЗ-15 изготавливают с замедлениями: 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 и 120 мс; детонаторы ЭДКЗ-25 — 25, 50, 75, 100, 150 и 250 мс.

В электродетонаторах ЭДКЗ инициирующее ВВ возбуждается замедляющим составом, столбик которого расположен между электровоспламенителем и ВВ. Поджигается он воспламенительной головкой. Вместе с инициирующим ВВ и частью бризантного ВВ он запрессован в стальную чашечку. К концевому проводу прикреплена бирка-жетон с указанием серии замедления, определяющей время срабатывания ЭД с момента подачи тока. Нужное время замедления срабатывания достигается подбором состава и высотой столбика замедлителя. Оно может быть указано и на донышке гильзы.

Электродетонаторы замедленного действия (ЭДЗД) отличаются повышенными значениями замедлений, получаемыми за счет применения других замедляющих составов. Их выпускают в стальных гильзах со временем срабатывания 0,5, 0,75, 1,0, 1,5, 2, 4, 8 и 10 с. Применяют азидные и гремучертутные электродетонаторы.

Предохранительные ЭД характеризуются наличием на гильзе слоя пламегасителя. Обычно они повышенной мощности с повышенным содержанием индивидуальных бризантных ВВ. Это позволяет инициировать заряды уплотненных предохранительных ВВ. Выпускаются двух типов: ЭДКЗПМ-15 и ЭДКЗПМ-25 (буквы П и М означают: предохранительные, повышенной мощности). Время срабатывания соответственно: 15, 30, 45, 60, 80, 100, 120 и 25, 50, 75, 100 мс. Отклонения от номинальных значений такие же, как и у ЭДКЗ-15 и ЭДКЗ-25.

Высоковольтные ЭД (ЭДВ) снаряжены взрывающимся мостиком, инициирующее ВВ поэтому отсутствует. Взрывание осуществляется источником с напряжением 20 кВ. Применяются для одиночного взрывания при штамповке, упрочнении металла. Они наименее чувствительные к блуждающим токам и механическим воздействиям.

Из остальных ЭД выделяются детонаторы с пониженной чувствительностью к механическим воздействиям, которые находятся в стадии промышленных испытаний.

Упаковывают электродетонаторы в картонные коробки в количестве 40—70 шт. рядами по 5—10 шт. и перевязывают шпагатом. На крышке указывают обозначение завода-изготовителя, условное обозначение изделия, количество, номер партии, дату изготовления, марку и длину проводов, время замедления, сопротивление в омах, фамилию укладчика. Коробки укладывают в оцинкованные короба, которые помещают в деревянные ящики, куда вкладывают инструкцию по применению

и контактные зажимы. На крышку короба и ящика наклеивается этикетка или черной несмываемой краской наносится маркировка. Сбоку ящика наносят транспортный знак-треугольник с цифрой «10» внутри и цветную полосу.

Электродетонаторы, как и капсули-детонаторы, *опасны* в обращении. Они чувствительны к механическим воздействиям и нагреву, взрываются при напряжении менее 14 В, в связи с чем требуют особых мер предосторожности к различного рода *наведенным* и *остаточным* во взрывной цепи и концевых проводах токам. *Выдергивание ЭВ* опасно из-за чувствительности к трению и запрещено.

8.2. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОДЕТОНАТОРОВ

Основные параметры электродетонаторов включают параметры, определяющие надежное и безотказное взрывание ЭД.

Действие электродетонаторов основано на нагревании электрическим током мостика накаливания. Температура его разогрева пропорциональна количеству выделившегося тепла, которое при протекании в течение времени t тока силой I через мостик с сопротивлением R равно

$$Q = 0,24I^2Rt.$$

Чем больше выделяется тепла, тем выше разогрев мостика и эффективней воспламенение головки. Для достижения высоких температур применяют проволоочки малого диаметра с большим удельным сопротивлением и малой собственной теплоемкостью (нихром).

Длительность тока, создаваемого автономным источником тока, ограничена. Электрическое сопротивление ЭД с эластичным мостиком примерно такое же, как и у ЭД с жестким мостиком. Так как разогрев мостика пропорционален сопротивлению и у разных ЭД неодинаков, чувствительность к току неодинакова и ниже у ЭД с меньшими значениями сопротивления.

Минимальную температуру нагрева воспламенительного состава, при которой происходит его горение, называют *температурой самовоспламенения*. Время от момента включения тока до начала саморазвивающейся реакции в воспламенительном составе, которая будет развиваться и после выключения тока, называется *временем возбуждения состава*. Горение головки происходит по концентрическим слоям и время между началом саморазвивающейся реакции до выхода луча огня из головки электровоспламенителя называют *временем передачи*. Это время определяет разрушение мостика и разрыв электроцепи с прекращением подачи тока на другие, менее чувствительные, последовательно соединенные ЭД.

Верхний предел постоянного тока, который, протекая через ЭВ без ограничения времени, не вызывает их срабатывания, называют *безопасным током*. Допустимая его величина 0,18 А. Чтобы исключить разложение состава, допускаемый ток в контрольно-измерительных приборах принят 0,05 А.

Чувствительность к току характеризуется *импульсом воспламенения*. Под ним понимают импульс тока I^2t , обеспечивающий взрыв детонатора. Чем меньше импульс воспламенения, чем выше чувствительность ЭД. Величина его регламентируется. Наиболее часто (около 70 %) встречаются ЭВ с импульсом $1,05 \text{ А}^2 \cdot \text{мс}$.

Большое значение имеет величина тока. При недостаточной силе тока происходят *отказы*, при завышенной — возможен *разброс* в срабатывании воспламенителя.

Минимальный по силе ток, который при протекании через группу последовательно соединенных ЭД обеспечивает их взрыв с заданной вероятностью, называется *гарантийным*. Обычно его значение 1 А.

Величина тока, предписанная «Едиными правилами безопасности при взрывных работах» для взрывания групп ЭД соответствующей чувствительности, называется *нормированным* током. Зависит она от числа одновременно взрываемых ЭД.

Время срабатывания электродетонаторов мгновенного действия составляет 4 ± 2 мс. Допустимый разброс сопротивлений ЭД одной группы не более 0,3 Ом.

Под действием тока мостики нагреваются до температуры воспламенения состава. Их электрическое сопротивление при этом возрастает на 10—15 %. Это увеличение сопротивления при взрывании больших групп ЭД учитывают в расчетах взрывной сети.

8.3. ЭЛЕКТРОВЗРЫВНАЯ СЕТЬ

Электровзрывная сеть состоит из электродетонаторов, концевых, соединительных и магистральных проводов, источника тока.

Магистральные провода — провода, соединяющие источник тока с соединительными или концевыми проводами. Это медные провода ПР (ПР-660 — с резиновой изоляцией) и ПВ (ПВ-380 — с пластикатной изоляцией) или алюминиевые АПР (АПР-660) и АПВ (АПВ-380), рассчитанные на напряжение сети 660 и 380 В переменного тока или 1000 и 500 В постоянного тока. Часто в магистралях используют шахтные кабели ГРШН (неэкранированные), ГРШЭ и ШВБЭ (экранированные), рассчитанные на напряжение сети 500 и 660 В.

Концевые провода — провода, являющиеся элементом конструкции электродетонатора. Соединительные — провода, обеспечивающие соединение элементов электровзрывной сети по заданной схеме. В качестве этих проводов используют

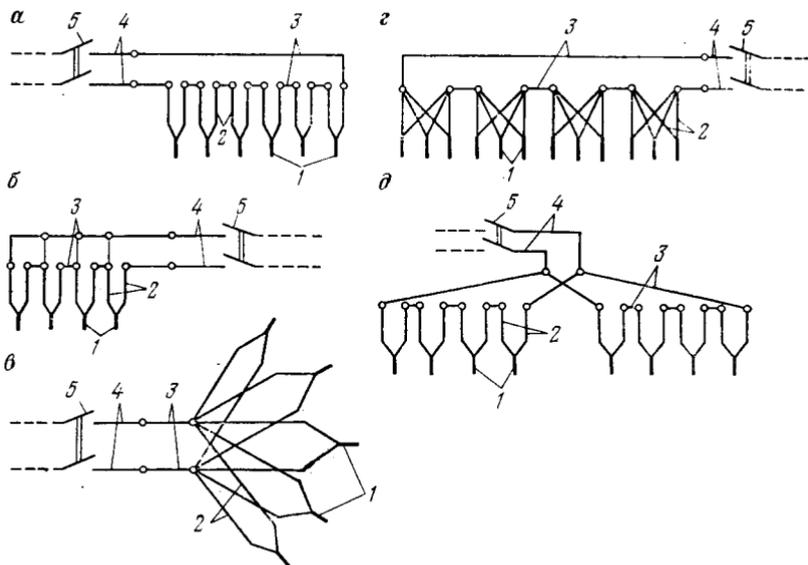


Рис. 45. Схемы соединения электродетонаторов, простые:

a — последовательное; *б* — параллельное; *в* — пучковое; комбинированные: *г* — последовательно-параллельное; *д* — параллельно-последовательное; 1 — электродетонаторы; 2, 3, 4 — соответственно концевые, соединительные и магистральные провода; 5 — рубильник

медные (ЭВ, ЭП, ВМВ) или стальные (ЭВЖ, ЭПЖ, ВМВЖ) провода в пластикатной изоляции с допустимым переменным напряжением 500 В.

При монтаже сети возможно применение всех известных способов соединения электросопротивлений: последовательного, параллельного, последовательно-параллельного и параллельно-последовательного. Выбор схемы соединения ЭД определяется многими факторами.

Последовательное соединение производится соединением концевых проводов смежных ЭД между собой, а крайних проводов первого и последнего ЭД присоединением к соединительным проводам (рис. 45, *a*). Достоинства способа в простоте монтажа, легкой контролируемости, простоте расчета сети, малом расходе проводов. Но число взрываемых зарядов ограничено, при неисправности одного ЭД происходит массовый отказ, требуется тщательный подбор ЭД по сопротивлению.

Параллельное соединение — возможно при ступенчатом (рис. 45, *б*) или пучковом соединении концевых проводов с магистральными (рис. 45, *в*). Преимущества способа в независимом взрывании ЭД, в возможности безотказного взрывания больших количеств различных по сопротивлению ЭД. Но требует больших расходов проводов и источников большого тока.

Параллельно-ступенчатая схема применяется редко из-за падения напряжения в проводах по мере удаления от источника тока. Используется при проходке шахтных стволов.

Параллельно-пучковая схема наиболее сложная. Характеризуется наибольшим расходом проводов. Применяется при небольшом числе ЭД. Может быть одно- и многоступенчатой.

Последовательно-параллельное соединение отличается последовательным соединением ЭД в группах и параллельным соединением групп (рис. 45, *д*). Оно экономичнее параллельного и параллельно-последовательного, так как допускает при меньшем расходе проводов использование менее мощного источника тока. Относительно последовательного соединения оно более надежно.

Параллельно-последовательное соединение характеризуется параллельным соединением ЭД в группах и последовательным соединением групп (рис. 45, *г*). Успешно применяется при одинаковом количестве ЭД в группах и одинаковом сопротивлении групп.

При выборе схем взрывания учитывают, что автономные источники тока дают ток небольшой силы.

8.4. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫХ СЕТЕЙ

Расчет выполняют для обеспечения безотказного инициирования всех находящихся в сети ЭД. Взрывную сеть составляют так, чтобы получить ток не меньше нормативного. При использовании электрических линий расчет сетей сводится к установлению тока, поступающего в ЭД. При взрывании с помощью приборов определяют сопротивление сети, которое должно соответствовать паспортным данным прибора.

Последовательность расчета: составляют принципиальную схему сети; определяют длину проводов и общее сопротивление сети; сопоставляют сопротивление сети с паспортными данными прибора или определяют силу тока при заданном напряжении.

1. *Расчет сопротивления* сети $R_{\text{общ}}$ с последовательным соединением ЭД (рис. 45, *а*)

$$R_{\text{общ}} = R_{\text{м}} + R_{\text{с}} + (R_{\text{к}} + R_{\text{эд}}) m_{\text{э}},$$

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

Сопротивление провода R

$$R = \rho l / S,$$

где ρ — удельное сопротивление провода (медного 0,0175, алюминиевого 0,027 Ом/м мм²); l — длина провода, м; S — поперечное сечение провода, мм².

Для учета влияния неровностей местности и изгибов проводов их длины принимают на 10 % большими, чем определенные по схеме.

Сила тока $I_{эд}$, поступающего в каждый электродетонатор при использовании силовой сети,

$$I_{общ} = I_{эд} = u/R_{общ},$$

где u — напряжение сети, В.

2. При *параллельно-ступенчатом* соединении (рис. 45, б) общее сопротивление сети

$$R_{общ} = R_m + R_c + (R_k + R_{эд})/m_э.$$

Величина тока, поступающего в каждый ЭД,

$$I_{эд} = I_{общ}/m_э.$$

3. При *одноступенчатом параллельно-пучковом* соединении (рис. 45, в) сопротивление сети, общая величина тока и величина тока, поступающего в каждый ЭД, определяется так же, как и при параллельно-ступенчатом соединении.

4. При *последовательно-параллельном* соединении (рис. 45, г) сопротивление сети

$$R_{общ} = R_m + [R_c + (R_k + R_{эд}) m_{пс}]/n_{пр},$$

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

Сила тока, поступающего к месту разветвления,

$$I_{общ} = u/R_{общ}.$$

Поступающий в каждый электродетонатор ток

$$I_{эд} = I_{общ}/n_{пр}.$$

5. При *параллельно-последовательном* соединении (рис. 45, г) общее сопротивление определяют при равенстве сопротивлений последовательно соединенных групп по формуле

$$R_{общ} = R_m + R_c + n_{пс} [(R_k + R_{эд})/m_{пр}],$$

где $n_{пс}$ — число последовательно соединенных групп; $m_{пр}$ — число электродетонаторов, параллельно соединенных в группе.

В случае применения в каждом заряде двух *электродетонаторов* (случай парного включения ЭД для повышения надежности взрыва) общее сопротивление при последовательном соединении пар равно

$$R_{общ} = R_m + R_c + m_{пп} R_k + m_{пп} R_{эд}/2,$$

где $m_{пп}$ — число последовательно соединенных пар.

Сила тока, проходящего через каждый электродетонатор,

$$I_{\text{эд}} = I_{\text{общ}}/m_{\text{пр}},$$

или при парном включении

$$I_{\text{эд}} = I_{\text{общ}}/2.$$

8.5. ИСТОЧНИКИ ТОКА ДЛЯ ЭЛЕКТРОНИЦИРОВАНИЯ

При электроннициировании могут быть использованы различные источники тока, обеспечивающие поступление в сеть импульса тока не меньшего, чем необходимый для воспламенения наименее чувствительного ЭД. Используют как работающие от силовой или осветительной электросети (*сетевые*), так и имеющие собственный источник питания (*автономные*) взрывные приборы.

Сетевые взрывные приборы. Особенно эффективны при больших количествах зарядов или в случае массового взрыва. Иницирование производят только в неопасном по газу или пыли условиях. Применяют взрывные станции, т. е. приборы с прямым включением тока или с включением тока в фиксированной точке синусонды, а также *выпрямительные* и *конденсаторные* взрывные приборы.

Взрывные станции, как и все другие приборы, исключают возможность случайного замыкания взрывной сети. *Стационарные* станции смонтированы в запирающихся шкафчиках, могут работать от постоянного или переменного тока и состоят из двух рубильников, контрольных лампочек и контрольно-измерительных приборов (рис. 46).

Проверив напряжение сети u по вольтметру V , с помощью амперметра A и отрегулированного на сопротивление взрывной сети нагрузочного реостата R_n испытывают цепь на способность создать во взрывной сети $R_{\text{общ}}$ нормированный ток. После этого рубильник 2 отключают. Взрыв производят последовательным включением рубильника 1 и переключателя B в положение «а—а». Для разряда сети после взрыва и исключения при очередном взрыве влияния блуждающих токов ее «замыкают», переводя переключатель B в положение «б—б».

Взрывные станции второго типа работают только на переменном токе. Некоторые характеристики взрывных приборов приведены в табл. 10. Переносная станция ПВС-220 за счет срабатывания газового разрядника с помощью его автоматического включения при максимуме напряжения на синусоиде подает во взрывную сеть ток, наибольший из возможных. Отключается сеть при нулевом значении тока, т. е. через 10 мс после включения. Срабатывает прибор только от последовательного нажатия на две кнопки, первая из которых отключается протекающим по цепи импульсом, обеспечивая этим безопасность.

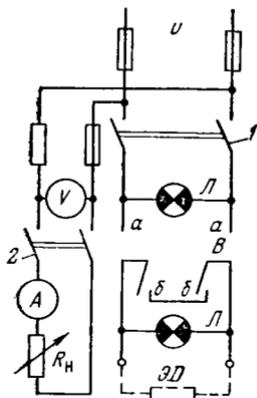
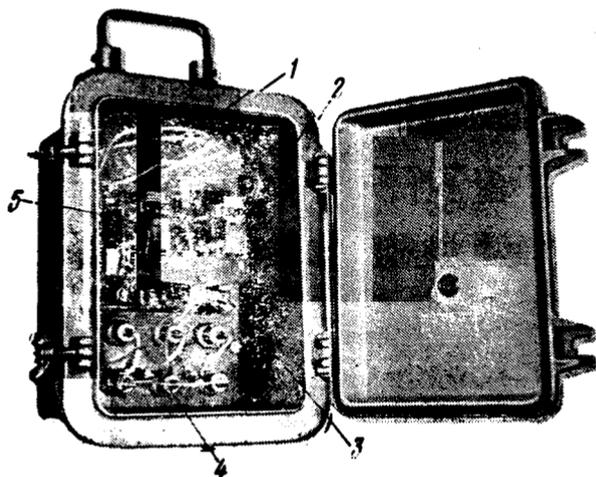


Рис. 46. Электрическая схема взрывной станции

Рис. 47. Сетевой выпрямительный взрывной прибор КВП-750:

1 — сетевые клеммы; 2 — входное реле; 3 — неоновая светосигнальная лампа; 4 — выпрямитель; 5 — выходное реле



Выпрямительный прибор КВП-750, подающий во взрывную сеть выпрямленное напряжение, состоит (рис. 47) из трехфазного выпрямителя 4, собранного на шести кремниевых вентилях ВК-100, электромагнитных реле 2 и 5, неоновой лампы 3 светосигнального устройства, трех входных и пяти пар выходных зажимов. К последним подключают группы ЭД.

При подаче на клеммы 1 напряжения в течение 20—30 мс срабатывает реле 2. При этом подается напряжение на реле 5 и на выпрямитель 4. Через 10—15 мс замыкаются контакты этого реле и на выходные зажимы подается напряжение. Об этом свидетельствует вспыхивающая при напряжении более 513 В лампочка 3, работающая в мигающем режиме.

Конденсаторные приборы распространены при автономных источниках питания.

Таблица 10

Тип приборов	Модель	Выходное напряжение, В	Допустимое сопротивление последовательной сети, Ом	Допустимое число последовательно включенных ЭД, шт.	Масса прибора, кг
Сетевые приборы	КВС-220	220	220	170×5	1,5
	КВП-750	513	513	70	7,0
Конденсаторные приборы	КВП-1/100м	600	320	100	2,0
	ПИБ-100м	600	320	100	2,7
Конденсаторные машинки	ВМК-500	3000	2100	800	11
	КПМ-1А	1500	300	100	2,3

Автономные взрывные приборы, где источником энергии служат маломощные генераторы с ручным приводом, называются *взрывными машинками*. Выпускаются конденсаторные взрывные приборы и машинки (см. табл. 10).

В конденсаторных приборах используется свойство конденсатора относительно медленно (10—50 с) накапливать электроэнергию в процессе зарядания от маломощного источника и очень быстро (2—4 мс) отдавать ее во взрывную сеть. Мощность импульса в итоге получается в тысячи раз большей, чем от первичного источника. Поэтому малогабаритные и легкие приборы можно использовать для взрывания значительных количеств ЭД. Кроме того, конденсатор легко рассчитывается на отдачу только того количества энергии, которое нужно для взрыва ЭД, исключая многократные запасы энергии, характерные для других устройств.

Приборы состоят из конденсатора-накопителя, источника тока, зарядного, ограничительного, светосигнального и разрядного устройств, взрывного переключателя и линейных зажимов, смонтированных в пластмассовом корпусе.

Конденсатор-накопитель служит для накопления требуемого для взрывания количества энергии. Может состоять из одного или нескольких (как и в машинке ВМК-500) конденсаторов при общей рабочей емкости от 1,5 до 9 мкФ. Напряжение на их обкладках — от 600 до 3000 В.

Зарядные устройства необходимы для зарядания конденсатора. Могут быть *без преобразования* напряжения (с зарядкой от батарей) и с *преобразованием*. В устройствах с зарядкой от батарей (сейчас не применяющихся) напряжение на конденсаторе-накопителе равно напряжению источника тока. Во вторых устройствах применяют повышающий трансформатор, схемы умножения и выпрямления напряжения. При источнике постоянного тока дополнительно используют релаксационный генератор, преобразующий постоянное напряжение в переменное для его последующего умножения. Генераторы, схемы умножения и выпрямления выполняют на полупроводниках.

Ограничительные устройства предохраняют конденсаторы-накопители от пробоя. Выполнены на основе газовых разрядников, которые, зажигаясь при напряжении на конденсаторе выше предельного, приводят к прекращению зарядания. Распространены во взрывных приборах.

Светосигнальное устройство сигнализирует неоновой лампочкой, вспыхивающей при заданном напряжении, о достижении на конденсаторе-накопителе рабочего напряжения. В зависимости от места подключения могут быть *прямыми* (при подключении к различным точкам зарядного устройства) или *релаксационными* (при подключении к конденсатору-накопителю). В прямых устройствах кроме лампочки в цепи находится ограничительное сопротивление. Релаксационные устройства дополнительно содержат конденсатор и резистор.

Взрывной переключатель выполняет основные функции по управлению прибором. Он включает конденсатор-накопитель на зарядку, а в момент взрыва — к взрывной сети. После взрыва или при его отмене подключает к конденсатору разрядное устройство.

Во взрывобезопасных приборах (например КВП-1/100м и ПИВ-100м) он снабжается миллисекундным механизмом замыкателя, с помощью которого подключает конденсатор-накопитель к взрывной сети лишь на 2—4 мс. Подключается разрядный переключатель, что обеспечивает опережающее отключение взрывной сети в опасных по газу или пыли условиях.

Разрядное устройство снимает с конденсатора остаточный после взрыва или весь при отмене взрыва электрический заряд. Представляет собой разрядный или шунтирующий резистор. Величина последнего обеспечивает разряд конденсатора-накопителя за время меньше 4 мс. Время разрядки конденсатора разрядными резисторами различно.

Линейные зажимы служат для надежного подсоединения к прибору магистральных проводов взрывной сети. Обычно выполняют их с помощью резьбы.

Работа взрывных приборов аналогична работе прибора КВП-1/100м (рис. 48), который приводится в действие тремя элементами типа «Сатурн». Зарядное устройство включается взрывным ключом 4. При повороте ключа в положение «Заряд» разрядный резистор отключается от конденсатора-накопителя и включается батарея. Возбуждается релаксационный генератор зарядного устройства и через схему удвоения и выпрямления производится зарядка конденсатора-накопителя. Через 8—10 с напряжение достигает 590—600 В, срабатывает разрядник-ограничитель, прекращающий зарядание. Одновременно начинает мигать неоновая лампочка 2 светосигнального устройства, сигнализируя о готовности прибора к работе. Для взрывания ЭД ключ 4 поворачивают в положение «Взрыв». На 2—4 мс подключается конденсатор-накопитель к взрывной

Рис. 48. Конденсаторный взрывной прибор КВП-1/100м:

1 — корпус из пластмассы; 2 — окно светосигнального устройства; 3 — линейные зажимы; 4 — съемный взрывной ключ; 5 — гнездо взрывного ключа; 6 — заглушка гнезда

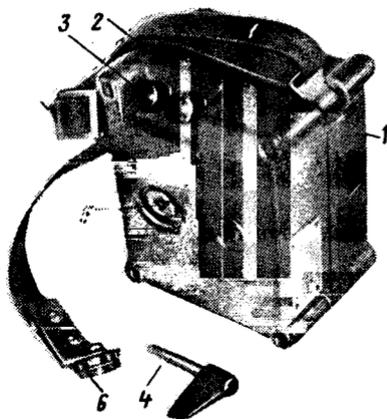
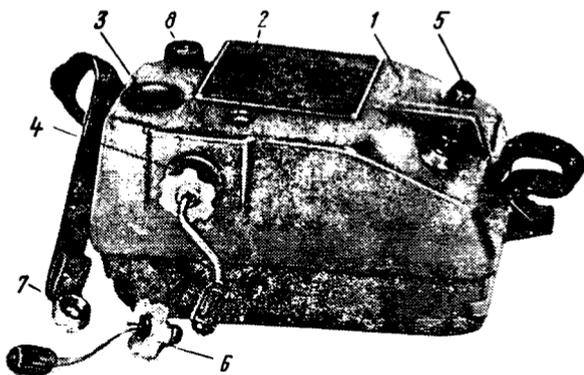


Рис. 49. Конденсаторная взрывная машинка ВМК-500:

1 — корпус из пластмассы; 2 — окно светосигнального устройства; 3 — взрывная кнопка; 4 — гнездо для приводной рукоятки; 5 — линейные зажимы; 6 — приводная рукоятка; 7 — заглушка гнезда приводной рукоятки; 8 — розетка штепсельного разъема для дополнительных выводов



сети ЭД, затем включается разрядный резистор, снимая остаточный заряд и закорачивая взрывную сеть.

Работа взрывных машинок имеет некоторые особенности. Напряжение на повышающем автотрансформаторе создается вращением с частотой не менее 4 с^{-1} приводной рукоятки 6 малоомощного генератора переменного тока с постоянными магнитами (рис. 49). Схема умножения и выпрямления утверждает напряжение автотрансформатора и подает его на блок конденсаторов-накопителей. Окончание зарядки показывает вспышка лампочки светосигнального устройства в окне 2.

Взрыв производят нажатием кнопки 3 «Взрыв». Цепь замыкается и конденсаторы-накопители «отдают» энергию во взрывную сеть, после чего их остаточный заряд разряжается на разрядных резисторах. Дополнительные выводы 8 от блока конденсаторов-накопителей позволяют соединить параллельно две машинки. В результате возможно взрывание 1000 последовательно соединенных ЭД при сопротивлении сети до 2700 Ом или двух параллельно включенных групп из 850 ЭД в каждой при общем сопротивлении сети 1100 Ом.

8.6. КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Все контрольно-измерительные приборы дают в сеть ток не более 50 мА. Проверка их качества проводится не реже одного раза в квартал и после каждой замены источника питания.

Для измерения сопротивлений ЭД, электровзрывной сети и их изоляции применяются омметры М-57Д, ОКЭД-1, измерительный мост Р-353, а для проверки взрывных линий — омметр ОВЦ-3 и более современные приборы ВИС-1 и Ю-140.

Малый омметр М-57Д наиболее простой из контрольно-измерительных приборов. В нем используется магнитоэлектрическая система с непосредственным отсчетом сопротивления измеряемой цепи в омах. Применяется для проверки токопроводимости ЭД и электровзрывной сети, а также для приближенных (с погрешностью до $\pm 20\%$) измерений сопротивления сети и ее изоляции в пределах от 20 до 1500 Ом. Масса 0,3 кг.

Смонтирован в пластмассовом корпусе и состоит из стрелочного гальванометра Γ с магнитным шунтом, ограничительного резистора R батареек B с напряжением 4,5 В, кнопки K_n закорачивания линейных зажимов L (рис. 50). Шкала прибора неравномерная, идущая справа налево. При разомкнутой цепи стрелка находится слева у знака бесконечности.

Сумма сопротивлений рамки гальванометра Γ , резистора R и сети $R_{\text{общ}}$ определяют величину тока. Чем сопротивление $R_{\text{общ}}$ меньше, тем больший ток и, следовательно, больше отклонение стрелки вправо, т. е. к нулю. Перед измерением нуль прибора устанавливают нажатием кнопки K_n и соответствующим вращением, при необходимости, магнитного шунта. Максимальный ток прибора ограничивают 15—20 мА.

Остальными омметрами являются *измерительные мосты* постоянного тока. В одно их плечо подключают неизвестное сопротивление, а два других — уравнивающий реохорд, ползунок которого поворачивается лимбом-шкалой. Индикатором равновесия служит стрелочный гальванометр, включенный в диагональ моста.

Измерительный мост Р-353 предназначен для измерения сопротивления ЭД и электровзрывных сетей. Имеет два предела измерений: 0,2—50 и 20—5000 Ом. Масса 1,3 кг. Источником тока B служит элемент МЦ-4К с последовательно включенным резистором $r_0=300$ Ом (рис. 51). Погрешность измерений не более $\pm 5\%$.

Первым плечом моста является резистор $R1$ и верхняя часть реохорда R_p^B , вторым — резистор $R2$ и нижняя часть реохорда $D_{\text{нр}}$. Третье плечо состоит из двух резисторов $R3_n$ и $R3_B$ или одного $R3_n$, когда переключкой 1, 2 устанавливают меньший предел измерения, закорачивая $R3_B$. Четвертым плечом является измеряемое сопротивление R_x .

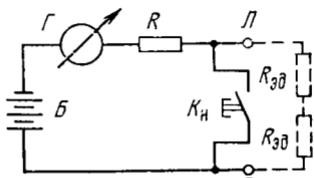


Рис. 50. Электрическая схема омметра М-57Д

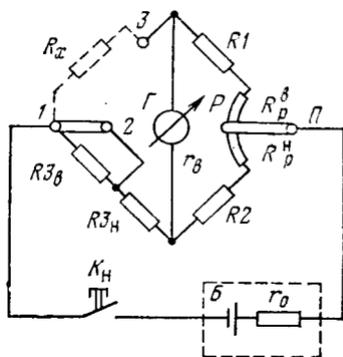


Рис. 51. Электрическая схема измерительного моста Р-353

Перед измерением проверяют исправность моста. Накоротко замыкая зажимы 1 и 3, нажимают кнопку K_H . Стрелка гальванометра должна стать на нулевую отметку шкалы лимба. Если этого нет, винтом корректора стрелку выводят на нуль, после чего подсоединяют провода ЭД или взрывной сети. Нажимая на кнопку K_H , поворотом лимба приводят стрелку к нулевой отметке. Против этой же отметки отсчитывают показания шкалы.

Омметр-классификатор ОКЭД-1 находится в эксплуатации на подземных расходных складах ВВ. Выполнен со стрелочным индикатором сопротивления, в искробезопасном исполнении, для измерения сопротивления ЭД. Питание от аккумуляторного блока напряжением 2,5 В. Измерительный ток менее 25 мА. Прибор имеет два предела измерений: 0,5—5,5 и 3—8,5 Ом. Шкалы с ценой деления 0,1 Ом, погрешность измерений $\pm 2,5\%$. Заряжают от сети переменного тока через выпрямитель в течение 16 ч. Зарядку производят на поверхности.

Уравновешивание моста перед работой производят с помощью сопротивлений 1 или 3 Ом.

Омметр взрывных цепей ОВЦ-3 предназначен для работы в опасных по газу или пыли условиях. В отличие от других измерительных приборов имеет цилиндрический корпус. Масса 425 г. Пределы измерений: 1—50 и 10—500 Ом. Погрешность $\pm 5\%$. Является измерительным мостом постоянного тока с напряжением 2,5 В. Прибор имеет рудничное искробезопасное, брызгозащищенное и пылезащищенное исполнение. Прибор ОВЦ-3 снят с производства, но в большом количестве находится в эксплуатации.

Взрывной испытатель светодиодный ВИС-1 и индикатор фотоэлектрический Ю-140. Первый снабжен индикатором — светодиодом, который начинает светиться, если контролируемая сеть цела и ее сопротивление не превышает определенного значения, позволяет проверить сопротивление сети и отдельных ее элементов, имеет взрывобезопасное

исполнение. У второго в качестве источника электроэнергии использован фотозлемент (работающий при освещении), последовательно с которым включен микроамперметр. Отклонение стрелки микроамперметра указывает на целостность контролируемой электровзрывной сети.

8.7. ДЕФЕКТЫ ЭЛЕКТРОДЕТОНАТОРОВ И БЕЗОПАСНОСТЬ РАБОТ

Применение нихромовых мостиков накаливания в электровоспламенителях позволяет эффективно использовать емкости конденсаторов-накопителей взрывных приборов. Однако нихром очень трудно паять, в связи с чем затруднительно создание качественных соединений. Фактически кончики мостиков лишь обволакиваются оловом или припоями. Флюсы, улучшающие пайку, отрицательно воздействуют на воспламенительный состав и сам мостик, если их тщательно не очистить. В связи с применением тонких проволочек не исключается вероятность их пережога при пайке и т. д.

Среди *дефектных* ЭД наиболее часто встречаются электродетонаторы с общими дефектами ЭВ, отклонениями сопротивлений от нормы, разрывами цепи, блуждающими (непостоянными) сопротивлениями. В процессе транспортирования и хранения дефекты усугубляются.

Количество невзрывающихся ЭД в общем невелико. В среднем на каждые 20 тыс. испытываемых ЭД приходится не более трех отказов. Однако на момент применения разброс фактических сопротивлений и значений импульса воспламенения у ЭД разных партий колеблется в широких пределах (соответственно 1,5—5,0 Ом и 0,7—2,2 А²·мс), что затрудняет их надежное взрывание в одной электровзрывной сети.

Для инициирования всех последовательно соединенных ЭД необходимо, чтобы до разрыва цепи от перегорания наиболее чувствительного мостика через нее успел пройти импульс тока, достаточный для воспламенения наименее чувствительного электродетонатора.

Безотказное инициирование определяется условием

$$t_{п \min} \geq t_{в \max} - t_{в \min},$$

где $t_{п \min}$ — минимальное время передачи; $t_{в \max}$ и $t_{в \min}$ — время самовоспламенения наименее и наиболее чувствительных ЭВ.

Чем больше детонаторов в группе, тем вероятнее и значительнее разброс их параметров, тем тщательней должна быть их подборка по сопротивлению. Различие ЭД по сопротивлению должно быть не более $\pm 5\%$. Воспламеняющий импульс не должен различаться более чем на 1 А²·мс.

Повышения надежности взрыва достигают увеличением нормированного тока. Уменьшая при этом величину и различие во времени передачи, исключают до воспламенения наименее чув-

ствительного ЭВ преждевременное перегорание мостика наиболее чувствительного в группе ЭД. Влияние силы тока такое, что если при токе 1—1,2 А время передачи равно 3—4 мс, то при токе 4—5 А оно уменьшается до 1,3—1,6 мс.

Поэтому согласно «Единым правилам безопасности при взрывных работах» нормированный ток при числе ЭД в группе до 100 шт. должен быть не менее 1 А, при числе ЭД до 300 шт.— 1,3 А, свыше 300 шт.— более 1,5 А, а при переменном токе — более 2,5 А.

Еще большую опасность наиболее чувствительные к току ЭД представляют в местах с развитыми блуждающими токами, электромагнитными излучениями и т. п., где их взрывы от наведенных токов более вероятны. Обычно это ЭД с повышенными сопротивлениями. Поэтому при отклонении сопротивления от номинального значения более чем на 10 % электродетонаторы бракуют.

Также опасны и бракуются ЭД с недостаточно зажатой пробочкой воспламенителя в гильзе изделия. Высокая чувствительность воспламенительных составов к трению может привести к взрыву при случайном выдергивании проводов или воспламенителя в целом из гильзы. Остальные дефекты менее опасны из-за немедленной отбраковки ЭД.

Глава 9

ДЕЙСТВИЕ ВЗРЫВА В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

9.1. ПОНЯТИЕ О ЗАРЯДЕ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Взрывчатые вещества применяют в зарядах. *Зарядом* называют определенное количество ВВ, подготовленное к взрыву. Заряды ВВ по форме отличаются многообразием.

В зависимости от места приложения заряда к взрываемому объекту они делятся на наружные и внутренние.

Заряды, приложенные к поверхности, называют *наружными* (открытыми), размещенные в разрушаемой среде — *внутренними*.

В зависимости от полости (зарядной выработки), где формируется заряд, различают *шпуровые, скважинные, камерные, траншейные, котловые* заряды. В последнее время вместо камерных зарядов часто применяют линейные, формируя их в горизонтальных выработках. По форме и характеру разрушающего действия все заряды делят на сосредоточенные, удлиненные, плоские, фигурные, на заряды выброса, рыхления, камуфлета.

К *сосредоточенным* относят заряды, имеющие форму шара или куба, а также цилиндра, параллелепипеда, усеченного конуса и близких к ним тел, максимальный размер которых не превышает утроенной длины диагонали. *Удлиненные* заряды обычно цилиндрической или параллелепипедной формы, их

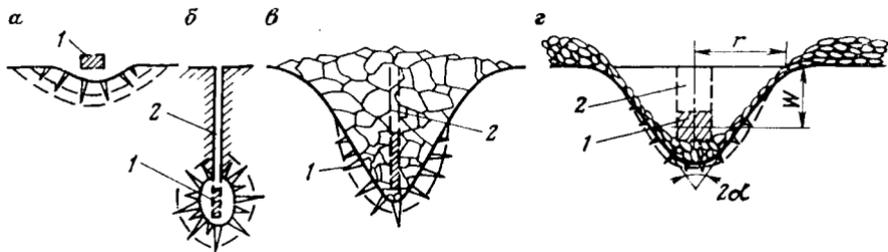


Рис. 52. Характер проявления взрыва зарядов:

а — наружного; б — камуфлетного; в — рыхления; г — выброса; 1 — заряд ВВ; 2 — зарядная полость

длина более чем в 5 раз превышает диаметр (ширину). Плоские заряды характеризуются тем, что ширина более чем в 10 раз превышает толщину, но меньше длины.

Особо выделяются *фигурные* заряды, к которым относят дугообразные, уголкового, трубчатые и другие, а также сосредоточенные и удлиненные заряды с выемками относительно больших размеров на их поверхности.

По характеру разрушения к сосредоточенным относят заряды, длина $l_{зар}$ которых меньше или равна $4/3$ радиуса зоны разрушения R_p ($l_{зар} \leq 3/4 R_p$). Заряды такой длины формируют сферическую зону разрушения. Заряды с длиной больше $4/3 R_p$ формируют в центральной части цилиндрическую зону разрушения с радиусом R_p , величина которого неизменна при дальнейшем удлинении заряда. Такие заряды называют удлиненными в данных условиях взрывания.

Заряды могут быть *сплошными* или разделенными на отдельные части воздушными промежутками или инертными материалами. Последние заряды называют *рассредоточенными*.

Один и тот же заряд на разной глубине заложения производит различные разрушения. Заряд, при взрыве которого расширяется окружающая среда и не разрушается поверхность, называется *камуфлетным* или зарядом внутреннего действия. Заряд на меньшей глубине, взрывом которого вспучивается поверхность и разрушается среда без образования видимой воронки выброса, называется зарядом *рыхления* или дробления. Образуют воронки с выбрасыванием из них разрушенной породы (рис. 52) так называемые заряды *выброса*, располагаемые на еще меньшей глубине.

Кратчайшее расстояние W от центра заряда до ближайшей свободной поверхности называют *линией наименьшего сопротивления* — л. н. с. В направлении л. н. с. проявление взрыва максимально.

Форму воронки определяет ее глубина H и радиус r . Отношение $n = r/W = \text{tg } \alpha$ называется *показателем действия взрыва*

или выброса, а угол α — углом полураствора воронки. При $n=1$ выброс, заряд и воронку называют *нормальными*, при $n>1$ — усиленными и при $n<1$ — *уменьшенными*. Чем больше показатель взрыва, тем больше выбрасывается и дальше разбрасывается разрушенная порода.

При взрыве на поверхности заряд производит разрушения, образуя воронку за счет уплотнения среды в приконтактной зоне.

9.2. ДЕЙСТВИЕ ВЗРЫВА НА СРЕДУ

Разрушения при взрыве производятся за счет ударного воздействия продуктов взрыва на окружающую среду заряда. Большая роль на начальном этапе взрыва принадлежит волновым процессам, предопределяющим во многом результат взрыва.

Зарядная полость, заполненная сильно сжатыми газами, расширяется, на что и расходуется их энергия — энергия взрыва. Сжимая и приводя в движение прилегающую к полости породу, они образуют каверну. Эта каверна — зона А, называется *зоной вытеснения*. Ее размеры растут до тех пор, пока давление газов не станет меньше прочности породы на сжатие $\sigma_{сж}$. В мягких грунтах, например, объемы полостей могут достигать 0,2—0,6 м³, а в скальных — 0,01—0,05 м³ при взрыве 1 кг ВВ.

В результате ударного (чрезвычайно быстрого) сжатия приконтактного породного слоя, происходящего по мере расширения полости, образуется ударная волна, распространяющаяся во все от заряда стороны. По мере движения давление волны падает за счет как тепловых потерь, так и геометрического расхода затраченной на ее образование энергии взрыва.

Ударная волна вскоре переходит в *волну напряжений*, отличающуюся плавным нарастанием и меньшей величиной давления на фронте. На еще большем расстоянии от заряда волна напряжений превращается в *сейсмическую* с крайне незначительной массовой скоростью вещества на фронте, а затем и в *звуковую* волну, движение вещества в которой отсутствует.

Волны, распространяющиеся от заряда в массив, называются *прямыми*, падающими. При выходе волны сжатия на свободную поверхность происходит движение этой поверхности, разгрузка ее. Причем поверхность начинает двигаться со скоростью в 2 раза больше массовой скорости волны. А со скоростью звука от поверхности вглубь распространяется волна *разгрузки*. Она называется *обратной*, отраженной и является волной разрежения.

Наибольшей разрушающей способностью обладает ударная волна. Объясняется это крайне высокими давлениями, которые не выдерживает ни один из известных материалов. Разрушение однородной среды поэтому происходит в основном за счет ее интенсивного пластического деформирования и смятия в условиях всестороннего сжатия. Зона такого действия невелика и

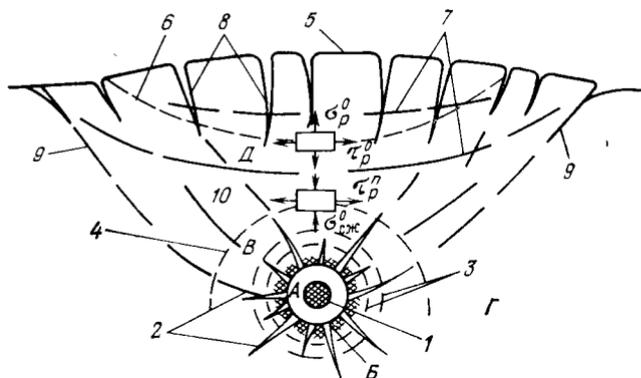


Рис. 53. Схема разрушающего действия взрыва

называется *зоной смятия* Б или пластических деформаций (рис. 53). Она ограничена расстоянием, в пределах которого прочность среды на сжатие превышает давление волны. В этой зоне проявляется бризантное действие взрыва.

Менее интенсивны, а следовательно и менее энергоемки, разрушения ударной волной небольшого давления и волной напряжений. Разрушения производят сдвиговые и растягивающие усилия. Среда рассекается трещинами, интенсивность которых по мере удаления от заряда 1 падает. Преимущественно развиты здесь трещины 2, растущие от заряда и образованные растягивающими тангенциальными напряжениями τ_p^n . Радиальные трещины 2 заканчиваются там, где прочность среды на разрыв больше растягивающего напряжения волны. Эта зона В называется *зоной радиальных трещин*.

При дальнейшем падении давления газов в полости от заряда начинает распространяться волна разгрузки, растягивающие нормальные напряжения σ_p^p которой образуют систему концентрических трещин 3 в зоне В.

Других разрушений при взрыве на глубине нет. В более удаленной зоне Г происходит лишь сейсмическое проявление взрыва и ее называют *зоной сотрясения*.

В случае свободной поверхности большое значение приобретает обратная волна. Между зарядом и поверхностью при взаимодействии прямой и обратной волн образуется *зона приповерхностных разрушений* Д.

Волна сжатия 4, выходя на поверхность 5, превращается в волну разрежения 6, распространяющуюся от поверхности к заряду. Нормальные сжимающие напряжения $\sigma_{сж}^0$ падающей волны изменяются на растягивающие σ_p^0 отраженной волны. В связи с тем, что прочность пород на разрыв в 10—20 раз меньше прочности на сжатие, при движении волны разрежения в зоне Д образуются *откольные трещины* 7. Последние возникают, когда разность между растягивающим усилием в отраженной волне и сжимающим (в хвосте волны сжатия) пре-

высит временное сопротивление породы на разрыв, т. е. $\sigma_p^0 - \sigma_{сж}^0 > \sigma_p$. Напряжения волн разрежения от заряда и от поверхности суммируются, производя дополнительные разрушения. Наиболее развиты откольные явления при больших л. н. с., когда между откольными 7 и радиальными 2 трещинами другие разрушения отсутствуют.

При меньших заглублениях заряда, отраженная волна создает систему радиальных трещин 8, растущих от поверхности к заряду. Они образуются вследствие удвоения при выходе волны сжатия на поверхность не только массовой скорости, но и тангенциальных растягивающих напряжений τ_p^0 . Суммируясь с тангенциальными напряжениями τ_p^n продолжающей падать на поверхность волны, эти напряжения интенсивно разрушают среду в зоне Д. Они же образуют трещины 9, ооконтуривающие воронку дробления и выброса 10. Все эти зоны — *зоны fugасного действия взрыва*.

Аналогично происходят разрушения и у остальных свободных поверхностей, если их больше одной, например при взрывании блоков (рис. 54). В областях пересечений поверхностей развиваются, кроме того, *диагональные* трещины от наложения отраженных волн от смежных поверхностей. Разрушение трещиноватых сред определяется трещиноватостью и происходит преимущественно параллельно и перпендикулярно к системам трещин.

Газы, отдавшие энергию на образование ударной волны, продолжают находиться в полости. Их давление становится меньше прочности среды на сжатие. Однако и при такой остаточной энергии они еще могут производить работу за счет так называемого *поршневого* (выталкивающего) действия. Когда сопротивление породы, продолжающей разрушаться волнами в пределах воронки выброса, становится меньше усилия, оказываемого газами на призму выброса, порода из нее разбрасывается с дополнительным разрушением при перемещении.

Объемы разрушений при камуфлетных взрывах в десятки и сотни раз меньше, чем при взрывании у поверхности. С увеличением числа свободных поверхностей объемы и интенсивность разрушения возрастают за счет более полного использования энергии взрыва, трансформированной в ударную волну. Эти объемы достигают 10—50 м³ при взрыве 1 кг ВВ.

Масса заряда для получения воронки нормального выброса $Q_n = q_n W^3$, где q_n — коэффициент, называемый *расчетным удельным расходом ВВ*, показывающий расход ВВ на образование воронки нормального выброса с показателем $n=1$.

При изменении показателя выброса n масса заряда

$$Q = (0,4 + 0,6n^3)q_n W^3.$$

Величина q_n изменяется в небольших пределах: от 0,8 (при взрывании песков) до 2,5 кг/м³ (при взрывании базальтов, железистых кварцитов).

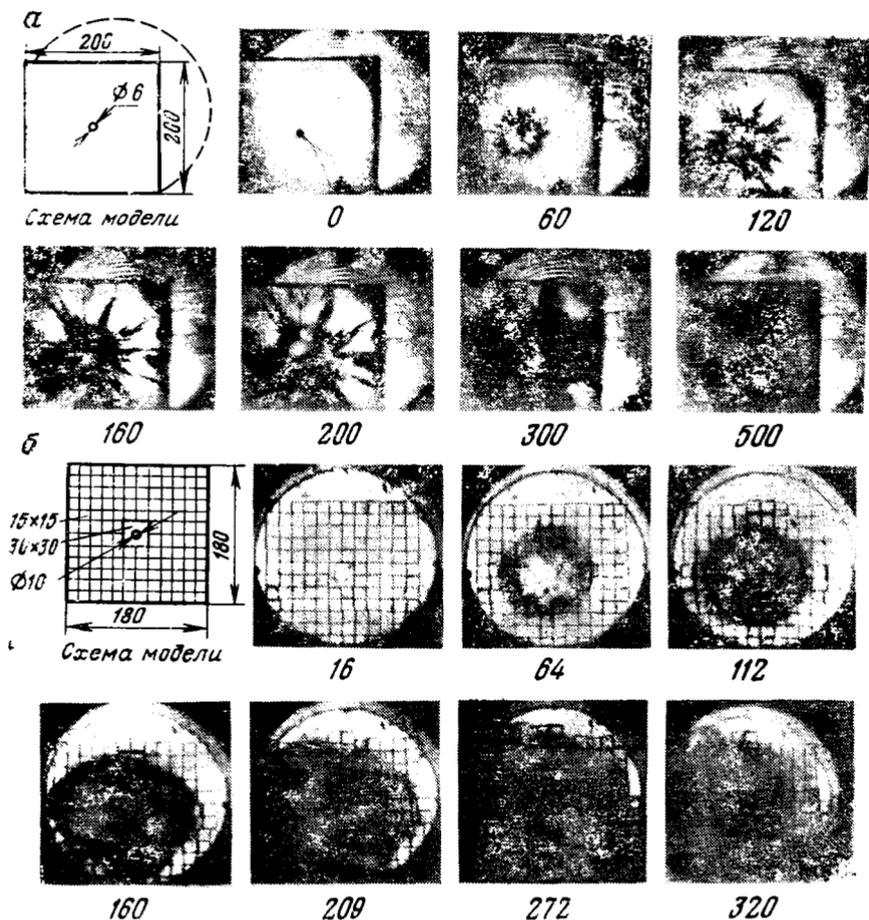


Рис. 54. Фотограмма процесса разрушения плексигласовой пластины сосредоточенным зарядом (цифры под кадрами показывают время после взрыва в мкс):

а — сплошной среды; б — трещиноватой среды

Заряды нормального дробления примерно в 3—4 раза меньше зарядов нормального выброса ($q \approx 0,25 \div 0,35 q_{\text{в}}$). Наличие дополнительных свободных поверхностей уменьшает еще больше удельный расход ВВ на дробление.

При глубине более 25 м массу заряда выброса принимают большей, пользуясь в расчетах множителем $\sqrt{W/25}$, учитывающим повышение высоты подъема грунта при выбросе. Во взрывах рыхления у поверхности учет глубины не нужен. Однако при взрывании в глубоких шахтах целесообразно использовать горное давление в процессе разрушения массива. Расход ВВ при этом может быть существенно снижен.

9.3. КУМУЛЯТИВНОЕ ДЕЙСТВИЕ ВЗРЫВА И ОБЛАСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

Взрывы, действие которых одинаково во всех направлениях, называются взрывами *общего действия*. Они эффективны, если нужно выполнить равноценное во все стороны разрушение. Например, получить камуфлетную полость или раздробить негабаритный блок шпуровым зарядом. Работа при этом производится энергией всей ударной волны и ни одна из ее частей, ни в одном из направлений не «уносит» энергию без выполнения полезной работы. Величина к. п. д. взрыва определяется трансформацией энергии в ударную волну и ее потерями в волне. Удельный расход ВВ на шпуровую разделку негабарита составляет, в частности, всего 0,015—0,1 кг/м³.

В остальных случаях к. п. д. взрыва значительно меньше. Так, при взрывании у свободной поверхности лишь малая часть (5—25 %) ударной волны используется в разрушении породы в пределах воронки выброса и небольшая часть (менее 3—10 %) общей энергии взрыва участвует в выбросе. Также низкоконтрактивен равнонаправленный взрыв наружного, особенно открытого, заряда на негабаритном блоке, при пробивании преграды и т. п.

На полезную работу используется здесь энергия не всей ударной волны, а лишь той ее части, которая распространяется в пределах телесного угла раствора воронки взрыва. Остальная энергия безвозвратно уносится волной в глубину массива.

В результате, например, удельный расход ВВ на разделку негабарита достигает 0,7—5,0 кг/м³, а при отбойке пород камерными зарядами — 0,6—1,2 кг/м³. Причем взрывание на уступе (с двумя свободными поверхностями) производится уже при меньшем расходе ВВ — 0,3—0,8 кг/м³.

Чтобы повысить показатели дробления, стремятся придать взрыву направленность. Заряды, обладающие повышенной разрушающей способностью в заданном направлении, называются зарядами *направленного действия*. Они могут быть различными.

Часто направленность создают соответствующим инициированием. Поместив детонатор в точке, противоположной зоне максимального воздействия, достигают того, что детонационная волна привносит повышенное количество энергии именно в эту зону. Обратное инициирование, т. е. инициирование заряда с забоя зарядной выработки, обеспечивает более эффективное разрушение, чем при прямом инициировании.

Максимальной направленности достигают *кумулятивными зарядами*, которыми называют заряды с весьма усиленным действием взрыва в заданном направлении (рис. 55).

Впервые явление кумуляции (увеличения, накопления) обнаружено в конце XIX столетия. Широкое применение получила кумуляция в последние 40 лет. Сущность процесса заключается в том, что детонация, проходя от детонатора *1* через

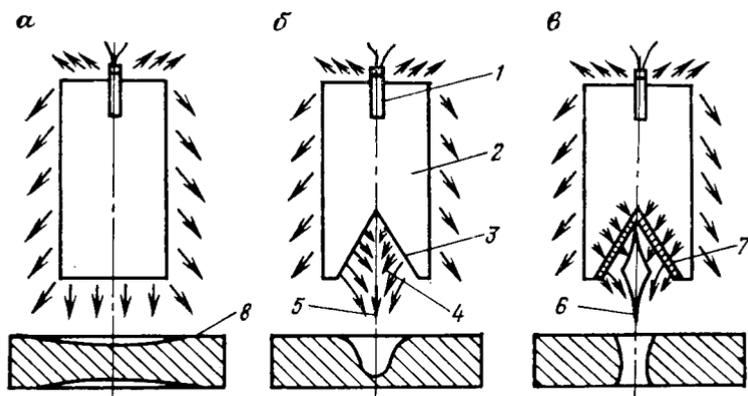


Рис. 55. Особенности разрушающего действия взрыва:

а — обычного заряда; *б* — кумулятивного заряда без облицовки; *в* — кумулятивного заряда с облицовкой выемки

корпус заряда 2 и выходя на поверхность кумулятивной выемки 3, приводит к встречному разлету 4 газов в выемку с ее поверхности.

Столкновение потоков повышает давление и приводит к образованию *кумулятивной струи* 5. При значительном давлении и скорости в струе концентрируется громадная энергия. Струя легко внедряется в любые материалы, разрушая их непосредственным пробиванием и создавая в них ударные волны. Особенно высока пробивающая способность струи 6, сформированной из металлической облицовки 7 кумулятивной выемки (рис. 55, *в*), легко проникающей через прочные преграды 8.

Эффективность кумуляции возрастает при увеличении мощности ВВ, в связи с чем заряды изготавливают из индивидуальных ВВ литьем или прессованием. Большое значение имеет форма и размеры кумулятивной выемки. Наиболее распространены при разрушении пород заряды с полусферической выемкой, при резке — с конической.

Кумулятивные заряды особенно эффективны при резке металлов, пробивании преград. Менее эффективны при дроблении негабаритов, где давление ударной волны, разрушающей блок, быстро падает из-за сильного геометрического ее расхождения и высоких теплотерь при внедрении струи в породу. Однако и при этом, в сравнении с зарядами общего действия, эффективность кумулятивных зарядов в 10—20 раз выше.

Большую разрушающую способность показывают удлиненные и плоские кумулятивные заряды, при взрывах которых кумулятивные струи образуются с меньшим давлением, но с большей площадью воздействия на объект. Кумулятивное действие проявляется в ближней зоне взрыва. Поэтому особых преимуществ

ществ в шпурах и скважинах кумулятивные заряды при дроблении больших объемов пород не показывают.

При проходке горных выработок во врубовых шпурах, где необходима направленность взрыва и разрушения производятся в пределах зоны радиальных трещин В, заряды характеризуются повышенной эффективностью. Также целесообразно для улучшения работы донной части шпуровых зарядов применение кумулятивных зарядов в забоях отбойных и вспомогательных шпуров.

9.4. МГНОВЕННОЕ И КОРОТКОЗАМЕДЛЕННОЕ ВЗРЫВАНИЕ

На горных работах взрывы обычно производят при значительном количестве зарядов.

Систему зарядов можно взорвать одновременно либо по частям, интервалы между взрывами которых можно принять в пределах 15—120 мс. Первый способ взрывания называют *мгновенным*, второй — *короткозамедленным*.

При мгновенном взрыве нескольких зарядов до момента встречи волн напряжений от соседних зарядов разрушение среды происходит так же, как и при взрыве одного заряда. Картина меняется только после столкновения и последующего взаимодействия волн.

Происходящее вдоль линии зарядов (в зоне А) суммирование растягивающих тангенциальных напряжений τ_p^1 и τ_p^2 (рис. 56) удлиняет радиальные трещины в 1,5—2,5 раза относительно образующихся в отдельных взрывах. Увеличение радиальных сжимающих напряжений $\sigma_{сж}^1$ и $\sigma_{сж}^2$ способствует дополнительным разрушениям породы смятием.

В других областях массива на пересечении лучей, исходящих из центров зарядов под прямым углом один к другому (в зоне Б), напротив, разрушений не происходит. Все напряжения здесь — в так называемой *изотропной* точке — взаимно погашаются. Так, радиальные сжимающие $\sigma_{сж}^1$, создаваемые взрывом заряда 1, противодействуют тангенциальным растягивающим напряжениям τ_p^2 от взрыва заряда 2. И наоборот, сжимающим напряжениям $\sigma_{сж}^2$ противостоят растягивающие тангенциальные τ_p^1 .

В результате в областях, близких к линиям зарядов, напряжения повышены, вокруг изотропных точек — понижены. Неоднородность напряженного состояния ухудшает качество разрушения горных пород. *Изотропные области* — источник выхода негабаритов.

При замедленном взрывании волны напряжений не взаимодействуют. Взрыв первого заряда обычный. Образуется воронка дробления. Породы, разрушенные в ней, сдвигаются остаточным давлением газов. Они не держат в определенном напряжении остальную часть массива. Поэтому взрыв следующего

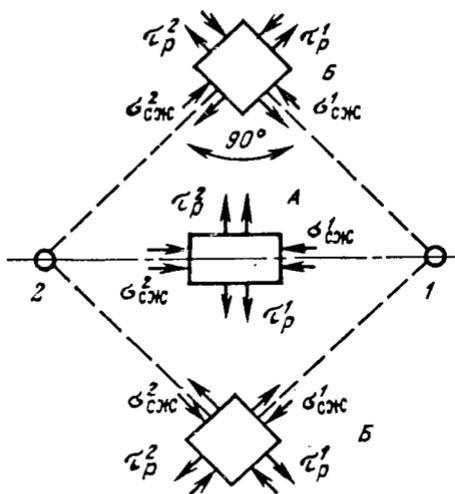


Рис. 56. Схема взаимодействия полей напряжений при одновременном взрыве смежных зарядов

заряда происходит, во-первых, в условиях напряженного состояния массива, а во-вторых, при наличии дополнительных свободных поверхностей от первого взрыва. В результате существенно увеличивается разрушение отраженными волнами и повышается к. п. д. второго взрыва. Кроме того, некоторая передача энергии второго взрыва в призму разрушения первого взрыва улучшает дробление и на этом участке.

Затем, в период сдвигения призмы разрушения второго взрыва, взрывают третий заряд и т. д.

Вовлекая постепенно в работу новые заряды, достигают еще и соударения движущихся кусков с дополнительным их разрушением, а также ограничивают сейсмическое воздействие взрыва, благодаря чему возможно взрывание практически любых масс ВВ.

Выбирают интервалы замедлений между взрывами так, чтобы они были не меньше времени начала трещинообразования и не больше времени значительного (более 5—10 см) сдвигения призмы выброса. При этом исключается нежелательное взаимодействие волн напряжений от смежных зарядов и используется напряженность массива и соударение кусков. Взрывать с замедлениями возможно как отдельные заряды, так и ряды зарядов при многорядном взрывании.

Время замедления

Время замедления

$$t_0 = t_1 + t_2 + t_3,$$

где t_1 — время вовлечения массива в напряженное состояние; t_2 — продолжительность трещинообразования в плоскости воронки смещения; t_3 — время вслушивания и частичного отделения призмы выброса от массива.

На карьерах обычно $t_1 = 1 \div 2$ мс; $t_2 = 14 \div 21$ мс; $t_3 = 8 \div 12$ мс. При однорядном взрывании $t_0 = 23 \div 35$ мс, при многорядном $t_0 = 30 \div 45$ мс. В шахтах при диаметре зарядов 105 мм замедления равны $t_0 = 7 \div 20$ мс. Волновые процессы после взрыва шпурового заряда массой 1 кг завершаются за 4—6 мс, а сдвигение массива начинается через 4—10 мс.

На практике зачастую интервал замедления определяют по формуле $t_0 = AW$, где A — эмпирический коэффициент, больший в менее крепких породах и изменяющийся для скальных пород в пределах от 3 до 5.

9.5. ШПУРОВЫЕ ЗАРЯДЫ

Являются наименьшими по массе среди других. Основное достоинство шпуровых зарядов — относительно небольшое разрушающее воздействие на законтурный массив, в связи с чем их широко применяют при проходке горных выработок, а также для отбойки ценных руд и пластовых ископаемых небольшой (до 4—6 м) мощности. Преимущество заключается и в высоком качестве отбойки, практически исключающем выход негабаритных фракций. Обусловлено это небольшими расстояниями между зарядами — менее 1—1,2 м. Длина зарядов обычно 2—5 м, диаметр 36—60 мм.

При обычной проходке горных выработок (сплошным забоем) при одной свободной поверхности ограниченных размеров заряды работают в наиболее тяжелых для взрыва условиях, усложненных тем, что концы заряда неодинаково удалены от поверхности.

Поэтому при конечном времени детонации ВВ, а также меньшем сопротивлении среды взрыву вдоль шпура газы из верхней части могут прорываться в атмосферу до выполнения работы нижней частью заряда, вовлекая и их в осевой разлет. Объемы разрушения у забоя шпура резко уменьшаются.

Некоторого *повышения разрушающего эффекта* достигают наклоном заряда к поверхности. Это уменьшает разницу в л. н. с. верхней и нижней частей заряда, а также увеличивает путь газам вдоль шпура к поверхности. Однако взрывы при двух свободных поверхностях, например при уступной проходке, эффективнее. Во-первых, меньше энергии теряется в массиве, во-вторых, нет опережающего разлета газов, так как разные части заряда, расположенного вдоль второй свободной поверхности, преодолевают равные (или близкие) сопротивления. Более эффективны взрывы при наличии третьей свободной поверхности, лежащей вдоль заряда, например при уступной отбойке.

Поэтому действие взрыва повышают, используя часть зарядов для создания дополнительных свободных поверхностей. Остальные заряды работают тогда в облегченных условиях, отбивая от массива большие объемы пород. Шпуры и заряды в них, предназначенные для образования дополнительных свободных поверхностей, называют *врубковыми*, а производящие отбойку основной массы пород — *отбойными*. Между первыми и вторыми часто располагают *вспомогательные заряды*. Взрывают сначала врубовые, затем вспомогательные и потом отбойные заряды (рис. 57).

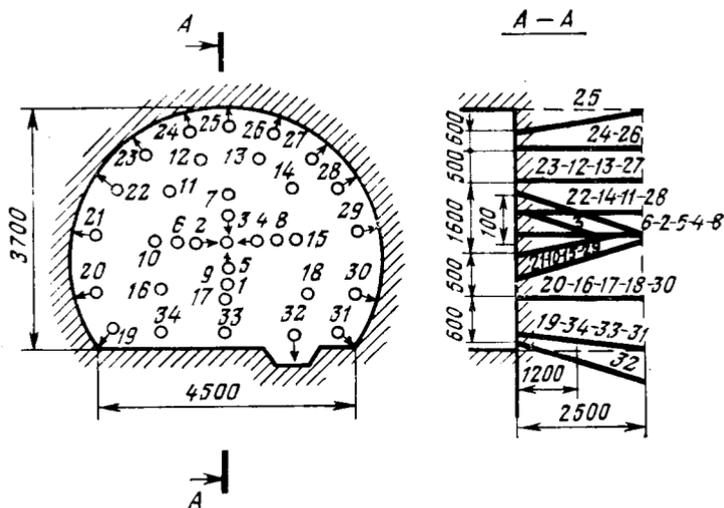


Рис. 57. Схема взрывания шпуровых зарядов при проходке выработки (цифрами пронумерованы шпуры и показана очередность их взрывания): 1—4 — буровые шпуры; 5—8 — вспомогательные; 9—18 — отбойные; 19—34 — оконтуривающие

При отбойке все заряды работают обычно в одинаковых условиях и называются *отбойными*.

Формируют *шпуровые заряды* из патронированных, гранулированных, прессованных, водосодержащих или порошкообразных ВВ, используют в горизонтальных, восходящих или нисходящих шпурах, сухих или обводненных. Состоят они из основного ВВ 1 и патрона-боевика 2 с капсюлем-детонатором 3, ЭД 4 или ДШ 5 (рис. 58), могут быть сплошными или рассредоточенными. Последние выполняют с воздушными или инертными промежутками. Незаряженную часть шпура над зарядом заполняют так называемой *забойкой б*, в качестве которой применяют различные инертные материалы. В восходящих шпурах заряды удерживают специальными устройствами — парашютами 7 и *самозаклинивающимися забойками*.

Более эффективны заряды с *нижним* (донным) *иницированием*. При этом обеспечивается некоторая направленность взрыва и исключается преждевременный вылет газов из нижней части шпура. *Верхнее инициирование* выполняют реже. Расположение боевиков в центре заряда не рационально в связи с недостаточно мощным инициирующим воздействием на часть ВВ выше боевика, которое может привести к выгоранию верхней части заряда при его уплотнении от смежного взрыва. Также запрещено *обратное инициирование*, производимое с торца боевика, где расположен детонатор.

Об использовании шпура судят по *коэффициенту его заполнения* γ , под которым понимают отношение длины заряда

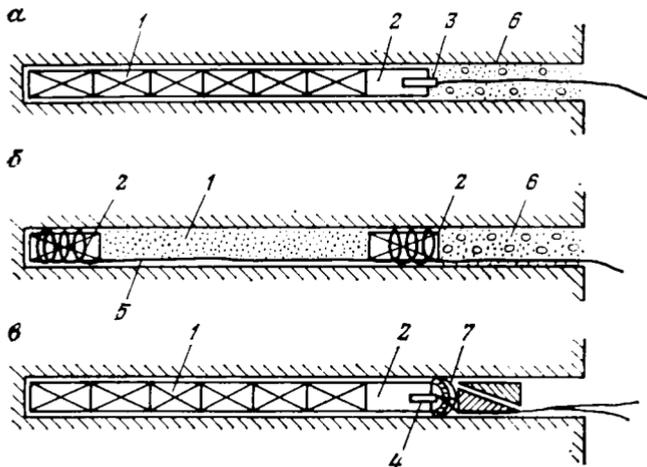


Рис. 58. Конструкции шпуровых зарядов:

а — из патронированных ВВ; б — из гранулированных ВВ; в — в восходящих шпурах

к длине шпура. Длиной заряда принято считать расстояние между торцевыми его поверхностями.

Часто применяют *коэффициент заряжения*, показывающий отношение объемов заряда и шпура. Чем больше коэффициенты, тем полнее используется шпур. При заряжении на все сечение шпура коэффициенты заполнения и заряжения равны.

Эффективность заряжения определяется *плотностью заряжения* Δ , которая находится как отношение массы заряда к объему полости с ВВ.

9.6. РАСЧЕТ ШПУРОВЫХ ЗАРЯДОВ

Эффект взрыва определяется правильным выбором числа шпуров, их глубиной, взаиморасположением, величиной заряда в них, очередностью взрывания и др.

Количество шпуров непосредственно зависит от массы ВВ, необходимой для разрушения заданного объема пород. Целесообразно ВВ в массиве разместить равномерно, причем так, чтобы работа каждого заряда происходила в наиболее благоприятных условиях. Для этого взрывы производят с замедлениями.

При проведении выработок рассчитывают: удельный и общий расход ВВ, число и глубину шпуров комплекта, величины зарядов.

Сначала определяют расчетный удельный расход эталонного аммонита № 6ЖВ. Для выработок площадью сечения 5—6,5 м² в зависимости от крепости взрывааемых пород f его принимают равным:

Коэффициент крепости*	4—6	8—10	12—14	16—18	Более 20
Удельный расход ВВ, кг/м ³	1,2	2,2	2,8	3,4	3,8

При проходке выработок иного сечения величину q корректируют с помощью поправочного коэффициента k_p :

Площадь сечения выработки, м ²	2,5—5	5—6,5	6,5—10	10—15	Более 15
Коэффициент k_p	1,3	1,0	0,85	0,8	0,75

Затем рассчитывают массу ВВ (кг) на взрыв:

$$Q_{\text{общ}} = qV = qSl_{\text{от}},$$

где $l_{\text{от}}$ — глубина отбойных шпуров, м; S — площадь сечения выработки, м²; V — объем породы, отбиваемой взрывом всех шпуровых зарядов, м³.

Глубину отбойных шпуров в зависимости от возможностей бурового оборудования, крепости пород и горно-геологических условий принимают в пределах

$$l_{\text{от}} = (0,5 \div 1,0) B,$$

где B — ширина выработки, м.

Врубовые шпуров задают на 0,1—0,2 м больше отбойных.

Диаметр шпуров $d_{\text{ш}}$ определяется диаметром патронов, характеристиками ВВ, буровой техникой и требованиями к взрыву. Он не должен превышать диаметр патронов более чем на 6 мм.

Общее число шпуров рассчитывают по формуле

$$N = Q_{\text{общ}} / l_{\text{от}} \gamma_c p,$$

где γ_c — усредненный коэффициент заполнения; p — вместимость 1 м шпура, кг.

Масса заряда отбойного шпура (кг)

$$Q_{\text{от}} = 0,785 d_{\text{ш}}^2 l_{\text{от}} \gamma_{\text{от}} \Delta_{\text{от}},$$

где $\gamma_{\text{от}}$ и $\Delta_{\text{от}}$ — соответственно коэффициент заполнения и плотность заряжения отбойного шпура.

Аналогично масса заряда во врубовом шпуре (кг)

$$Q_{\text{вр}} = 0,785 d_{\text{ш}}^2 l_{\text{вр}} \gamma_{\text{вр}} \Delta_{\text{вр}},$$

где индекс «вр» указывает на принадлежность показателя к врубовым шпурам.

Проверяют заряды по глубине, вместимости и коэффициенту заполнения шпуров. Коэффициент заполнения отбойных и оконтуривающих шпуров должен быть в пределах от 0,5 (для мягких пород) до 0,6 (для скальных), а врубовых — 0,5—0,75. Плотность заряжения патронированными ВВ принимают 0,9—1,0 г/см³, водосодержащими — 1,35—1,50 г/см³, гранулирован-

* Здесь и далее коэффициент крепости пород по шкале проф. М. М. Протодьяконова.

ными — 0,9—1,1 г/см³. При контурном взрывании она составляет 0,4—0,5 г/см³.

В зависимости от сечения выработки и типа врубов врубовые шпуров занимают от 5 до 25 % площади забоя. Соответственно определяют количество врубовых шпуров. Уточняют требуемое число шпуров графически на схеме поперечного сечения выработки.

Масса ВВ (кг) во всех шпурах

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{от}} N_{\text{от}} + Q_{\text{вр}} N_{\text{вр}}$$

При контурном взрывании учитывают оконтуривающие, а при необходимости и вспомогательные шпуров и заряды.

При отбойке, или уступном проведении выработок, заряды располагают вдоль дополнительной свободной поверхности. Их л. н. с. перпендикулярна к этой поверхности. В массиве шпуров располагают рядами с расстоянием между шпурами в ряду a и между рядами b . Отношение $a/b = m$ называют *относительным расстоянием* между шпурами. При наклоне шпура к поверхности пользуются обычно показателями не л. н. с., а линии сопротивления по подошве уступа (на уровне донной части заряда) — л. с. п. п.

Величина л. с. п. п. (м)

$$W_{\text{п}} = 0,87 \sqrt{p/mq}$$

Если полученное значение $W_{\text{п}}$ превышает высоту уступа, мощность взрываемого слоя или глубину заходки H , то л. с. п. п. принимают равной $(0,7 \div 1,0) H$.

Масса зарядов (кг) в шпурах

$$Q_{\text{общ}} = qaW_{\text{п}}H$$

Длина заряда при взрывной отбойке шпурами, расположенными перпендикулярно к свободной поверхности, принимается обычно не более $2/3$ глубины шпура. В крепких породах глубина шпура превышает высоту уступа, или величину уходки, на $(0,1 \div 0,25) W_{\text{п}}$. Такое превышение называют *перебуrom*.

Расстояние между шпурами (м) в ряду принимают

$$a = (0,9 \div 1,6) W_{\text{п}}$$

Меньшие значения a принимаются при мгновенном взрывании, большие — при замедленном, средние — при короткозамедленном.

Расстояния между рядами устанавливают в пределах

$$b = (0,8 \div 1,0) W_{\text{п}}$$

Расчетный удельный расход аммонита № 6ЖВ (кг/м³)

$$q = 0,213 \sqrt{f} (\sqrt{0,2f} + 1/B_s) K_{\kappa}$$

где B_3 — ширина забоя, м; K_k — коэффициент, учитывающий требуемую степень дробления с точки зрения погрузки ($K_k = 1,1 \div 1,3$).

Как и при проходке, расчетные параметры отбойки необходимо уточнить экспериментально на месте работ.

9.7. СКВАЖИННЫЕ ЗАРЯДЫ

Скважинные заряды отличаются большей массой и соответственно большим разрушающим действием, чем шпуровые заряды. Механизм воздействия на массив аналогичен отмеченному у шпуровых зарядов. Скважинные заряды применяют для отбойки больших объемов полезных ископаемых и располагают с учетом залегания рудного тела и свободных поверхностей. Длина их достигает 50 м. В зависимости от диаметра различают заряды увеличенного диаметра (125—190 мм), среднего (85—125 мм), уменьшенного (60—85 мм) и малого (менее 60 мм).

Отбойка скважинными зарядами увеличенного диаметра перспективна при разработке крупных месторождений крепких руд массовыми взрывами при размере негабаритного куска больше 0,7 м. Заряды уменьшенного и малого диаметра целесообразнее использовать на месторождениях средней и малой

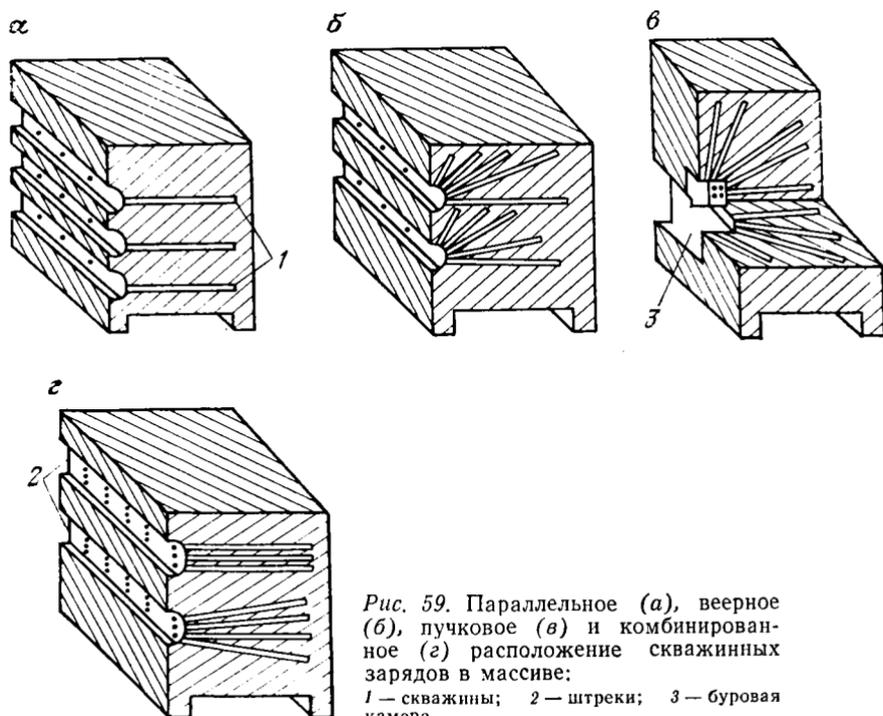


Рис. 59. Параллельное (а), веерное (б), лучковое (в) и комбинированное (з) расположение скважинных зарядов в массиве:

1 — скважины; 2 — штретки; 3 — буровая камера

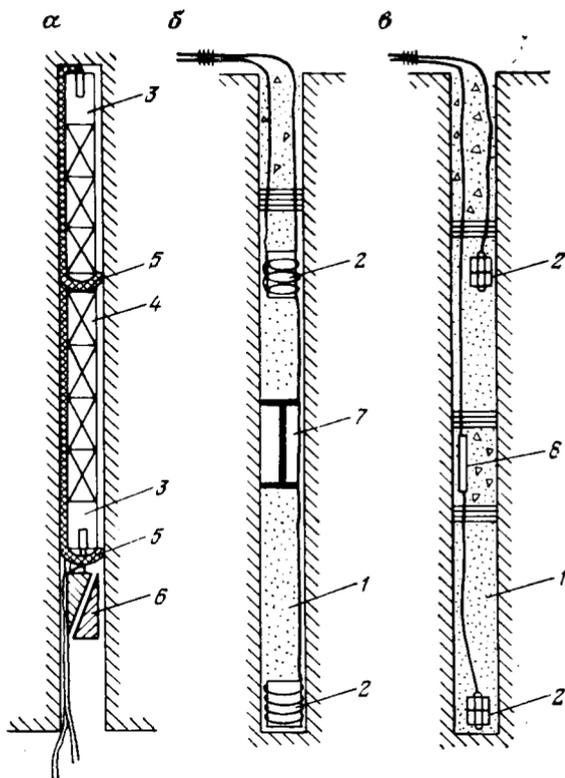


Рис. 60. Конструкции скважинных зарядов:

а — из патронированных ВВ;
б — из гранулированных ВВ с воздушным промежутком;
в — с внутрискважинным замедлением

мощности, разрабатываемых системами с поэтажной выемкой, при негабарите больше 0,4—0,5 м. Заряды диаметром 85—125 мм эффективны на месторождениях средней мощности.

Взаимное расположение зарядов в массиве может быть параллельным, веерным, пучковым и комбинированным (рис. 59).

Параллельно расположенные заряды обеспечивают за счет равномерности распределения ВВ в массиве наиболее высокое качество дробления пород.

Веерное расположение характеризуется увеличением расхода ВВ, ухудшением качества и уменьшением объемов разрушения, приходящихся на 1 м скважины. Причина заключается в увеличении работы взрыва на концевых частях зарядов.

При пучковом взрывании в заданных частях массива достигается повышенная концентрация энергии и высокое качество дробления.

Комбинированная схема расположения скважин применяется в сложных условиях залегания рудных тел.

Скважины могут быть восходящими, нисходящими или горизонтальными. Заряды выполняют из патронированных или гранулированных ВВ (рис. 60). Иницирование гранулированных ВВ 1 производят боевиками 2 из нитей ДШ и шашек-

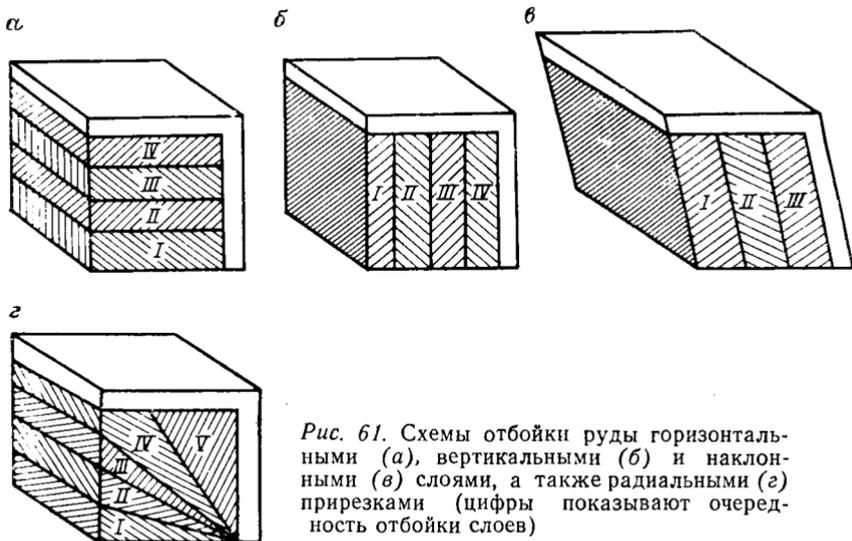


Рис. 61. Схемы отбойки руды горизонтальными (а), вертикальными (б) и наклонными (в) слоями, а также радиальными (г) прирезками (цифры показывают очередность отбойки слоев)

детонаторов или патронов, а также из патронов с электродетонаторами 3. Патронированные ВВ 4 взрывают патронами-боевиками с ЭД или ДШ. Обычно применяют два боевика — в верхней и нижней частях заряда. В восходящих скважинах заряды удерживают парашютами 5, под которыми устанавливают самозаклинивающиеся забойки 6. Для взрывания мягких пород заряды выполняют с воздушными промежутками 7.

При непостоянной нагрузке на отдельные части (веерное расположение) заряды формируют из нескольких ВВ. На участках больших нагрузок располагают более мощные и работоспособные ВВ. Такие заряды называют *комбинированными*.

Иногда рассредоточенные инертным материалом части заряда взрывают одну позже другой. Такие заряды называют *зарядами с внутрискважинным замедлением*.

Отбойку производят горизонтальными, вертикальными, наклонными слоями, а также радиальными прирезками (рис. 61).

Наиболее качественна отбойка вертикальными или наклонными слоями, так как работа взрыва происходит при двух свободных поверхностях — на компенсационное пространство и на горизонт подсечки. Объем подготовительно-нарезных работ меньше при отбойке горизонтальными слоями и наклонными прирезками.

Эффективные режимы разрушения массива обеспечивают клиновья, трапецевидная и, особенно, волновая и врубовая схемы очередности взрывания (рис. 62). Каждый заряд при этом разрушает породу не только в условиях напряженного состояния массива и образования дополнительных свободных поверхностей, но и при соударении движущихся продуктов дробления.

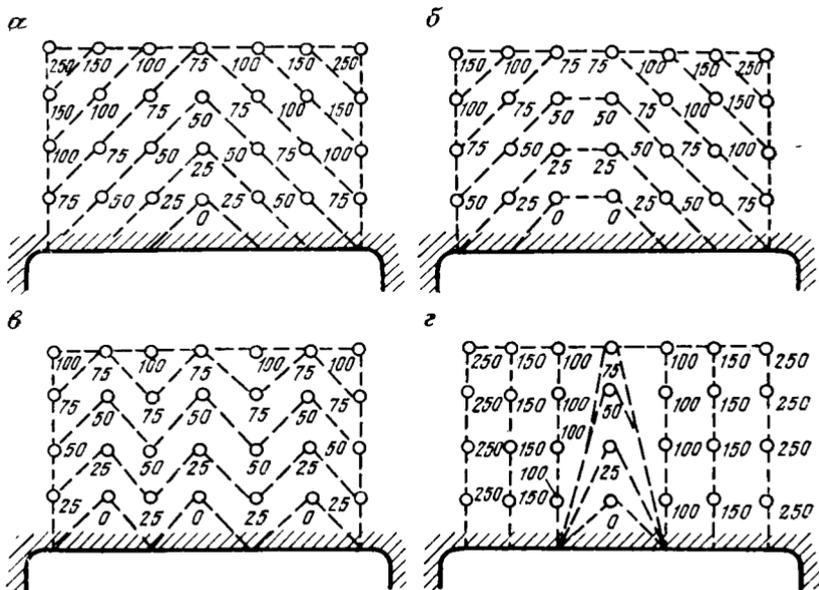


Рис. 62. Схемы очередности взрывания скважинных зарядов (цифры показывают интервал замедления):

а — клиновья; б — трапециевидная; в — волновая; г — врубовая

9.8. РАСЧЕТ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ

Начинают расчет с установления эталонного удельного расхода ВВ $q_{\text{эт}}$. В качестве эталонного принимается расход аммонита № 6ЖВ, расположенного в параллельной скважине диаметром 105 мм при одной свободной поверхности, причем в таком количестве, при котором обеспечивается качественная отбойка массива средней трещиноватости.

В зависимости от крепости пород значения эталонного расхода следующие:

Коэффициент крепости	6—8	10—12	14—16	18—20
Эталонный расход ВВ $q_{\text{эт}}$, кг/м ³	0,4—0,5	0,6—0,7	0,9—1,0	1,2—1,3

Расчетный удельный расход применяемого ВВ

$$q = q_{\text{эт}} e K_1 K_2 K_3 K_4 K_5,$$

где e — коэффициент работоспособности ВВ; K_1, K_2, K_3, K_4 и K_5 — коэффициенты, учитывающие соответственно трещиноватость массива, схему расположения зарядов, условия действия зарядов, плотность заряжения и диаметр заряда.

Коэффициент K_1

$$K_1 = (l_{\text{тр}}/d_{\text{к}})^{n_{\text{тр}}},$$

где $l_{\text{тр}}$ — среднее расстояние между трещинами, м; $d_{\text{к}}$ — размер кондиционного куска, м; $n_{\text{тр}}$ — показатель трещиноватости, равный 0,5—0,6.

Коэффициент $K_2=1$ при параллельном и $K_2=1,1\div 1,2$ — при веерном расположении скважин; $K_3=1$ при одной обнаженной поверхности; $K_3=0,7\div 0,9$ при двух обнаженных поверхностях; $K_3=1,2\div 1,3$ при отбойке на разрушенную породу. $K_4=1$ при патронированных ВВ; при пневмозаряжании гранулированными ВВ $K_4=0,9\div 0,95$; $K_4=0,85\div 0,9$ при водосодержащих ВВ.

K_5 учитывает диаметр скважин d_c (мм)

$$K_5 = (d_c/105)^{n_d},$$

где n_d — показатель, равный 0,5—1,0. В крепких монолитных породах он близок к 1.

Зная удельный расход q , определяют выход горной массы с 1 м скважины (м^3),

$$B_{\text{м}} = 0,785d_c^2\rho_0 K_6/q,$$

где K_6 — коэффициент, учитывающий недозаряжание скважин; $K_6=0,85\div 0,95$ при параллельном расположении скважин и $K_6=0,75\div 0,85$ — при веерном.

Меньшие пределы соответствуют меньшим глубинам скважин.

Затем определяют общую длину скважин в отбиваемом слое

$$L = HEW/B_{\text{м}},$$

где H и E — высота и ширина обуриваемого слоя, м.

Длина всех параллельных скважин одинакова. Средняя длина скважин в веере

$$\bar{l}_{\text{скв}} = E_1 H / (E_1 + H) + \sqrt{E_1^2 + H^2} / 2,$$

где E_1 — средняя ширина отбиваемого слоя относительно горной выработки, из которой выполнено бурение, м.

Число скважин

$$N = L/\bar{l}_{\text{скв}}.$$

Глубина параллельных скважин равна ширине или высоте отбиваемого слоя за вычетом значения л. н. с. Глубину каждой скважины в веере определяют графически. Величину заряда (кг) в них вычисляют по формуле

$$Q_{\text{скв}} = q l_{\text{скв}} B_{\text{м}}.$$

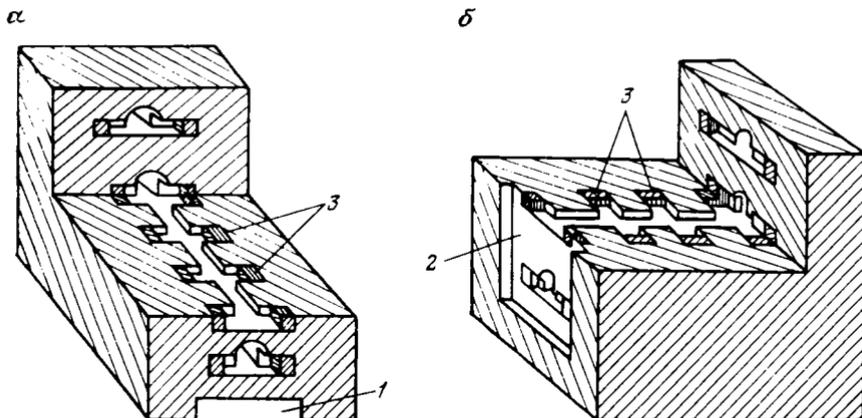


Рис. 63. Расположение камерных зарядов при использовании горизонтального (а) или вертикального (б) компенсационных пространств

Сумма зарядов (кг) в скважинах должна быть равной

$$\Sigma Q_{\text{скв}} = Q_{\text{взр}} = qHEW.$$

Величину л. н. с. и расстояние между скважинами в ряду определяют по формулам:

$$W = \sqrt{B_m/m}; \quad a = \sqrt{B_m/m},$$

где $m = a/W = 1,0 \div 2,5$ — коэффициент сближения зарядов.

Расстояние между рядами скважин равно величине л. н. с. Для уточнения расчетных параметров выполняют опытные взрывы.

9.9. КАМЕРНЫЕ ЗАРЯДЫ

Являются наибольшими по массе из применяемых. Для них характерны значительные объемы разрушений и высокое сейсмическое действие. Дробление неравномерное — вблизи заряда породы измельчены, на удалении от него (в зонах взрыва В, Г и Д) наблюдаются большие выходы негабаритных фракций. При мелкоблочной структуре массива дробление достаточно качественное.

Удельный вес камерной отбойки невелик — около 10 %, распространена на крупных предприятиях. Чаще ее используют при обрушении потолочин и разрушении междукамерных целиков. Преимущества камерных зарядов заключаются в применении простейших ВВ, высокой концентрации работ и использовании механизации. Располагают их в один или несколько рядов, взрывают с замедлениями. Отбойку производят на горизонтальную 1 или вертикальную 2 плоскости (рис. 63).

Формируют заряды Z из гранулированных или порошкообразных ВВ. Особое внимание уделяется боевикам, в качестве которых используют патроны и мешки порошкообразного ВВ. Их устанавливают в середину заряда. Взрывание чаще бескапсюльное. При механизированном зарядании боевики укладываются после зарядания 80 % ВВ. Для надежности инициирования применяют не менее двух боевиков.

При эффективной забойке заряды выполняют сплошными или с воздушным промежутком между зарядом и потолком камеры.

9.10. РАСЧЕТ КАМЕРНЫХ ЗАРЯДОВ

Исходным показателем при расчете параметров камерного взрывания является удельный расход ВВ. Его определяют также, как при скважинной отбойке, полагая коэффициенты K_1 и K_5 равными 1 и увеличивая полученное значение q в 1,4—1,5 раза. Больший предел принимают для отбойки крепких пород.

Линию наименьшего сопротивления устанавливают от 6 (в монолитных породах) до 12 м (в сильнотрещиноватых). Коэффициент сближения зарядов $m = a/W$ выбирают в пределах 0,8—1,4, тогда расстояния между зарядами получаются равными 6—16 м. Расстояние между рядами зарядов в плоскости отбиваемого слоя принимаются в 0,8—1,4 раза меньшими расстояний между зарядами в ряду.

Величину камерного заряда определяют по объемной формуле, учитывающей объем массива, разрушаемый зарядом, и свойства пород,

$$Q_k = qabW.$$

Объем камеры (m^3) должен быть не менее

$$V_k = K_k Q_k / \Delta_k,$$

где K_k — коэффициент, учитывающий крепление камеры, тару и гидроизоляцию ВВ, принимается равным 1,1—1,5.

Уточняют параметры отбойки опытным путем.

9.11. ЗАБОЙКА ЗАРЯДНОЙ ПОЛОСТИ

Применяется для запираания продуктов детонации ВВ в зарядной полости на период формирования в массиве ударной волны и на период разброса продуктов разрушения. Этим уменьшают потери взрыва на непроизводительные формы работы, увеличивают длительность напряженного состояния массива и поршневое действие газов, а также снижают интенсивность воздушной волны. Например, удельный расход ВВ при проходке выработок в крепких породах зарядами с забойкой на 15—25 % ниже, чем при взрывании без забойки.

Размещается забоечный материал в незаряженную часть шпура или скважины, а в случае камерных зарядов — в подводящей выработке.

Роль забойки повышается при отбойке крепких пород, где высоко остаточное давление газов и велико значение поршневого действия взрыва. Значительна ее роль при взрывании больших зарядов, а также зарядов из недостаточно мощных ВВ. При отсутствии забойки последние выстреливают из шпуров и скважин, практически не разрушая крепчайшие породы.

Образующиеся при взрыве газы приводят также к сжатию, сдвигению и выбросу забойки. В результате увеличивается объем взрывной полости и падает давление в ней, уменьшая действие энергии взрыва в массив. Интенсивность сжатия забойки определяется свойствами ее материала, а сдвигения и выброса — массой и размерами.

Обычная длина забойки составляет 0,6—0,8 длины л. п. с. В связи с большой трудоемкостью работ стремятся к уменьшению ее длины. Рациональна забойка такой длины, при которой утечки газов через стенки зарядной полости не превышают утечек газа через забойку. Увеличение забойки сверх этой величины не сказывается на улучшении качества дробления, так как основные утечки газов происходят через стенки полости.

Уменьшение забойки компенсируют ее качеством. Наиболее эффективна для забойки скважин смесь щебня (60 %) и песка (40 %). Она позволяет в 2,5—3 раза сократить длину забойки в сравнении с необходимой при использовании песка или породной мелочи. В шпурах качественны песчано-глиняные забойки. Наибольшим «запирающим» эффектом при взрывах в шпурах отличаются забойки из смеси песка с гравием.

В восходящих выработках применяют *самозапирающиеся забойки*, выполненные из цилиндрических деревянных брусков, разрезанных на две части по диагонали. В сочетании с песчано-глиняными пыжами они характеризуются хорошим запирающим действием.

Велика роль забойки в опасных по газу или пыли условиях. Здесь распространены *водяные забойки*, выполняемые в полиэтиленовых ампулах, а также различного рода гели. В сочетании с песчано-глиняными пыжами они обеспечивают высокий разрушающий эффект и, предотвращая вылет в атмосферу горячих газов, исключают воспламенение шахтной среды.

Расход материалов уменьшен в *активной забойке*, в которой внутри, на удалении 7—20 диаметров скважины от торца заряда, помещают небольшой (длиной 1—4 диаметра скважины) запирающий заряд. При взрыве он, распирая забойку, противодействует ее выбросу.

По степени заполнения незаряженной части выработки забойка может быть *полной* или *частичной*. При полной забойке вся незаряженная часть выработки заполнена забоечным материалом.

Глава 10

**ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ТИПОВ
ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ****10.1. РОЛЬ ЭНЕРГИИ
В РАЗРУШАЮЩЕМ ДЕЙСТВИИ ВЗРЫВА**

Работа взрыва производится за счет энергии, приобретенной газами в период разложения ВВ. Для эффекта взрыва не столько важна величина энергии, сколько существенна полнота ее полезного использования.

Более точные оценки разрушающего действия возможны лишь на основе его связи с полной работой взрыва, которая определяется не только энергией, но и *коэффициентом полезного действия* взрыва $\eta_{\text{п}}$.

Применяемые ВВ различаются широким многообразием свойств. Однако по энергетическим показателям одни ВВ отличаются от других не более чем в 2 раза, тогда как, например, по скорости детонации — более чем в 5—7 раз, а по детонационному давлению — в 20—50 раз и более. Очевидно, что к. п. д. взрыва также различается в ощутимых пределах.

Как параметры детонации, так и энергия взрыва, и коэффициент полезного ее использования, и другие показатели, изменяющиеся в зависимости от различных факторов, не могут однозначно характеризовать не только абсолютную, но и даже относительную эффективность ВВ для всех условий их практического применения. В зависимости от сочетания характеристик ВВ, параметров детонации, условий взрывания и других факторов преобладающее значение в разрушающем действии взрыва приобретает та или иная характеристика ВВ.

Под *абсолютной эффективностью* понимают абсолютные различия ВВ по разрушающей способности в заданных условиях, под *относительной* — относительные различия. Первые выражают, например, в единицах объемов разрушений, производимых одинаковыми количествами сравниваемых ВВ, вторые — в относительных единицах, показывающих, во сколько раз одно ВВ выполняет больший или меньший объем работы, чем другое. При дроблении пород *сравнение* ВВ часто производят по качеству дробления — выходу негабарита, интенсивности разрушения и т. п.

В практике случается, что детонирующие с выделением большего количества энергии ВВ производят в определенных

условиях меньшие объемы разрушения, чем детонирующие с выделением меньших количеств энергии ВВ. И наоборот, в других условиях эти же ВВ характеризуются противоположной (повышенной) взрывной эффективностью.

10.2. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЕТОНАЦИИ НА ЭФФЕКТ ВЗРЫВА В КРЕПКИХ ПОРОДАХ

Коэффициент полезного действия взрыва зависит от параметров взрыва (начального давления газов в зарядной полости P_1 и показателя изэнтропы k) и прочностных свойств среды (конечного давления газов P_2 , характеризующего прочность среды на сжатие):

$$\eta_{\text{п}} = 1 - (P_2/P_1)^{k-1/k}.$$

Из формулы видно, что к. п. д. тем выше, чем больше начальное давление газов в полости (разница в показателях k различных ВВ не существенна). Следовательно, чем с большей скоростью детонирует ВВ, чем выше плотность заряжания, тем с большим начальным давлением образуются газы, тем большая часть их энергии используется в разрушении.

Приведенная формула предполагает *равновесный*, т. е. протекающий с очень малыми скоростями, характер взаимодействия газов со средой. Процессы, близкие к равновесным, могут протекать при взрыве в крепких скальных породах, отличающихся высокой прочностью на сжатие, лишь в 5—50 раз уступающей величине давления взрыва. Расширение зарядной полости в них, приводящее к образованию ударной волны, происходит медленно, давление газов в полости выравнивается, усредняется. Потери энергии на разогрев среды небольшие.

Именно при взрывании крепких скальных пород определяющими характеристиками являются скорость детонации и плотность заряжания ВВ. Чем они выше, тем больше к. п. д. взрыва и разрушающий эффект.

10.3. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЕТОНАЦИИ НА ЭФФЕКТ ВЗРЫВА В СЛАБЫХ ПОРОДАХ

В результате детонации исходное ВВ превращается в газы, которые в момент образования обладают не только тепловой, но и кинетической энергией, причем различной в разных сечениях профиля детонационной волны, достигающей 50 % общей энергии газов.

В нескальных породах давление взрыва до 1000—50 000 раз превышает прочность среды на сжатие. Воздействие на породу поэтому далеко *не равновесное*, расширение взрывной полости и передача энергии в среду проходят весьма быстро. В результате, чем мощнее ВВ, тем более отличен процесс от равновес-

ного, тем большая часть энергии взрыва расходуется на ненужные пластические течения и нагрев породы и тем меньшая часть кинетической энергии газов восстанавливается в тепловую, безвозвратно теряясь на интенсивнейшие сжатия, деформации и разогревы пород в ближней зоне взрыва, тем ниже к. п. д. взрыва и ниже разрушающие его действие.

В таких породах эффективнее ВВ с меньшими скоростями детонации, заряжаемые с невысокими плотностями, т. е. с противоположными характеристиками, чем при отбойке крепчайших пород. В остальных условиях эффективны ВВ с промежуточными характеристиками.

10.4. ПАРАМЕТРЫ ДЕТОНАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВВ И ПОРОХОВ

Промышленные ВВ и пороха применяют в зарядах различных размеров. Обладая различной детонационной способностью, *они детонируют* в зависимости от диаметра заряда как с идеальными, так и с неидеальными скоростями (см. 5.5), причем зачастую отличными от паспортных, устанавливаемых в стандартизированных испытаниях.

Самыми малыми значениями предельных диаметров отличаются скальные аммониты, детониты и особенно прессованные скальные аммониты. Практически во всех шпурах они детонируют в режимах, близких к идеальным,— с максимальными скоростями и давлениями. Параметры их детонации соответствуют паспортным показателям.

Менее детонационноспособны аммониты и аммоналы. Предельный диаметр заряда без оболочки у них превышает 100—150 мм. Со скоростями, близкими к идеальным, они детонируют лишь в шпурах диаметром больше 50—60 мм при плотном зарядании по всему сечению. Наиболее значительны предельные диаметры у гранулированных ВВ — граммонитов и, особенно, гранулитов и игданита. Они достигают 300—500 мм и более. В шпурах такие ВВ детонируют с близкими не к идеальным, а к критическим скоростям, которые соответствуют паспортным. В скважинах, а особенно в камерах, скорости детонации выше паспортных и приближаются к идеальным, определяющимся химическим составом ВВ.

Параметры детонации порохов, в зависимости от их марки и размера зерен, имеют различную зависимость от диаметра заряда. В смоченном и водонаполняемом состоянии в шпурах и скважинах они детонируют с большей, чем порошковые ВВ, скоростью, но с меньшим давлением и при меньшей бризантности.

Детонация дымного пороха характеризуется меньшими, чем детонация граммонитов, параметрами.

10.5. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЗРЫВА ПРИ «НЕПОЛНОЦЕННОЙ» ДЕТОНАЦИИ

«Неполноценной» детонацией часто называют детонацию, протекающую в стационарном, но в неидеальном режиме. Для такой детонации характерны меньшие, чем при идеальном разложении, скорость и давление, а также незавершенность химических реакций с возможными закалками равновесий при уменьшенных выделениях энергии.

Чем ближе детонация к критической, тем меньше ее скорость и давление, тем меньшая часть энергии реализуется в зоне химической реакции. Выделяемая во вторичных реакциях энергия за пределами зоны реакции детонационной волны увеличивается.

Образующиеся газы разрушают массив. Эффективность разрушения максимальна при идеальной детонации (работоспособность ВВ A_u). При «неполноценной» она возрастает (работоспособность A_i) по мере увеличения параметров детонации, которые больше в зарядах большего диаметра (рис. 64).

Зависимости эффекта взрыва в крепких и слабых породах от параметров «неполноценной» детонации подобны, однако в крепких породах они выражены сильнее. Обусловлено это тем, что *разрушение крепких пород*, более эффективное при большей скорости детонации, происходит и при увеличивающемся выделении энергии в зоне реакции, а также при более полном завершении вторичных реакций. В *слабых же породах* рост скорости детонации с увеличением диаметра заряда приводит к снижению к. п. д. взрыва, которое компенсируется повышением энерговыделения в зоне химической реакции детонационной волны и за ее пределами.

В зарядах больших диаметров грубодисперсные ВВ не уступают по эффекту взрыва порошкообразным, так же как не уступают и по параметрам детонации.

10.6. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА ВВ

Применяемые ВВ должны обеспечить решение технической задачи с минимальными трудовыми и материальными затратами. Стремятся выбрать ВВ наиболее безопасные и недорогостоящие, допускающие механизацию доставки и заряжания, обладающие

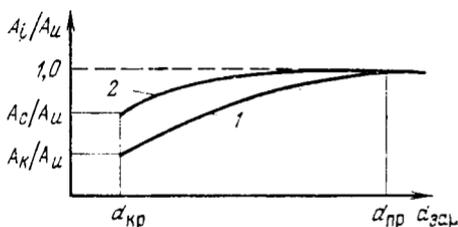


Рис. 64. Зависимость относительной разрушающей способности неидеально детонирующего ВВ от диаметра заряда при взрывах в крепких (1) и слабых (2) горных породах:

A_k ; A_c — работоспособность ВВ соответственно в крепких и слабых породах при диаметре меньше предельного; A_u — то же при предельном заряде

высокой взрывной эффективностью, надежно взрывающиеся от применяемых средств взрывания, а также обеспечивающие эффективное использование средств бурения, выемки и погрузки, а в ряде случаев и дробильно-обоганительного оборудования. Учитывают также обводненность горных пород и водоустойчивость ВВ, возможности осушения пород и гидроизоляции неводоустойчивых ВВ, упаковку ВВ и плотность заряжения.

Всем требованиям ВВ удовлетворяют по-разному. Нет таких, которые были бы наилучшими среди других по всем показателям. Поэтому оценивают ВВ по *комплексному показателю эффективности*

$$\mathcal{E} = \eta_{\text{п}} Q_{\text{взр}} / \Sigma_{\text{с}},$$

где произведение $\eta_{\text{п}} Q_{\text{взр}}$ представляет собой работоспособность ВВ, по которой судят об их эффективности. Ее оценивают аналитически с учетом свойств взрываемых пород или экспериментально в производственных условиях. Обычно *оценки относительны*, причем преимущественно производятся по соотношениям удельных расходов сравниваемых ВВ, обеспечивающих одинаковое качество отбойки; $\Sigma_{\text{с}}$ — сумма затрат на приобретение, доставку, заряжание и взрывание ВВ, бурение, выемку и погрузку, дробление и обогащение.

Эталонным ВВ служит аммонит № 6ЖВ. Знание относительной взрывной эффективности позволяет легко оценить и *экономическую эффективность* и целесообразность применения ВВ в тех или иных производственных условиях. В табл. 11 приведена относительная взрывная эффективность некоторых ВВ в породах средней крепости ($f=8 \div 12$). В слабых породах повышается эффективность гранулитов и водосодержащих ВВ, в крепких — еще большей (чем приведенная в табл. 11) становится эффективность детонитов и скальных аммонитов.

Чем выше показатель \mathcal{E} данного ВВ, тем экономически целесообразней его применение.

Таблица 11

ВВ	Плотность заряжения, г см ³	Относительный удельный расход ВВ*	ВВ	Плотность заряжения, г см ³	Относительный удельный расход ВВ*
Аммонит скальный № 1	1,4—1,5	0,76	Аммонит № 6ЖВ	0,9—1,0	1,0
Детонит М	1,0—1,3	0,82	Граммонит 79/21	0,9—1,1	1,0
Граммонал А-8	0,85—1,0	0,83	Динафталит	1,0—1,1	1,08
Гранулит АС-8	0,8—1,2	0,89	Гранулит М	0,9—1,1	1,13
Гранулит АС-4	0,85—1,2	0,98	Акванит ЗЛ	1,4—1,55	1,16

* Относительно аммонита № 6 ЖВ.

В зависимости от назначения и условий работ основное значение приобретает то или иное свойство или совокупность свойств ВВ. Например, низкая взрывная эффективность дешевого игданита при проходке в крепких породах делает его неэкономичным из-за роста его расхода и увеличения объемов дорогостоящего бурения. В то же время при отбойке ценных минералов игданит эффективен благодаря своему «мягкому» воздействию на среду и сохранности минералов. Напротив, дорогостоящие скальные аммониты экономичны при проходке в крепких массивах.

10.7. ОБЛАСТИ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВВ

Современные ВВ применяют при проведении выработок, отбойке полезного ископаемого, дроблении негабаритов, а также при решении ряда специальных задач — обрушения потолочин и временных целиков, ликвидации пустот, тушения пожаров, сотрясательного взрывания, сооружения баррикадных перемычек и др.

При *разработке рекомендаций* по эффективному применению ВВ исходят из следующих условий: какими зарядами (шпуро-

Таблица 12

Условия размещения ВВ	Рекомендуемые ВВ при взрывании пород		
	крепких	средней крепости	слабых
Шпуры при проходке выработок и шахтных стволов в сухих забоях	Аммониты скальные Акваниты Аммоналы	Аммоналы Граммоналы Гранулиты АС	Гранулиты АС Игданиты Аммониты
То же, в обводненных забоях	Аммониты скальные Акваниты Детониты Аммоналы	Аммоналы Акваниты Детониты Аммониты скальные	Граммоналы Аммоналы Аммониты
Шпуры на очистных работах в сухих забоях	Гранулиты АС Акваниты Аммоналы Аммониты	Гранулиты АС Игданиты Аммониты	Игданиты Гранулиты АС Граммониты
То же, в обводненных забоях	Акваниты Граммоналы Аммоналы Аммониты	Аммоналы Аммониты Граммоналы Акваниты	Аммониты Аммоналы
Скважины на очистных работах в сухих забоях	Гранулиты АС Граммониты Аммониты	Гранулиты Граммониты Игданиты	Игданиты Гранулиты Граммониты
То же, в обводненных забоях	Граммоналы Аммоналы Аммониты	Граммоналы Аммоналы Аммониты	Граммоналы Аммониты Аммоналы
Камеры	Гранулиты Игданиты Граммониты	Гранулиты Игданиты Граммониты	Игданиты Гранулиты

выми, скважинными, камерными), в каких по крепости породах, в сухих или обводненных забоях, при ручном или механизированном зарядании выполняется работа. *Первое условие* ограничивает возможные ВВ по детонационной способности; второе — по взрывной эффективности; *третье* — по возможности применения без гидроизоляции; *четвертое* — по производительности и безопасности зарядания. В итоге для основных областей применения рекомендуются наиболее целесообразные для дальнейшего отбора промышленные ВВ. В табл. 12 приведены эффективные области применения ВВ, рекомендуемых для шахт и рудников, не опасных по газу или пыли.

Первыми указаны предпочтительные для данной области ВВ. Отобрать среди них самое эффективное ВВ можно, выполнив экспериментальные взрывы в производственных условиях.

В ряде случаев, как, например, при «мягкой» отбойке ценных минералов в крепких породах, наиболее эффективным может оказаться ВВ из другой группы, не приведенное, в частности, среди рекомендуемых для отбойки крепких пород. Правильным будет, видимо, его отбор среди ВВ, рекомендованных для отбойки слабых пород, так как основное его назначение в сохранении минералов, а не в разрушении породных массивов.

10.8. ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА ДЛЯ ВТОРИЧНОГО ВЗРЫВАНИЯ

Разрушение негабаритов имеет свои особенности. Прежде всего, это разрушения объектов с большим количеством свободных поверхностей преимущественно зарядами наружного действия.

Благодаря большому числу свободных поверхностей, дробление возможно при минимальном (в 10—20 раз меньшем, чем при первичной отбойке) удельном расходе ВВ. Но из-за интенсивного разлета в стороны продуктов взрыва обычного заряда удельный расход ВВ значительно возрастает (до 10—20 раз относительно первичной отбойки). В итоге увеличиваются и мощности воздушных ударных волн, особо опасных в шахтных выработках.

Применение *шпуровых зарядов*, эффективных по разрушающему действию, в шахтах затруднительно. Наиболее эффективны в них дешевые аммониты, достаточно детонационноспособные, безопасные и удобные ВВ.

В *наружных зарядах* правильный выбор ВВ определяет экономику вторичных взрывных работ. Предпочтительны мощные, высокоплотные прессованные и пластичные ВВ. Наиболее эффективны они в зарядах направленного действия. Из них изготавливают кумулятивные заряды типа ЗКП и ЗКН, формируют листовые заряды, также характеризующиеся повышенным эффектом не только из-за высокого детонационного давления, но и из-за направленности действия, которую создают встречей детонационных волн и увеличением площади нагрузки.

В удлиненных кумулятивных зарядах наиболее экономичны аммониты, действие взрыва которых повышается за счет увеличения площади приложения кумулятивной нагрузки и эффектов встречи детонационных и ударных волн.

Глава 11

СПОСОБЫ ИНИЦИИРОВАНИЯ ЗАРЯДОВ

11.1. ОГНЕВОЕ ИНИЦИИРОВАНИЕ

При огневом иницировании взрыв заряда возбуждают капсулом-детонатором, который иницируется искрами горячей сердцевины огнепроводного шнура (ОШ), выведенного за пределы заряда и зажигаемого открытым пламенем.

Зажигают отрезки ОШ, находясь непосредственно около зарядов. Это представляет определенную опасность из-за возможного преждевременного взрыва, поэтому длину и число зажигаемых за один прием отрезков ОШ принимают в соответствии со временем, необходимым для отхода взрывника в безопасное место.

Минимальная длина отрезков (см) должна быть

$$l_{\text{ош}} \geq (Nt + T) v_{\text{ош}},$$

где N — число шнуров, зажигаемых одним взрывником; t — время на зажигание одного шнура, принимаемое обычно в пределах 3—15 с; T — время отхода взрывников в укрытие, обычно 60—120 с; $v_{\text{ош}}$ — скорость горения шнура, см/с.

Для удобства зажигания шнур выводят за пределы зарядной полости не менее чем на 25 см. Длина шнура должна быть не меньше 1 м, за исключением особо оговоренных правилами безопасности случаев.

Вследствие невозможности передачи огня между отрезками сращивание ОШ запрещается. Максимальная длина шнура ограничена 10 м, т. е. длиной бухты. При длине шнура более 4 м применяют дублирование. При необходимости применяют медленногорящий шнур.

Число зажигаемых за один прием шнуров не превышает 16 отрезков. При необходимости зажигания более 16 шнуров пользуются зажигательными патронами, число которых за одной не более десяти. Для контроля времени применяют контрольный отрезок ОШ, который не менее чем на 60 см короче отрезков с капсулями-детонаторами. Его зажигают первым и используют для зажигания других отрезков. По прекращении горения отрезка взрывник обязан прекратить дальнейшее зажигание отрезков и удалиться в укрытие.

Зажигание идущих к зарядам отрезков ОШ производят спичкой, отрезком того же шнура, тлеющим фитилем, зажигательной свечой и зажигательным патрончиком.

Спичкой зажигают только одиночный отрезок. При зажигании шнуром берут отрезок с надрезами на нем через 3—5 см. Число надрезов соответствует числу зажигаемых шнуров, расстояние между надрезами — времени между зажиганиями. Спичкой зажигают отрезок, которым поджигают первый шнур. К моменту подхода взрывника ко второму заряду горение отрезка проходит первый надрез. Сгоревшая часть отрезка отгибается и через надрез выходят искры, которыми зажигают второй шнур и т. д.

При зажигании *тлеющим фитилем* для получения сильного накала на часть фитиля, приложенную к пороховой сердцевине шнура, рекомендуется подуть. Используются свечи, которые подбираются по времени горения и воспламеняются от трения головки о терочную пластину. Групповое зажигание шнуров обеспечивают зажигательными патронами.

Применяют *огневое инициирование* в не опасных по газу или пыли условиях при взрывании негабаритов и проходке горных выработок. Допущено оно и для инициирования одиночных скважинных и малокамерных зарядов. *Запрещено огневое инициирование* в выработках с углом наклона более 30°, в стволах, а также в случаях, когда затруднителен своевременный отход взрывника в укрытие.

Инициирование применимо только для зарядов, расположенных с таким расчетом, чтобы взрыв одного из них не повредил другой заряд. Одновременность, как и заданная очередность взрывания, например, при короткозамедленном взрывании, несомнествими.

Преимущества огневого инициирования заключаются в его простоте из-за отсутствия сложных расчетов и необходимости применения специальных линий и приборов.

К *недостаткам* относятся: повышенная опасность из-за пребывания во время зажигания отрезков ОШ в непосредственной близости от зарядов; ограниченность числа зарядов, взрывааемых за один прием; невозможность приборной проверки качества подготовки взрыва; повышенный выход ядовитых газов при горении шнура.

Процесс огневого инициирования состоит из следующих стадий: изготовления зажигательных трубок; изготовления патронов-боевиков; заряжания; забойки; зажигания шнуров — собственно взрывания.

11.2. ЗАЖИГАТЕЛЬНАЯ И КОНТРОЛЬНАЯ ТРУБКИ

Зажигательной трубкой называют капсуль-детонатор с введенным в него и скрепленным с ним отрезком ОШ. Зажигательная трубка, служащая для контроля времени при поджигании шнуров на открытых разработках, называется *контрольной*.

Изготавливают трубки в отдельном помещении здания подготовки ВВ или в камерах подземных складов для подготовки средств инициирования.

Работы выполняют на столе шириной не более 0,8 м, длиной не менее 1,5 м, оббитом электропроводящей резиной и имеющем бортики из дерева высотой не менее 3 мм. Количество детонаторов на столе взрывника ограничивают 100 шт. при соответствующем количестве шнура. При работе двух и более взрывников стол разделяют деревянными перегородками на всю ширину или металлическими щитками высотой не менее 70 см. Металлический рабочий стол, а также металлическую пластину на деревянном столе заземляют.

Режут шнур острым инструментом — ножом, тесаком. Допускается одновременная резка нескольких шнуров, сложенных в пучок. Конец шнура, предназначенный для введения в КД, отрезают перпендикулярно его оси. Этим достигается плотное прилегание сердцевинны ОШ к чашечке КД и расположение пороха против отверстия в ней, что исключает перекрытие отверстия оплеткой, отказ трубки, а также взрыв детонатора от случайного механического воздействия на иницирующее ВВ косого среза шнура. При резке ОШ на столе не должно быть детонаторов, а в процессе соединения шнуров с детонаторами — режущих инструментов. Предварительно шнур осматривают, дефектные участки (утолщения, утонения, смятия и др.) удаляют.

Затем подготавливают капсули-детонаторы. Изделия, у которых гильзы имеют трещины, раковины, помятости, пятна окислов, остатки запрессованных ВВ, отслоения бумаги, разрывы дульца, выпадающие чашечки и т. п., отбраковываются. У остальных КД находящиеся в дульце частицы пыли и случайно просыпавшееся из чашечки ВВ, весьма чувствительное к трению, удаляют легким постукиванием открытым дульцем о ноготь пальца до введения в него отрезка ОШ. Выдуть и удалить частицы любым предметом не допускается из-за возможного увлажнения ВВ или случайного воздействия на него.

Отрезок шнура вводят в детонатор прямым движением до отказа. Вращение шнура недопустимо, так как может привести к трению между шнуром и открытой частью ВВ в чашечке. После введения в КД резать огнепроводный шнур запрещается.

Крепление шнура и детонатора в случае металлической гильзы производят обжатием ее края у дульца на шнуре специальным обжимом. Ниже дульца обжатие производить нельзя, так как при деформации чашечки может произойти взрыв. Чтобы устранить опасность ранения осколками гильзы, устанавливают специальный механизм для изготовления трубок, устанавливаемый на столе. Работают на нем лица, имеющие специальное удостоверение.

При бумажной гильзе шнур закрепляют обвязкой дульца с помощью шпагата или нитки «корд». Смятие чашечки при

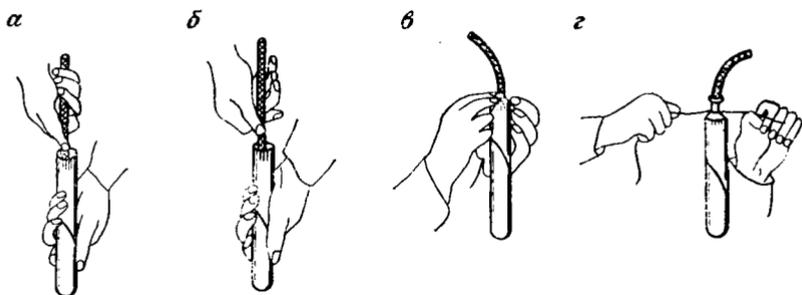


Рис. 65. Изготовление патрона-боевика при огневом инициировании:

а — выполнение углубления; *б* — ввод капсюля-детонатора зажигательной трубки; *в* — собиране развернутой оболочки; *г* — закрепление шнура

этом недопустимо. Другой безопасный способ заключается в увеличении диаметра конца шнура изолянтной до величины диаметра дульца, после чего его вводят в гильзу.

Для инициирования в обводненных условиях соединение детонатора со шнуром изолируют мастикой. Применяют двойной асфальтированный или в полихлорвиниловой оболочке шнур.

Изготовленные зажигательные трубки сворачивают в круги, а контрольные — связывают в пачки шпагатом. До сдачи на склад их укладывают на полку шириной не менее 40 см, имеющую бортики и расположенную выше стола на 50—70 см, или в отдельный шкаф.

11.3. ПАТРОН-БОЕВИК

Патрон-боевик при огневом инициировании представляет собой патрон ВВ со вставленным и закрепленным в нем капсюлем-детонатором зажигательной трубки. В подземных выработках боевики массой до 300 г изготавливают только перед заряданием на месте взрывных работ, а при проходке шахтных стволов — на поверхности в зарядных будках или в специальной камере на одном из горизонтов шахты. При массе более 300 г боевики изготавливают в специальном помещении или на площадке не ближе 50 м от места зарядания.

Для изготовления боевика бумажную оболочку патрона у одного торца разворачивают. В патроне с помощью деревянного стержня делают углубление, в которое затем вводят детонатор зажигательной трубки, собирают развернутую оболочку патрона вокруг шнура и обвязывают шпагатом (рис. 65). Порошкообразные ВВ для повышения их чувствительности обязательно разрыхляют, разминая руками. Детонатор вводят в патрон на всю длину гильзы.

В случае пресованных ВВ капсуль-детонатор вставляют в капсульное гнездо. Если он входит в гнездо неплотно, его нужно обернуть бумажной лентой и прочно укрепить в гнезде, после чего собрать края бумажной оболочки раскрытого торца патрона и обвязать вокруг ОШ тонким шпагатом. Расширять и углублять гнезда запрещается. Патроны с поврежденными капсульными гнездами для боевиков не используют.

В *обводненных условиях* боевики из неводоустойчивых ВВ смачивают солидолом и помещают в полиэтиленовые мешки или тщательно изолируют мастиками. Места ввода шнуров в боевики изолируют холодной или подогретой до 60 °С мастикой, избегая соприкосновения горячей мастики с ОШ. При этом исключается попадание в сердцевину шнура каких-либо инертных веществ.

У боевиков из ВВ, воспламеняющихся от искр, например динамитов, капсуль-детонатор вводят в патрон на $\frac{2}{3}$ высоты. В результате избегают опережающего загорания ВВ от шнура.

Патроны-боевики для скважинных и малокамерных зарядов готовят аналогично, исключая то, что детонатор вводят не в маленький патрон, а в патрон, предназначенный для скважинных зарядов соответствующих размеров, или же (при камерном заряде) его выполняют в ящике с ВВ, в который вводят зажигающую трубку. Возможно использование пачки патронов, один из которых делается собственно боевиком и помещается в середину пачки, обертываемой бумагой и обвязываемой шпагатом.

11.4. ЭЛЕКТРООГНЕВОЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ИНИЦИИРОВАНИЕ

Электроогневое инициирование отличается от огневого лишь электрическим способом зажигания огнепроводного шнура. При *электрическом инициировании* используют электродетонаторы, иницилируемые электрическим током. Оба способа взрывания дистанционные.

Выполняют электроогневое инициирование везде, кроме шахт, опасных по газу или пыли. Достоинства способа те же, что и у огневого, но он менее опасен за счет дистанционного поджигания шнуров. Область его применения шире — его можно использовать при проходке шахтных стволов, выработок с углом наклона более 30°, а также в других условиях с затрудненным отходом взрывника от забоя в безопасное место.

Минимальную длину ОШ в электрозажигательных патронах, с помощью которых выполняют электроогневое взрывание, принимают не менее 25 см. Сами патроны изготавливают по техническим условиям, согласованным с Госгортехнадзором СССР.

Дополнительные преимущества электрического способа инициирования заключаются в возможности осуществления заданного режима инициирования больших количеств зарядов и в аппаратурном контроле качества подготовки взрывных сетей.

Кроме того, в опасных по газу или пыли условиях этот способ является единственно возможным.

Недостатки способа: большая сложность работ по приготовлению электровзрывных сетей, сращиванию проводников, проверке электродетонаторов и взрывной сети приборами, что требует соответствующей подготовки взрывников; переноска приборов и устройств контроля и испытаний. Кроме того, опасны ликвидация отказов и блуждающие токи.

Электрическое инициирование *включает в себя* следующие стадии: проверку ЭД по сопротивлениям; расчеты электровзрывных сетей; изготовление патронов-боевиков; зарядание; монтаж сети; забойку; проверку сети и собственно инициирование.

Прежде всего все ЭД подвергают наружному осмотру. Дефектные экземпляры (с трещинами, помятостями, раковинами, окислениями гильз, повреждениями проводов и др.) отбраковывают. Затем отбирают детонаторы с поврежденными мостиками, проверяя с помощью взрывного испытателя ВИС-1 или омметра М-57Д на токопроводимость, после чего проверяют ЭД по сопротивлению.

Работы выполняют на столах, покрытых электропроводящей резиной, с бортиками в специальных камерах подземного склада, в здании подготовки или в местах раздачи взрывчатых материалов. У каждого взрывника на столе находится одновременно не более 100 ЭД. Проверку их по сопротивлениям производят приборами ОКЭД-1 или Р-353. Сила тока прибора не превышает 50 мА. Однако следует помнить, что ток, даваемый элементом или батареей измерительного прибора, достаточен для взрыва одного электродетонатора. Последнее возможно только при непосредственном прохождении тока от элемента к клеммам, минуя ограничительное сопротивление прибора.

Электродетонаторы при проверке размещают за деревянным щитом толщиной не менее 10 см или в металлической трубе, футерованной резиной и удаленной на безопасное расстояние от проверяющего. После проверки, чтобы исключить влияние блуждающих токов, наводящих в проводах разность электропотенциалов, провода накоротко замыкают вплоть до момента присоединения к взрывной сети.

При группировании разница сопротивлений ЭД в группе не должна быть больше $\pm 5\%$ и также не допускают ЭД, изготовленные разными заводами. Одновременно с подбором ЭД по группам при необходимости заменяют или наращивают их провода. В частности, заводские провода ЭП длиной 2—4 м при взрывании скважин заменяют проводами ВМВ сечением $0,5\text{ мм}^2$ с длиной до 10 м. Сразу же на них перевешивают бирки, указывающие ступень замедления и тип ЭД, провода накоротко замыкают.

Чтобы сростки не оказались между зарядом и устьем скважины и не разъединились при зарядании и забойке скважины,

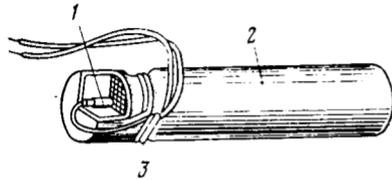


Рис. 66. Патрон-боевик при электрическом инициировании:
 1 — электродетонатор; 2 — патрон ВВ;
 3 — петля из концевых проводов

провода наращивают за пределами скважины или в 10—15 см от детонатора. Соединение выполняют нерастягивающимся и изолируют эластичной лентой.

Схему соединений ЭД выбирают с учетом мощности взрывного прибора, расположения зарядов и расхода проводов. Распространена последовательная схема. При более сильных источниках тока, например при силовых сетях, и трудностях подбора ЭД по сопротивлению применяют параллельное соединение. Параллельно-последовательное соединение эффективно при равенстве числа ЭД в группах и сопротивлений групп. Последовательно-параллельное экономичнее параллельного и параллельно-последовательного соединения.

Патроны-боевики, как и при огневом инициировании, изготавливают в забое или в специально отведенном месте. Боевики общим весом не более 10 кг переносят в ящиках с ручками и крышкой, обитых внутри войлоком. Размещают их в ящике вертикально в один ряд.

Особое внимание при изготовлении боевиков обращают на предупреждение выдергивания проводов из ЭД. Крепление ЭД осуществляют надеванием одной или двух петель провода на конец патрона-боевика (рис. 66). Случайное натяжение провода при этом не опасно.

Патрон порошкообразного ВВ обычно прокалывают деревянным стержнем без разворачивания бумажной оболочки. При применении прессованных ВВ и несоответствии размеров капсюльного гнезда в патронах размерам ЭД боевики готовят из порошкообразных ВВ. В боевиках для обводненных забоев место ввода ЭД в патрон изолируют мастикой, а сами боевики помещают в резиновые или полиэтиленовые оболочки.

Боевики для глубоких скважин выполняют, вводя в патроны по два однотипных ЭД, включенных парно-параллельно или в основную и дублирующую взрывные сети.

Неиспользованные боевики в конце смены уничтожаются взрыванием.

11.5. МОНТАЖ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОЙ СЕТИ

Монтаж электровзрывной сети наиболее ответственная и опасная стадия подготовки взрыва. *Основная опасность* обусловлена возможностью попадания в сеть блуждающих токов, наводимых в проводах различными посторонними источниками при нали-

чни утечек, а также контактной электровозной откаткой, в связи с чем все электрические установки, кабели, контактные и другие воздушные провода, находящиеся в пределах опасной зоны, обесточивают. Все провода электровзрывной сети накоротко замыкают. Исключается нарушение изоляции проводов, а использование в качестве второго провода сети рельсов, труб, воды и земли запрещается. В наиболее опасных условиях применяют ЭД пониженной чувствительности.

Монтаж сетей проводят от взрываемого объекта к источнику тока и ни в коем случае наоборот. Его выполняют после окончания заряжания, забойки и удаления всех, кроме занятых на монтаже взрывников и руководителя взрыва, за пределы опасной зоны. Выполняют так, чтобы сеть была постоянно замкнута. Концевые провода ЭД замкнуты накоротко до присоединения к соединительным, соединительные — до присоединения к магистральным, а магистральные — до подключения к выходным клеммам взрывных приборов. Чтобы не было преждевременного взрыва, ключ от источника тока находится у старшего взрывника, который покидает место монтажа последним.

Соединительные и магистральные провода требуемой длины заготавливают заблаговременно, сворачивают в бухты или на катушки, снабжают бирками с указанием длины, сечения и сопротивления проводов. Их концы зачищают на длину 5—7 см и закорачивают.

Концевые провода ЭД изготавливают из провода ВП-0,5 с медной жилой диаметром 0,5 мм и сечением 0,2 мм². Их сопротивление 0,09 Ом/м. Концевые и соединительные провода могут быть того же типа. Но для глубоких шпуров и скважин, а также при больших расстояниях между ними (более 10 м) целесообразны медные изолированные провода большего диаметра — 0,8 мм при сечении 0,5 мм².

Магистральными проводами монтируют сеть от забоя до места укрытия. Для этого используют провода типа ВП-0,8, ВП-2×0,7, ПВ-380, ПВ-660 и другие диаметром 0,8 мм. Длина их в подготовительных выработках не менее 150 м, в лавах — 100 м, при сотрясательных взрывах — 600 м. Массовые взрывы и обрушения целиков и потолочин выполняют с поверхности. Используют кабели ГРШН и ГРШЭ, которые служат постоянной взрывной линией. В целях сохранности их подводят к забою не ближе 75 м. Дальше прокладывают обычные магистральные провода. Удельное сопротивление медных проводов составляет 0,018 Ом·мм²/м, а алюминиевых — 0,03 Ом·мм²/м.

Надежность и безопасность взрывания определяется качественным выполнением соединений проводов, а также изоляцией как проводов, так и их соединений.

Соединения (сростки) проводов могут быть постоянными и временными. *Постоянные сростки* служат для наращивания магистральных проводов и сращивания их с соединительными, временные — применяют в остальных случаях.

Временные сростки делают упрощенным способом. Используют специальные зажимы, которые создают надежный контакт и изолируют проводники. Они представляют собой металлический согнутый сердечник, вставленный в пластмассовую трубку, отверстие которой заполнено густой смазкой. Скрученные концы проводников вставляют в зажим и перегибают.

Контроль сопротивления, токопроводимости и изоляции сети выполняют с безопасного расстояния после завершения монтажа и удаления людей в укрытие. Время контакта сети с измерительным прибором выдерживают не более 4 с. Если расхождение между расчетным и измеренным значениями сопротивления сети превышает 10 %, взрыв отменяют и проверяют, выявляют и устраняют дефекты монтажа.

Для повышения надежности инициирования контролируют сопротивление изоляции сети. Для этого измеряют сопротивление между соединенными входными концами взрывной сети или ее участка и заземлением. Сопротивление не должно быть менее сопротивления самой сети, а в случае ЭД нормальной чувствительности — менее 1000 Ом.

11.6. ИНИЦИИРОВАНИЕ ДЕТонирующим ШНУРОМ

Детонация заряда при этом способе инициирования возбуждается детонирующим шнуром непосредственно или через промежуточный детонатор. Детонацию шнура иницируют капсюлем-детонатором или электродетонатором. Способ инициирования наименее опасен: при зарядании и монтаже взрывной сети взрывникам не приходится иметь дела с особо опасными материалами. Лишь перед взрывом к ДШ подсоединяют зажигательную трубку или ЭД, а при короткозамедленном взрывании включают во взрывную сеть пиротехнические замедлители.

Процесс инициирования включает в себя: изготовление боевиков, зарядание и забойку, монтаж взрывной сети, собственно инициирование.

Заряды иницируют с помощью или только отрезка шнура, или боевиков. Изготавливают их непосредственно около скважин. Первым способом иницируют порошкообразные и патронированные ВВ. Боевиками пользуются при инициировании низкочувствительных ВВ, а также при скважинной и камерной отбойке. Изготавливают их введением в патрон узла ДШ. Чаще патроны, как и шашки-детонаторы (см. рис. 42), обвязываются шнуром. При необходимости боевики гидроизолируют мастикой или битумом в зарядной камере подземного склада. Длина отрезков ДШ определяется глубиной скважин. После приготовления боевика отрезок ДШ свертывают в бухточку, а боевик укладывают в переносной ящик.

На отрезки нужной длины *шнур режут* острым ножом на деревянной доске. Несмотря на безопасность операции, после

введения шнура в боевик, заряд или взрывную сеть резать ДШ запрещается.

Для соединения зарядов применяют три схемы: последовательную, параллельно-ступенчатую и пучковую. Взрывную сеть составляют из магистральной линии и ответвлений (отрезков) ДШ к зарядам.

При *последовательном соединении* первый заряд инициируется от магистрального ДШ, а каждый последующий — от отрезка, выходящего из ранее взорванного заряда.

При *параллельно-ступенчатом соединении* отрезки шнуров, выходящие из зарядов, присоединяются к магистральной линии ДШ.

Пучковое соединение характеризуется тем, что концы ДШ, выходящие из каждого заряда, присоединяются к магистральному ДШ в одном месте.

Перед прокладкой магистральной сети из ДШ почву очищают от камней, валунов и других предметов. В ответственных случаях ДШ прокладывают в трубах или канавках выработок, закрываемых досками, для уменьшения воздействия взрывных воздушных волн.

Монтаж сети ведут от зарядов к магистральной линии. Концы выходящих из скважин отрезков, принимаемых для удобства работ длиной 1,5—2,5 м, присоединяют непосредственно или через посредство других отрезков к магистральной сети. На магистральной сети ДШ, на расстоянии 10—15 см от конца, после того как собрана вся взрывная сеть, устанавливают электродетонатор. При небольших взрывах применяют зажигательные трубки, для чего магистральный ДШ выводят за пределы опасной зоны.

Достоинства способа инициирования заключаются в его безопасности, обеспечении заданной очередности взрывания большого количества зарядов, простоте выполнения работ, *недостатки* — в повышенном звуковом эффекте, недостаточно высокой надежности взрывания в обводненных условиях, отсутствии приборного контроля качества подготовки взрывной сети.

11.7. КОРОТКОЗАМЕДЛЕННОЕ ВЗРЫВАНИЕ ПРИ ПОМОЩИ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ КЗДШ

Заданную очередность инициирования зарядов осуществляют с помощью пиротехнических замедлителей типа КЗДШ. В зависимости от схемы инициирования КЗДШ устанавливают перед группой зарядов, отдельным зарядом или частями отдельного заряда.

В первом случае достигается требуемая очередность инициирования групп, во втором — снижается сейсмическое проявление взрыва, так как все заряды взрываются отдельно, в третьем — осуществляется внутрискважинное замедление.

Перед присоединением зарядов для установки замедлителей на группы зарядов магистральную сеть ДШ разрезают в местах, где будут установлены КЗДШ. Только после этого присоединяют отрезки ДШ от зарядов к магистрали и затем подключают КЗДШ.

С обоих концов КЗДШ закреплены два отрезка ДШ: один длиной 150 мм, другой — 300 мм. Коротким отрезком шнура замедлитель подсоединяют к отрезкам от зарядов, длинным — к части магистральной сети, взрыв которой возбуждают электродетонатором. Концы шнуров КЗДШ и сети присоединяют внакладку или внакрутку на участках длиной не менее 100 мм с закреплением соединения изоляционной лентой или шпагатом. При увеличении интервала замедления включают последовательно несколько КЗДШ.

При замедлении взрывов отдельных зарядов КЗДШ устанавливают *на поверхности* или *внутри заряда*. В первом случае их подключают аналогично описанному. Во втором случае КЗДШ монтируют на патроне, для чего вдоль патрона с обеих сторон изолейтой крепят отрезки ДШ. К их концам подключают короткие отрезки шнура КЗДШ. К длинным отрезкам присоединяют ДШ, другой конец которого выводят к магистральной сети.

Расположение замедлителей на поверхности безопасней. В зарядах обеспечивается их защита от воздействия взрывной волны.

Для инициирования с *внутрискважинными замедлениями* расположение КЗДШ также возможно на поверхности массива или в заряде. В последнем случае его обычно располагают в инертном промежутке, предохраняя от воздействия засыпаемого инертного материала. Для взрывания необходим мало-мощный ДШ или шнур нормальной мощности в пластиковой или резиновой трубке, предохраняющей ВВ от инициирующего воздействия протянутых через верхнюю часть заряда нитей ДШ.

11.8. ВТОРИЧНОЕ ВЗРЫВАНИЕ

Производится шпуровыми или наружными зарядами всеми способами инициирования. *Шпуровая разделка* негабаритных блоков характеризуется наименьшими расходами ВВ. Заряды наружного действия применяют при высоких затратах на бурение, при необходимости быстрого дробления блоков после взрыва, а также при опасности выполнения буровых работ. Этот вид вторичного взрывания характеризуется наибольшим удельным расходом ВВ. Использование *гидроболочки* (пластиковых пакетов с водой или гелями), а также *кумулятивных шашек* повышает эффективность взрыва.

Особое внимание обращают на то, чтобы при взрывании больших количеств наружных зарядов взрывами одних не были разбросаны другие заряды. Если указанное условие невыполнимо, заряды заряжают и взрывают по одному.

Электрическое и бескапсюльное инициирование обеспечивает одновременность взрыва. Масса одновременно взрываемого ВВ в связи с образованием мощных воздушных волн ограничена условиями безопасности и не должна превышать 20 кг.

Для повышения безопасности работ часто производят предварительный монтаж электровзрывной сети в помещении подготовки ВМ. Накоротко замкнутую сеть последовательно соединенных ЭД наматывают на решетчатую катушку, а ЭД пропускают между рейками в ее середину и переносят к месту взрыва в смонтированном виде. У забоя после заряжания и размещения ЭД в зарядах производят подключение сети к магистрали и осуществляют взрыв. Если расстояния между соседними зарядами соответствуют или больше длины проводов между детонаторами, то, избегая натягивания проводов, один детонатор пропускают.

При шпуровом методе предварительно в шпур вводят зажигательную трубку или ЭД, после чего мерным совком засыпают ВВ и выполняют забойку. В случае патронированных ВВ изготавливают патрон-боевик, который вводят в шпур первым. Инициатор располагают со стороны забоя шпура.

11.9. ПРЕЖДЕВРЕМЕННЫЕ ВЗРЫВЫ

Возможны при огневом и электрическом инициировании. Обусловлены преждевременные взрывы нарушениями правил безопасности.

Механические воздействия на капсюли-детонаторы и электродетонаторы, как на наиболее чувствительные элементы взрывных сетей, всегда опасны, особенно когда они введены в заряд. Поэтому после заряжания нельзя выдергивать средства инициирования из зарядов, натягивать электропровода или огнепроводный шпур, пытаться поправить боевики в заряде. Если, например, перепутаны провода ЭД, то их следует закоротить, а в заряд ввести новый боевик.

Огнепроводный шпур обычно не опасен. Но при взрывании, когда взрывник покидает забой незадолго до взрыва, отклонения качества ОШ от нормы ведут к преждевременным взрывам. Более всего опасны пустоты в пороховой сердцевине. Огонь, быстро проскакивая такие участки шнура, распространяется неравномерно, скачками. Скорость передачи горения повышается, а время горения дефектных отрезков уменьшается, что приводит к преждевременному взрыву. При большой длине дефектного шнура разница в ожидаемом и фактическом времени передачи становится существенной.

Обнаруживается дефект по утонению шнура на участке, где отсутствует порох, и проявляется при испытаниях изменением дымовыделения и длины фора огня.

При электроинициировании опасны *наведенные* и *блуждающие*, а также *остаточные* и *емкостные* токи. Их попадание

в электросеть возможно, если монтаж ведут с нарушением правил.

Прежде всего монтаж производят от зарядов к источнику тока. Все участки сети постоянно накоротко замкнуты и подключаются к следующему участку сети только при уверенности, что противоположные концы проводов следующего участка также замкнуты. Изоляция проводов должна быть исправна, а все источники тока в опасной зоне на период монтажа сети отключены.

Провода располагают возможно дальше от токоведущих рельсовых путей, а также от установок и металлических устройств, которые случайно могут оказаться под напряжением. Магистральные провода укладывают ближе один к другому, чтобы при нарушении изоляции в каких-либо точках разность потенциалов была поменьше. Важно обеспечить качественную изоляцию сростков. Большое внимание уделяют исправности контрольно-измерительных приборов.

В процессе пневмозаряджания в изолированных зарядных шлангах накапливается электростатическое электричество и образуется тонкодисперсная взвешенная пыль ВВ. Разность потенциалов может достигать 1—16 кВ. Накопленной электроэнергии достаточно для инициирования пыли, в связи с чем ее образование удаляют смачиванием ВВ. Боевик с ЭД в заряд устанавливают только после окончания заряджания и удаления из забоя заряжающих устройств.

Опасны взрывные работы в обводненных сульфидных рудах. За счет экзотермического взаимодействия аммиачно-селитренных ВВ с сернистыми соединениями в глубоких скважинах может произойти самозагорание ВВ, переходящее при наличии в заряде электродетонаторов во взрыв. В таких условиях необходимо применять ВВ в водонепроницаемой оболочке и бескапсюльное взрывание.

Преждевременные взрывы известны при заряджании восстающих скважин, когда из-за некачественных парашютов происходили выпадения зарядов. Наиболее надежны конструкции парашютов из транспортных лент толщиной 6—8 мм. Их нарезают полосками, из которых сшивают кресты размером на 20—30 мм больше диаметра шпура или скважины. Эффективны саморасклинивающиеся пробки из распиленных по диагонали цилиндров.

Также нельзя допускать при заряджании просыпей ВВ, которые взаимодействуют с шахтными водами и выделяющиеся газы могут образовать взрывоопасную среду, для инициирования которой достаточно незначительного огневого воздействия.

При заклинивании боевиков нельзя их извлекать из шпуров. Заряджание нарушенных шпуров и скважин целесообразно выполнять патронами, увязанными с помощью шпагата в удлиненный своеобразный контейнер.

11.10. ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ И ЛИКВИДАЦИЯ ОТКАЗОВ

Отказом называют невзорвавшийся заряд или группу зарядов. Отказы отрицательно сказываются на качестве взрывания и технико-экономических показателях работы предприятия из-за дополнительных простоев. Ликвидации отказов опасны и трудоемки, а зачастую и невозможны обычными средствами и способами.

Отказы обусловлены не физической сущностью процесса, не малыми размерами боевиков, а, скорее, организационно-технологическими особенностями выполнения взрывных работ.

Причинами отказов могут быть:

низкое качество ВВ и средств инициирования (СИ), не учитываемое при проведении взрыва;

применение неводоустойчивых взрывчатых материалов в обводненных условиях;

механические повреждения проводов электровзрывной сети и ДШ в заряде или на поверхности в результате перетириания забойниками, разрыва при опускании заряда, а также падающими обломками пород с кровли и стенок выработок;

неправильные расчеты и монтаж взрывных сетей;

завышенное время замедления взрывания смежных зарядов, которое приводит не только к переуплотнению ВВ, но и к выбросу части заряда из зарядной полости.

Для предотвращения отказов ВВ и СИ испытывают и дефектные экземпляры отбраковывают. Применяют ВМ только в условиях, предусмотренных их характеристиками. Неводоустойчивые ВВ взрывают только в сухих забоях или в водонепроницаемых оболочках, ЭД — только после проверки и подбора по сопротивлениям, боевики в обводненных забоях — после гидроизоляции. При использовании низкоскоростной детонации осуществляют комбинированное инициирование — ослабленное и мощное.

Взрывную сеть дублируют. При электроиницировании это исключает последствия ошибок монтажа основной сети, а при бескапсюльном инициировании — дефектов детонирующего шнура и некачественность монтажа сети. Применяют забойники с соответствующим продольным пазом, в который пропускают провода или шнуры: так устраняют перетириание изоляции и нарушения целостности сети. Все сростки тщательно изолируют, контролируют правильность монтажа как отдельных участков, так и сети в целом. Устраняют утечки в сети, пропуски отдельных ЭД, закорачивание групп, секций и участков сети, нарушения мостиков ЭД, обрывы сети, нарушения изоляции. При инициировании детонирующим шнуром обнаруживают и устраняют: пересечения нитей ДШ и несовпадения направления детонации в ответвляющихся и магистральных шнурах, приводящие к перебиванию одной нити другую; неправильно установленные

КЗДШ; применение разнотипных ДШ с различными иницирующей способностью и восприимчивостью к иницированию; неплотные соединения отрезков, где затрудняется передача детонации и др. Исключают натяжения проводов и ДШ как в скважинах и шпурах, так и на поверхности. Предохраняют сеть от повреждений падающими кусками. Это обеспечивает сохранность взрывных сетей и подачу иницирующего импульса к боевику.

Отказы обнаруживают подсчетом числа взрывов или осмотром взорванного массива. В последнем случае в забое или в массиве находят провода ЭД или шнуры, а также неразрушенные в районах невзорвавшихся зарядов части массивов. Провода от зарядов сразу же закорачивают, а каждый отказ отмечают, закрестив забой.

До ликвидации отказавших зарядов вести работы в местах их нахождения запрещается. Взрывник ликвидирует отказы сразу после их обнаружения. Если такой возможности нет, ставят в известность руководителя взрывных работ или лицо технического надзора. Под их руководством выполняют дальнейшие работы. *Приемы ликвидации* отказов зависят от метода, места работ и способа взрывания.

При *методе наружных зарядов* производят повторное иницирование, осторожно заменив инициатор новым.

Отказавшие *шнуровые заряды* ликвидируют взрывами новых зарядов во вспомогательных шпурах. Их бурят не ближе 30 см со стороны, противоположной л. н. с. отказавшего заряда, параллельно основному шпуру. Направление бурения задают палкой, установленной в устье шпура на глубину 15—20 см, для чего выбирают часть забойки. В случае же исправности взрывной сети для ликвидации к концевикам подсоединяют магистраль и производят повторное иницирование. Зажигание отказавшего ОШ производить нельзя из-за того, что не известна длина шнура в шпуре.

Скважинные заряды с исправной взрывной сетью, если л. н. с. не уменьшилась при взрыве и нет опасности повреждения охраняемых объектов, также ликвидируют с помощью повторного подключения к магистральной сети. В других случаях заряды подлежат разборке — экскаваторной, если взрывание бескапсюльное, и ручной, если взрывание электрическое. При затруднительной разборке производят бурение, заряджание и взрывание вспомогательных шпуров или скважин не ближе 1 м от отказавших. Глубину бурения и массу зарядов устанавливает руководитель работ.

При *методе камерных зарядов* ликвидацию отказов начинают с разборки и удаления забойки. В заряд вводят новый боевик, восстанавливают забойку и производят взрыв. Если по разлету осколков, воздействию воздушной волны, усиливающегося при уменьшении л. н. с., другим факторам взрыв противопоказан, заряд извлекают из камеры вручную.

Отказы скважинных и камерных зарядов ликвидируют по специальным проектам.

Вместо оставшихся магистральных проводов, вне зависимости от их состояния, прокладывают новые. Все ЭД с проводами проверяют на сопротивление и, если нет отклонения от расчетных данных, их монтируют в сеть. В заряды, где оборваны провода или сопротивления ЭД значительно отличаются от расчетных, устанавливают новые боевики. Возможно иницирование таких зарядов с помощью ДШ.

Контроль взрывной сети осуществляют приборами с обязательным подключением дополнительного сопротивления в 20—25 Ом. Монтаж новой сети ведут по общим правилам, обращая внимание на то, чтобы все отказавшие заряды попали в сеть.

Допуск людей в подземные выработки после ликвидации отказов производят с принятием всех мер безопасности, установленных для основных взрывов.

Глава 12

ПАРАМЕТРЫ ЗАЛОЖЕНИЯ ШПУРОВ И СКВАЖИН

12.1. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЗАЛОЖЕНИЯ ШПУРОВ И СКВАЖИН

К ним относят параметры, которые определяют эффективность взрывов зарядов, в них сформированных,— диаметр, глубина и угол заложения шпуров и скважин, расстояния между ними, а также между крайними шпурами и скважинами и свободной поверхностью.

Параметры заложения шпуров и скважин при проходке должны обеспечивать: максимальное использование их глубины; заданное подвигание забоя и оконтуривание сечения выработки; минимальные переборы породы и нарушения массива за проектным контуром; качественное дробление породы; минимальный разброс породы и сохранность призабойной крепи.

Большие средства расходуются на крепление и поддержание выработок. Они тем больше, чем более нарушена законтурная часть массива. Радиальные и кольцевые трещины вокруг оконтуривающих шпуров образуются при взрыве глубиной до 4—5 их диаметров и более. В законтурном массиве возникают также трещины вдоль выработки. Глубина их проявления достигает 20—35 диаметров шпуров. Очевидно, что диаметр зарядов для уменьшения разрушений необходимо уменьшать, причем тем больше, чем слабее породы и значительнее проявление горного давления. Отклонения от проектных размеров выработки со стороны кровли и стенок не должны превышать:

Коэффициент крепости пород	0,5—1,5	1,5—6	7—20
Допустимые переборы, мм	50	75	100

На *очистных работах* требуется обеспечить качественную отбойку. Размер кусков основной массы разрушенной породы должен быть при этом в пределах 100—200 мм, а во взорванном массиве не должно быть неразрушенных участков.

Качественное решение указанных задач требует выполнения проектных параметров заложения зарядов.

Длина шпуров при проведении выработок 1,5—5 м, при длинношпуровой отбойке — до 20 м. Особенности перфораторного бурения, применяемого в шахтах, такие, что шпуры бурят комплектами из 4—6 буров. Диаметр последующего бура в них на 1—2 мм меньше, чем у предыдущего. В результате шпур получается ступенчатым с уменьшающимся до 4—8 мм к забою диаметром, что затрудняет зарядание патронированных ВВ.

Скважины бурят с одинаковым диаметром. Однако они искривляются. Меньше искривляются вертикальные, больше — наклонные скважины. Характер и величина искривления различны: максимальные отклонения от проектного положения при пневмоударном бурении достигают 5—6 м при глубине 30—40 м, при шарошечном — 3—4 м. В первом случае они искривляются вниз, во втором — скважины отклоняются вверх. Рациональная глубина в связи с искривлениями при бурении вниз составляет менее 35—40 м, вверх — 20—25 м. Контроль бурения обеспечивает равномерное распределение ВВ в массиве.

С увеличением диаметра шпуров и скважин увеличивается расстояние между ними, уменьшаются объемы бурения, растет концентрация энергии ВВ в массиве, увеличивается разрушающий эффект. Однако при этом повышается неравномерность и ухудшается качество дробления, возрастают переборы породы при проходке и трещиноватость законтурного массива. Чем крепче породы, тем большего диаметра принимают шпуры и скважины.

Заряды уменьшенного диаметра оправданы там, где необходимость повышенного их количества компенсируется большей скоростью бурения и увеличением производительности погрузочных машин.

При отбойке диаметр зарядов определяется в основном мощностью рудного тела, свойствами породы, возможностями буровой техники и заданным качеством отбойки. Глубина шпуров и скважин определяет величину подвигания выработки. Однако рациональная глубина шпуров в связи с увеличивающимся влиянием зажима боковых пород ограничена и зависит от сечения выработки, способа взрывания, конструкции зарядов и крепости пород. Чем эффективней работа врубных шпуров, тем большей может быть глубина основных шпуров.

В выработках, проходимых с опережением части забоя, глубину шпуров в отстающей части забоя, где заряды работают в условиях дополнительной свободной поверхности, принимают равной или в 2 раза большей глубины шпуров в опережающей части (рис. 67).

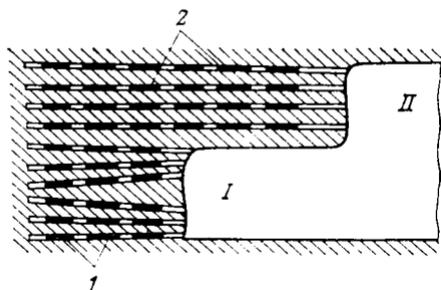


Рис. 67. Расположение зарядов при уступном проведении выработок:

I и *II* — очередность выполнения работ; *I* — шпуровые заряды в опережающей части забоя; *2* — шпуровые заряды в отстающей части забоя

вдоль заряда неодинаковой, ухудшая эффект взрыва на участке заряда с большей л. н. с.

Уменьшение расстояния между зарядами улучшает качество отбойки, увеличивает глубину проходки за цикл. Но повышаются затраты на буровзрывные работы, усиливается отброс взорванной массы и разрушение законтурного массива, а также зачастую ухудшается дробление и снижается производительность погрузки и транспортирования горной массы. Наиболее эффективные параметры отрабатываются непосредственно в производственных условиях.

12.2. ВРУБОВЫЕ ШПУРЫ И СКВАЖИНЫ

С помощью врубовых шпуров и скважин образуют врубовые полости, служащие дополнительными свободными поверхностями для облегчения работы отбойных и оконтуривающих шпуров. Количество врубовых шпуров зависит от типа вруба и его площади, а также от длины заходки, крепости и трещиноватости породы.

Наиболее распространены врубы с наклонными и вертикальными (прямыми) к плоскости забоя шпурами. Иногда применяют комбинированные врубы — с вертикальными и наклонными шпурами. К первым относятся: пирамидальные, клиновые, веерообразные, горизонтальные, боковые, верхние, нижние), веерообразные, воронкообразные врубы; ко вторым — щелевые, призматические, спиральные и ярусные; к третьим — клиновые в сочетании с веерными, пирамидально-призматические, двойные клиновые и др. Наклонные врубы занимают 10—25 %, прямые 5—10 % и комбинированные 10—15 % общей площади сечения выработки.

В связи с большим сечением шахтных стволов диаметр и длина применяемых здесь зарядов больше, чем при обычной проходке. При отбойке глубина шпуров и скважин определяется размерами взрываемого слоя.

Угол заложения шпуров принимают таким, чтобы шпуровые заряды были по возможности параллельны дополнительной свободной поверхности, имеющей при отбойке или образующейся взрывами врубовых зарядов при проходке. Непараллельность делает л. н. с.

12.2.1. Наклонные врубы

Наклонные врубы применяют на различных работах при площади сечения выработки более 4 м^2 и площади вруба более $1-1,5 \text{ м}^2$, *прямые* — при площади сечения выработки менее 4 м^2 и площади вруба менее 1 м^2 , а также при проходке восстающих и бурении центральной скважины, служащей своеобразным начальным врубом.

Пирамидальные (центральные) врубы состоят из 3—6 шпуров, пробуриваемых в средней части забоя с наклоном шпуров к его центру (рис. 68, а). Эффективны врубы в крепких, монолитных породах, а также при проходке выработок поперек породных слоев. Угол наклона шпуров к плоскости забоя $65-75^\circ$. При проведении шахтных стволов врубы применяют, если их сечение квадратное.

Вертикальные клиновые врубы состоят из двух вертикальных рядов шпуров, пробуренных посередине забоя с наклоном друг к другу и к вертикальной оси выработки (рис. 68, б). Отбойные заряды также располагают вертикальными рядами с обеих сторон от врубовых шпуров. Применяются при вертикальных трещинах и напластованиях. Угол наклона шпуров $65-75^\circ$, а расстояния между парами шпуров по вертикали $0,2-0,5 \text{ м}$. При проходке стволов клиновые врубы применяют при прямоугольном сечении, а также при опережении одной половины сечения другой. Для усиления взрыва часто вводят вспомогательные врубовые более короткие шпуры.

Горизонтальные клиновые врубы аналогичны вертикальным, но ряды шпуров расположены горизонтально (рис. 68, в). Они применяются при горизонтальных трещинах и напластованиях. Когда забои сложены породами разной крепости, клиновые врубы располагают в более слабых породах, даже если они расположены ближе к одному из боков выработки.

Боковые врубы похожи на вертикальные клиновые. Состоят из одного вертикального ряда шпуров, пробуренных к одной из стенок выработки (рис. 68, г). Особенно эффективны в породах не выше средней крепости при контакте со слабыми полезными ископаемыми. Угол заложения шпуров $60-75^\circ$.

Верхние врубы похожи на горизонтальные клиновые. Состоят из одного горизонтального ряда шпуров, пробуренных под углом $60-70^\circ$ к кровле выработки (рис. 68, д). Эффективны в некрепких породах при падении слоев от забоя.

Нижние врубы аналогичны верхним, но шпуры расположены ниже середины выработки под углом $60-70^\circ$ к ее почве (рис. 68, е). Эффективны при падении слоев к забою.

Веерообразные врубы содержат один ряд шпуров, которые располагают под все большим углом к плоскости забоя, наподобие веера (рис. 68, ж). Эффективны в прослойках слабых пород. Угол наклона шпуров $40-90^\circ$.

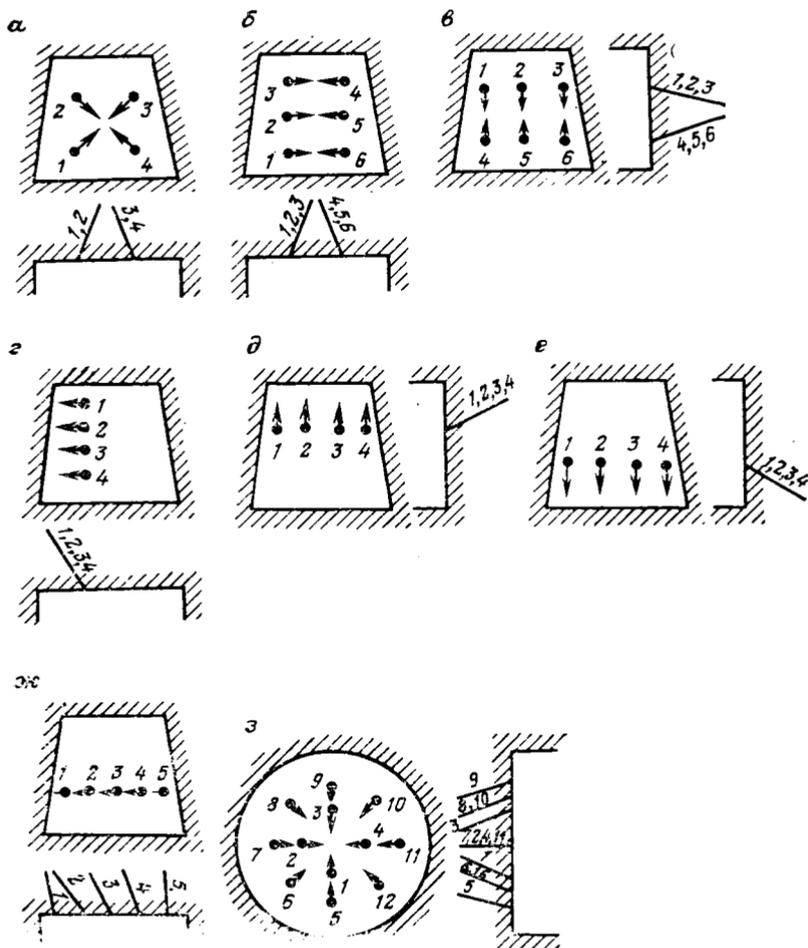


Рис. 68. Наклонные врубы (цифрами указаны номера врубовых шпуров)

Воронкообразные врубы образуют из 6—9 шпуров (рис. 68, з). Остальные шпуров также располагают по концентрическим окружностям. Применяются при проведении стволов круглого сечения.

12.2.2. Прямые врубы

Щелевые врубы представляют собой ряд перпендикулярных к поверхности забоя шпуров, располагаемых на удалении 15—20 см один от другого и заряжаемых через один (рис. 69, а). Врубы эффективны при проведении горизонтальных и восстающих выработок в крепких, вязких породах при длине заходки

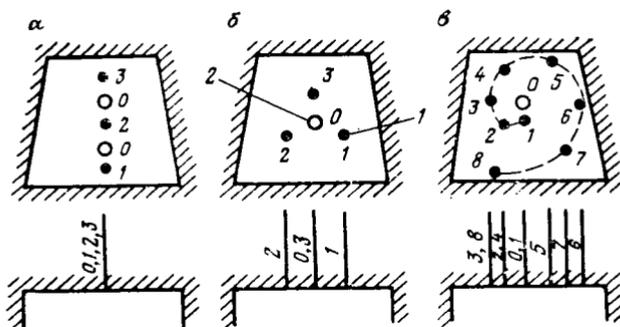


Рис. 69. Прямые врубы

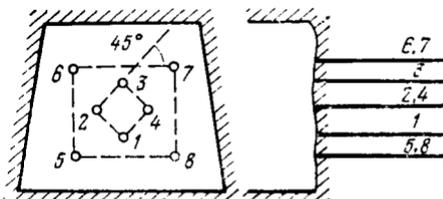


Рис. 70. Вруб взрывника Пазенко

до 2 м. Рациональная длина щели 0,8—1,2 м. Кроме основных обычно бурят вспомогательные врубовые шпуров по два с каждой стороны щели на удалении 0,7—0,9 ее длины. Для увеличения выброса породы из вруба центральный шпур выполняют на 20—30 см длиннее остальных. Заряжают его небольшим зарядом в перебуре и взрывают с замедлением.

Призматические врубы образуют бурением между врубовыми шпуров 1 незаряжаемого шпура или скважины 2 (рис. 69, б). Последние играют роль свободной поверхности и компенсационного пространства для смещения разрушенных от взрыва зарядов в смежном шпуре пород. Расстояние между незаряжаемым 0 и заряжаемыми 1, 2, 3 шпуров принимается до 2—5 диаметров шпура.

Спиральные врубы эффективны в крепких монолитных породах и при напластованиях пород параллельно забою. Врубовые шпуров располагают по спирали. Центральный шпур или скважина 0 выполняется холостыми (рис. 69, в). Первым взрывают шпур 1, отстоящий от холостого не более чем на диаметр шпура. Затем взрывают все более удаленные шпуров — 2, 3, 4, 5 и т. д.

Ярусные врубы применяют при удлиненных заходках. Особенно эффективны они в восстающих выработках. Принцип действия основан на наличии в каждом шпуре нескольких зарядов, разделенных инертными промежутками и взрываемых последовательно. Наиболее типичен вруб взрывника Пазенко, который образуется шпуров, располагаемыми по углам двух квадратов — внутреннего 1234 и наружного 5678 (рис. 70). При-

чем внутренний повернут относительно наружного на 45°. В каждом из шпуров выполняют по три разобренных заряда. Первыми взрывают ближние к забою заряды, затем — средние, а в последнюю очередь — наиболее удаленные от забоя.

При *скоростных проходках* стволов часто вместо наклонных применяют прямые врубы. Число шпуров увеличивается, однако их бурение проще, чем наклонных. Также применяют ярусные врубы.

12.3. ПОДВИГАНИЕ ЗАБОЯ ЗА ОДИН ВЗРЫВ И КОЭФФИЦИЕНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШПУРОВ

Подвижением забоя при проходке называют увеличение длины горной выработки в результате взрыва. Определяется подвижение забоя глубиной шпуров, которая принимается обычно в интервале от 2 до 5 м.

В связи с резко различными условиями работы частей удлиненного заряда, расположенного в шпуре перпендикулярно к свободной поверхности, работа разрушения донной части заряда по мере его углубления становится все меньшей. Размеры образующейся воронки взрыва при росте длины заряда увеличиваются лишь до определенного предела. Чем больше глубина шпура, тем все меньшая в нем часть заряда принимает участие в отбойке породы.

Об эффективности использования длины шпуров судят по отношению величины подвигания забоя выработки при взрыве к глубине заложения шпуров, которое называют *коэффициентом использования шпура* (КИШ).

$$\text{КИШ} = (l_{\text{ш}} - l_{\text{ос}}) / l_{\text{ш}},$$

где $l_{\text{ш}}$ — глубина шпура; $l_{\text{ос}}$ — глубина оставшейся невзорванной части шпура.

Параметры буровзрывных работ считают рациональными при показателях КИШ не ниже 0,85—0,9. При меньших значениях уменьшают глубину бурения до получения КИШ в рациональных пределах.

Большое влияние на величину КИШ оказывает тип вруба и конструкция зарядов. Наибольшими значениями КИШ (до 0,95—0,98 и выше) характеризуются прямые врубы, глубина бурения при которых в меньшей мере зависит от размеров забоя и величина подвигания забоя близка к глубине врубовой щели.

12.4. ШПУРЫ И СКВАЖИНЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

Проведение горизонтальных выработок производится преимущественно шпуровыми зарядами. Наряду со шпурами используют и скважины, которые имеют как вспомогательное, так и самостоятельное значение.

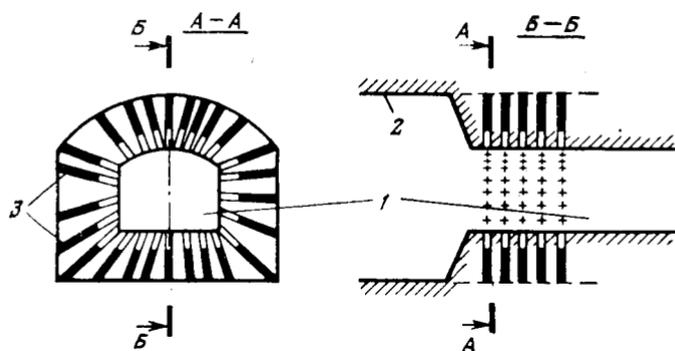


Рис. 71. Проведение выработки большого сечения с центральным опережающим забоем:

1 — центральная опережающая выработка малого сечения; 2 — полная выработка; 3 — шпуровые заряды

При проведении выработок на все сечение скважины применяют только в прямых врубах в качестве вспомогательных для образования компенсационного пространства. Обычно их диаметр 105—160 мм, а глубина равна или кратна глубине шпуров.

Диаметр шпуров чаще 43—52 мм, длина 1,5—3,5 м. Расстояние между отбойными шпурами (в зависимости от крепости пород) от 0,8 до 1,2 м, между оконтуривающими — 0,6—1,0 м. Расстояние между концами наклонных сходящихся врубовых шпуров принимают 0,2—0,3 м, а расстояния между рядами врубовых шпуров — 0,3—0,6 м.

Шпуры прямых врубов располагают на удалении 0,15—0,5 м один от другого. Удаление от врубовой скважины составляет 1,2—1,8 ее диаметра, от незаряженного шпура — 1,5—3 диаметра шпура. Устье шпуров располагают на удалении 0,1—0,2 м от стенок выработки, а шпурам придают такой наклон, чтобы вывести их концы на проектный контур выработки или за пределы контура на 0,1—0,2 м. Для упрощения разметки шпуры, по возможности, располагают в горизонтальных и вертикальных направлениях.

При расширении выработок малого сечения используют шпуровые или скважинные заряды. Шпуры при круговом расширении выработок располагают веерами в плоскостях, перпендикулярных к оси выработки (рис. 71). При уступной проходке (см. рис. 67) перпендикулярно к оси выработки бурят шпуры, а при параллельном оси выработки заложении зарядов эффективна и скважинная проходка.

Расстояния между плоскостями вееров принимают 0,8—1,2 м. В один прием взрывают вееры на участке 10—15 м. Максимальное расстояние между шпурами на контуре проектного сечения выработки выдерживают равным 0,8—1,2 м. Устья шпуров сближены в соответствии с их глубиной и сечением опережаю-

шей и проектной выработок Перебур шпуров за проектный контур в крепких породах равен 0,1—0,2 м.

При уступной проходке глубина вертикальных шпуров равна высоте уступа или на 0,2—0,4 м больше ее. Расстояние между шпурами и рядами шпуров 0,8—1,2 м. Глубина параллельных оси выработки шпуров или скважин равна длине заходки или кратна ей. Как и при вертикальном расположении шпуров, заряды дробления при горизонтальном заложении располагают по квадратной сетке. Расстояние между скважинами 2,5—4 м.

Шпуровыми зарядами проводят различного рода подземные камеры, рудоспуски и вспомогательные выработки.

12.5. ШПУРЫ И СКВАЖИНЫ ПРИ ПРОХОДКЕ СТВОЛОВ И ВОССТАЮЩИХ

Шахтные стволы и восстающие проходят преимущественно с помощью шпуров. Все шире скважины используют при проходке и расширении восстающих, где они позволяют получить весь восстающий или его расширение за один взрыв.

Нисходящие выработки (стволы) сплошным забоем проходят с помощью шпуровых зарядов диаметром 52—60 мм. Основные параметры их заложения аналогичны отмеченным для горизонтальных выработок. В стволах прямоугольного сечения располагают шпуры по прямоугольной или квадратной сетке, в стволах круглого сечения — по концентрическим окружностям. Ориентировочное соотношение между врубовыми, вспомогательными и оконтуривающими шпурами при воронкообразном врубе составляет: при трех окружностях — 1:2:3,6; при четырех — 1:1,8:2,7:4,7 и при пяти — 1:1,5:2,1:2,8:5. Диаметры окружностей соответственно равны: при трех окружностях — 0,45, 0,75 и 0,95 диаметра ствола; при четырех окружностях — 0,35, 0,60, 0,80 и 0,95 диаметра ствола и при пяти — 0,30, 0,55, 0,70, 0,85 и 0,95 диаметра ствола.

Особенность *проходки восстающих* в том, что глубина шпуров на 15—30 % больше ширины выработки, т. е. большая, чем при проведении горизонтальных выработок. Возможно, это благодаря самоочищаемости глубокой врубовой полости от взорванной породы за счет ее выпадения под действием силы тяжести.

Все чаще в восстающих в качестве первоначального вруба используют передовую скважину диаметром 100—200 мм, пробуренную на всю высоту проходки, которая служит направляющей и для вентиляции. Врубные шпуры бурят на удалении 0,1—0,5 м от скважины параллельно ей. Вспомогательные и оконтуривающие шпуры располагают по той же схеме, что и без передовой скважины. Расчетный КИШ принимают в пределах 0,9—1,0.

Восстающие часто проходят скважинными зарядами. Сами восстающие впоследствии служат компенсационным простран-

ством при их расширении и преобразовании в отрезные щели, из которых затем получают компенсационные камеры больших размеров (до $20 \times 30 \times 50$ м).

Скважины диаметром 85—105 мм бурят на всю высоту выработки — до 50—60 м. В центральной части проектного контура располагают врубовые скважины, одну из которых оставляют незаряженной. Заряжаемые скважины располагают на удалении до 0,5 м от незаряжаемой. Отбойные скважины находятся на расстоянии 2,5—4 м одна от другой, оконтуривающие — на расстоянии 1,2—2 м. Расстояние между оконтуривающими скважинами не превышает 20 диаметров заряда. Взрывание выполняют поярусно (высота яруса 2,5—3 м) или на всю высоту.

Тупиковые восстающие проходят с опережающей скважиной, длина которой больше длины врубовых на 1,5—2 м. В этот перебур закладывают заряд, а остальная часть скважины служит компенсационной полостью для врубовых зарядов. Глубину скважин принимают при этом до 25—30 м. Заряд в перебуре, взрываемый с замедлением, очищает вруб от разрушенной породы.

Расширяют выработку вертикальными шпуровыми или скважинными зарядами. Возможно применение горизонтальных шпуров, которые располагают веерами с расстоянием между веерами по вертикали 0,8—1,2 м. Такое же расстояние принимают между концами шпуров, которые располагают на проектном контуре или на 0,1—0,2 м за ним. За один прием взрывают не менее 2—3 вееров.

Вертикальные скважины диаметром 85—100 мм бурят параллельно восстающему на глубину 25—30 м. Оконтуривающие скважины располагают по контуру выработки на расстоянии 1,2—2 м, расстояние между отбойными скважинами составляет 2,5—4 м. При большой глубине ствола применяют ярусное взрывание заходками до 50 м. Для уменьшения искривления их бурят сверху вниз.

Камеры, в которых располагают буровое оборудование, проходят мелкошпуровым способом.

При углах наклона выработки к горизонту менее 15° параметры заложения шпуров и скважин аналогичны проводимым в горизонтальных выработках. Сплошным забоем проходят, однако, только выработку площадью сечения менее 20 м^2 . При угле $30\text{--}45^\circ$ при тех же зарядах нижних шпуров отброс горной массы улучшается за счет силы тяжести. В выработках с уклоном более 45° схемы работ аналогичны схемам проходки вертикальных выработок.

12.6. ШПУРЫ И СКВАЖИНЫ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ

В очистных забоях для взрывной отбойки применяют скважины и шпуровые. Отбойку полезных ископаемых на крупных рудных (при мощности рудного тела более 6—8 м) месторождениях

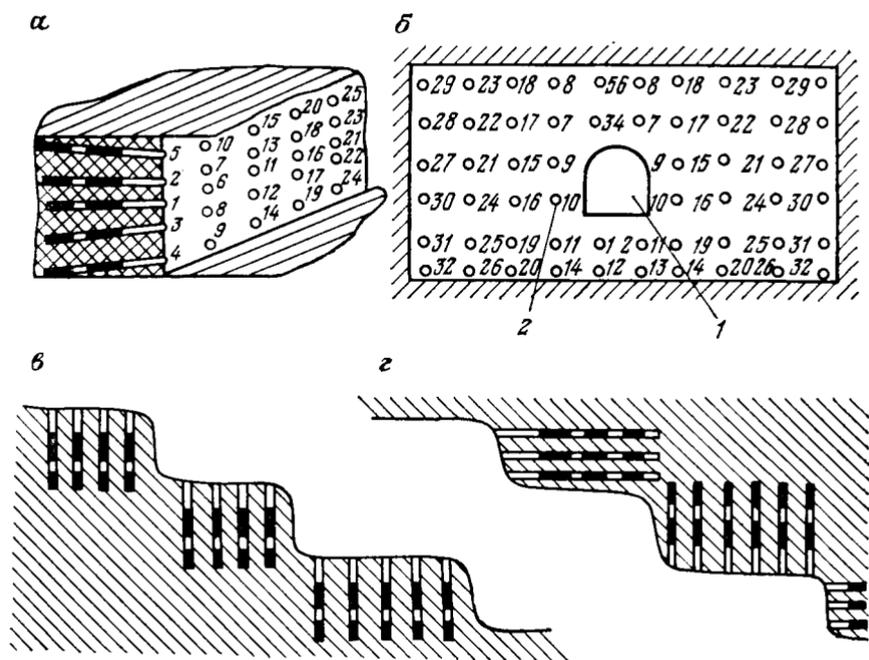


Рис. 72. Схемы расположения шпуров в лавах (а), при камерно-столбовой системе разработки (б), в почвоуступных (в) и потолокуступных (г) забоях

проводят скважинными зарядами, разработку ценных руд, жильных и пластовых (мощностью до 4—6 м) месторождений чаще ведут шпуровым методом.

Условия взрывания в очистных забоях разнообразны и зависят от свойств полезного ископаемого и кровли, а также принятой системы разработки. Особенности взрывов являются большое число одновременно взрывааемых зарядов, наличие дополнительной свободной поверхности, а также опасность обрушения кровли.

Шпуры в лавах бурят рядами по квадратной или прямоугольной сетке вдоль пласта перпендикулярно или наклонно к плоскости забоя (рис. 72, а). Число рядов определяется мощностью залежи, число шпуров в ряду — длиной заходки. Расстояние между шпурами в ряду и рядами шпуров составляет 0,6—1,2 м. Глубина шпуров зависит от устойчивости кровли и мощности пласта. Она определяет величину подвигания забоя и составляет 1,0—2,5 м.

Верхние и нижние ряды шпуров располагают на удалении 0,3—0,5 м от кровли и почвы пласта под углом 65—75° к ним. Отбойку выполняют порядным взрыванием вертикальных рядов зарядов с образованием дополнительной свободной поверхности, параллельной плоскости заложения шпуров.

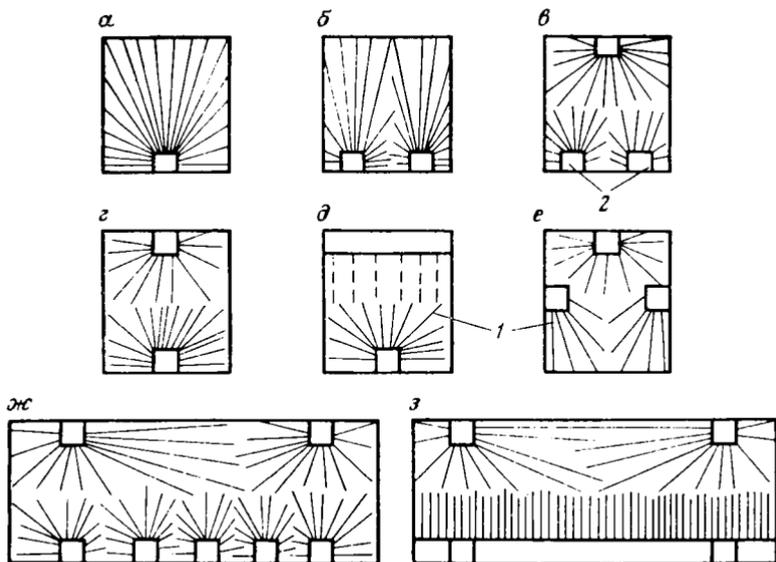


Рис. 73. Схемы расположения скважин при отбойке полезных ископаемых с принудительным обрушением:

а — веерное с одной выработки; *б* — веерное с двух выработок; *в* — веерное с двух нижних и одной верхней выработки; *г* — веерное с нижней и верхней выработок; *д* — нижнее веерное, верхнее — параллельное; *е* — веерное с трех выработок; *ж* — веерное с нижних пяти и верхних двух выработок; *з* — нижнее параллельное и верхнее веерное с двух выработок; 1 — скважины; 2 — штреки

При камерно-столбовой системе разработки проходят опережающую выработку 1, параллельно стенкам которой бурят шпуров 2 длиной 3—4 м (рис. 72, б). Взрывание производят на выработку, как на свободное пространство. Сначала взрывают ближние к выработке заряды, затем — все более удаленные.

Шпуровая уступная отбойка применяется при устойчивой кровле. В почвоуступных забоях шпуров бурят вертикально вниз (рис. 72, в), в потолкоуступных — как горизонтально, так и вертикально вверх (рис. 72, г). Расстояние между ними, рядами шпуров, а также первым рядом шпуров и откосом уступа принимается равным около $\frac{1}{3}$ глубины шпуров. Глубина шпуров 1,5—3 м, она на 0,2—0,4 м больше высоты уступа.

Скважинная отбойка наиболее эффективна и распространена. Диаметр скважин 36—190 мм, чаще всего 85—150 мм, глубина до 30—50 м. Бурят скважины параллельно открытой поверхности из буровых камер или штреков, обуривая все пространство вокруг и между ними. Дополнительную свободную поверхность для эффективного взрыва получают проведением так называемой компенсационной камеры.

Схемы послойного обуривания массива обычно комбинированные (рис. 73). Расстояние между скважинами при параллельном расположении зависит от их диаметра, свойств отби-

ваемого полезного ископаемого, типа ВВ, схемы взрывания и может быть равным 1—6,5 м. Расстояние между рядами скважин принимается 0,8—5 м. При встречном заложении скважин расстояние между их концами равно 1,2—2,5 м.

Глубина скважин в веерном комплекте не превышает 20—25 м. Расстояние между расходящимися концами скважин в веере не больше 1—6,5 м, расстояние между веерами скважин 0,8—5 м. Минимальное расстояние от скважин до вмещающих пород выше средней устойчивости равно 0,5—2,5 м. В менее устойчивых породах его увеличивают на 20—30 %.

Правильность расположения скважин обеспечивается маркшейдером и особенно тщательно выполняется контроль при веерном и пучковом бурении. Расхождение между фактическими и проектными параметрами заложения скважин не должно превышать ± 7 —10 %.

Глава 13

ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВЫРАБОТОК

13.1. ПАСПОРТ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ И РАСЧЕТ ЗАРЯДОВ

Производство взрывных работ связано с определенной опасностью для исполнителей и окружающих, а также с риском причинить повреждение оборудованию и сооружениям. Поэтому заряды рассчитывают и точно размещают во взрываемой среде с соблюдением правил техники безопасности. Выполняют буровзрывные работы только после получения разрешения Госгортехнадзора СССР на основании разработанной проектной документации.

Объем и состав документации определяются масштабом взрыва, сложностью и безопасностью работ. Взрывание шпуров и наружных зарядов производят по паспортам.

В паспорте буровзрывных работ при проведении выработок указывают следующие данные: наименование выработки; схему расположения шпуров в забое, которую составляют так, чтобы при одновременном взрывании исключался подрыв или обнажение заряда в соседнем шпуре; площадь забоя; характеристику пород; тип ВВ и средства инициирования, способ взрывания и число серий замедления; расчетные показатели взрыва — КИШ, подвигание забоя за один взрыв и объем отбитой горной массы; расход ВВ на 1 м выработки и на 1 м³ взорванной горной массы; характеристики шпуров и зарядов — числа шпуров и зарядов, глубину каждого шпура, угол наклона шпура к плоскости забоя, величину каждого заряда, длину и материал забойки, очередность взрывания шпуров; место укрытия взрывника и рабочих при взрыве; время проветривания забоя.

Пример паспорта для проведения горизонтальной выработки приведен ниже.

Паспорт буровзрывных работ для проведения полевого штрека

1. Наименование выработки: полевой штрек.
2. Схема расположения шпуров в забое (рис. 74).
3. Площадь забоя (поперечное сечение выработки в проходке): 7,6 м².
4. Характеристика взрывааемых пород: песчаники, известняки; слаботрепщивоватые; коэффициент крепости $f=8\div 10$.
5. Тип ВВ: аммонит № 6ЖВ. Средства взрывания: капсулы-детонаторы КД-8А и зажигательные патроны.
6. Способ взрывания: огневой.
7. Расчетные показатели взрыва: КИШ—0,85; подвигание забоя за один взрыв — 1,27 м; объем отбиваемой горной массы — 9,65 м³.
8. Расход взрывчатых материалов.

Показатели	Расход		Норма на бурение, м
	ВВ, кг	КД или ЭД, шт.	
На 1 м выработки	14,20	17,30	27,70
На 1 м ³ горной массы	1,87	2,28	3,65

9. Характеристика шпуров и зарядов

№ шпура	Глубина шпура, м	Угол наклона шпура, градус		Масса заряда, кг	Длина забойки, м	С очередность взрывания
		в проекции III	в проекции II			
1	1,75	70	90	1,0	0,55	В порядке нумерации шпуров
2—7	1,75	90	70	1,0	0,55	
8—11	1,55	90	80	0,8	0,60	
12—13	1,50	90	85	0,6	0,80	
14—15	1,50	90	85	0,6	0,80	
16	1,50	85	90	0,8	0,55	
17—18	1,50	85	85	0,8	0,55	
19—20	1,55	80	90	0,8	0,60	
21—22	1,55	80	85	0,8	0,60	
Всего	35,15	—	—	18,0	—	

10. Место укрытия взрывника и рабочих: смежная выработка.

11. В забой люди допускаются после его проветривания и осмотра взрывником и лицом технического надзора участка.

Паспорт подписывают начальники: участка, буровзрывных работ и службы вентиляции. Утверждает паспорт начальник или главный инженер шахты или рудника. Под расписку ознакамливают с ним инженерно-технических работников участка и персонал, выполняющий буровзрывные работы.

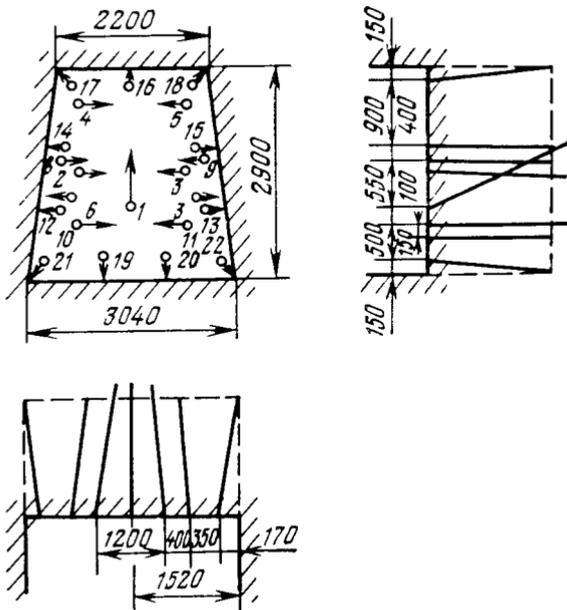


Рис. 74. Схема расположения шпуров в забое

Заряжать и взрывать можно только те шпуры, которые пробурены в соответствии с утвержденным паспортом буровзрывных работ.

Для составления паспорта сначала все параметры взрывания рассчитывают аналитически, как показано в 9.6. Уточняют глубину шпуров как параметр, в наибольшей мере определяющий экономические показатели работ. Для чего используют выражение

$$l_y = [T_{\text{ц}} - (Nt_3 + t_{\text{взр}})] / [N/N_6 v_6 + (\eta \varphi S_{\text{в}} \cos \alpha / V_{\text{гр}})],$$

где $T_{\text{ц}}$ — продолжительность цикла, ч; N — число шпуров, шт.; t_3 — продолжительность заряжания одного шпура, ч; $t_{\text{взр}}$ — продолжительность взрывания и проветривания забоя, ч; N_6 — число бурильных машин, шт.; v_6 — скорость бурения одной машиной, м/ч; φ — коэффициент учета совмещения во времени процессов бурения и погрузки породы; η — КИШ; α — угол наклона шпуров, градус; $V_{\text{гр}}$ — производительность погрузки, м³/ч; $S_{\text{в}}$ — площадь сечения выработки в проходке, м².

Затем опытным взрыванием корректируют глубину шпуров и остальные параметры взрывов, добиваясь чтобы величина КИШ была не менее 0,8—0,85 и в отбитой горной массе не было кусков более 250—300 мм при качественной проработке профиля выработки. Скорректированные параметры принимают в качестве паспортных.

13.2. ПОДГОТОВКА ЗАБОЯ К ВЗРЫВНЫМ РАБОТАМ

Забой к взрыву начинают подготавливать после проверки выполнения паспортных параметров буровых работ.

Неправильно пробуренные шпуры, чтобы не было ухудшения действия взрыва, либо исправляют, либо бракуют. При высоте выработок более 2 м готовят лестницы, помосты с перилами или телескопические площадки. Обеспечивают освещенность забоя неслепящим светом и удаляют предметы, затрудняющие выход взрывника в безопасное место и проветривание забоя. На расстоянии более 20 м от забоя *удаляют горные машины* и механизмы, убирают ранее отбитую горную массу, загромаждающую выработку более чем на одну треть ее поперечного сечения. Доводят отстаивание крепи в забое до величины, предусмотренной паспортом крепления. Укрепляют нарушенную крепь.

Сжатым воздухом или скребком тщательно *очищают шпуры*, особенно горизонтальные, от буровой мелочи. Содержание последней, в зависимости от способа бурения, свойств и влажности пород, может достигать 10—40 %. Уточняют забойником глубину и диаметр шпуров. В качестве забойников применяют деревянные, алюминиевые или медные стержни. Вокруг устья нисходящих шпуров очищают площадки в радиусе 30—40 см, чтобы исключить попадание в шпур камешков.

К забой *доставляют* ВВ, средства инициирования, заряжания и контроля взрывной сети. Применяют только ВВ, допущенные к взрыванию в подземных условиях. ВВ и средства инициирования переносят в сумках, кассетах или в заводской упаковке взрывники или под их наблюдением проинструктированные рабочие. Детонаторы и боевики переносят только взрывники. Подготавливают забоечный материал.

В *обводненных забоях* применяют водоустойчивые ВВ. Не водоустойчивые ВВ заранее, в помещении подготовки ВВ, помещают в защитные оболочки или покрывают их патроны водоизолирующей мастикой. Иногда эти работы выполняют непосредственно в забое. Гидроизолирующие покрытия тонкие, с массой не более 2,5 г на каждые 100 г ВВ.

Перед заряданием, после первого звукового сигнала (предупредительного продолжительного гудка или свистка), не занятых заряданием и взрыванием людей удаляют за пределы опасной зоны. В местах возможных подступов к забою, где производятся взрывные работы, выставляют посты охраны. В отдельных случаях с разрешения горнотехнической инспекции посты выставляют непосредственно перед взрыванием, а на период зарядания устанавливают предупредительные знаки. Выработки с исходящей вентиляционной струей закрепляют досками с запрещающими знаками. По разрешению главного инженера шахты здесь возможна установка лиц охраны в изолирующих самоспасателях, включаемых в период проветривания.

13.3. ЗАРЯЖАНИЕ

К взрыву подготавливают такое количество зарядов, какое будет взорвано за один прием. Величину и конструкцию каждого заряда выдерживают в соответствии с паспортом буровзрывных работ. Помимо боевиков помещать в заряды КД или ЭД запрещается.

Патрон-боевик устанавливают первым от забоя или от устья шпура. В рассредоточенных зарядах в каждую часть помещают по одному боевику. В глубоких шпурах часто используют дополнительные средства инициирования — нити ДШ без выхода их из шпура.

Вводят боевик в шпур осторожно, без толчков. Проталкивание и уплотнение боевика даже легкими ударами забойника недопустимы. При застревании боевика заряд относят к отказавшим и ликвидируют его как отказавший заряд. В шпуры глубиной больше 2 м опускание боевиков на огнепроводном шнуре зажигательной трубки, на проводах ЭД или на детонирующем шнуре, во избежание их выдергивания из боевиков, запрещается.

Россыпными ВВ вручную заряжают только вертикальные нисходящие шпуры. Их следует засыпать в шпур порциями по 150—200 г при помощи мерных кружек или совков через направляющие воронки из оцинкованной листовой стали, вставляемые в устья шпура. После засыпки каждой порции ВВ в шпур вводят забойник, которым проталкивают налипшие на стенки частицы или гранулы. Таким образом предотвращают образование пробок из застрявшего ВВ, а также уплотняют ВВ до требуемой плотности. Уплотняют ВВ нажатием забойника при различном усилии. Если необходима невысокая плотность заряжения, применяют шнур с узлами через 15—30 см. При засыпке ВВ шнур, поддегивая, извлекают из шпура, разрушая образующиеся пробки и разрыхляя ВВ.

Патронированные ВВ в нисходящий шпур опускают не более чем по два патрона. В случае застревания, если в шпуре нет боевика, их досылают забойником с приложением усилий, но без ударов. При заряжении восходящих шпуров, чтобы исключить выпадение, применяют патроны с косым продольным разрезом оболочки. Каждый такой патрон забойником уплотняется, повышается плотность заряжения и обеспечивается его удержание в шпуре. В обводненных забоях такое заряжение производят только с водостойчивыми ВВ. Боевик вводят с небольшим количеством легко расклинивающейся забойки или с пыжами.

В опасных по газу или пыли условиях разрезать и уплотнять патроны запрещено, они после боевика одновременно вводятся в шпур. Для их удержания применяют пыжи или расклинивающуюся забойку.

13.4. МЕХАНИЗАЦИЯ ЗАРЯЖАНИЯ ПАТРОНИРОВАННЫМИ ВВ

Патронированные ВВ заряжают преимущественно *зарядчиками метательного действия*. Толкающие зарядчики для шпуров распространения не получили. Механизация облегчает труд рабочих, в 2—5 раз повышает производительность, увеличивает плотность заряжания. Однако она не решает всего комплекса вопросов безопасности работ. Основная опасность при механизированном заряжании обусловлена значительными скоростями движения ВВ по зарядным шлангам из-за ударов их о забой, а также из-за пылеобразования и накопления зарядов статического электричества. Особенно опасна пыль, весьма чувствительная к искрам и электроразрядам.

В этой связи применяют только допущенные Госгортехнадзором СССР зарядчики. Какие-либо изменения их конструкции недопустимы без согласования с организацией-разработчиком и с одним из институтов по безопасности работ. К работе с зарядчиками допускают только взрывников, обученных по специальной программе.

Транспортирование ВВ производится по трубопроводам зарядчиков из токопроводящих или полупроводящих труб или шлангов с удельным сопротивлением не более 10^6 Ом·см. Все элементы заземляют, скорость подачи патронов толкающими зарядчиками ограничена 0,6 м/с, а метательными — 10 м/с.

Нитроэфиро- и гексогеносодержащие ВВ, как и боевики, заряжают только вручную. Причем при электрическом взрывании боевики устанавливают после окончания заряжания и удаления из забоя заряжающих устройств. Для уменьшения пыления и накопления статического электричества ВВ смачивают.

Для заряжания скважин большого диаметра и глубины за рубежом предложена конструкция зарядчика, так называемая зарядная пушка. Пушка состоит из металлического цилиндра с расширителями на концах, которые оборудованы импульсными клапанами. Она вводится в скважину и перемещается по ней за счет работы расширителей. Патроны ВВ выталкиваются в скважину энергией сжатой пружины.

13.5. МЕХАНИЗАЦИЯ ЗАРЯЖАНИЯ РОССЫПНЫМИ И ВОДОСОДЕРЖАЩИМИ ВВ

Для механизированного заряжания используют только гранулированные и водосодержащие ВВ. Гранулированные ВВ заряжают зарядчиками *эжекторного* и *камерного* типов, работающими, как и все другие, от сжатого воздуха при давлении 2,5—7 атм. Водосодержащие ВВ заряжают *диафрагменными* и *ротторными* насосами. Более опасны эжекторные зарядчики из-за большей (до 25 м/с) скорости транспортирования ВВ и высокого

давления (более 5 атм) и расхода воздуха. При значительной скорости движения гранулы разрушаются. Выделяется много пыли, которая опасна не только чувствительностью к электроискре, но и тем, что, оседая на внутренней поверхности зарядного шланга, превращает его из полупроводящего в диэлектрический. При использовании игданита на поверхности шланга образуется также пленка дизельного топлива с высоким электрическим сопротивлением.

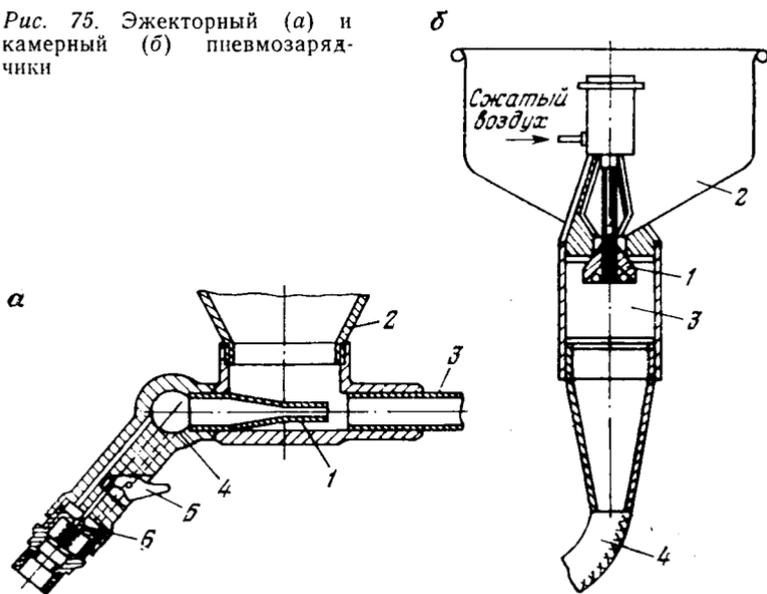
Электризация повышается при увеличении числа перегибов шланга и уменьшении радиуса их закругления, что увеличивает число соударений и трение частиц одна о другую и о поверхность шланга. Чем выше влажность воздуха в забое, тем ниже электризация, в связи с чем эффективно смачивание ВВ. Большое значение имеет смачивание при зарядании восходящих шпуров, способствующее не только уменьшению пылеобразования, но и уплотнению и расклиниванию ВВ.

В *эжекторных ручных зарядчиках* для зарядания горизонтальных и наклонных шпуров «Курама-7м» (ЗЭП-Г) и вертикальных шпуров — «Курама-8» (ЗЭП-В) выходящий из эжектора 1 сжатый воздух увлекает из воронки 2 гранулы ВВ и вносит их по трубке 3 в шпур (рис. 75, а). Для управления заряданием служит рукоятка 4 с пусковым рычагом 5 и клапаном 6.

Вместимость воронки для ВВ 8 л, масса зарядчика в снаряженном состоянии 10,5 кг, производительность зарядания 12—18 кг/мин.

Камерные зарядчики типа ЗП предназначены для зарядания шпуров и скважин. Отличаются наличием дозирующей камеры и

Рис. 75. Эжекторный (а) и камерный (б) пневмозарядчик



по принципу действия относятся к нагнетательным. С помощью конусного затвора 1 ВВ из загрузочной воронки (бункера) 2 просыпается в дозатор 3 и заполняет его (рис. 75, б). Затем сжатым воздухом эта порция ВВ вытесняется из дозатора в зарядный трубопровод 4 и далее в шпур или скважину.

Масса порции ВВ составляет 0,5—25 кг, вместимость загрузочной воронки 20—75 л, диаметр заряжаемых шпуров и скважин 32—150 мм, производительность 15—170 кг/мин, масса зарядчика 12—40 кг, дальность транспортирования ВВ до 30—150 м.

Вместимость камерных зарядчиков выбирают из расчета заряжения всех шпуров комплекта с одной-трех загрузок. При вместимости до 30 л зарядчики выполняют переносными, при 50—75 л — переносными и передвижными. Величину заряда определяют по количеству порций ВВ, а в случае эжекторных зарядчиков — по длине заряда, контролируемой метками на зарядной трубке, вводимой при зарядании в шпур.

Из установок для *механизированного заряжения шпуров* водосодержащими ВВ эффективнее диафрагменные. Установка УМЗ-1, производительностью 1 м³/ч с вместимостью бункера 60 кг, предназначена для работы в различных выработках. Может быть смонтирована на шахтных бурильных установках, характеризуется дальностью транспортирования ВВ до 80 м.

13.6. ЗАБОЙКА ШПУРОВ И МОНТАЖ ВЗРЫВНОЙ СЕТИ

При забойке важно плотно запереть заряд, не повредив провода или шнуры боевиков, обеспечив безопасность работ.

Материалом для забойки служит буровая мелочь, песок, песчано-глиняная смесь, вода и др. В восстанавливающих шпурах применяют пластичные смеси, из которых готовят пыжи длиной 100—200 мм и диаметром на 5—6 мм меньше диаметра шпура.

Первые 2—3 пыжа вплотную до заряда доводят без нажатия и лишь последующие уплотняют забойником. В нисходящие шпуры помещают сыпучую забойку, между забойкой и зарядом устанавливают бумажный пыж, исключаяющий ее просыпание между патронами и шпуром и попадание ее в заряд. Провода или шнуры боевиков в процессе забойки ослабляют, чтобы избежать разрыва; при извлечении забойника из шпура их придерживают, чтобы не выдернуть детонатор из заряда.

Забойку шпуров при использовании песка выполняют вручную. Механизировать работы можно с помощью пневмозабойников. В принципе их конструкция достаточно простая и представляет собой цилиндрический стальной сосуд, закрываемый крышкой, из которого с помощью сжатого воздуха по трубке песок подается в шпур. Однако на практике пневмозабойники до сих пор распространения не получили из-за трудоемкости работ.

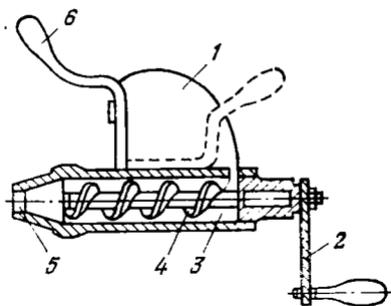


Рис. 76. Пыжеделка ПР-1

Все больше применяются, особенно при проведении горных выработок в опасных условиях, различного типа гидрозабойки. Изготавливают такие забойки с помощью полиэтиленовых ампул, снабженных обратными клапанами простейшей конструкции, исключающими утечки воды из ампул до момента взрыва. Воду в ампулы заливают либо заблаговременно в пункте подготовки ВВ, либо на месте производства взрывных работ. В шпур ампулы вводят вручную.

При использовании песчано-глиняной смеси применяют простейшие приспособления, механизующие изготовление пыжей.

Пыжи изготавливают с помощью пыжеделок (рис. 76). Пластичную смесь помещают в воронку 1, откуда рычагом 6 вытесняют в полость 3 со шнеком. При вращении рукоятки 2 шнек 4 выдавливает материал через отверстие 5. Производительность установки до 30 пыжей в минуту.

Монтаж взрывной сети проводят наиболее опытные взрывники. Монтируют сеть в отступающем порядке — от шпуров к укрытию, сверху вниз, от одной стенки к другой, от зарядов к источнику тока.

В безопасном месте взрывник размыкает концы магистральных проводов и измеряет сопротивление сети или ее проводимость. При исправности сети провода подключают к источнику тока. При разнице в расчетном и измеряемом сопротивлениях сети больше 10 % концы магистральных проводов отсоединяют от источника тока и накоротко замыкают. Взяв с собой ключ от источника тока, осматривают сеть и исправляют место повреждения — плохо зачищенные контакты и т. п.

13.7. ПРОИЗВОДСТВО ВЗРЫВОВ

Если взрывная сеть исправна, дают боевой сигнал — два продолжительных звуковых сигнала. По этому сигналу зажигают ОШ и удаляются в укрытие, а при электровзрывании — включают ток.

При проведении выработок встречными забоями и сбойке выработок, когда расстояние между забоями достигает 20 м и меньше, взрывы в каждом из них выполняют только разновременно и после сообщения о выводе людей из противоположного забоя и выставления там охраны. Если целик между за-

боями меньше 7 м, работы ведут только в одном забое при бурении опережающего шпура. В наклонных выработках с углом падения свыше 30° взрывание производят только из укрытия.

При *огневом способе инициирования* первоначально зажигают контрольный отрезок, затем — пучок наиболее длинных отрезков ОШ удаленных зарядов. После чего зажигают пучки коротких отрезков. В забоях шириной больше 5 м допускается одновременное зажигание трубок двумя взрывниками. Один из них назначается старшим и он зажигает контрольный отрезок, регулирует начало зажигания трубок и своевременный отход взрывников в укрытие. В соседних забоях одновременное зажигание трубок производят, когда имеется возможность отчетливо слышать и считать взрывы зарядов в каждом забое. В выработках большого сечения огневое инициирование выполняют не более как в двух смежных ярусах. На одном горизонтальном ярусе за один прием иницируют не более 10 зарядов, на двух — не более восьми.

13.8. ОСМОТР ЗАБОЯ И ЛИКВИДАЦИЯ ОТКАЗОВ

Счет взорвавшихся зарядов ведут при огневом и электроогневом инициировании. Убедившись, что все заряды взорваны, можно выходить из безопасных мест. Если число взрывов меньше числа зажженных отрезков ОШ или если счет взрывов был затруднен, подходить к месту взрывания разрешается не ранее, чем через 15 мин после последнего взрыва. При работе нескольких взрывников выход из укрытия разрешает старший взрывник.

При электрическом инициировании забой осматривают после полного его проветривания, отсоединения магистральных проводов от источника тока и замыкания их накоротко. В любом случае из укрытия выходят не ранее, чем через 5 мин после взрывания.

Если взрыва не произошло, отсоединяют магистральные провода от источника тока и накоротко замыкают их концы. Ключ от источника тока берут с собой и не ранее 10 мин, независимо от типа ЭД, подходят к месту взрыва для выяснения причины отказа. После устранения дефектов монтажа сети производят повторное взрывание.

При обнаружении отказа отказавшие заряды ликвидируют немедленно. Когда эти работы не могут быть закончены в данной смене, их продолжение поручают взрывнику очередной смены с соответствующей отметкой в наряд-путевке и журнале для записи отказов и времени их ликвидации.

Если отказавшие заряды не могут быть иницированы по причинам технического характера (неустраняемые нарушения взрывной сети, невозможность введения в заряд нового боевика и др.), уведомляют об этом руководителя взрывных работ или лицо технического надзора. Такие заряды рассматривают как отказы и ликвидируют по специальному проекту.

После ликвидации отказа осматривают горную массу и собирают обнаруженные ВМ отказавшего заряда, после чего допускают к разборке и уборке породы ручным способом и устанавливают отсутствие остатков ВМ. Собранные ВМ сдают на склад.

13.9. ДОПУСК РАБОЧИХ В ЗАБОЙ

При отсутствии или ликвидации отказов подают три коротких сигнала — отбой. Он означает окончание взрывных работ. После этого снимают посты охраны опасной зоны.

Допуск рабочих в забой разрешает лицо технического надзора, ответственное за ведение взрывных работ в данной смене. Разрешается допуск после того, как установлено, что работа в месте взрыва безопасна. Кроме остатков ВМ в забое не должно быть ядовитых газов выше допустимых норм: окислов азота и углерода, сероводорода и сернистого газа.

В каждый забой подают увеличенное количество свежего воздуха. Перед допуском рабочих концентрация ядовитых продуктов взрыва после проветривания забоя в течение не более 30 мин должна быть не более 0,008 % по объему в пересчете на условную окись углерода. В течение 2 ч после допуска рабочих воздух подают к местам взрывания в тех же количествах, что и перед допуском. Концентрация газов при этом снижается: до 0,0024 % (по объему) окиси углерода; до 0,0001 % окислов азота; до 0,00035 % сернистого газа и до 0,00066 % сероводорода.

13.10. КОНТУРНОЕ ВЗРЫВАНИЕ

При проведении выработок с длительным сроком службы для уменьшения нарушенности и устойчивости массива, а также снижения затрат на укрепление выработок применяют контурное взрывание. Оно обеспечивает минимальное воздействие на массив и проектное оконтуривание выработки с относительно ровными стенками и кровлей. Достигают этого уменьшением расстояния между оконтуривающими шпурами, применением патронов уменьшенного диаметра, рассредоточением частей заряда, использованием низкобризантных ВВ, применением демпферных прокладок и уменьшением л. н. с.

Контурное взрывание выполняют, инициируя оконтуривающие заряды до взрыва остальных (предварительное оконтуривание) или после взрыва остальных (последующее оконтуривание) зарядов. Предварительное оконтуривание применяют в выработках большого сечения и там, где допустимо отставание крепи от забоя, так как при этом часто нарушается крепь. Последующее оконтуривание применяют в выработках обычного сечения. Инициирование электрическое, короткозамедленное. Оконтуривающие шпуры взрывают одновременно.

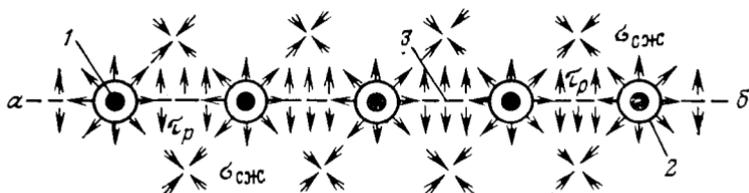


Рис. 77. Схема взаимодействия взрывов оконтуривающих зарядов при контурном взрывании

Взаимодействие взрывов сближенных смежных зарядов 1, диаметр которых меньше диаметра шпуров 2, приводит к концентрации растягивающих тангенциальных напряжений τ_p вдоль линии размещения зарядов (рис. 77). По мере удаления от этой линии величина растягивающих напряжений, за счет взаимодействия со сжимающими напряжениями $\sigma_{сж}$, падает, в результате чего массив разрушается преимущественно вдоль линии оконтуривающих зарядов, т. е. по контуру выработки $a-b$. Чтобы исключить разрушение законтурной части массива отраженной волной, расстояние между оконтуривающими зарядами a_k принимают таким, при котором трещины 3 между зарядами образуются раньше, чем отраженная от ранее взорванной центральной части забоя волна растяжения подойдет к контуру выработки.

Расстояние a_k принимают

$$a_k \leq (0,8 - 1,0) (W_k - l_T),$$

где l_T — глубина трещинообразования от взрыва последнего ряда отбойных зарядов, м; W_k — л. н. с. контурных зарядов, м.

При предварительном щелеобразовании величину W_k выбирают в зависимости от трещиноватости горных пород. В табл. 13 приведены рекомендуемые л. н. с. в различных породах. Расстояние между зарядами принимают равным 0,2—0,4 м.

Число шпуров (без шпуров по почве) определяют из выражения

$$N_k = 1,05P/a_k + 1,$$

где P — проектный периметр выработки без нижнего основания, м.

Таблица 13

Породы	Расстояние между трещинами, м	Л. н. с. оконтуривающих шпуров, м
Монолитные	Более 1—1,5	0,5—0,6
Среднетрещиноватые	0,15—1,0	0,6—0,7
Сильнотрещиноватые	Менее 0,15—0,2	0,7—0,8

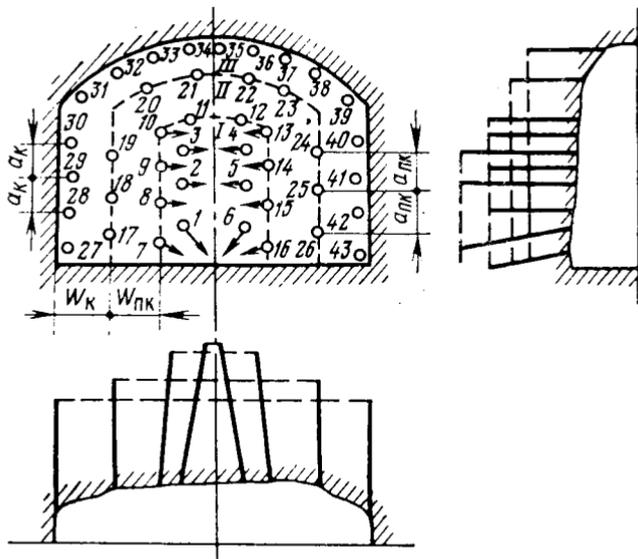


Рис. 78. Схема расположения шпуров при контурном взрывании

Величину л. н. с. W_k и расстояние между шпурами a_k принимают в 1,2—1,4 раза меньшими, чем соответствующие показатели $W_{ПК}$ и $a_{ПК}$ предконтурных отбойных зарядов (рис. 78). Глубина оконтуривающих шпуров составляет 0,8—0,9 глубины отбойных шпуров.

При заряджании оконтуривающих шпуров вдоль заряда прокладывают одну-две нити ДШ. Патроны нормального диаметра устанавливают с осевыми зазорами, патроны малого диаметра (зазор между стенками шпура и патроном 15—20 мм и больше) — вплотную один к другому. В случае демпферных прокладок патроны рассредоточивают. Прокладки в шпуре располагают со стороны массива.

В забоях с ровной поверхностью в донных частях шпуров размещают дополнительный донный заряд массой 0,2—0,4 кг.

Глава 14

ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОХОДКЕ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ

14.1. ВЗРЫВЧАТЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РАБОТ В СТВОЛАХ И ВОССТАЮЩИХ

С помощью взрыва шахтные стволы проходят в породах с различным коэффициентом крепости. Применяют электрическое или бескапсюльное инициирование, а в сухих и увлажненных забоях — иногда и электроогневое.

Для высокой эффективности проходки обеспечивают КИШ не менее 0,8 и кусковатость взорванной породы не более 250—300 мм, а также минимум средств и времени на выполнение всех операций проходки в целом. Большое влияние на показатели работ оказывает выбор ВВ.

В породах выше средней крепости стремятся заряжать шпуры по возможности более мощными ВВ, такими, как аммонит скальный и детонит. Шпуры бурят диаметром 36—52 мм в соответствии с диаметром применяемых патронов. Зазор между патронами и стенкой шпура принимают около 3 мм. Преимущественно используют патроны диаметром 45 мм. В результате не только повышается КИШ, но и сокращается время на бурение и зарядание.

Хорошими показателями характеризуются водосодержащие ВВ — акваниты ЗЛ и № 16, акванал № 1. Заполняя на все сечение шпуры, они за счет высокой объемной концентрации энергии взрыва, повышенной плотности и скорости детонации уступают по эффективности в крепких и крепчайших породах только аммониту скальному № 1, превосходя его по экономическим показателям.

В породах средней и ниже средней крепости, кроме водосодержащих ВВ, эффективны водоустойчивый аммонал, аммонит № 6ЖВ, а также граммонал А-8. В опасных по газу или пыли условиях применяют победит ВП-4 и аммонит АП-5ЖВ. При контурном взрывании эффективны нечувствительные к переуплотнению детониты в патронах диаметром 28 мм. В сухих забоях можно применять гранулированные ВВ — граммонит 79/21, гранулиты АС и игданит.

Проходку висящих скважинами выполняют, применяя не столько патронированные аммонит № 6ЖВ и водоустойчивый аммонал, сколько гранулированные ВВ — граммонал А-8 и граммонит 79/21В. Эффективность граммонала А-8 повышается по мере роста крепости взрываемых пород. В породах средней и ниже средней крепости рациональны гранулиты АС и игданиты.

Средствами инициирования служат электродетонаторы или детонирующие шпуры. Гранулированные и водосодержащие ВВ инициируют шашками-детонаторами, а также патронами аммонита № 6ЖВ или детонитов. Источники тока обычно сетевые. При подходе забоя к токопроводящему пласту на 5 м и на протяжении 20 м после его пересечения используют источники только постоянного тока. В опасных по газу или пыли условиях применяют взрывные приборы во взрывобезопасном исполнении.

Применяют электродетонаторы с длиной концевых проводов больше 2,5 м в водоустойчивой изоляции. В качестве соединительного провода применяют медный сечением не менее 4 мм² или алюминиевый сечением не менее 6 мм² провод. Из них в забое изготавливают при монтаже электровзрывной сети так называемую антенну.

14.2. РАСЧЕТ ЗАРЯДОВ И СОСТАВЛЕНИЕ ПАСПОРТА БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

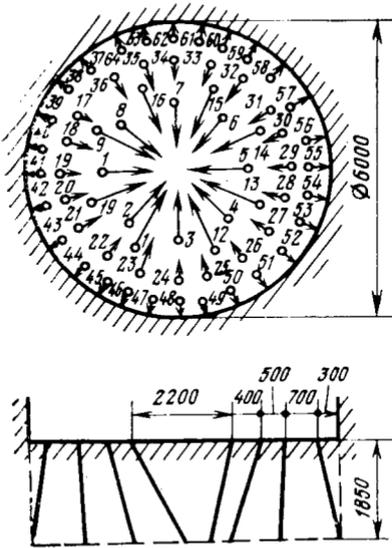


Рис. 79. Схема расположения шпуров в забое ствола шахты

Взрывы в стволах выполняют по паспортам. Их, как и при проведении горизонтальных выработок, составляют на основании опытной доработки расчетных параметров.

Сначала рассчитывают параметры взрыва в соответствии с 9.6, что позволяет установить их величины, близкие к оптимальным по фактору размеров выработки. Затем уточняют глубину шпуров l с учетом факторов бурения l_b , погрузки l_n , водоотлива l_v , подъема $l_{пд}$ и совмещения бурения с погрузкой породы l_c .

Глубину шпуров принимают наименьшей из полученных значений l , l_b , l_n и l_c . В то же время она должна быть больше l_v и меньше $l_{пд}$.

Опытными взрывами уточняют полученные параметры. Глубину шпуров на протяжении всей проходки принимают постоянной, если породы не сильно различаются по прочностным свойствам. Типичный паспорт буровзрывных работ приведен ниже.

Паспорт буровзрывных работ в забое шахтного ствола

1. Наименование выработки: ствол шахты.
2. Схема расположения шпуров в забое (рис. 79):
3. Площадь забоя (поперечное сечение выработки в проходке): 28,3 м².
4. Характеристика взрывааемых пород: известняки, песчаники; плотные, коэффициент крепости $f=8 \div 12$.
5. Тип ВВ: аммонит скальный № 1. Средства инициирования: электродетонаторы ЭДКЗ-15.
6. Способ взрывания: электрический. Число серий замедления: четыре.
7. Расчетные показатели взрыва: КИШ — 0,95; продвижение забоя за один взрыв — 1,75; объем отбиваемой горной массы — 48,3 м³.
8. Расход взрывчатых материалов и бурения

Показатели	Расход		
	ВВ, кг	КД или ЭД, шт.	бурения, м
На 1 м выработки	42,50	38,2	74,3
На 1 м ³ горной массы	1,54	1,35	2,61

9. Характеристика шпуров и зарядов

№ шпура	Глубина шпура, м	Угол наклона шпура в проекции II, градус	Масса заряда, кг	Длина забойки, м	Очередность взрывания
1—8	2,35	60	1,4	0,7	I
9—16	2,00	70	1,2	0,6	II
17—36	1,85	85	1,2	0,4	III
37—64	1,90	80	1,0	0,5	IV
Всего	125,0	—	74,4	—	—

10. Место укрытия взрывника и рабочих: за пределами надшахтного здания.

11. В забой люди допускаются после его проветривания и осмотра взрывником и лицом технического надзора.

Утверждает паспорт начальник или главный инженер шахтостроительного управления, подписывают начальники буровзрывных работ и службы вентиляции, бригадир проходчиков. Под расписку знакомят с ним инженерно-технических работников и персонал, выполняющий буровзрывные работы в стволе.

14.3. ДОСТАВКА ВЗРЫВЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ К ЗАБОЮ

В ствол взрывчатые материалы спускают после удаления из забоя на поверхность и на безопасное расстояние пневмопогрузчиков, бурового и другого оборудования и инструментов, а также выезда на поверхность рабочих. Спуск и подъем ВМ производят бадьями, причем ВВ транспортируют отдельно от СИ. Скорости движения не превышают 1 м/с. Боевики при спуске помещают в специальные обшитые войлоком сумки или ящики в количествах, необходимых для данной серии взрывов. В каждую сумку или ее отделения помещают боевики с детонаторами одной ступени замедления. Спуск патронов-боевиков в самопрокидывающихся и разгружающихся через дно бадьях запрещается. Доставляют боевики к стволу, спускают в забой и выгружают из бадья только взрывники. ВВ в забой доставляют взрывники или проинструктированные проходчики в их присутствии. Патроны опускают в ящиках, сумках, гранулированные и водосодержащие ВВ — в заводской упаковке (мешках, пакетах).

В забое при спуске ВМ находятся только машинист насоса, подносчики ВВ и взрывники, занятые заряданием и взрыванием. На рабочем полке и натяжной раме остаются лица, сопровождающие бадью через раструбы.

При проходке восстающих шпуровым способом доставку ВМ к забою осуществляют полком, на котором отсутствуют лица,

не участвующие в подготовке взрыва. В остальном доставка ВМ при проходке восстающих аналогична применяемой при проведении горизонтальных выработок.

14.4. ЗАРЯЖАНИЕ

К заряданию приступают после проверки количества, расположения, направления, глубины и проходимости шпуров, а также после очистки их от буровой мелочи.

Заряжают шпуры взрывники или мастера-взрывники. Их число определяется площадью забоя. При скоростной проходке на каждого из них приходится 4—6 м², при обычной — 7—10 м² забоя. Для повышения качества работ и ответственности все шпуры разделяют таким образом, чтобы каждый взрывник заряжал всегда одну и ту же группу шпуров. Взрывник и бригадир проходчиков заряжают самые важные шпуры — врубовые и зачастую оконтуривающие, а также производят монтаж антенн и электровзрывной сети.

Уменьшения возможности отказов в шпурах глубиной больше 2,5 м и при диаметре патронов 32—36 мм добиваются прокладкой ДШ вдоль всего заряда. Максимальный эффект взрыва получается, когда ДШ в шпуре расположен со стороны массива. Если диаметр патронов 45 мм, ДШ не применяют из-за ощутимого (на 6—10 мм) увеличения диаметра шпура, падения давления продуктов взрыва в нем и уменьшения скорости бурения.

Каждый заряжающий имеет при себе боевик и патроны в количестве, необходимом для зарядания шпура. Патроны опускают в шпур по одному, без задержек, чем исключают породные пробки между ними. Боевик досылают осторожно, следя за тем, чтобы не нарушить изоляцию проводов и целостность ДШ. Забойник вводят при слегка натянутых и отведенных к стенке шпура проводах ЭД или нитях ДШ. При помещении боевика от забоя шпура первым его располагают так, чтобы доньшко детонатора было обращено к заряду.

В ряде случаев зарядание ведут попарно. Один продувает и заряжает шпуры, другой подносит патроны и боевики и производит забойку шпуров. Патроны порошкообразных и водосодержащих ВВ (акваниты № 16 и акванал № 1) надрезают по диагонали и уплотняют нажатием забойника. В шпуры глубиной более 2 м боевики массой более 2 кг опускают с помощью дополнительного провода или шпагата.

14.5. МЕХАНИЗАЦИЯ ЗАРЯЖАНИЯ ШПУРОВ И СКВАЖИН В СТВОЛАХ И ВОССТАЮЩИХ

Механизированное зарядание в стволах не получило должного распространения. Одна из причин заключается в широком применении аммонита скального и детонитов, другая — обуслов-

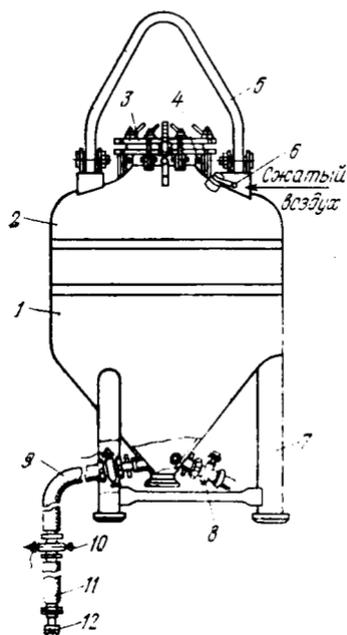


Рис. 80. Зарядчик ствольной ЗС-1 для водосодержащих ВВ

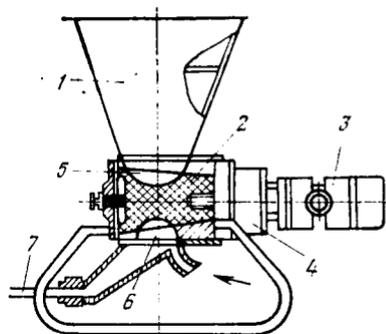


Рис. 81. Зарядная установка УЗС-1500 для сухих ВВ

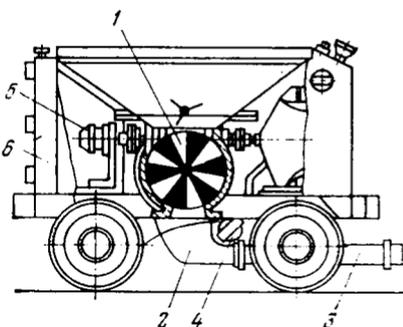


Рис. 82. Универсальная зарядно-доставочная машина УЗДМ-1 для сухих ВВ и приготовления игданита

лена простотой заряжания нисходящих шпуров при небольших объемах работ.

При проходке в слабых породах, когда применяют гранулированные ВВ, используют *камерные зарядчики* типа ЗП (ЗП-1 или ЗП-2). Диаметр зарядного шланга 25 мм, заряжаемых шпуров 32—56 мм, масса порции ВВ 0,5—2 кг.

Для заряжания акванитом ЗЛ предназначен *стволовой зарядчик* нагнетательного действия ЗС-1. Однако на производстве широкого применения он не нашел.

Состоит зарядчик из цилиндрического корпуса 2, с коническим нижним днищем 1, установленного на стойке 7 (рис. 80). Акванит ЗЛ заливают через горловину 4, закрываемую откидной крышкой 3. Их соединение уплотняют резиновым кольцом. Сжатый воздух подают через штуцер 6, а ВВ из зарядчика вытесняется через шесть штуцеров с пробковыми кранами 8.

Подводящие шланги 9 с заряжающими 11 соединяют кранами 10. На конце заряжающего шланга крепят наконечник 12

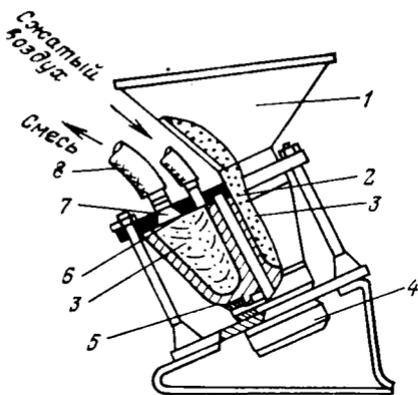


Рис. 83. Роторный насос РПН

Шпур в восстающих заряжают так же, как и при расширении горизонтальных выработок. Заряжание скважин гранулированными ВВ выполняют теми же установками, что и на очистных работах. В ряде случаев применяют более мощные камерные зарядчики (ЗП-12 и ЗП-25) — масса порции ВВ 12—25 кг; вместимость бункера 60 л; производительность 120—170 кг/мин.

Барабанные (УЗС) и роторные (РПН) зарядчики применяют как для доставки ВВ с откаточного горизонта в забой, так и для заряжания скважин глубиной до 50 м при диаметре 50—150 мм. Дальность транспортирования ВВ по горизонтали 250 м, по вертикали 70—100 м.

Установка УЗС-1500 состоит (рис. 81) из бункера 1, скрепленного с барабанным питателем 2. Барабан вращается пневмодвигателем 3 через редуктор 4. ВВ из бункера попадает в ячейки 5 барабана, который подает дозы ВВ в камеру 6, откуда сжатым воздухом они выталкиваются в зарядный шланг 7 и далее в скважину. Установка УЗС-6000 характеризуется большей, чем УЗС-1500, производительностью — 6000 кг/ч.

Для приготовления игданита и заряжания скважин применяют универсальную зарядно-доставочную машину УЗДМ-1 (рис. 82). Барабан питателя 1 при вращении передает дозы селитры в разгрузочную камеру 2. Воздух выталкивает их в зарядный шланг 3, где из форсунки 4 с помощью гидронасоса 5 в них впрыскивается дизельное топливо из бака 6. Вместимость бункера 0,3 м³, производительность машины 800 кг/ч.

Модификацией УЗДМ-1 является машина ЗБМС-2, которая изготавливает и заряжает аквапит раздельного заряжания АРЗ. Машина снабжена насосом-дозатором для подачи жидкого компонента в поток воздуха, которым из смесительно-разгрузочной камеры дозы сухих компонентов аквапита транспортируются в скважину. Производительность машины 6000 кг/ч, вместимость бункера 0,3 м³. Машинной можно заряжать и грану-

с шаровым клапаном, исключая самопроизвольное вытекание ВВ. Открывается клапан под действием сжатого воздуха при открывании кранов 8 и 10 при зарядании шпура. Чтобы уменьшить смешение ВВ с водой, на накопник устанавливают резиновые уплотнительные манжеты. Они же обеспечивают выталкивание шланга из шпура по мере заливки. Контролируют зарядание по меткам на шланге. Для подвески зарядчика при его спускании и подъеме по стволу служит дужка 5.

лированные ВВ, смачивая их водой, уменьшающей электризацию и исключаяющей пылеобразование.

Более производительны и надежны роторные насосы-зарядчики, которые имеют более высокую, за счет сопряжения плоских поверхностей, герметизацию. Дозирующие камеры 3 ротора 5 загружаются ВВ самотеком из загрузочной воронки 1 через отверстие 2 (рис. 83). К разгрузочному отверстию 7 подсоединен зарядный шланг 8, порции ВВ в который выталкиваются из каждой камеры сжатым воздухом, подводимым через отверстие 6 при вращении ротора приводом 4.

Патронированные ВВ — порошкообразные и водосодержащие — заряжают преимущественно метательными зарядчиками ПЗК. Из толкающих зарядчиков предпочтителен ЗЛ-2Б. Метательные зарядчики пневматические — сжатым воздухом патроны в них транспортируются из патронника по алюминиевой трубке в скважину. Доставка патрона ВВ к забою скважины в случае толкающего зарядчика производится механическим способом — штангой-забойником, которая с помощью пневмопривода подается в глубь скважины. Пробуксовка подающих роликов при заклинивании патрона в скважине разогревает их и при просыпании ВВ может привести к преждевременному взрыву.

14.6. ЗАБОЙКА

В стволах в качестве забойки используют песок, гравий, граншлак, песчано-глинистые пыжи. В обводненных забоях забойкой служит вода.

Вводят в шпур сыпучую забойку пневмозабойником или вручную — совком. Пыжи раздавливают забойником до заполнения ими всего сечения шпура. Максимальную осторожность проявляют, вводя первые небольшие порции. Ударное воздействие на боевики уменьшают бумажными пыжами, которыми разделяют заряд и забойку.

При бескапсюльном иницировании, а также в шпурах глубже 2,5 м эффективность забойки в ряде случаев повышают, располагая в ней 100—200 г ВВ. Это ВВ, инициируемое шнуром, уплотняет забоечный материал и противодействует выталкивающему действию взрыва. Кроме того, улучшается качество дробления пород на участке незаряженной части шпуров.

В восстающих выбор забоечного материала зависит от способа проходки. Для нисходящих шпуров и скважин применяют сыпучие забойки, для восходящих — пластичные и самоуплотняющиеся, обычно совместно с парашютами. Для забойки скважин используют пневмозабойники тяжелого типа.

14.7. МОНТАЖ ВЗРЫВНОЙ СЕТИ

Проводят монтаж после окончания заряжания и забойки всех шпуров, уборки тары, средств заряжания и механизмов, выезда рабочих из ствола. Монтируют сеть взрывник и бригадир

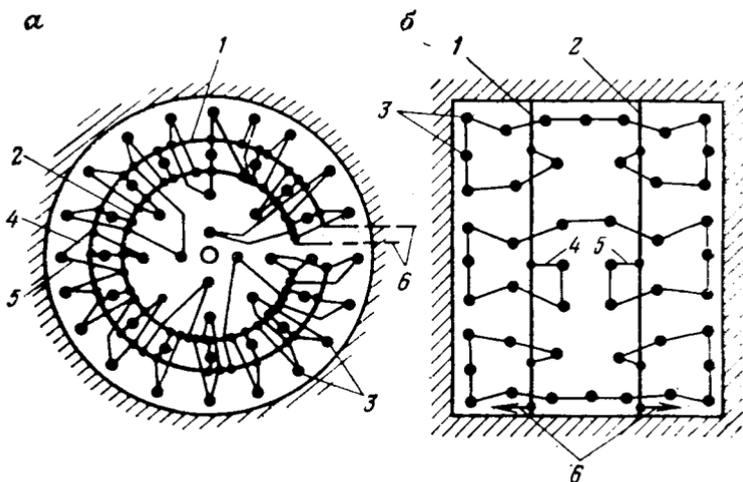


Рис. 84. Схема соединения ЭД с антенной в круглых (а) и прямоугольных (б) стволах

проходчиков или два взрывника, один из которых назначается старшим.

Обычно применяют параллельно-ступенчатую схему соединения ЭД с использованием антенны. Антенны изготавливают из оголенных проводов, располагая их на колышках такой высоты, чтобы до момента взрыва вода не достигала их. Колышки устанавливают в дополнительных шпурах глубиной 30—40 см. Иногда провода подвешивают к стенкам ствола.

В круглых стволах антенны выполняют в виде двух concentрических окружностей 1 и 2 (рис. 84, а), в прямоугольных стволах провода 1 и 2 натягивают поперек ствола (рис. 84, б).

Подсоединять провода ЭД 3 к антенне начинают в наиболее удаленных от бадьи точках. Один из проводов ЭД 4 подключается к одному полюсу антенны, другой 5 — к другому. Все провода перед подключением, как обычно, накоротко замкнуты.

При работе два взрывника движутся в противоположных направлениях и встречаются у бадьи, где подсоединяют к антенне магистральный гибкий кабель во влагонепроницаемой оболочке. Другой его конец находится в надшахтном здании и намотан на специальную катушку. По мере углубления ствола он после каждого взрыва разматывается. Длину кабеля принимают с запасом, учитывая повреждения породой при взрыве.

Для уменьшения расхода кабеля перед каждым взрывом его концы на протяжении 5—10 м от забоя наращивают соединительными проводами 6, которые и повреждаются разлетающимися кусками породы.

При проходке восстающих обычным и ярусным взрыванием монтаж сети аналогичен применяемому в горизонтальных выработках.

14.8. ПРОИЗВОДСТВО ВЗРЫВОВ

Электровзрывную сеть взрывники проверяют, находясь в бадье, в том месте, где расположены концы магистрального кабеля. Если дефектов сети не обнаруживают, концы соединительных проводов присоединяют к магистральному кабелю. При наличии неисправностей вновь замыкают концы соединительных проводов, опускаются в забой и устраняют повреждение. Проверив еще раз сеть и убедившись в полной ее исправности, уточняют, на достаточную ли высоту (не менее 12—15 м) подняты подвесной насос, пневмопогрузчики и другое оборудование. Раскрывают все ляды, выше подвесного проходческого полка берут бадьи наперевес и поднимаются в надшахтное здание или на действующий горизонт шахты.

Из надшахтного здания удаляются все люди, кроме лица, производящего взрывание. Концы магистрального кабеля замыкают и подключают к клеммам источника тока, после чего включают ток, производя взрыв.

В восстающих взрывание возможно с поверхности или с безопасного места в шахте. В случае применения полков их перед взрывом убирают в камеру.

14.9. ОСМОТР СТВОЛА И ПРИВЕДЕНИЕ ЗАБОЯ В БЕЗОПАСНОЕ СОСТОЯНИЕ

Сразу после взрыва для дегазации забоя включают мощный вентилятор. Не менее чем через 30 мин этот вентилятор отключают и включают меньший — для нормального проветривания. Магистральный кабель отключают от клемм источника тока, концы его накоротко замыкают. Закрывают источник тока.

По окончании проветривания в ствол спускаются сменный инженер, горный мастер, старший взрывник и бригадир проходчиков. Они осматривают забой и ствол над ним, определяют состав работ по приведению их в безопасное состояние, выполняют экспресс-анализ загазованности воздуха.

Отказы устраняют в обычном порядке, производя повторное взрывание с поверхности. После этого в ствол допускаются рабочие: опускают погрузчики, насос и производят откачку воды, выемку, погрузку и выдачу на поверхность разрушенной породы. В ряде случаев одновременно начинают бурение нового комплекта шпуров. Выполняют работы по временной крепи нижней части ствола. Убирают нависи, заколы.

При осмотре забоя в восстающих особое внимание уделяют забоям, где затруднительна вентиляция. При отбойке больших масс породы контролируют состояние загазованности в течение рабочей смены индикаторными трубками портативного газоанализатора ГХ-4 или ГХ-5, которые в присутствии ядовитых газов окрашиваются в соответствии с их концентрацией.

ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ ПРИ ОЧИСТНОЙ ВЫЕМКЕ

15.1. ВЗРЫВЧАТЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПРИ ОТБОЙКЕ ШПУРОВЫМИ ЗАРЯДАМИ

Очистная отбойка выполняется большим количеством зарядов, число которых ограничивается устойчивостью кровли, размерами залежи и производительностью предприятия. При разработке жильных месторождений чаще применяют отбойку шпуровыми, в мощных рудных — скважинными или скважинными в сочетании с камерными зарядами.

Выбирая ВВ, учитывают способ отбойки, диаметр шпуров, стоимость, способ заряжания, свойства ВВ и пород, требования к дроблению полезного ископаемого и др.

Потребление порошкообразных ВВ в шахтах неуклонно снижается, но все еще велико — до 40 % общего расхода. Еще больший удельный вес их (до 75—90 %) на шпуровой отбойке.

В крепких породах эффективен водоустойчивый аммонал, в менее крепких — аммонал и аммонит № 6ЖВ в патронах диаметром 32—36 мм. Для повышения плотности заряжания патроны разрезают по диагонали и уплотняют забойником. В нисходящих неглубоких шпурах применяют россыпные ВВ, часто используют граммамонал А-8.

В породах средней и ниже средней крепости все шире применяют гранулированные ВВ — гранулит АС-8 и игданит. Их преимущество в низкой стоимости, возможности механизации работ и большей (до 1,15—1,20 г/см³) плотности заряжания. Их взрывная эффективность в ряде случаев выше, чем у патронированных ВВ. Средствами инициирования служат детонаторы ЭДКЗ или детонирующий шнур ДШ-А. Гранулированные ВВ инициируют боевиками из аммонита № 6ЖВ.

15.2. ВЗРЫВЧАТЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МАССОВОЙ ОТБОЙКИ

Массовую отбойку выполняют обычно скважинным и камерным способами. Различия в параметрах детонации порошкообразных и гранулированных одинакового химического состава ВВ в камерных зарядах нет, в связи с чем при камерной отбойке пород различной крепости используют предпочтительно более дешевые и безопасные гранулированные ВВ. Чаще применяют гранулиты АС, граммамонит 79/21 и игданиты, которые заряжают россыпью или в мешках. Из других ВВ эффективны аммонит № 6ЖВ и водоустойчивый аммонал, применяемые в мешках.

Нисходящие скважины заряжают россыпными — порошкообразными или гранулированными ВВ. В крепких породах используют водоустойчивый аммонал, аммонит № 6ЖВ, грамма-

нал А-8 и граммонит 79/21, реже — гранулит АС-8; в породах средней и ниже средней крепости — граммонит 79/21, гранулит АС и игданит. Обводненные массивы взрывают граммамоналом А-8, граммонитом 79/21В, реже патронированными водоустойчивым аммоналом и аммонитом № 6ЖВ. Большое применение получили водосодержащие ВВ.

В *восстающих скважинах* чаще применяют патронированные аммонит № 6ЖВ и водоустойчивый аммонал, а в некрепких породах также гранулиты и игданит при механизированном зарядании. При угле восстания скважин более 45° эффективнее применение игданита, особенно при диаметре скважин более 100—120 мм, из которых другие гранулированные ВВ могут высыпаться.

Иницирование — только электрическое или беспкапсюльное. Применяют детонаторы ЭДКЗ, детонирующие шнуры ДШ-А и ДШ-Э, замедлители КЗДШ-69. Гранулированные ВВ инициируют боевиками из аммонита № 6ЖВ или шашек-детонаторов Т-400.

15.3. ПОНЯТИЕ О МАССОВОМ ВЗРЫВЕ И ЕГО ПРОЕКТЕ

При разработке мощных рудных залежей к взрыву подготавливают большие объемы полезных ископаемых. Если в результате взрыва для провствривания и возобновления работ в руднике или на участке требуется времени больше, чем это предусмотрено в расчете при повседневной организации работ, взрыв называют *массовым*. Расход ВВ при этом превышает 0,5 т.

По количеству взрываемого ВВ различают *малые* (до 10 т ВВ), *средние* (11—100 т), *большие* (101—250 т) и *крупные* (свыше 250 т) массовые взрывы.

Подготовка и проведение массовых взрывов трудоемкий, сложный и ответственный элемент технологии подземных горных работ.

Наиболее представительны массовые взрывы при разработке руд с принудительным этажным обрушением. Здесь после подсечки днища блока, проходки *восстающих*, развития их в отрезные щели, отбойки компенсационных камер и выпуска полученной при этом горной массы через дучки и рудоспускки выполняют основной массовый взрыв, которым разрушают временные целики и обрушают потолочины, содержащие 60—70 % запасов блока (рис. 85).

Проводят массовые взрывы по проектам. При порядной отбойке, отрезке и подсечке рудного массива пользуются типовым проектом массового взрыва и техническим расчетом текущего взрыва. Для разрушения временных целиков и обрушения потолочин на каждый взрыв составляют индивидуальный проект.

Типовой проект состоит из пояснительной записки и графического материала.

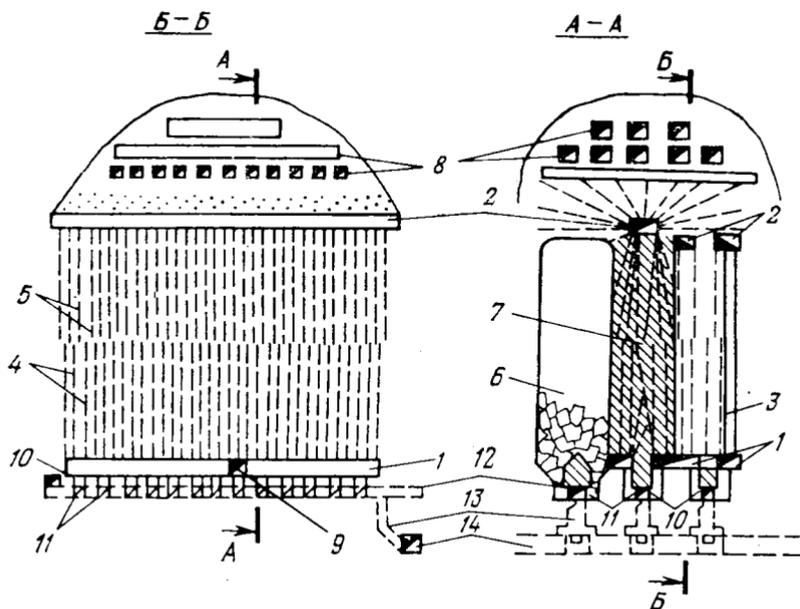


Рис. 85. Разрабатываемый массовыми взрывами рудный блок:

1 — буровые камеры (камеры нижней подсечки); 2 — буровые камеры для нисходящего бурения (камеры верхней подсечки); 3 — отрезной восстающий; 4 и 5 — восходящие и нисходящие скважины; 6 — компенсационная камера; 7 — временный целик; 8 — выработка для камерных зарядов; 9 — просечка (выработка для бурения скважин разрезной щели); 10 — выпускные дучки и воронки; 11 — ниши; 12 — скреперные выработки; 13 — рудоспуски; 14 — откаточный штрек

В пояснительной записке приводят: цель работ; геологическую характеристику месторождения; классификацию пород по взрываемости; буровое оборудование; типы ВВ; способы взрывания; конструкции зарядов; способы и средства заряжания; параметры заложения скважин и камер; размеры рудных блоков; расчеты компенсационных пространств; расчетные показатели взрыва (удельный расход ВВ, выход горной массы с 1 м скважины, выход негабарита и др.); расчеты зон, опасных по сейсмическому действию, по воздушной волне и разлету кусков породы; схемы взрывания; расчеты электровзрывных сетей; интервалы замедления. Кроме того, разрабатывают: мероприятия по охране целиков от разрушения; способ и средства дробления негабаритов; организацию взрывных работ и мероприятия по технике безопасности; экономику работ. В разделе по безопасности рассчитывают загазованность и мероприятия по проветриванию. В экономической части устанавливают нормы времени и расценки на все виды работ и материалы.

Графическая часть проекта состоит из плана поверхности с границами возможного проявления взрыва и постами охраны опасной зоны; схем расположения и величин зарядов во взры-

ваемых блоках; конструкций боевиков и схем взрывных сетей; схем проветривания выработок после взрыва.

Составляют типовой проект на основе проекта разработки месторождения и экспериментальных взрывов. Утверждает его начальник предприятия, на котором ведутся взрывные работы, или по согласованию с ним главный инженер организации, ведущей взрывные работы. Организуют и выполняют массовый взрыв в соответствии с его диспозицией.

На основе типового проекта составляют индивидуальный проект массового взрыва в конкретных условиях, состоящих из технических расчетов, схем расположения скважин и камер и корректировочных расчетов, а также диспозиции взрыва. Выполняют расчеты и схему расположения зарядных выработок в соответствии с типовым проектом, геологическими и гидрогеологическими, а также графическими материалами по взрываемому блоку.

В технических расчетах и на выполненных в масштабе 1 : 200 схемах (с приложенными поперечными сечениями блока) указывают: номер блока; места и параметры расположения скважин и камер (диаметр, глубину, направление); планы и разрезы камер и камерных выработок; сетку скважин; объем буровых работ; конструкцию и величины зарядов с указанием типов ВВ и их соотношения; конструкции боевиков; забойку; способы и средства заряжания; схемы взрывания с указанием интервалов замедлений; расчетный объем отбитой руды; выход горной массы с 1 м скважины; удельные и общие расходы ВВ и СИ; схемы вентиляции и время проветривания; планы откаточных выработок и выработок днища блока.

Проектные данные в соответствии с фактическим положением скважин и камер во взрываемом блоке уточняют в корректировочном расчете.

В диспозиции строго увязывают все работы по подготовке и проведению массового взрыва от погрузки ВМ на складе до включения рубильника и проветривания выработок. В ней определены время взрыва и лица, ответственные за взрыв в целом и за отдельные операции, а также все взрывники. По каждой операции перечисляют число занятых рабочих и ответственных руководителей. Определены время начала и окончания операций.

Указывают в диспозиции: средства и порядок доставки ВМ со складов; спуск ВМ в шахту и транспортирование по подземным выработкам; доставка ВМ к забоям; отключение электроэнергии и защиты от блуждающих токов; заряжание; монтаж взрывной сети, источник тока и расположение взрывной станции; охрану опасной зоны при доставке ВМ, заряжании, монтаже сети, взрыве и проветривании; вывод людей из опасной зоны; защитные мероприятия, в том числе по строительству защитных перемычек; проведение взрыва; проветривание и действия людей в случае пожара.

Графики работ по отдельным операциям и взрыву в целом прикладывают к диспозиции. Утверждает индивидуальный проект массового взрыва главный инженер предприятия, где выполняется взрыв. Ознакомляют с ним всех участвующих в его выполнении. Назначается ответственный за проведение взрыва. Ни один из вышестоящих руководителей не имеет права отменить или изменить распоряжение ответственного за взрыв, не освободив его от исполнения этой обязанности приказом в письменной форме.

15.4. ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗОНЫ ВЗРЫВА И ДОСТАВКА ВМ

После выполнения подготовительных работ, предусмотренных проектом (проведения подготовительных и нарезных выработок, обустройства целиков и потолочины, выпуска руды из компенсационных камер, устройства вентиляционной сети и т. п.), начинается подготовка массового взрыва.

Обследуется состояние зарядных и подготовительных выработок, уточняются параметры заложения скважин и камер, восстанавливаются нарушенные.

Обследование и измерение выполняют под руководством горного мастера участка или маркшейдера, результаты заносят в специальный журнал. Укрепляют кровлю в камерах и выработках, обирают заколы. Со стенок и кровли буровых и зарядных камер смывают пыль, чтобы уменьшить при механизированном зарядании возможную электризацию. Вентиляционные пути перед доставкой ВВ очищают до проектных размеров.

На месте устанавливают *маршруты доставки ВМ* и определяют объемы работ по их приведению в надлежащее состояние.

Восстающие выработки оборудуют подъемными пневматическими лебедками, выработки очищают и освещают. В соответствии с диспозицией выполняют работы по защите выработок и коммуникаций от воздушной и сейсмической волн, изоляции района от блуждающих токов, удалению оборудования и машин на безопасное место, снятию водовоздушных и электрических сетей. Во избежание разрушения рудоспуски заполняют рудой. Из районов возможного обрушения поверхности убирается оборудование. После выполнения всех работ составляют акт готовности блока к заряданию.

Получают ВВ как на расходном, так и непосредственно на базисном складе, СИ — на расходном. Доставляют их раздельно на приемно-перегрузочную площадку у ствола шахты, затем — на шахтный двор нужного горизонта и на приемную площадку взрываемого блока. Назначаются ответственные за доставку ВМ от склада и на каждом участке доставки ВВ, а также учетчик, который контролирует правильность разноса ВВ по камерам.

Со склада до ствола ВВ доставляют автомобилями, в заводской таре, в специальных контейнерах и емкостях. Используют также транспортно-зарядные машины. Приемная площадка на поверхности, где разгружается и складывается ВВ, как и остальные площадки в шахте, охраняется постами. Оборудуют ее деревянным настилом или бетонируют, закрывают навесом. У ствола ВВ перегружают в клеть. В околовольном дворе и в надшахтном здании около ствола присутствуют лишь взрывник, раздатчик, рабочие, занятые на погрузочно-разгрузочных работах, рукоятчик, стволовой и ответственный за доставку ВМ. Ящики, мешки или контейнеры с ВВ не должны занимать более $\frac{2}{3}$ высоты клетки или быть уложены выше двери клетки. При спуске в вагонетках, которые укрепляют в клетки, ящики с ВМ не должны выступать выше бортов. Детонаторы спускают отдельно от ВВ и укладывают не более чем в один ряд. Нахождение людей в клетке не допускается. Из специальных емкостей, контейнеров или транспортно-зарядных машин сыпучие ВВ перегружают в саморазгружающиеся зарядно-доставочные вагоны или в транспортно-зарядные установки, которыми ВВ доставляют к приемной площадке блока. Такие вагоны и установки выполнены на базе вагонеток и работают в комплексе с зарядчиками ЗП-12 или ЗП-25, а также самостоятельно.

Транспортирование ВВ в заводской таре по подземным выработкам производят вагонетками в сопровождении взрывника или раздатчика. Расстояние между вагонетками с ВВ и СИ, а также электровозом не менее 3 м. Сопровождающие ВВ лица размещаются в последней вагонетке, оборудованной для перевозки людей.

Приемная площадка блока, оборудованная деревянным настилом, располагается у восстающего или другого хода на блок. Спуск и подъем ВВ по восстающим производят в контейнерах, бадьях и других сосудах. Канаты снабжают крюками с защелкой против самопроизвольного соскакивания с них грузов. Применение контейнеров позволяет отказаться от деревянной тары и снижает трудоемкость работ.

Внутри блока по буровым и зарядным камерам ВВ разносят вручную в заводской таре. При механизированном зарядании используют зарядно-доставочные установки и машины — УЗС, УЗДМ, ЗМБС и др.

Наиболее эффективна подготовка взрыва при комплексной механизации работ (рис. 86). Гранулированные ВВ транспортно-зарядной машиной 1 доставляют с базисного склада к приемному шахтному пункту 2. По скважине 3 ВВ доставляется в бункеры 4 подземного хранилища 5. Откуда зарядно-доставочными установками 6 ВВ транспортируют к местам перегрузки в зарядчики 7, с помощью которых заряжают подготовленные выработки 8.

С начала доставки и до конца зарядания в шахте устанавливают первую опасную зону — А. Ее границы удалены от

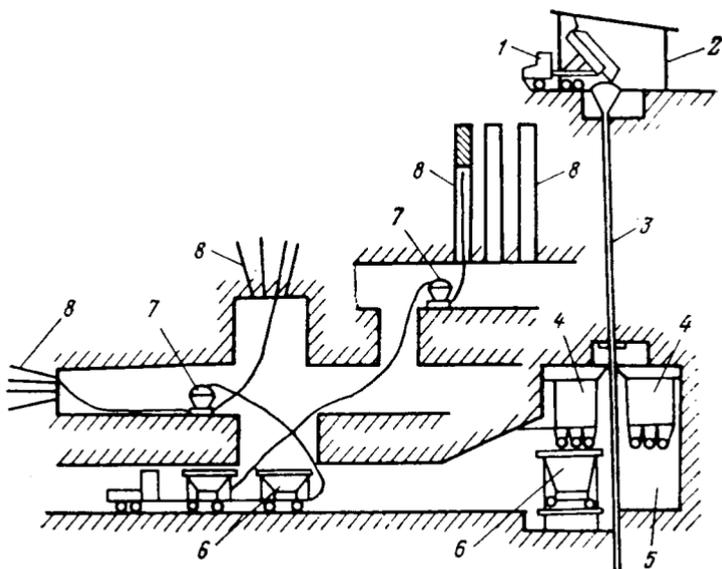


Рис. 86. Элементы схемы комплексной механизации взрывных работ

блока не менее чем на 100 м по отходящим от него выработкам. Допуск в нее разрешен только участвующим в подготовке взрыва лицам. После зарядания на период монтажа сети, взрывания и проветривания посты охраны устанавливают во второй опасной зоне — Б. Причем посты в зоне А снимают после установки постов в зоне Б. Размеры зон указаны в диспозиции. Зона Б при разрушении междукамерных целиков и потолочин выносится на поверхность за пределы надшахтного здания. Предполагаемая зона обрушения поверхности ограждается. Вход в зону Б после монтажа взрывной сети запрещен.

15.5. ЗАРЯЖАНИЕ СКВАЖИН ПАТРОНИРОВАННЫМИ И ПОРОШКООБРАЗНЫМИ ВВ

Нисходящие скважины заряжают россыпными ВВ обычно вручную. Для уменьшения просыпания ВВ и попадания в скважины камней и кусков слежавшихся ВВ применяют направляющие воронки. Слежавшиеся ВВ разбивают деревянным молотком. Периодически измеряя глубину, обнаруживают и ликвидируют пробки в скважине. Если пробка не ликвидируется, ВВ вымывают или сверху на пробку устанавливают боевик и продолжают зарядание.

Патроны опускают на веревке с самоотцепляющимся крючком или на двойной веревке. Когда патрон опущен, отпускают

один конец и за другой конец веревку извлекают из скважины.

Пробуренные с выходом в выработки нисходящие скважины первоначально забивают деревянными пробками. Если это затруднительно, в скважину опускают на веревке на заданную глубину завернутые в бумажный мешок камни. Положение их фиксируют, связывая концы веревок от смежных скважин. Поверх такой «пробки» засыпают 1—2 мешка забоечного материала, а затем заряжают ВВ.

Заряжание восходящих скважин патронированными ВВ производят деревянными свинчивающимися забойниками длиной 1,5—2 м. Патроны вводят, удерживая каждые 2—4 патрона одним парашютом. После последнего патрона и парашюта устанавливают саморасклинивающуюся деревянную пробку. В скважинах диаметром до 100 мм используют пластичные забоечные пыжи, при большем диаметре — забойку не применяют.

Механическое заряжание производят толкающими зарядчиками ЗЛ-2Б и ГП и метательными — пневматическими колоннами ПЗК. Особое внимание обращают: на предохранение опорных роликов ЗЛ-2Б от просыпей ВВ при проталкивании застрявших патронов; на улавливание пыли ВВ и выпадающего из скважины ВВ; на охлаждение конца зарядной алюминиевой колонны и уменьшение накопления электростатического электричества при работе ПЗК.

15.6. МЕХАНИЗАЦИЯ ЗАРЯЖАНИЯ ГРАНУЛИРОВАННЫМИ ВВ

Заряжание восходящих скважин производят только механическим способом. Применяют наиболее производительные камерные пневмозарядчики ЗП-12, ЗП-25, «Ульба», а также транспортно-зарядные установки и машины УЗС, УЗДМ, ЗМБС, ПРН.

Добавляя в граммонт 79/21 при заряжании 3—5 % воды, снижают опасность заряжания и повышают качество заряжания. При этом уменьшается пылеобразование и электризация ВВ, а также просыпание ВВ. Добавки воды в гранулиты АС меньше (всего 2—3 %), из-за смывания частиц алюминия. Также низки добавки воды в игданит и гранулит М вследствие достаточно высокой уплотняемости этих ВВ.

Вынос ВВ уменьшают также насадкой-ограничителем с продольными прорезями и установкой на устье скважины фильтра. Насадка-ограничитель позволяет выдерживать постоянное состояние шланга от формируемого заряда, что резко снижает воздействие на него сжатого воздуха.

Заряжание выполняют взрывник-оператор, один-два рабочих, подготавливающих и загружающих ВВ в машину, взрывник — заряжающий с одним-двумя рабочими, переносящими шланг, измеряющими скважины, устанавливающими фильтры, парашюты. Между оператором и заряжающим, если они нахо-

дятся на удалении один от другого, устанавливают прямую телефонную связь.

Для заряджания скважин диаметром 40—75 мм камерные зарядчики снабжают зарядными шлангами диаметром 25—32 мм, при заряджании скважин диаметром до 150 мм используют шланги с проходным диаметром 32—52 мм при длине до 50 м. Заряжать восходящие скважины диаметром до 150 мм с минимальными просыпями ВВ (не более 1—2 %) возможно при производительности зарядчика 150—200 кг/мин. Наибольшими просыпями характеризуется заряджание наименее связанного гранулита АС-8 и граммонала А-8, наименьшими — гранулита М и игданита.

При заряджании камер трубопроводы для подачи ВВ делают металлическими с быстроразъемными соединениями типа БРС. Зарядную трубу закрепляют у кровли подводящей выработки, чтобы она была постоянно над зарядом. Вход в камеру закрывают фильтрующей тканью. Для уменьшения пыления на конец шланга надевают расширяющуюся насадку и увеличивают смачивание ВВ.

Если используется валяная обувь, то взрывник после заряджания контактом рук с проводящей породой или с заземлителем снимает с себя электростатические заряды, после чего берет электродетонаторы. Его удельное электрическое сопротивление относительно земли не должно превышать 10^7 Ом·см.

15.7. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ВВ С ПОМОЩЬЮ СЖАТОГО ВОЗДУХА

Зарядно-доставочные устройства загружаются в околоствольном дворе и перемещаются обычным способом к блоку. Загрузку их можно производить на приемной площадке блока или на складе ВВ (см. рис. 86). Далее от приемной площадки блока к зарядным камерам ВВ транспортируют по шлангам на расстояние до 250 м по горизонтали и до 100 м по вертикали. Доставляют ВВ в бункеры камерных зарядчиков, а зачастую производят непосредственное заряджание скважин и камер.

Особенности работ обусловлены значительной длиной транспортирующих (зарядных) шлангов и усилением борьбы с электризацией. Шланги применяют только токопроводящие или полупроводящие с удельным сопротивлением менее 10^6 Ом·см. Раскладывают их без резких изгибов, так как на них величина статического потенциала вдвое больше, чем на прямых участках. Стенки выработок орошают водой, создают водяные завесы, увлажняют воздух, обеспечивая большую токопроводимость атмосферы. Район работ обесточивают. Ежедневно проверяют сопротивление заземления и при превышении 4 Ом работу установок прекращают до устранения неисправностей.

Перед транспортированием другого ВВ, в частности содержащего хорошо электризующиеся тротил или древесную муку,

особенно после работ с алюминийсодержащими гранулитами АС, зарядчик и шланги продувают и промывают от частиц гранулита, которые характеризуются высокими потенциалами статического электричества.

Внимательно следят за нагревом частей установок. Если температура какой-либо из частей превысила 60 °С, транспортирование ВВ прекращают и устраняют причины разогрева.

Скорость движения ВВ по шлангам ограничивают 20 м/с, а в составы ВВ вводят антистатические добавки.

15.8. УСТАНОВКА БОЕВИКОВ

Для исключения отказов части заряда при образовании пробок, в скважину вводят два боевика. Первый из боевиков устанавливают у забоя скважины, второй — после заряжания примерно 80—90 % ВВ. Причем первый боевик выполняют обычно с ДШ, второй — с ЭД или ДШ. Изготавливают их на месте работ, а при массе боевика с ЭД больше 300 г — в специально отведенном месте.

В нисходящие скважины боевики опускают на шпагате. При заряжании восходящих скважин боевик вводят в скважину с парашютом, которым и удерживается боевик от выпадения из нее. Если заряжание производят механическими зарядчиками, боевики с ЭД устанавливают только после окончания заряжания скважин и удаления зарядчиков и шлангов из забоя. Дозарядку скважин при необходимости выполняют только вручную с соблюдением известных мер предосторожности.

При заряжании восходящих скважин гранулированными ВВ пневмозарядчиками боевик с ЭД и удерживающим парашютом в скважину вводят не ранее 30 мин после окончания заряжания и удаления зарядчиков и шлангов из забоя. Это обеспечивает стекание в заряде ВВ накопленных электростатических зарядов и уменьшению величины электропотенциалов до безопасных значений. После парашюта в скважину устанавливают самозаклинивающуюся деревянную пробку.

В камерные заряды боевики устанавливают по возможности ближе к центру заряда. Боевики вводят после окончания работ по заряжанию камер, для чего в зарядах оставляют ниши для боевиков. Боевики с ДШ располагают в камерах в процессе заряжания, если сразу после заряжания очередной камеры необходимо производить забойку. После установки боевик засыпают россыпным ВВ и закладывают мешками ВВ.

15.9. МОНТАЖ ВЗРЫВНОЙ СЕТИ И ПРОИЗВОДСТВО ВЗРЫВА

Выполняют монтаж взрывной сети взрывники под руководством инженерно-технических работников. На каждом участке диспозицией определен ответственный руководитель, который получает выкопировку из проекта взрыва по своему монтажному участку.

Начинают монтаж после зарядания, уборки тары и средств зарядания, а также вывода не занятых монтажом людей за пределы опасной зоны Б.

Особенности монтажа обусловлены большим количеством взрывааемых зарядов и их групп. Сначала монтаж контролируют в каждой группе, затем — в секциях, на участках, после чего — в сети в целом. Если измеренное сопротивление взрывной сети группы, секции или участка более чем на 10 % отличается от расчетного значения, их проверяют на правильность монтажа и устраняют причины расхождений. Смонтированные группы и секции соединений сдаются ответственному руководителю монтажа участка. Участки передают начальнику взрыва. При этом проверяют правильность монтажа и измеряют сопротивление участков и заземлений. Результаты измерений записывают в специальный журнал.

Также подготавливают взрывную сеть из ДШ, которую, как и электрическую, дублируют. Применяют ДШ только одной марки. После монтажа сети по разрешению начальника взрыва на концы магистральных ДШ устанавливают электродетонаторы.

При массовых взрывах временных целиков и потолочины, когда всех людей выводят из шахты и взрыв осуществляют с поверхности, в качестве источника тока применяют силовую электросеть. Взрывную станцию подготавливают параллельно с монтажом взрывной сети специалисты-электрики. Во всех остальных взрывах, при которых вывод людей на поверхность не обязателен, источником тока может быть взрывная машинка или взрывной прибор.

После монтажа взрывной сети все люди выводятся за пределы опасной зоны Б. Сейсмически опасную зону при взрыве с поверхности оцепляют постами. Зону возможного обрушения ограждают проволочным забором и предупредительными надписями.

Получив рапорт о выполнении всех мероприятий по подготовке взрыва (от готовности блока к взрыву до готовности охраны зоны) ответственный за взрыв дает письменное разрешение на допуск к рубильнику взрывной станции. Включает рубильник начальник взрывной станции, который в присутствии начальника взрыва выполняет и последние приготовления станции к взрыву. Если взрыв производят взрывной машинкой, магистральные провода к ней подключают непосредственно перед взрыванием и выполняют взрыв.

15.10. ПРОВЕТРИВАНИЕ ВЫРАБОТОК И ДОПУСК ЛЮДЕЙ К МЕСТУ ВЗРЫВА

После взрыва в шахту первыми, но не ранее чем через 1—2 ч, спускаются бойцы ВГСЧ, которые устанавливают вентиляционные двери в предусмотренные диспозицией положения и вклю-

чают подземные вентиляторы. Отбирают пробы воздуха в выработках и включают вентиляторы местного проветривания, устанавливают дополнительные или ликвидируют установленные вентиляционные переемы.

По мере проветривания, через 6—10 ч после взрыва, в проветрившиеся выработки, вне зависимости от состояния общего проветривания шахты, допускаются люди, занятые восстановительными работами, с разрешения ответственного за проветривание по согласованию с главным инженером шахты. Непосредственно перед допуском очередной рабочей смены в установленных диспозицией точках уточняют загазованность вне зависимости от результатов предыдущих проб. Допуск-наряд на смену выдает ответственный за проветривание каждому горному мастеру.

Руководители восстановительных работ обеспечиваются портативными газоанализаторами ГХ-4 или ГХ-5.

До начала работ в районе взрыва устанавливают наличие или отсутствие отказов. Участки взрыва осматривают бойцы ВГСЧ, а после проветривания — специально назначаемые инженерно-технические работники. При обнаружении отказа из опасной зоны немедленно выводят людей. Размеры зоны такие же, как зона А при подготовке взрыва. На границах зоны выставляют посты охраны. Составляют проект ликвидации отказов.

Допуск людей в горные выработки после ликвидации отказа производят с принятием тех же мер безопасности, что и после массового взрыва — проветривания, отбора проб воздуха и осмотра места взрыва.

15.11. РАЗРУШЕНИЕ НЕГАБАРИТНЫХ БЛОКОВ ШПУРОВЫМИ ЗАРЯДАМИ

При *шпуровом разрушении* негабаритных блоков глубину шпуров принимают равной 0,4—0,6 толщины блока, а расход бурения — 0,2—1 м на 1 м³ породы. Заряд занимает 0,25—0,50 длины шпура.

Разрушают негабариты в очистном забое или в камерах вторичного дробления и грохочения горизонтов грохочения, скрепления и погрузки.

При заряджании предварительно в шпур вводят детонатор или ДШ, а затем мерным совком засыпают ВВ, после чего выполняют забойку. В ряде случаев применяют патроны ВВ. Особо следят за дозировкой зарядов, так как перерасход ВВ ведет к увеличению разлета осколков.

Величину заряда $Q_{зар}$ определяют, зная удельный расход ВВ q и объем негабарита V_n :

$$Q_{зар} = qV_n.$$

Количество шпуров определяется размерами и формой блоков, а также расходом ВВ.

Таблица 14

Порода	Ориентировочное значение удельного расхода ВВ, г/м ³ при дроблении негабарита			
	шпуровыми зарядами	гидро-взрыванием	наружными зарядами *	кумулятивными зарядами *
Песчаники	20—50	10—20	1—3	0,2—1,0
Доломиты	400—100	15—50	2—4	0,4—1,2
Известняки	50—150	20—80	3—6	0,5—1,5
Граниты	60—200	30—100	4—7	1—2,5
Кварциты	100—250	50—150	5—10	2—3

* Удельный расход, кг/м³.

Взрывание всех шпуров в одном негабарите производят одновременно. Выполняют электрическое или бескапсюльное взрывание.

Если негабариты дробят вблизи механизмов или при неустойчивых кровле и стенках выработок, применяют *гидровзрывание*. Расход ВВ при этом снижается до 10—20 г/м³. В табл. 14 приведены удельные расходы ВВ при дроблении негабарита. Заряд в шпуре окружают водой и взрывают. Рациональный водяной зазор принимают равным 0,2—0,4 радиуса заряда.

Разлет кусков сведен к минимуму (до 30—35 м) вследствие того, что в разбросе разрушенного ударной волной блока участвует небольшое количество продуктов взрыва. Основная часть негабарита разрушается на крупные куски трещинами, растущими от заряда к поверхности. Куски остаются на месте или сдвигаются на незначительное расстояние. Источником разлета является воронка выброса у устья шпура глубиной 10—25 см при полностью залитом водой шпуре. Когда уровень воды на 10—15 см ниже поверхности блока, разлет кусков практически отсутствует.

Максимальное удаление шпура от боковой поверхности блока, в связи с отсутствием разрушений между зарядом и поверхностью, не должно превышать 0,8—0,9 значения размера кондиционного куска.

15.12. РАЗРУШЕНИЕ НЕГАБАРИТНЫХ БЛОКОВ НАРУЖНЫМИ ЗАРЯДАМИ

Этот способ разрушения наиболее прост и производителен, но удельный расход ВВ значительно выше, чем при шпуровом дроблении (см. табл. 14). В этой связи насыпные заряды применяют редко из-за образования мощных воздушных волн. Разрушают блоки преимущественно небольших размеров — до 0,8—1,2 м³. Используют аммонит № 6ЖВ, который слоем толщиной 2—3 см насыпают в углубление на поверхности негаба-

рита и снабжают детонатором или ДШ. Для повышения эффективности заряд прикрывают забойкой — песком или глиной.

Рационально применение патронированных ВВ. Соответствующее количество патронов с помощью ДШ собирают в пачку. Образующиеся между патронами и поверхностью блока продольные выемки при продольном инициировании патронов являются своеобразными кумулятивными полостями, в которых формируются кумулятивные потоки, воздействующие на объект.

Наибольшее распространение получило дробление кумулятивными зарядами, особенно при дроблении негабаритов на вибропитателях, в вагонетках, в дробилках, на скреперных дорожках. За счет громадных давлений в течение короткого периода времени — до осевого и бокового разлета — струя, внедряясь в породу, трансформирует в негабаритный блок значительную долю энергии. Образующаяся ударная волна растущими от заряда радиальными трещинами разрушает блок на куски, которые остаются на месте взрыва.

Применяют заряды ЗКП, ЗКН и ЗКНКЗ с массой ВВ 50—4000 г. Кумулятивные прессованные заряды ЗКП выполняют с кумулятивной выемкой, облицованной стальной пластиной, заряды ЗКН выпускают без облицовки. Заряды ЗКНКЗ выпускают с массой ВВ 1000, 2000 и 4000 г, без облицовки. Иницируют заряды нитью ДШ, для закрепления которой в зарядах предусмотрены алюминиевые скобы. Кумулятивные заряды для подземных работ имеют маркировку с буквами ПР.

Выбор кумулятивного заряда производят, исходя из удельного расхода ВВ и толщины негабарита, например:

Тип заряда	ЗКП-100	ЗКП-200	ЗКП-400
Предельная толщина разрушаемого куска, м	0,5	0,8	1,2
Тип заряда	ЗКП-1000	ЗКП-2000	ЗКП-4000
Предельная толщина разрушаемого куска, м	1,7	2,2	2,8

Качественное дробление при малом расходе ВВ обеспечивают шпурсы глубиной 10—15 см при взрывании зарядов над их устьем. Кумулятивная струя входит в негабарит без затрат энергии и продукты взрыва выполняют работу разрушения, как и при взрыве шпурового заряда с активной оболочкой.

Эффективной забойкой является вода. Залитая в полиэтиленовый пакет, она обеспечивает плотное запираание газов и увеличение коэффициента полезного использования энергии взрыва. Удельный расход ВВ снижается до 2—3 раз, уменьшается звуковой эффект.

15.13. ЛИКВИДАЦИЯ ЗАВИСАНИЙ СПЕЦИАЛЬНЫМИ СРЕДСТВАМИ

Зависания образуются при выпусках руды в дучках и рудоспусках. Они могут быть в форме *заклинивания* (размер куска породы больше диаметра отверстия дучки), в форме *сводообразо-*

вания (размер куска более 0,5 диаметра отверстия) и в форме собственно зависания за счет сил трения (размер куска менее 0,5 диаметра отверстия). Первые — наиболее устойчивы, вторые — наиболее распространены; третьи — наиболее легко ликвидируемы.

Ликвидация зависаний небезопасна из-за возможности самопроизвольных выпаданий кусков породы. Потери времени на их ликвидацию в 2—3 раза превышают затраты времени на вторичное дробление на скреперной дорожке. На 1000 т руды обычно происходит 10—80 зависаний на высоте от 1 до 50—70 м. Расход ВВ определяется типом и высотой зависания и изменяется в пределах от 1 до 800 кг и больше.

Ликвидируют зависания взрывами наружных зарядов, зарядов в специально пробуренных скважинах и в пройденных к зависаниям выработках, а также с помощью безоткатных орудий, противотанковых и специальных гранатометов.

Скважины или выработки применяют, если сечение дучки перекрыто одним куском. Этот способ дорогостоящий и длительный.

Наружные заряды размещают с помощью деревянного шеста или троса, пропущенного через скважину. В зависимости от высоты зависания заряд помещают в пяте или замке свода, на куске или между кусками пород. Если расклинен один негабарит, устанавливают 2—5 зарядов по его периметру. Заряды располагают в слабом месте зависания. При высоте более 6—7 м заряд размещают, не достигая зависания, на стенке выработки. Масса взрываемого за один прием ВВ достигает 400—800 кг.

Эффективно использование зарядчиков. К концу става алюминиевых труб прикрепляют полиэтиленовый мешок с предвзвешенно вставленным в него боевиком. Мешок располагают у свода и по трубам нагнетают ВВ, после чего трубы удаляют и производят взрыв.

Все больше применяют средства *дистанционного разрушения*. В частности, по зависаниям стреляют стальными или свинцовыми болванками из безоткатных орудий.

Разработаны реактивные снаряды ГРС контактного и проникающего действия. Взрыв контактного заряда происходит при ударе о преграду, внутри зависания, после внедрения в зависание на некоторую глубину. Более эффективны снаряды контак-

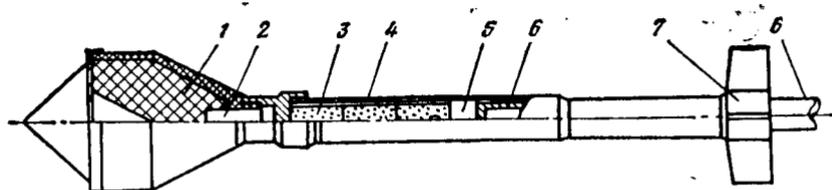


Рис. 87. Динамо-реактивный гранатомет ДРС

ного действия, недостаток которых заключается в несовершенстве инициирующего устройства, опасного при обращении.

Наибольшее применение получили динамо-реактивные гранатометы ДРС. Они состоят из гранаты 4 и пускового ствола 6 (рис. 87). Граната представляет собой боевую головку, снаряженную кумулятивным или фугасным зарядом 1 и взрывателем 2, пороховым зарядом 3, находящимся в пороховой камере 5 и служащим для метания гранаты, а также съёмным стабилизатором 7.

Надевают гранату на пусковой ствол, закрепленный на опоре (на почве выработки или на консольной балке в рудоспуске). Инициатор инерционного действия снабжен самоликвидатором, срабатывающим при непопадании в цель.

Для прицеливания в дучках используют луч света аккумуляторной лампы, пропускаемый через пусковой ствол, или визуально. При большой дальности применяют оптический прицел. Применение гранат эффективно при высоте завесаний более 6 м в дучках и более 3 м в рудоспусках.

Калибр гранат ДРС-130, ДРС-160 и ДРС-200 равен 132—200 мм; длина гранат 680—980 мм; масса ВВ в заряде 1,4—5,8 кг; масса порохового заряда 0,14—0,61 кг. Гранатами ликвидируют завесания кусков объемом соответственно до: 1,5—2,0 м³; 2,5—4 м³ и 3,5—5,0 м³.

Сборка гранаты включает в себя размещение взрывателя в гнезде заряда, соединение боевой головки и взрывателя с механическим узлом. Пусковой ствол крепят к опоре и наводят на цель (наиболее слабое место схода). Через канал пускового ствола пропускают накоротко замкнутые провода взрывной сети, подсоединяют пороховой заряд. Гранату надевают на пусковой ствол.

ОРГАНИЗАЦИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Глава 16

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

16.1. ПОЛУЧЕНИЕ РАЗРЕШЕНИЯ НА ПРАВО ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ

Выполнение взрывных работ на территории СССР регламентируется «Едиными правилами безопасности при взрывных работах», утвержденными Госгортехнадзором СССР.

Все горные предприятия, ведущие взрывные работы, обязаны иметь: а) разрешение на право производства взрывных работ; б) проекты (паспорта) буровзрывных работ; в) склады для хранения ВМ; г) специально оборудованный транспорт для перевозки ВМ; д) персонал для руководства взрывными работами; е) персонал для производства взрывных работ.

Для получения разрешения предприятие до начала работ подает заявление непосредственно контролирующей организации Госгортехнадзора СССР или союзной республики или горнотехнической инспекции министерства (ведомства). В заявлении указывают: название предприятия и его подчиненность; характер, методы и сроки проведения работ; сведения о руководителе взрывных работ; сведения о складе, где будут храниться ВМ. К заявлению прилагают копию диплома или удостоверения руководителя взрывных работ, дающего право руководства этими работами, и указывают степень опасности работ в шахте по газу или пыли.

Разрешение выдают по форме № 1 «Инструкции о порядке получения разрешений на право производства взрывных работ, а также свидетельств на приобретение взрывчатых материалов». В нем указывают номер разрешения, кем оно выдано и какому предприятию, на кого возложено руководство работами, условия хранения ВМ, особые условия работ и срок его действия. При смене руководителя работ выданное разрешение заменяют.

Для приобретения ВМ предприятие подает другое заявление. Его направляют также непосредственно контролирующей организации Госгортехнадзора СССР или горнотехнической инспекции министерства и в нем указывают: какое количество и какие именно ВМ необходимы; для каких взрывных работ и на каком предприятии будут использованы; на какой срок нужны ВМ; на каком складе будут храниться, какие остатки имеются на складе на момент подачи заявления и в какой срок ожида-

ется доставка ВМ (если будет использоваться склад другого предприятия, необходима копия договора об аренде склада); ориентировочный ежемесячный расход ВМ.

На основании этого заявления выдают свидетельство *по форме № 2*. В нем указывают: номер свидетельства, кому оно выдано, на приобретение каких и в каком количестве ВМ, характер и место работ. Приводят условия хранения ВМ и дополнительные требования, устанавливают срок действия ВМ.

На основании свидетельства предприятие получает через местные органы милиции разрешение на приобретение и перевозку ВМ. Если взрывные работы ведет подрядная организация, разрешение и свидетельство выдают на имя этой организации. Предварительно, на основании заявления и акта о приемке склада ВМ, предприятие получает в органах милиции разрешение на право хранения ВМ на складе.

16.2. ПЕРСОНАЛ ДЛЯ РУКОВОДСТВА И ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ

Руководят взрывными работами специалисты с соответствующими знаниями не только взрывного, но и горного дела. К руководству допускаются лица, имеющие законченное горнотехническое образование или окончившие специальное учебное заведение или курсы, дающие право технического руководства подземными горными или взрывными работами. Возлагается руководство на выделенное приказом лицо либо на технического руководителя предприятия. При подрядном ведении работ их руководителем является руководитель взрывных работ подрядной организации или назначенное им лицо.

Непосредственными исполнителями взрывных работ являются взрывники и мастера-взрывники, прошедшие курсовое обучение, сдавшие экзамены квалификационной комиссии и имеющие «*Единую книжку взрывника* (мастера-взрывника)».

Возраст взрывников должен быть не менее 20 лет, образование — не ниже 7 классов и стаж работы на проходке горных выработок или в очистных забоях — не менее 1 года.

Перед началом работы и периодически взрывники проходят медицинское освидетельствование.

Работать в должности мастера-взрывника могут лица в возрасте не моложе 22 лет, имеющие образование не менее 7 классов, стаж подземных работ не менее 2 лет, прошедшие обучение на специальных курсах при горных техникумах или в учебно-курсовых комбинатах, сдавшие экзамены и получившие «*Единую книжку мастера-взрывника*». Горным техникам эксплуатационной или шахтостроительной специальности со стажем подземных работ не менее 1 года, сдавшим экзамены по утвержденной программе, может быть выдана «*Единая книжка взрывника* (мастера-взрывника)».

В шахтах, опасных по газу или пыли, ведут взрывные работы только мастера-взрывники.

Лица, имеющие право руководства взрывными работами, могут быть допущены к производству работ только после сдачи соответствующих экзаменов и получения «Единой книжки взрывника». Повторную проверку знаний взрывника проводят не реже одного раза в 2 года, инженерно-технического работника — в 3 года.

Работы по приему, хранению, выдаче и учету ВМ выполняют заведующие складами ВМ и раздатчики (кладовщики).

Заведующими складами работают лица, прошедшие курс обучения по специальной программе и имеющие соответствующее удостоверение. Заведующими складами ВМ разрешается назначать лиц, имеющих право руководства взрывными работами.

Раздатчиками складов ВМ назначают лиц, прошедших специальную подготовку по программе для заведующих складами и получивших удостоверение раздатчика. В этой должности могут работать взрывники и мастера-взрывники, прошедшие пятидневное стажирование в этой должности. *Лаборантом* может быть лицо, сдавшее экзамен по специальной программе и имеющее удостоверение лаборанта. Раздатчики ВМ и лаборанты не выполняют работы, связанные с хранением ВМ.

16.3. РАБОТА ВЗРЫВНИКА

К самостоятельной работе на предприятии взрывники допускаются после получения «Единой книжки взрывника» и работы в течение месяца под руководством опытного взрывника.

Взрывники при повседневной работе подчиняются начальнику участка, а на шахтах, разрабатывающих крутопадающие пласты, — начальнику вентиляци. За каждым из них закрепляют отдельные выработки и забои. На шахтах с числом взрывников более 20 организуют участки буровзрывных работ. Тогда работу взрывников определяет график выполнения взрывов на шахте.

При большом объеме работ на участке к взрывнику прикрепляют помощника, который самостоятельно никаких работ не ведет, а помогает подносить ВВ, аппаратуру, забойку, инструмент, заряжать и обеспечивать охрану опасной зоны. Если в забое или в пределах одной опасной зоны работает больше одного взрывника, один из них назначается старшим, что оформляется записью в наряде-путевке. Выполняются работы в соответствии с паспортом буровзрывных работ, на основании которого по наряду-путевке взрывнику выдают ВВ и СИ. Когда взрыванием руководит лицо технического надзора, назначение старшего взрывника не обязательно.

Организируют работу взрывника так, чтобы взрывание проходило в соответствии с графиком горных работ на участке. К окончанию подготовки забоя взрывнику на основании паспорта взрывных работ выдают задание и выписывают наряд-путевку. Он получает: сумки для ВВ и СИ, взрывную машинку,

электроизмерительную аппаратуру, магистральные и соединительные провода, изоляционную ленту и контактные зажимы, проколку, забойник, чищалку, свисток или рожок, нож, часы, авторучку, перчатки, самоспасатель, аккумуляторную лампу, а также выписанные ВВ и СИ.

Придя в забой, осматривает крепь, проверяет проветривание, вместе с газомерщиком контролирует содержание газов в выработке. При наличии недостатков обязан требовать их устранения, после этого отключаются источники тока, устанавливается правильность бурения комплекта шпуров, удаляются механизмы из забоя. Изготавливает боевики, заряжает шпуры, монтирует взрывную сеть. После взрывания осматривает забой и при наличии отказа, закрестив забой мелом, уведомляет об этом лицо сменного технического надзора. По его, руководителя взрывных работ или начальника участка, указанию ликвидирует отказ. По окончании смены отчитывается в расходе ВМ.

Работа взрывников при подготовке и проведении массовых взрывов определяется диспозицией взрыва. Они участвуют в доставке ВВ, непосредственно сами доставляют СИ на блок, изготавливают боевики, заряжают скважины и камеры, выполняют забойку, монтируют взрывную сеть.

Использование взрывников, имеющих при себе ВМ, на работах, непосредственно не связанных с подготовкой и проведением взрыва, запрещено.

Показатели работы взрывников могут быть количественными и качественными. *Количественными показателями* служат количество обслуживаемых забоев, количество проведенных взрывов и объем взорванной горной массы. Достижение максимальных показателей возможно только при хорошей организации всех работ на участке.

Качественные показатели, такие, как величина КИШ, качество дробления, нарушенность законтурного массива, безотказность взрывания, отсутствие нарушений правил безопасности и т. п. характеризуют в большей мере работу непосредственно взрывника. Они зависят от знания, умения, дисциплины, организованности и аккуратности взрывника.

16.4. ЕДИНАЯ КНИЖКА ВЗРЫВНИКА

«Единая книжка взрывника (мастера-взрывника)» является документом, удостоверяющим присвоение ее владельцу квалификации взрывника (мастера-взрывника) с правом производства определенных видов взрывных работ. Она содержит таблицы № 1, 2 и 3, в которых перечисляются все виды работ, к выполнению которых допущен взрывник. В случае подготовки по нескольким видам специальных работ (взрывные работы на открытых, на подземных разработках, в шахтах, опасных по газу или пыли, по металлу и др.) в книжку вносят те виды, по которым сданы экзамены.

Подписывают книжку председатель комиссии и представитель администрации предприятия, а заверяют печатью организации госгортехнадзора, без чего книжка не действительна. Бланки «Единой книжки» изготавливают министерства, нумерация книжек ведется отдельно по каждому министерству.

При переходе на работу в другое министерство взрывник не лишается права производства того вида работ, который указан в его «Единой книжке взрывника». Все делопроизводство по обучению и испытанию взрывников (протоколы, учет выдержавших экзамены) ведут предприятия и документы хранят в отделах кадров, а делопроизводство по обучению мастеров-взрывников — в горных техникумах или учебно-курсовых комбинатах, где производилось обучение.

16.5. ПЕРСОНАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ВЗРЫВНИКА

Работая с веществами и средствами, представляющими опасность в обращении, взрывник обязан обладать профессиональными навыками и знаниями правил безопасности.

Взрывник имеет право самостоятельно выполнять взрывные работы при проведении горных выработок и в очистных забоях, прекращать взрывные работы, если забой находится в опасном состоянии, требовать от горного мастера и бригадира подготовки и подноски забоечного материала, выставления охраны на подступах к забою, соблюдения паспорта крепления, восстановления поврежденной крепи, дегазации выработки и выполнения других мероприятий, предусмотренных паспортом взрывных работ и правилами безопасности.

Он *несет ответственность* за обеспечение постоянного надзора за полученными ВМ, не допуская передачи их другим лицам, потери, самовольного уничтожения или оставления в выработках или на поверхности, а также использования не по назначению; за выполнение взрывных работ в соответствии с проектом или паспортом, неукоснительно соблюдая величины установленных зарядов и забойки; за производство работ только при наличии постов охраны и соблюдения других требований правил безопасности, в том числе по концентрации газов и пыли в забое. Взрывник обязан остатки неиспользованных ВМ своевременно сдавать на склад в конце работы и правильно показывать и подтверждать в наряде-путевке расход ВМ. После взрывания тщательно осмотреть забой. При обнаружении отказа и невозможности своевременной ликвидации обязан установить устройство, предупреждающее об отказе и известить лицо технического надзора о числе и местонахождении отказов.

При получении ВМ взрывник обязан проверить их качество и своевременно доставить к забою. При доставке ВМ должен соблюдать правила транспортирования ВМ от склада до места работ и обратно.

При несоблюдении обязанностей или нарушении правил безопасности у взрывника (мастера-взрывника) отбирается талон № 1, при вторичном нарушении — талон № 2. При последующем нарушении вместе с талоном № 3 отбирается «Единая книжка взрывника» и он лишается на срок от 3 до 6 месяцев права производства взрывных работ. Получает это право взрывник после сдачи повторных экзаменов квалификационной комиссии. Лица, не сдавшие испытаний, могут быть допущены к очередной сдаче экзаменов не ранее, чем через 3 месяца.

«Единая книжка взрывника» *может быть изъята* даже при наличии всех талонов, если взрывник грубо нарушил свои обязанности, что привело или могло привести к тяжелому несчастному случаю.

Талоны из книжки *отбираются* директором или главным инженером предприятия, а также представителем госгортехнадзора, горнотехнической инспекции или техническим инспектором. Лишение книжки во всех случаях производится организацией госгортехнадзора по представлению горнотехнических инспекторов или по обоснованному ходатайству руководства предприятия и профсоюзной организации.

Взрывник также *несет ответственность* в порядке, установленном правилами внутреннего распорядка на предприятии и уголовными кодексами РСФСР и союзных республик за нарушение правил ведения взрывных работ и правил безопасности.

За нарушение трудовой дисциплины к взрывнику применяются следующие взыскания: замечания, выговор, строгий выговор, перевод на срок до 3 месяцев на нижеоплачиваемую работу или смещение на низшую должность до одного года, увольнение.

За нарушение правил безопасности, приведшее к аварии или несчастному случаю с тяжелым травмированием людей, взрывник несет *уголовную ответственность*.

16.6. ПЕРЕХОД ВЗРЫВНИКА НА ДРУГОЙ ВИД ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

При переходе взрывника на другой вид взрывных работ он обязан пройти *специальную переподготовку* по новому виду работ и сдать проверочные экзамены по новому виду работ в квалификационной комиссии, которая делает отметку в «Единой книжке взрывника» о новой квалификации.

К работе *со средствами механизации* взрывных работ допускают взрывников, обученных по специальной программе способам механизированного растаривания ВВ, транспортирования и заряджания, безопасной эксплуатации растаривающих устройств, зарядчиков, транспортно-доставочных установок, сдавших экзамены и получивших соответствующее удостоверение.

Первые шесть смен на новом месте взрывник работает под непосредственным надзором опытного взрывника. При переводе

взрывника на работу в шахту, опасную по газу или пыли, после сдачи экзамена мастер-взрывник проходит двухнедельную стажировку под руководством опытного мастера-взрывника.

Глава 17

ОБРАЩЕНИЕ СО ВЗРЫВЧАТЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

17.1. ОБЩИЕ ПРАВИЛА ОБРАЩЕНИЯ СО ВЗРЫВЧАТЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Взрывчатые материалы, как материалы с повышенной степенью опасности в обращении, не только используют с соблюдением ряда правил на рабочем месте, но и хранят на специальных складах и перевозят с определенными предосторожностями. В связи с различной чувствительностью и химической стойкостью хранить, транспортировать и применять ВМ нужно с учетом их свойств и особенностей.

По степени опасности при хранении и перевозке, в соответствии со степенью стабильности свойств и чувствительности к механическим воздействиям, все ВМ разделяют на группы.

ВМ различных групп хранят и перевозят *раздельно*. К механизированному заряданию допущены только аммиачно-селитренные ВВ. Огнепроводный шнур, средства его воспламенения, зажигательные патроны и электровоспламенители могут храниться и перевозиться с ВВ. ДШ разрешается хранить совместно с детонаторами.

Если помещения приспособлены для хранения ВВ с содержанием жидких нитроэфиров более 15 %, в отдельных помещениях склада допускается хранение и аммиачно-селитренных ВВ. Разрешается заменять при хранении ВВ средствами взрывания (и наоборот), а также один ВВ другими по той же группе опасности.

При работах с ВМ требуется соблюдать максимальную предосторожность. Курить и применять открытый огонь можно не ближе 100 м от места расположения ВМ. Запрещается при работе иметь с собой огнестрельное оружие, зажигательные и курительные принадлежности. Ящики с ВМ запрещается ударять, бросать, кантовать, толкать. Применять можно только пригодные к работе ВМ.

Замерзшие или полумерзшие ВВ с содержанием жидких нитроэфиров более 15 %, вследствие их повышенной чувствительности, допускаются к работам только после оттаивания. Нарушать целостность и форму замерзших патронов запрещается. Также запрещается применять на подземных работах слежавшиеся (не поддающиеся разминанию руками) порошкообразные аммиачно-селитренные ВВ из-за ухудшения их взрывчатых характеристик и усложнения зарядания.

При обращении с нитроглицериновыми ВВ избегают непосредственного контакта с ними, работают в перчатках. Механизированное зарядание выполняют при соблюдении санитарно-гигиенических условий труда — на рабочем месте не допускают образования аэрозвесей ВВ. Работают в респираторах. Контролируют содержание пыли ВВ в воздухе, которая токсична и взрывоопасна. Предельно допустимые концентрации паров и пыли (мг/м^3): тротила и гексогена — 1; алюминия — 2, минеральных масел — 5.

17.2. СКЛАДЫ ВМ И ПРАВИЛА ПОВЕДЕНИЯ В НИХ

Хранят ВМ в условиях, предотвращающих их порчу, самовозгорание, взрывание и хищение, а также обеспечивающих удобную и безопасную их приемку и выдачу. Используют для этого специальные склады в соответствующих удалениях от различных сооружений и объектов. Под *наземным складом ВМ* при этом понимают одно или несколько хранилищ для хранения ВМ и различные вспомогательные и подсобные сооружения, расположенные на одной общей огражденной и охраняемой территории. *Подземные склады* включают в себя камеры или ячейки для хранения ВМ, вспомогательные камеры и подводящие к ним горные выработки.

По назначению склады ВМ бывают базисные и расходные. *Базисные* служат для хранения больших количеств ВМ и снабжения ими расходных складов, в *расходных* хранят относительно небольшие количества ВМ и выдают их взрывникам для производства работ. Требования к обоим видам складов в целом одинаковые.

По расположению хранилищ различают поверхностные, полууглубленные, углубленные и подземные склады. У *поверхностных* складов основания хранилищ расположены на уровне поверхности земли. *Полууглубленными* являются склады, хранилища которых углублены в землю по карниз здания. *Углубленные* склады состоят из хранилищ, помещенных в землю при толще грунта над ними до 15 м. Если толщина грунта над хранилищами превышает 15 м, такие склады относят к *подземным*. Хранилища базисных складов могут быть только поверхностными, полууглубленными и углубленными, а хранилища расходных — также и подземными.

Вместимость склада определяется расходом ВМ и видом склада. Предельная вместимость базисного склада, например, не превышает трехмесячной потребности. Вместимость поверхностного расходного склада достигает 120 т ВВ и соответствующего количества СИ, а подземного — до трехсуточного запаса ВВ и десятисуточного запаса СИ.

Территория наземного склада, где расположены хранилища и вспомогательные сооружения, обносится оградой высотой не

менее 2 м из колючей проволоки, дерева, кирпича, железа или самана. Устанавливают ограду не менее чем в 40 м от ближайшей стенки хранилища. Со стороны дороги в ограде делают ворота. Вокруг огороженной территории склада роют канаву глубиной до 1 м и шириной поверху от 1,5 до 3 м для предохранения склада от пожаров и от затопления ливневыми и весенними водами. На удалении не менее 50 м от ограды устанавливают границы запретной зоны. По границам этой зоны располагают предупредительные знаки, а зачастую и ограду из проволоки.

На территории склада располагаются хранилища для ВВ и СИ, водоем, сарай для противопожарного инвентаря, лаборатория, проходная будка, молниеотводы. За пределами ограды (не менее 25 м) строят сарай для тары, а на удалении не менее 50 м — караульное помещение. В ряде случаев создают здания и площадки для подготовки аммиачно-селитренных ВВ, помещения для раскупорки ящиков с ВМ I, III и IV групп, резки ДШ и ОШ, караульные вышки, а также будки для сторожевых собак. На территории склада, а также на 50 м вокруг него хвойный лес вырубает, хворост, сухую траву убирают. Оставляют лиственные деревья и производят их насаждения.

Хранилища ВМ выполняют из негоряемых материалов так, чтобы температура воздуха в них не могла быть выше 30 °С. Деревянные потолки штукатурят или покрывают негоряемым составом, устраняют чердачные помещения, которые не обязательны при железобетонных перекрытиях. Стены изнутри белят. Полы делают ровными, без щелей. Число входов в хранилище принимают из расчета, чтобы максимальное расстояние до наиболее удаленной от входа точки хранилища было не более 15 м.

Каждое хранилище имеет не менее одного тамбура для выдачи ВМ. Два крайних входа больших хранилищ снабжают тамбурами размером не менее 2×2 м, остальные входы могут быть с навесами. Каждый вход в хранилище имеет 3 двустворчатые двери, открывающиеся наружу: две из них ведут снаружи в тамбур, а третья — из тамбура в хранилище. Первую, наружную дверь обивают железом, вторую — делают решетчатой, третью — сплошной.

Окна хранилищ со стальными решетками или сетками, покрывают светлой краской. Стекла окон, выходящих на солнечную сторону, выполняют матовыми или покрывают белой краской. Световая поверхность окон не превышает 0,33—0,4 площади пола хранилища. Входы в хранилище и на чердак запирают и пломбируют или опечатывают. Лестницу на чердак устанавливают снаружи здания.

Хранят ВМ I и IV групп только на стеллажах, других групп — в контейнерах или в штабелях. Между стеллажами или штабелями оставляют проходы шириной не менее 1,3 м.

Ящики с ВМ I, III и IV групп для исключения случайных падений при выемке ставят на стеллажи в один ряд, ящики и мешки с ВМ II группы — в два ряда. По ширине полки ящики или мешки для полной их видимости укладывают в один ряд. Зазоры между ящиками или мешками с ВМ и верхней полкой не должны быть менее 4 см. От стены стеллажи и штабеля отстоят не менее чем на 20 см, от пола — на 10 см. Высота штабелей не превышает 2 м, ширина — не более двух мешков или ящиков.

Хранилища для ВВ с содержанием жидких нитроэфиров более 15 % в местностях с температурой воздуха ниже -20°C оборудуют водяным или электрическим отоплением. Электропечи размещают в помещениях, отделенных от помещений с ВВ стеной из негоряемых материалов с отверстиями для циркуляции воздуха, закрытыми металлическими сетками. От радиаторов ящики и мешки с ВВ удаляют не менее чем на 1 м. Температура в помещении поддерживается не выше 30°C .

Освещение на складах двух типов — рабочее и аварийное. Рабочее осуществляют лампами или светильниками при напряжении до 220 В. В качестве аварийного применяют рудничные аккумуляторные светильники или фонари с сухими батареями.

Освещают склад так, чтобы подступы к нему были хорошо видны, а его территория была в тени. Фонари располагают не ближе 10 м от ограды склада и не ближе 50 м от ближайшего хранилища. Для работы в хранилищах лампы устанавливают снаружи здания против окон или внутри хранилищ в огражденных нишах. Выключатели и другие элементы электросети устанавливают снаружи. Осветительная проводка на территории склада и в хранилищах выполняется из бронированного кабеля. Подвеска кабелей над хранилищами запрещена.

Все склады обеспечивают *противопожарным инвентарем*, в том числе электронасосами для работы от складских водоемов. На складах вместимостью до 500 т ВВ создают водоем вместимостью 100 м³, на больших складах — 50 м³ на каждые два хранилища.

Располагают хранилища так, чтобы к каждому из них был свободный подъезд. Дороги подъездные содержатся в исправном состоянии. Расстояния от хранилищ до строений и сооружений рассчитывают по действию ударной воздушной волны, а расстояния между отдельными хранилищами — по передаче детонации. Предельные вместимости хранилищ принимают в зависимости от группы хранимых ВМ.

Если расстояние между хранилищами меньше безопасных величин, устраивают валы. Высота валов на 1,5 м выше карниза хранилища, ширина поверху — не менее 1 м. Ширина внизу определяется углом естественного откоса грунта. От стен хранилищ основание вала отстоит не менее чем на 1 м и не

более чем на 3 м (со стороны тамбуров — на 4 м). При полном обваловывании хранилища валы имеют разрыв для выхода, перед которым устраивают защитный вал на расстоянии не менее 1 м и не более 3 м от основания главного вала. Безопасные расстояния подсчитывают как для углубленных хранилищ, для которых они в 2 раза меньше.

Летом в сухую ясную погоду хранилища *проветривают* открыванием дверей и окон. Зимой проветривание проводят только в ясную морозную погоду. В помещениях для ВМ устраивают вытяжные трубы.

Раскупорку и выдачу ВМ на расходных складах производят в тамбурах или в отдельном помещении хранилища. Для резки ДШ и ОШ ставят отдельный стол. Выдачу ВВ и детонаторов производят из разных тамбуров или помещений хранилища.

Подземные склады обслуживают взрывные работы в шахтах. В них хранят и выдают взрывникам ВМ, а также выполняют работы по подготовке ВМ — изготавливают трубки, проверяют ЭД и др. Устроены они таким образом, что ВМ хранят в особых выработках — *камерах* (вместимость не больше 2 т ВВ) или *ячейках* (вместимость 400 кг ВВ или 15 тыс. детонаторов). Ячейки при этом представляют собой небольшие ниши, равноудаленные от почвы и кровли выработки. Благодаря меньшим количествам хранящихся в ячейках ВМ склады этого типа более безопасны.

Ячейковый склад (рис. 88) делится на 2 части:

собственно склад (выработки с ячейками для ВМ) и подводящие защитные выработки и вспомогательные камеры. Выработки с ячейками представляют собой замкнутый прямоугольник. Для подводящих выработок характерно наличие трех колен с тупиками для гашения взрывной волны и наличие в первой от склада выработке трех траверс трапецевидной формы. Последние выполняют из бетона и предназначены они для поглощения энергии аварийного взрыва за счет их разрушения и отбрасывания в отбойный тупик. Вспомогательные складские камеры располагают в отбойных тупиках выработок. В них раздают ВВ, проверяют ЭД, изготавливают зажигательные трубки. Камеры, ячейки и выработки склада в неустойчивых породах закрепляют несгораемой крепью.

Взрывники по складу движутся так, чтобы не проходить мимо камер и ячеек с ВМ и не встречаться один с другим. Расстояния от ствола шахты, а также от вентиляционных дверей, разрушение которых может лишить притока свежего воздуха всю шахту или значительные ее участки, до ближайшей точки камерного склада принимают не менее 100 м, ячейкового склада — 60 м. Расстояние от ближайшей ячейки или камеры до выработки, где постоянно ходят люди, составляет в случае склада камерного типа не менее 25 м, ячейкового — не менее 20 м.

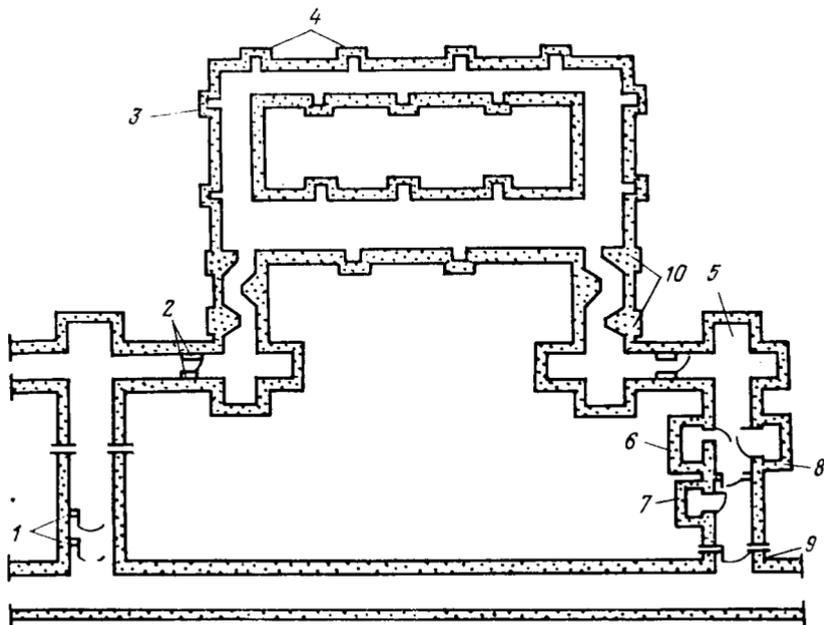


Рис. 88. Подземный склад ВМ ячейкового типа:

1 — железная дверь; 2 — железная вентиляционная дверь с окном; 3 — ячейка для СИ; 4 — ячейки для ВВ; 5 — камера для электрических устройств и противопожарных средств; 6 — камера для сумок взрывников; 7 — камера для проверки ЭД; 8 — камера выдачи ВМ; 9 — противопожарная дверь; 10 — траверсы

Проветривают подземный склад струей свежего воздуха при четырехкратном часовом обмене воздуха во всех выработках. Подводящие выработки и вспомогательные камеры имеют стационарное электроосвещение. У входной двери устанавливают телефон. Для подачи сигналов стволовому или диспетчеру устраивают сигнализацию.

Все склады охраняются постоянной военизированной охраной. Она обеспечивает пропускной режим, контроль за ввозом и вывозом ВМ, предотвращает и ликвидирует нападение на склад, попытки хищения ВМ, а также принимает соответствующие меры при стихийных бедствиях и пожарах на складе или вблизи него.

На территорию склада допуск людей производится только по постоянным или разовым пропускам, выдаваемым с разрешения руководителя предприятия. При возникновении пожара принимают немедленные меры к тушению его и вызову пожарной команды, а при невозможности погасить огонь и предотвратить его распространение на ВМ I, III и IV групп все люди должны немедленно удалиться на безопасное расстояние.

17.3. ПОДГОТОВКА ВМ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

Перед использованием, в зависимости от состояния, порошкообразные ВВ сушат, измельчают, просеивают, засыпают в оболочки или оттаивают. В сухие смеси водонаполняемых ВВ вводят воду. Игданиты готовят непосредственно при зарядании на месте работ. Электродетонаторы проверяют и сортируют по сопротивлениям, приготавливают зажигательные и контрольные трубки.

На подземных работах запрещено применять слежавшиеся аммиачно-селитренные патронированные ВВ влажностью более 0,5 %. При влажности от 0,5 до 1,5 % ВВ просушивают в заводской оболочке и после снижения содержания влаги до 0,5 % используют в шахтах, не опасных по газу или пыли. Если влажность ВВ больше 1,5 %, его просушивают рассыпью, после чего применяют только на открытых горных работах.

Сушат, измельчают и просеивают ВВ в здании подготовки ВМ или на открытых площадках с навесом. На площадках работают днем в сухую погоду. Измельчение аммиачно-селитренных ВВ деревянными молотками и трамбовками разрешается непосредственно у скважин. Измельчать ВВ, содержащие гексоген и нитроэфиры, запрещено. Измельчение гранулированных ВВ совмещают с растариванием при загрузке бункеров транспортно-зарядных машин на поверхностном складе или зарядных установок в шахте.

Здание подготовки ВМ состоит из отдельных рабочих помещений для каждой из операций подготовки ВВ. В нем могут быть и помещения для временного хранения ВВ и СИ и для подготовки СИ, а также другие вспомогательные помещения. Единовременно в здании содержат не более 3 т ВВ.

Температуру воздуха в помещении для сушки повышают не более чем до 50 °С. Используют только водяное отопление. В здании подготовки, расположенном за пределами склада ВМ, разрешается электрическое отопление во взрывобезопасном исполнении, а также печное с топкой в изолированном помещении с отдельным входом. Столы или полки для сушки ВВ отстоят от радиаторов водяного отопления не менее чем на 1 м. Часто используют воздушные сушилки (шкафы, камеры) с температурой воздуха до 60 °С.

Кроме измельчения порошкообразных ВВ вручную, применяют *механические измельчители* типа барабанов, бегунов, вальцов. Изготавливают их из материалов, исключающих образование искры в процессе работы, с двигателями во взрыво- и искробезопасном исполнении. Применяют деревянные шары. Установки заземляют.

Просеивают ВВ на механических ситах. Оболочки заполняют вручную, используя воронки и мерные совки. Работают в респираторах, а в случае ВВ, действующих на слизистые глаза — и в защитных очках.

Оттаивают замерзшие нитроглицериновые ВВ естественным путем целыми ящиками в отапливаемых поверхностных или подземных складах при температуре не ниже 10 °С и не выше 30 °С. Температуру тщательно контролируют.

Разрешается использование сосудов-отопревателей, если суточный расход ВВ не превышает 50 кг. Одновременно в сосуде может быть не более 10 кг ВВ при температуре воды 35—40 °С. Чувствительность полутоттаивших ВВ максимальна, в связи с чем в помещении не допускается других работ. Для обнаружения эксудации на столах или полках, где оттаивают ВВ, поверх клеенки или линолеума укладывают бумагу и на нее в один горизонтальный ряд кладут патроны или пачки ВВ. Выдают ВВ не ранее двух суток после поступления. Ежедневно и в начале каких-либо работ все помещение обмывают теплым щелочным или мыльным раствором.

Наряду с проверкой детонаторов перед выдачей осуществляют их маркировку специальными приборами. Маркируют цифрами или метками, по которым легко установить предприятие и взрывника, работающего с данным детонатором, при его случайном обнаружении.

17.4. УЧЕТ И ВЫДАЧА ВМ

С целью недопущения применения ВМ не по назначению ведут строгий их учет. Бухгалтерия предприятия учитывает приход и расход ВВ на основе документов, представляемых заведующим складом и утвержденных руководителем предприятия. Учет ВМ ведут на складах в книгах, пронумерованных, прошнурованных и скрепленных сургучными печатями или пломбами непосредственно контролирующей организации. В них не допускается записей карандашом, помарок и подчисток. Исправления вносят только проставлением новых цифр, причем каждое исправление оговаривается в конце листа с поправкой.

Доставляемые ВМ немедленно помещают в хранилище и оприходуют на основании сопроводительных документов. Приход и расход ВМ учитывают в книге по *форме № 1*. Ведет ее заведующий складом. Для каждого вида ВМ в книге открывают отдельные счета, причем число листов для них рассчитывают, исходя из количества ежедневных записей и периода пользования книгой. Остаток по каждому виду ВМ подсчитывают на конец суток.

Книга содержит следующие колонки. По приходу ВВ: число, месяц; остаток ВМ на каждое число; откуда, по каким документам получено; дата изготовления; номер партии; номер ящиков, пакетов с ВМ; приход за сутки; всего с начала месяца. По расходу: число, месяц; куда и по каким документам отпущено; номер партии; номер ящиков, пакетов с ВМ; расход за сутки; всего с начала месяца. Кроме того, имеется колонка с замечаниями и росписью проверяющего склад.

На расходных складах ведут книгу учета выдачи и возврата ВМ по *форме № 2*. Она ведется заведующим складом и раздатчиками и содержит следующие колонки: дата выдачи; фамилия взрывника; дата и номер наряда-путевки; наименование выдаваемых ВМ и номера партии и изделия; единица измерения; количество выданных ВМ; роспись взрывника в получении ВМ; количество израсходованных ВМ; количество возвращенных ВМ и номера изделий; роспись раздатчика в получении ВМ; роспись взрывника в сдаче ВМ. В конце суток подсчитывается и записывается расход ВМ — отпущенные за вычетом возвращенных ВМ.

Выведенное в книге по *форме № 2* количество израсходованных за сутки ВМ записывают ежедневно в книгу по *форме № 1*.

Доставку ВМ с базисного на расходные склады производят по наряду-накладной, составленной по *форме № 3*. Выписывает ее бухгалтерия предприятия, подписывают руководитель и главный бухгалтер предприятия, регистрируют в специальной книге бухгалтерии. Указывают в наряде-накладной доставщика, наименование ВМ, затребованные и отпущенные ВМ и их количества, завод-изготовитель, номера партий, ящиков, пакетов, дату изготовления и количество мест.

Отпуск ВМ взрывникам производят по наряду-путевке, составленной по *форме № 4*. Ее подписывают начальник участка или начальник смены, чьи заверенные руководителем предприятия подписи должны быть на складе. По окончании рабочей смены руководитель работ в наряде-путевке подтверждает фактический расход ВМ по назначению. При наличии остатков ВМ сдаются на склад. Взрывникам, не отчитавшимся в израсходовании ранее полученных ВМ, новые не выдаются.

Наряд-путевка является основанием для записи выдачи и списания ВМ в книгах по формам № 2 и № 1. В ней указывают фамилию и маркировочный номер взрывника и приводятся сведения о месте работ, об объеме взрывания, о выписанных, выданных, взорванных, израсходованных и возвращенных ВМ, о дате выдачи ВМ и принятия их остатка на склад.

17.5. ПЕРЕНОСКА И ХРАНЕНИЕ ВМ НА МЕСТЕ РАБОТ

Переносят ВМ к месту работ при небольших ежедневных взрывах. Переносят в заводской упаковке или в исправных сумках или кассетах, причем ВВ и СИ переносят в отдельных сумках.

При *совместной переноске* ВВ и СИ взрывник может переносить не более 12 кг ВВ. Эта норма может быть увеличена до 20 кг, если переносят только ВВ. В заводской упаковке на расстоянии до 300 м и подъеме не более 0,02 при удобном пути переносимая масса ВВ может достигать 40 кг.

При спуске в шахту в одной клетке разрешается одновременно находиться несколькими взрывниками с сумками с ВМ и подносчиков с сумками с ВВ из расчета 1 м² пола клетки на одного человека. Спуск и подъем взрывников с ВМ по стволу шахты производится вне очереди. Выходя с ВМ из клетки, взрывник, не останавливаясь и избегая места скопления людей, направляется к месту работ. Сумки с ВМ, особенно с СИ, не должны при переноске ударяться о бока выработок, о встречных и транспорт.

Доставленные ВМ находятся в сумках или кассетах в безопасном месте у забоя под наблюдением взрывника или подносчика. При проходке стволов шахт ВМ в размере суточной потребности хранят в зарядных будках не ближе 50 м от ствола.

На удалении более 2—2,5 км от подземного склада ВМ хранят в специальных ящиках или контейнерах, закрытых на замок и помещенных в нишах. Для рационального использования рабочего времени взрывников организуют централизованную доставку ВМ через раздаточные камеры и участковые пункты хранения ВМ. Устраивают их в сухих выработках шахты, не ближе 20 м от погрузочных пунктов.

Раздаточные камеры обслуживают несколько участков. Емкость их может быть до трехсуточного расхода, но не более 2 т ВВ. Порядок работы камеры аналогичен порядку работы расходного подземного склада.

Участковый пункт хранения ВМ представляет собой часть выработки со шкафами или контейнерами с ВМ. Вместимость пункта не более 1 т ВВ, в одном шкафу не более 150 кг ВВ и соответствующего количества детонаторов. Размещают шкафы в нишах не ближе 50 м от очистного забоя и 150 м от подготовительного забоя.

Хранят ВМ в участковом пункте без постов охраны. Каждый пункт обеспечивается телефоном. ВМ в них доставляют раздатчики-доставщики по наряду-накладной из расходного склада. Не менее двух раз в смену пункты проверяются. Время осмотра пункта проверяющие отмечают в своих путевках, нарядах. Проверяет учет, хранение и наличие ВМ в шкафах раздатчик-доставщик и специально назначаемые лица.

Закрепляют шкаф за одним или несколькими взрывниками. При хранении детонаторов кассеты для них закрепляются персонально за взрывниками и имеют приспособления для установки пломб или опечатывания. ВМ из шкафа в соответствии с нарядом-путевкой берет взрывник, заполняя графы «Выдано» в наряде-путевке и «Взято» в книге по форме № 2с, и расписывается в этой книге. После взрывания взрывник производит записи в графах «Взорвано» и «Израсходовано» в наряде-путевке и в книге по форме № 2с об израсходованных и оставшихся ВМ. Книга находится в шкафу, наряды-путевки по окончании смен сдают в расходный склад ВМ. Учет расхода ВМ

по участковым пунктам на расходном складе ведут по аналогичной книге по форме № 2с.

Доставку ВМ в контейнере в размере сменной потребности производят по наряду-путевке взрывника.

17.6. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ВМ

На поверхности и в шахтах ВМ транспортируют таким образом, чтобы исключить их потери, хищения, а также случайные взрывы. С заводов и базисных складов ВМ перевозят к расходным складам, а также к приемным площадкам у ствола шахт в исправной заводской упаковке. На ящиках или мешках, из которых на базисном складе отбирали пробы ВМ для испытаний, ставят пломбы базисного склада и указывают количество оставшихся ВМ.

Перевозят ВМ специально подготовленным автомобильным или мототранспортом по маршруту, согласованному госавтоинспекцией. Сопровождают ВМ лицо с правом руководства или производства взрывных работ, или заведующий складом ВМ и вооруженная охрана. Водители и охрана инструктируются о порядке перевозки, погрузки и выгрузки ВМ. Погрузка и выгрузка ВМ производится под наблюдением ответственного лица.

Загружают транспортные средства до полной грузоподъемности. При перевозке нитроглицериновых ВВ, детонаторов и дымного пороха нагрузка не должна превышать $\frac{2}{3}$ грузоподъемности, причем укладывают не более двух рядов ящиков по высоте. ВМ покрывают брезентом и прочно укрепляют веревками.

На первом и последнем автомобиле, а также на каждом одиночном транспортном средстве должны быть отличительные знаки в виде красных флагов и информационных таблиц. В автоприцепах ВВ повышенной чувствительности не перевозят.

Ответственное за перевозку лицо находится в кабине на первом автомобиле, на последнем — находится одно из лиц вооруженной охраны. При внутригородских перевозках охрана находится в кузове каждой автомашины. Скорость автотранспорта ограничивается Правилами дорожного движения, но не более 60 км/ч. Интервалы между машинами на ровной дороге должны быть не менее 50 м, а при спусках или подъемах — 300 м.

С разрешения главного инженера или руководителя взрывных работ возможна *совместная перевозка ВВ и СИ* к местам работ или на расходный склад. При этом количество ВМ не превышает: ВВ — 1500 кг; детонаторов — 6000 шт.; ДШ — 1200 м; ОШ — 6000 м. Другие средства огневого и электроогневого инициирования перевозят без ограничения. Детонаторы размещают в передней части кузова в специальном ящике, ВВ — в конце. Между ними располагают средства огневого и электроогневого инициирования.

При *подготовке массовых взрывов ВВ* доставляют с базисного склада, СИ — с расходного. Приходят ВВ расходным складом по наряду-накладной, а списывают по наряду-путевке, выдаваемой главным инженером начальнику участка, на котором подготавливается массовый взрыв. Расход ВВ подтверждает начальник взрыва.

Спуск ВМ в шахту производят после извещения об этом машиниста, рукоятчика, стволового и лица, ответственного за подъем. Скорость спуска не должна превышать 5 м/с, а сам спуск должен быть плавным, без толчков.

При перевозке электровозами погрузку ВМ производят на подводящих выработках и непосредственно в выработках расходного склада. Используют как специальные, так и порожняковые составы. На передней части электровоза и сзади состава устанавливают специальные опознавательные знаки, известные всем работающим в шахте.

Вагонетки для ВМ I и IV групп футеруют изнутри деревом или выполняют с деревянным закрытым кузовом. Ящики перекаладывают войлоком и укладывают в один ряд по высоте. При перевозках контактными электровозами вагонетки с детонаторами закрывают сплошной деревянной крышкой.

17.7. ОСОБЕННОСТИ ДОСТАВКИ ВМ СОВРЕМЕННЫМИ СРЕДСТВАМИ МЕХАНИЗАЦИИ

Современные средства механизации позволяют резко уменьшить объемы ручного труда, сократить контакты человека с ВВ и повысить производительность взрывных работ. При комплексной механизации эффективна и доставка ВВ к забою.

Широкое применение на складах получили специальные *аккумуляторные погрузчики*, используемые на погрузке и разгрузке ВВ II группы и ДШ. Мешки с ВВ укладывают в решетчатые *строп-контейнеры*, которые транспортируют к шахте. Разгружают их на приемной площадке у ствола шахты, на расходном складе или непосредственно на блоке. В результате отсутствует необходимость в трудоемком возврате из шахты деревянной ящичной тары.

Доставку гранулированных ВВ все чаще осуществляют россыпью в транспортно-зарядных машинах. Загрузку машин производят на стационарных или передвижных мешкорастаривающих пунктах, а также непосредственно на складе, где ВВ хранится россыпью в бункерах-хранилищах. Возможно применение *невмоконтейнеров*.

Из машин сжатым воздухом ВВ перегружают в шахтные саморазгружающиеся зарядно-доставочные вагоны или установки, которые в клетях опускают в шахту и дальше транспортируют к заряжаемому блоку. Возможна перегрузка ВВ из машин через специальные скважины непосредственно в *бункера-храни-*

лица подземного склада, откуда с помощью зарядно-доставочных установок или пневмотранспортных систем транспортируют к блоку или в раздаточные камеры. Непосредственно в буровые или зарядные камеры ВВ транспортируют сжатым воздухом, где загружают бункера зарядчиков или производят зарядание. Пневмоконтейнеры доставляют со склада на поверхности сразу к заряжаемому блоку.

Для *бесперегрузочной доставки ВВ* с поверхности в забой с последующим заряданием шпуров и скважин применяют транспортно-доставочные установки ТЗУ. Доставляют установки к забою специальным поездом, используют для обслуживания нескольких забоев или при подготовке массовых взрывов. Загружают установки ТЗУ с помощью транспортно-зарядных машин на поверхности или обычным способом в подземном складе ВМ. Смонтированы установки на шасси шахтной вагонетки и включают в себя зарядное оборудование УЗС-1500 и аппаратуру управления. Кузов вагонетки переоборудован под емкость для ВВ, а для улучшения процесса загрузки питателя зарядчика применены пневмовибраторы.

Глава 18

ИСПЫТАНИЕ И УНИЧТОЖЕНИЕ ВЗРЫВЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ

18.1. СРОКИ И МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Из-за изменения физико-механических и взрывчатых свойств при хранении и перевозках, а также вследствие возможных дефектов изготовления не только ухудшается эффективность ВМ, но зачастую становится и опасным их применение. Поэтому в соответствии с требованиями ЕПБ и ГОСТов на ВМ проводятся испытания с целью оценки их пригодности для применения и дальнейшего хранения.

Испытывают ВМ при поступлении на базисный склад — входной контроль и в процессе хранения — в лаборатории, или на специальной площадке (полигоне) не ближе 200 м от хранилищ склада. Производят испытания взрывники или лаборанты под руководством заведующего складом.

Испытания ВМ производят в конце гарантийного срока их хранения, а также: нитроэфиросодержащих ВВ — через каждый месяц после истечения гарантийного срока; других ВВ — через три месяца; СИ — не реже одного раза в год после истечения срока. Кроме того, испытывают ВМ вне зависимости от срока хранения, если возникает сомнение в их качестве по внешнему осмотру или неудовлетворительным показателям производственных взрывов.

18.2. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Испытания всех ВМ начинают с *наружного осмотра* тары и отобранных из ящиков патронов, детонаторов или шнуров. Затем патронированные и прессованные ВВ испытывают на передачу детонации, после чего нитроэфиросодержащие ВВ осматривают на наличие эксудации, а аммиачно-селитренные — на рассыпчатость.

Результаты осмотра и испытаний заносят в журнал учета испытаний ВМ на складе, составленный по *форме № 1* «Инструкции по испытанию взрывчатых материалов». При получении неудовлетворительных результатов составляют также рекламационный акт по *форме № 2*.

В журнале по *форме № 1* записывают дату испытаний, наименование ВМ, завод-изготовитель, номер партии, дату изготовления, дату прибытия на склад и результаты испытаний. В акте по *форме № 2*, помимо приведенных в журнале данных, указывают результаты наружного осмотра тары, ВВ и СИ, а также приводят заключение о годности или непригодности ВМ. Вопрос о дальнейшем использовании ВМ решает комиссия с участием представителя завода.

Ящики с ВВ осматривают все без исключения. Проверяют их исправность, пломбы, трафареты. В поврежденных ящиках контролируют целостность внутренней упаковки; если она нарушена, уточняют фактическое количество ВВ.

На патронах не должно быть следов подмочки и признаков увлажнения ВВ. Не допускается высыпание ВВ с торцов или затекание влагонезащищающего состава внутрь, образования на торцах пробок из герметика.

Патроны не должны иметь признаков слеживания и спекания, при разрезании оболочки ВВ не должно рассыпаться от легкого нажатия руки. Шаблонами проверяют диаметр патронов. Осматривают гнезда для детонаторов, сколы на кромках гнезд не должны превышать 3 мм. Диаметр гнезда равен 8 мм, глубина — 74 мм.

Нитроэфиросодержащие ВВ проверяют на эксудацию. Ни в ящиках, ни на патронах, а также на внутренней стороне бумажной оболочки не должно быть выделившейся жидкости. Ширина блестящей полоски на стыке внутреннего края оболочки патрона с налегающим на него следующим слоем бумаги не должна быть более 6 мм.

Эксудирующие ВВ незамедлительно уничтожают.

При *испытании ВВ на передачу детонации* водостойчивые ВВ испытывают на передачу детонации после часовой выдержки в воде на глубине 1 м. Слежавшиеся ВВ не разминают, кроме конца патрона, в который вводят детонаторы.

18.3. ОСОБЕННОСТИ ИСПЫТАНИЙ СРЕДСТВ ИНИЦИИРОВАНИЯ

Капсюли-детонаторы подвергают только наружному осмотру, у *электродетонаторов* на расходных складах проверяют электросопротивления. Огнепроводные и детонирующие шнуры осматривают и испытывают по всем показателям. В ряде случаев детонаторы испытывают на полноту детонации, о которой судят по результатам подрыва применяемых патронов ВВ.

Для *наружного осмотра шнуров* от каждой партии осматривают бухты. Если находят переломы, трещины в оболочке, разлохмачивания концов, следы подмочки, утонения и другие дефекты, ОШ бракуют. Бухты ОШ с дефектами уничтожают.

ОШ испытывают только после выдержки его в воде. При затухании горения в испытаниях шнур применяют только в сухих забоях.

Скорость горения проверяют на мерном отрезке шнура. Время их сгорания должно быть не менее 60 с и не более 70 с. Полноту и равномерность горения устанавливают отдельно. Шнур должен гореть равномерно, без хлопков и прорыва пучков искр через оболочку, а также без затуханий сердцевины и воспламенений оболочки. При хотя бы одном затухании или другом дефекте испытания повторяют с удвоенным количеством ОШ. Дефекты в новой серии испытаний указывают на брак всей партии. Акт отправляют на завод, в институт по безопасности и в вышестоящую организацию.

Требования к качеству ДШ менее жесткие.

Испытание на *безотказное взрывание* проводят с бухтами, от которых отрезают по 5 отрезков, а оставшийся ДШ разматывают и используют в качестве магистральных линий. К ним подсоединяют на некоторых расстояниях отрезки тем же способом, которыми пользуются при монтаже взрывной сети в шахте.

При взрывании в *обводненных условиях* испытание ведут после замачивания ДШ в воде. При отказах ДШ испытывают без замачивания, допуская его к взрыванию в сухих забоях при положительных результатах.

18.4. ПРИЧИНЫ И СПОСОБЫ УНИЧТОЖЕНИЯ ВМ

Уничтожают взрывчатые материалы, пришедшие в негодность и не отвечающие требованиям ГОСТов. Работы по уничтожению выполняют по письменному распоряжению главного инженера или руководителя взрывных работ.

Разрешается уничтожать ВМ взрыванием, сжиганием, потоплением или растворением в воде.

Взрывание — наиболее распространенный способ уничтожения ВМ. Так уничтожают ВМ, если есть уверенность в полноте их взрыва. Применяют электрическое, редко огневое иницииро-

вание. Патронированные ВВ уничтожают пачками, детонаторы - - в любой упаковке, зарывая в землю. При понижении детонационной способности ВВ взрывают в ямах, закрытых щитами. Уничтожают ВМ при помощи доброкачественных СИ.

Сжиганием уничтожают только не поддающиеся взрыванию ВМ. Шнуры и ВВ сжигают на кострах. Патроны раскладывают в один ряд сверху костра, ДШ и ОШ сжигают в бухтах, располагая их аналогичным образом. Уничтожение детонаторов сжиганием запрещено. Пороха перед сжиганием рассыпают дорожками. Тару от ВМ сжигают отдельно, тщательно очистив ее от остатков ВМ. Костер подготавливают только в сухую погоду и настолько большим, чтобы в него не приходилось подкладывать горючий материал во время сжигания ВМ. Поджигают костер с подветренной стороны с помощью ОШ или дорожки длиной более 5 м из стружек, хвороста или других легковоспламеняющихся материалов.

Потоплением ВВ уничтожают очень редко. Так уничтожают водоустойчивые ВВ, причем в открытом море. Растворением уничтожают неводоустойчивые ВВ и дымный порох. Растворяют ВВ в бочках или иных сосудах. Нерастворимый остаток сжигают.

18.5. ВЫБОР МЕСТА И ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ПРИ УНИЧТОЖЕНИИ ВМ

Уничтожение ВМ взрыванием и сжиганием производят на *специальной площадке*. Вокруг нее, чтобы предупредить распространение огня, образуют кольцевую зону, очищенную от дерна и горючего материала. Размеры площадки определяют количествами уничтожаемых ВМ и местными условиями.

Взрывание рационально выполнять в неглубокой яме, уменьшающей разлет продуктов взрыва и грунта, а также снижающей интенсивность воздушной волны. На безопасном расстоянии, рассчитываемом по поражающему действию воздушной волны на людей, устраивают надежное укрытие. При отсутствии укрытия лицо, руководящее уничтожением, устанавливает границы опасной зоны.

Площадку выбирают на безопасных расстояниях, не ближе 300 м от складов ВМ и сооружений

Об уничтожении ВМ составляют акт. В нем указывают: наименование и количество уничтоженных ВМ, причины и способ уничтожения. Составляют акт в двух экземплярах: один остается на складе ВМ, другой передается в бухгалтерию предприятия.

Уничтожение сметок ВВ и остатков непригодных СИ производится взрывником по мере необходимости, но не реже одного раза в десять дней в присутствии руководителя взрывных работ или лица технического надзора. Акт в этом случае не составляют.

При *потоплении* в открытом море принимают меры, исключющие всплытие уничтожаемых ВВ. Сосуды для *растворения* ВВ устанавливают на площадках, где уничтожают ВВ взрыванием или сжиганием, либо в другом удобном месте. В реках и озерах уничтожать ВВ растворением запрещается из-за возможного отравления воды, а также оседания на дно нерастворимого взрывчатого осадка.

18.6. ПРЕДЕЛЬНЫЕ КОЛИЧЕСТВА УНИЧТОЖАЕМЫХ ЗА ОДИН ПРИЕМ ВМ

Количества уничтожаемых ВМ зависят от способа и условий уничтожения. Одновременно *взрывают* при радиусе опасной зоны больше 300 м на открытых площадках не больше 20 кг ВВ. В закрытых щитами ямах возможно взрывание больших количеств ВВ, зависящих от параметров ямы и щитов. Если доставлена к месту работ вся партия ВМ, а уничтожение производится по частям, ВМ помещают с наветренной стороны за прикрытием на безопасных по передаче детонации и разрушающему действию взрыва уничтожаемых ВВ расстояниях.

При *сжигании* на каждом костре располагают не более 10 кг ВВ, ОШ или ДШ. Одну бухту ДШ приравнивают к 1 кг ВВ. Пороховые насыпные дорожки выполняют шириной не более 30 см и высотой не более 10 см. Расстояние между ними выдерживают не менее 5 м. Одновременно поджигают не более 3 дорожек. Все ВМ *запрещается* сжигать в таре. Перед сжиганием следят, чтобы в патронах не было детонаторов.

Массы потопляемых ВВ определяются условиями потопления, а *растворяемых* — емкостью сосудов с водой. На каждые 10 кг ВВ расходуют не менее 125 л воды. Раствор сливают в яму.

Глава 19

ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

19.1. ПОРЯДОК ДОПУСКА ВМ К ПРИМЕНЕНИЮ

На взрывных работах применяют ВМ, допущенные *журнальными постановлениями* Госгортехнадзора СССР к постоянному применению. Для безопасности и эффективности работ вновь разрабатываемые ВМ, а также контрольно-измерительную аппаратуру, взрывные машинки и приборы, средства механизации заряжания и забойки, прежде чем принять решение о допуске к применению, испытывают в институтах по безопасности работ (МакНИИ, ВостНИИ, ВНИИБТГ и др.), а также на производстве.

Испытания в институтах проводят по специальной методике, согласованной с организацией-разработчиком. Для ВВ устанавливают класс их предохранительности и область применения, определяют взрывчатые свойства, для чего разработчик направляет в институт не менее 50 кг ВВ. Новые СИ в количестве не менее 10 тыс. детонаторов или 10 тыс. м ДШ или ОШ испытывают в организации, разработавшей СИ, в присутствии представителя института по безопасности.

На основании *положительного заключения* и справки завода-изготовителя о сроках поставки опытной партии ВМ, Госгортехнадзор СССР издает журнальное постановление о *первичных* промышленных испытаниях. В нем устанавливают условия испытаний и сроки их проведения, указывают количество ВМ, которое должно быть в случае ВВ не менее 5000 кг для подземных работ, детонаторов — 100 тыс. шт. и ДШ или ОШ — не менее 50 тыс. м.

Заинтересованное министерство создает специальную комиссию из представителей организаций — разработчика, изготовителя, института по безопасности и др. Определяют предприятие, в забоях которого испытывают ВМ. Выполняют работы по специальной методике и программе испытаний. ВМ применяют после испытания образцов опытной партии в институте по безопасности.

На основании *актов первичных испытаний* и рекомендации института по безопасности Госгортехнадзор СССР издает журнальное постановление о допуске ВМ к *широким промышленным испытаниям* в течение года. Указывают технические параметры ВМ, условия испытаний. Для испытаний изготавливают 50—100 т ВВ или не менее 5 опытно-валовых партий СИ.

Проводят испытания под руководством *государственной комиссии*, утвержденной соответствующим министерством. Комиссия определяет районы и предприятия с самыми различными горно-геологическими условиями, а также объемы работ по испытанию. На предприятиях создают рабочие комиссии по непосредственному руководству испытаниями и обобщению их результатов.

На основании *заключения государственной комиссии* о целесообразности применения нового ВМ, заключения института по безопасности и ходатайства министерства Госгортехнадзор СССР издает журнальное постановление о допуске нового ВМ к постоянному применению в соответствующих условиях.

19.2. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ВМ НА СКЛАДАХ И К МЕСТУ РАБОТ

Транспортирование ВМ на складах разрешается в железнодорожных вагонах, а ВМ II группы — и с помощью аккумуляторных погрузчиков. В вагонах ВВ прибывают на склад, а погрузчиками их перевозят из вагонов в хранилища, а также из хра-

нилища на автомашины или на растаривающие установки. Подачу вагонов к хранилищам складов для разгрузки и погрузки производят специально подготовленными мотовозами и тепловозами, а также аккумуляторными электровозами и лебедками. Паровозами вагоны подают только на расстоянии до 50 м от хранилища, а троллейными электровозами — до ограды склада.

Скорость передвижения вагонов ограничивается 10 км/ч. Под разгрузкой и погрузкой у каждого хранилища может быть одновременно не более двух вагонов нормальной колес и четырех вагонов узкой колес. Какие-либо действия, связанные с образованием огня или искр, запрещаются.

К месту работ ВМ транспортируют в исправной заводской упаковке, в таре с частично отобранными для испытаний ВМ, а также россыпью. В последнем случае применяют только транспортно-зарядные машины и специальные контейнеры, а в шахте — зарядно-доставочные вагоны и установки, те же контейнеры, а также пневмотранспорт. Кроме взрывных машинок или приборов, материалов и легкого инструмента, необходимых при взрывании и уложенных в ящик, какой-либо другой груз вместе с ВМ не перевозят. Автомобили должны иметь два огнетушителя, мототранспорт — один. Они должны быть оборудованы средствами против скольжения, иметь информационные таблицы, глушители с искрогасителями, выведенными вперед под радиатор, огражденный бак с горючим, быть очищены от мусора и остатков других грузов, не иметь щелей в кузове. В путевом листе должна быть надпись: «Автомобиль проверен, вполне исправен и пригоден для перевозки взрывчатых грузов». К управлению автомобилем (мотороллером, мотоциклом) допускают водителей, прошедших специальный инструктаж о правилах перевозки ВМ. В нагруженном автомобиле никого из посторонних не должно быть. К местам погрузки ВМ автомобили подаются по одному, остальные находятся на удалении не менее 100 м. В населенных пунктах ВМ перевозят в закрытых автомобилях с информационными таблицами, знаками опасности и диагональной красной полосой шириной 15 см. Управляют автомобилями водители не ниже второго класса.

19.3. БЕЗОПАСНЫЕ РАССТОЯНИЯ И СИГНАЛИЗАЦИЯ

Взрывные работы разрешается выполнять, когда при взрыве не только обеспечена *полная безопасность* людей, но и исключаются повреждения крепи, горных выработок, машин, механизмов, а также зданий и сооружений на поверхности.

К основным воздействиям взрывов относят сейсмические, разлет кусков породы, воздушные волны, газовые и непосредственные воздействия. Для горных выработок, крепи, зданий и

сооружений в этой связи опасную зону, т. е. зону, в пределах которой недопустимы их повреждения, определяют по разрушительному действию сейсмической и воздушной волн, а также разлетающихся кусков породы. При расчете *опасной зоны* для защиты людей учитывают воздушную волну, разлет кусков породы и газовый фактор. Для исключения взрывов на складах безопасные расстояния между хранилищами рассчитывают по передаче детонации (см. 5.9).

Расчеты сейсмобезопасных расстояний (м) выполняют по формуле

$$R_c = k_c \alpha (k_c / v_c)^{2/3} \sqrt[3]{Q_{зар}}$$

где k_c — коэффициент, зависящий от свойств грунта в основании объекта (изменяется от 3 в скальных породах до 40 в глинах);

α — коэффициент показателя действия взрыва (при $n \geq 3$ $\alpha = 0,7$ и при взрывах камуфлета $\alpha = 1,2$); v_c — допустимая скорость сейсмических колебаний для объекта, см/с; $Q_{зар}$ — масса заряда, кг.

При многократных короткозамедленных взрывах

$$R_c = 29 \sqrt[3]{Q_{зар}/N}$$

где N — число взрываемых групп зарядов.

Схватывающийся бетон при взрывном на него воздействии теряет прочность. Взрывы вблизи участков бетонирования поэтому выполняют не ранее 7 сут. после укладки бетона.

Безопасные расстояния по действию воздушной волны рассчитывают по формуле

$$R_b = k_1 \sqrt{Q_{зар}} \quad \text{или} \quad R_b = k_2 \sqrt[3]{Q_{зар}}$$

где k_1 и k_2 — коэффициенты пропорциональности.

Выбор формулы и значение коэффициента определяется величиной заряда, условиями взрыва (открытый или углубленный заряд) и степенью безопасности, которая характеризует возможные повреждения охраняемых объектов. Значения коэффициентов, как и в приведенном выше случае, принимаются из таблиц в соответствии с требованиями «Единых правил безопасности».

Опасная для человека зона действия воздушной волны наружного заряда определяется из формулы

$$R_b = 15 \sqrt[3]{Q_{зар}}$$

При использовании укрытий зона может быть уменьшена в 1,5 раза.

В *подземных выработках* при массовых взрывах опасные расстояния по действию воздушной волны могут быть определены в зависимости от величины ее давления

$$\Delta P = \left(3270 \frac{Q_{\text{зар}} m_{\gamma}}{R \Sigma S} + 780 \right) \sqrt{\frac{Q_{\text{зар}} m_{\gamma}}{R \Sigma S}} e^{-\frac{\beta R}{d_{\text{в}}}},$$

где m_{γ} — коэффициент перехода энергии взрыва в воздушную волну (от 0,01 при взрывании шпуров до 0,4 при взрыве открытого заряда); R — длина выработки, м; ΣS — суммарное сечение выработок, имеющих сообщение с выработкой, в которой помещен заряд, м²; β — коэффициент сопротивления выработки (от 0,01 в забетонированных до 0,06 в закрепленных арочной крепью выработках); $d_{\text{в}}$ — приведенный диаметр выработки, м. Определяют его из выражения $d_{\text{в}} = \sqrt{4S/n}$ (здесь n — число выработок).

Величина допустимого давления воздушной волны на человека принята равной 20 кПа.

Размеры *безопасной по разлету кусков породы* зоны зависят от показателя действия взрыва и величины л.н.с. Чем больше показатель взрыва и л.н.с., тем больше радиус опасной зоны.

Опасная зона по газовому фактору на подземных работах существенна в выработках, по которым проходит исходящая воздушная струя. Вход в эти выработки запрещен. Посты охраны в них могут быть только при наличии изолирующих самоспасателей, включаемых при проходе по выработке газов.

Расстояния, исключаяющие передачу детонации между хранилищами ВМ, зависят от типа ВМ и хранилища, массы ВМ в хранилище и размеров зарядов в хранилищах. В обвалованных хранилищах может находиться в 1,4—1,8 раза большее количество ВМ.

Сигналы в шахтах подаются только звуковые. При вторичном взрывании разрешается объединять 1-й и 2-й сигналы путем непрерывного звучания сирены с обязательной подачей сигнала «Отбой».

19.4. ПРАВИЛА ЛИКВИДАЦИИ НЕВЗОРВАВШИХСЯ ЗАРЯДОВ

Отказы ликвидируют только при выставленных постах охраны на границе опасной зоны, предусмотренной для основного взрыва.

Замену участков магистральных проводов электровзрывной сети выполняют с предосторожностями, исключаящими преждевременный взрыв. Вытягивать провода, ДШ и ОШ из-под навала пород, из шпуров и скважин, а также извлекать боевики из отказавших зарядов, выбуривать и извлекать заряды из

шпуров и скважин запрещается. Сохранившиеся ЭД проверяют на сопротивление с безопасного расстояния. При отсутствии забойки устанавливают новые боевики в те же скважины и шпуры, из которых не выходят провода или шнуры старой взрывной сети, или неисправны ЭД.

В восстановленную взрывную сеть включают все невзорвавшиеся заряды, для чего тщательно осматривают место взрыва. Разъединенные провода сети закорачивают.

При ликвидации отказов взрывами зарядов используют вспомогательные шпур и скважины, которые бурят параллельно невзорвавшимся на расстоянии не менее 30 см от обычного и не менее 50 см от котлового шпура. Дополнительную скважину бурят не ближе 1 м от отказавшей.

19.5. ТРЕБОВАНИЯ К ОБОРУДОВАНИЮ ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННОГО ЗАРЯЖАНИЯ

Оборудование для механизированного заряжания изготавливают в соответствии с временными требованиями безопасности к заряжающим устройствам. Конструкция и материалы узлов и деталей, устанавливаемых при ремонте взамен вышедших из строя, должны соответствовать техническим требованиям на изготовление данных устройств. Какие-либо *конструктивные изменения* в зарядных устройствах не допускаются без согласования с разработчиком и одним из институтов по безопасности работ.

Оборудование для заряжания должно удовлетворять следующим требованиям. Нагрузки на ВВ в зарядных устройствах, включая аварийные ситуации, должны быть меньше тех, при которых возможно инициирование ВВ. К работе допускают зарядчики, разогрев поверхностей, узлов и деталей которых при заряжании россыпных ВВ не превышает 60 °С. Применяют зарядчики, снабженные устройствами, позволяющими заряжать шпуры или скважины с исключением просыпания и уменьшением пыления ВВ. Рабочие камеры с ВВ должны быть герметичны, уплотняющие прокладки качественные, крепление крышек быстроразъемное и надежное. Конструкция зарядчиков должна позволять легко производить их разборку и промывку от частиц ВВ. Узлы, где заряжаемое ВВ подвергается механическим и другим внешним воздействиям, а также места, где возможны скопления ВВ, смазки, должны быть доступны для осмотра и очистки. Конструкция зарядчиков должна исключать попадание смазочных материалов в ВВ.

Изготавливают зарядчики из материалов, химически не взаимодействующих с ВВ. Детали, контактирующие с ВВ, изготавливают из материалов, не дающих искр при работе подвижных частей или при ударе и трении инструментов. Шланги должны быть маслостойкие, морозостойкие, гибкие, монослойные, с по-

стоянным электрическим сопротивлением по длине. Для отличия от других шлангов, зарядные маркируют яркими знаками. Электрическое сопротивление материала фильтров, применяемых против выноса ВВ из скважин и исключаящих просыпи ВВ, не превышает 10^6 Ом·см.

Все *оборудование снабжено средствами* защиты и контрольно-измерительной аппаратурой: регуляторами давления сжатого воздуха, редукционными клапанами, ограничителями частоты вращения рабочего органа, орошающими и пылеулавливающими устройствами, манометрами, термометрами, тахометрами и др. Все зарядчики должны иметь счетчики подаваемого в скважины и камеры ВВ.

Попадание аэрозолей ВВ в зазоры между трущимися элементами установок не допускается. Чтобы исключить попадание в зарядное устройство и трубопровод кусков породы и других предметов, приемные бункера, камеры, дозаторы снабжают сетками и крышками. Креплением исключается их смещение при работе и транспортировании зарядчика. Размер ячеек сеток не превышает 8×8 мм, а отверстий пластин — 10 мм. В местах прохождения ВВ нет крепежных деталей — болтов, шпилек, шпонок. Резьбовое крепление допускается на эпоксидной смоле.

В случае неисправности систем разгрузки конструкция зарядчика должна обеспечивать автономную выгрузку ВВ из бункера. Погрешность контроля за расходом ВВ не должна превышать ± 4 %.

19.6. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗАРЯДНЫХ УСТРОЙСТВ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ ТИПОВ ВВ

Обслуживание зарядных устройств, их настройку, профилактические ремонты, зарядание ВВ выполняет бригада из взрывников и обученных рабочих. Взрывники должны быть обучены по специальной программе и иметь соответствующее удостоверение и запись в «Единой книжке взрывника».

К работе допускаются только исправные зарядчики. Все они пронумерованы и снабжаются индивидуальными «Журналами осмотра технического состояния и учета работы зарядного устройства».

Перед началом зарядания с записью в журнал проверяют заземление зарядчика, сопротивление зарядных шлангов, исправность зарядчика, состояние места зарядания. В связи с большим влиянием на пылеобразование ВВ расхода сжатого воздуха и скорости транспортирования ВВ по зарядным шлангам, увеличивающим опасность работ, зарядание выполняют с учетом особенностей зарядчика и ВВ.

Пылящие ВВ (тротило- и алюминийсодержащие ВВ и гранулит С-2) транспортируют с меньшей скоростью, причем камерными зарядчиками. Игданит, гранулит М и водосодержа-

щие ВВ — менее пылящие и потому менее опасные при пневмозаряджании ВВ. Требования к зарядчикам и процессу заряджания этими ВВ менее жесткие. Поэтому их особенно рационально применять для заряджания восходящих скважин, особенно увеличенного диаметра, где гранулит М и игданит характеризуются наибольшей удерживающей способностью за счет уплотнения и слипаемости.

В зависимости от типа ВВ выбирают *зарядные шланги*. Резиновые и полиэтиленовые саженаполненные применяют для заряджания граммонита 79/21. Игданит и гранулиты заряжают с помощью антистатических полиэтиленовых саженаполненных шлангов, стойких к дизельному топливу. Маслобензостойкими резиновыми рукавами заряжают шпурсы и нисходящие скважины любой глубины.

Диаметр шлангов выбирают в зависимости от диаметра шпуров и скважин, производительности зарядчика. Хранят шланги растянутыми или свернутыми в бухты большого диаметра. Повороты шлангов при монтаже трубопроводов радиусом менее 0,6 м не допускаются. Для исключения просыпей применяют фильтры, которые надевают на устье скважин и насадки.

В процессе заряджания следят за исправностью заземления и температурой частей зарядчика. Сопротивление шлангов изменяется при прилипанию частиц ВВ и образовании на внутренней поверхности шланга слоя из ВВ, алюминиевой пудры, дизельного топлива и т. п. Перед заряджанием другим ВВ установку и шланги тщательно очищают от остатков прежнего ВВ. Также каждый раз после работы, если перерыв длится больше смены, не реже одного раза в сутки при непрерывной работе зарядчик вскрывают, осматривают и промывают, как и шланги, от частиц ВВ. Предварительно шланги продувают.

Запрессовавшиеся ВВ удаляют неметаллическими щетками, соскабливание и выбивание ВВ металлическим инструментом не допускается. Зарядные и зарядно-доставочные установки не должны использоваться не по назначению — для перевозки грузов, забойки и т. п.

При заряджании камер зарядные установки работают длительное время. Чтобы легче собирать просыпавшееся ВВ, зарядчики устанавливают на брезент. Над зарядчиком устанавливают емкость с водой для смачивания ВВ.

Срок службы зарядчиков барабанного типа 3 года при выработке ресурса не менее 1300 машино-часов, камерного типа — 2 года и не менее 900 машино-часов, транспортно-зарядных машин — более 7 лет и не менее 4000 машино-часов. Сроки сравнительно малые и поэтому обязателен учет времени работы зарядчиков. Пригодность средств заряджания к эксплуатации по окончании гарантийного срока определяется комиссией предприятия с участием представителей госгортехнадзора, изготовителя или разработчика. Результаты оценок пригодности оформляют актом. По решению комиссии ремонт зарядчиков

может быть проведен на заводе-изготовителе или в специальных мастерских.

Использование новых ВВ начинают с изучения их свойств и особенностей. Отрабатывают новые паспорта буровзрывных работ. Особое внимание обращают на безопасность, вопросы инициирования, технологичность применения и эффективность ВВ. Применяют ВВ в условиях, рекомендованных журнальным постановлением Госгортехнадзора СССР. Работы первоначально ведут в одном из забоев. Для механизированного заряжания используют наиболее эффективные из разрешенных к постоянному применению зарядных устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ассонов В. А.* Взрывные работы. М., Углетехиздат, 1953.
2. *Баранов Е. Г.* Короткозамедленное взрывание. Фрунзе, Илим, 1971.
3. *Безопасность взрывных работ в промышленности/Б. Н. Кутузов, Ф. М. Галаджий, С. А. Давыдов и др.* М., Недра, 1977.
4. *Гущин В. И.* Справочник взрывника на карьере. М., Недра, 1975.
5. *Демидюк Г. П., Бугайский А. Н.* Средства механизации и технологии взрывных работ с применением гранулированных ВВ. М., Недра, 1975.
6. *Единые правила безопасности при взрывных работах.* М., Недра, 1976.
7. *Емекеев В. И.* Механизация взрывных работ в горной промышленности. М., Недра, 1976.
8. *Коровченко Г. М.* Мастер-взрывник. М., Недра, 1972.
9. *Кучерявый Ф. И., Кожушко Ю. М.* Разрушение горных пород. М., Недра, 1972.
10. *Миндели Э. О.* Буровзрывные работы при подземной добыче полезных ископаемых. М., Недра, 1966.
11. *Росси Б. Д.* Ядовитые газы при подземных взрывных работах. М., Недра, 1966.*
12. *Светлов Б. Я., Яременко Н. Е.* Теория и свойства промышленных ВВ. М., Недра, 1982.
13. *Семенюк И. А., Оберемок О. Н.* Взрывные работы на открытых горных разработках. Днепропетровск, Проминь, 1974.
14. *Суханов А. Ф., Кутузов Б. Н.* Разрушение горных пород взрывом. М., Недра, 1983.
15. *Справочник по буровзрывным работам/М. Ф. Друкованый, Л. В. Дубнов, Э. О. Миндели и др.* М., Недра, 1976.
16. *Турута Н. У.* Буровзрывные работы. М., Metallurgizdat, 1959.
17. *Шнайдер М. Ф., Бейсебаев А. М.* Безопасность проведения массовых взрывов. М., Недра, 1982.
18. *Эстеров Я. Х., Бродов Е. Ю., Иванаев М. И.* Буровзрывные работы в транспортном строительстве. М., Транспорт, 1974.
19. *Эстеров Я. Х., Васильев Г. В.* Задачник по взрывным работам. М., Недра, 1967.
20. *ГОСТы* на промышленные взрывчатые вещества и средства инициирования.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Часть I. ОСНОВЫ ГОРНОГО ДЕЛА И БУРОВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ	8
Глава 1. Горные породы и рудные месторождения	8
1.1. Образование и характерные особенности горных пород	8
1.2. Понятие о руде и рудных месторождениях	10
1.3. Физико-механические свойства и структурно-текстурные характеристики горных пород	12
1.4. Буримость и взрываемость горных пород	15
1.5. Устойчивость и разрыхляемость пород	16
1.6. Кусковатость руды	16
Глава 2. Горные работы и выработки	18
2.1. Горное предприятие	18
2.2. Процессы горных работ	19
2.3. Буровзрывные работы	19
2.4. Вертикальные горные выработки	21
2.5. Горизонтальные и наклонные горные выработки	24
2.6. Камерные выработки	26
Глава 3. Проведение горных выработок	28
3.1. Вскрытие и подготовка шахтных полей и способы проведения выработок	28
3.2. Проходческий цикл и буровзрывные работы	31
3.3. Проведение горизонтальных и наклонных выработок по однородным породам	33
3.4. Особенности работ в неоднородных породах	35
3.5. Проходка шахтных стволов	37
3.6. Проходка восстающих	41
Глава 4. Очистные работы	43
4.1. Системы разработки месторождений	43
4.1.1. Системы с открытым выработанным пространством	44
4.1.2. Системы с магазинированием руды	47
4.1.3. Системы с закладкой выработанного пространства	47
4.1.4. Системы с креплением выработанного пространства	48
4.1.5. Системы с обрушением руд и вмещающих пород	48
4.2. Взрывная отбойка руды	49
4.3. Вторичное дробление руды	50
4.4. Выпуск руды	50
4.5. Погрузка руды	51
4.6. Способы доставки руды	51
Часть II. ВЗРЫВ И ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА	52
Глава 5. Понятие о взрыве и взрывчатых веществах	52
5.1. Типы взрывов и особенности химического взрыва	52
5.2. Взрывчатые вещества	55
5.3. Особенности превращения и термодинамические характеристики ВВ	58
5.4. Детонация	63
5.5. Влияние различных факторов на параметры детонации	66
5.6. Фугаемость и бризантность ВВ	69
5.7. Чувствительность ВВ к тепловым воздействиям	72
5.8. Чувствительность ВВ к механическим воздействиям	74
5.9. Чувствительность ВВ к инициированию	77

Глава 6. Промышленные взрывчатые вещества	82
6.1. Классификация промышленных ВВ	82
6.2. Иницирующие ВВ	84
6.3. Индивидуальные бризантные ВВ	85
6.4. Аммиачно-селитренные промышленные ВВ	86
6.5. Водосодержащие промышленные ВВ	91
6.6. Нитроэфиросодержащие ВВ	93
6.7. Пороха	94
6.8. Предохранительные промышленные ВВ	95
6.9. Малоплотные взрывчатые составы	96
Глава 7. Средства неэлектрического инициирования	97
7.1. Понятие об инициаторе и промежуточном детонаторе промышленных ВВ	97
7.2. Капсюли-детонаторы	98
7.3. Огнепроводный шнур и его поджигание	100
7.4. Средства электроогневого инициирования	102
7.5. Детонирующие шнуры	103
7.6. Способы повышения надежности инициирования детонирующим шнуром	105
7.7. Пиротехнические детонационные реле	106
7.8. Рациональные параметры промежуточных детонаторов	107
Глава 8. Средства электрического инициирования	109
8.1. Электродетонаторы	109
8.2. Основные параметры электродетонаторов	112
8.3. Электровзрывная сеть	113
8.4. Расчет электровзрывных сетей	115
8.5. Источники тока для электроинициирования	117
8.6. Контрольно-измерительные приборы	122
8.7. Дефекты электродетонаторов и безопасность работ	124
Глава 9. Действие взрыва в горных породах	125
9.1. Понятие о заряде взрывчатых веществ	125
9.2. Действие взрыва на среду	127
9.3. Кумулятивное действие взрыва и области его применения	131
9.4. Мгновенное и короткозамедленное взрывание	133
9.5. Шпуровые заряды	135
9.6. Расчет шпуровых зарядов	137
9.7. Скважинные заряды	140
9.8. Расчет скважинных зарядов	143
9.9. Камерные заряды	145
9.10. Расчет камерных зарядов	146
9.11. Забойка зарядной полости	146
Часть III. ТЕХНОЛОГИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ	148
Глава 10. Выбор рациональных типов взрывчатых веществ	148
10.1. Роль энергии в разрушающем действии взрыва	148
10.2. Влияние параметров детонации на эффект взрыва в крепких породах	149
10.3. Влияние параметров детонации на эффект взрыва в слабых породах	149
10.4. Параметры детонации промышленных ВВ и порохов	150
10.5. Эффективность взрыва при «неполноценной» детонации	151
10.6. Основные требования рационального выбора ВВ	151
10.7. Области эффективного применения промышленных ВВ	153
10.8. Взрывчатые вещества для вторичного взрывания	154
Глава 11. Способы инициирования зарядов	155
11.1. Огневое инициирование	155

11.2. Зажигательная и контрольная трубки	156
11.3. Патрон-боевик	158
11.4. Электроогневое и электрическое инициирование	159
11.5. Монтаж электровзрывной сети	161
11.6. Инициирование детонирующим шнуром	163
11.7. Короткозамедленное взрывание при помощи пиротехнических замедлителей КЗДШ	164
11.8. Вторичное взрывание	165
11.9. Преждевременные взрывы	166
11.10. Предотвращение и ликвидация отказов	168
Глава 12. Параметры заложения шпуров и скважин	170
12.1. Основные параметры заложения шпуров и скважин	171
12.2. Врубовые шпуры и скважины	172
12.2.1. Наклонные врубы	173
12.2.2. Прямые врубы	174
12.3. Подвигание забоя за один взрыв и коэффициент использования шпуров	176
12.4. Шпуры и скважины при проведении горизонтальных выработок	176
12.5. Шпуры и скважины при проходке стволов и восстающих	178
12.6. Шпуры и скважины в очистных забоях	179
Глава 13. Взрывные работы при проведении выработок	182
13.1. Паспорт буровзрывных работ и расчет зарядов	182
13.2. Подготовка забоя к взрывным работам	185
13.3. Заряжание	186
13.4. Механизация заряжания патронированными ВВ	187
13.5. Механизация заряжания россыпными и водосодержащими ВВ	187
13.6. Забойка шпуров и монтаж взрывной сети	189
13.7. Производство взрывов	190
13.8. Осмотр забоя и ликвидация отказов	191
13.9. Допуск рабочих в забой	192
13.10. Контурное взрывание	192
Глава 14. Взрывные работы при проходке шахтных стволов	194
14.1. Взрывчатые материалы для работ в стволах и восстающих	194
14.2. Расчет зарядов и составление паспорта буровзрывных работ	196
14.3. Доставка взрывчатых материалов к забою	197
14.4. Заряжание	198
14.5. Механизация заряжания шпуров и скважин в стволах и восстающих	198
14.6. Забойка	201
14.7. Монтаж взрывной сети	201
14.8. Производство взрывов	203
14.9. Осмотр ствола и приведение забоя в безопасное состояние	203
Глава 15. Взрывные работы при очистной выемке	204
15.1. Взрывчатые материалы при отбойке шпуровыми зарядами	204
15.2. Взрывчатые материалы для массовой отбойки	204
15.3. Понятие о массовом взрыве и его проекте	205
15.4. Обследование зоны взрыва и доставка ВМ	208
15.5. Заряжание скважин патронированными и порошкообразными ВВ	210
15.6. Механизация заряжания гранулированными ВВ	211
15.7. Транспортирование ВВ с помощью сжатого воздуха	212
15.8. Установка боевиков	213
15.9. Монтаж взрывной сети и производство взрыва	213
15.10. Проветривание выработок и допуск людей к месту взрыва	214

15.11. Разрушение негабаритных блоков шпуровыми зарядами . . .	215
15.12. Разрушение негабаритных блоков наружными зарядами . . .	216
15.13. Ликвидация зависаний специальными средствами	217
Часть IV. ОРГАНИЗАЦИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ	220
Глава 16. Организация взрывных работ	220
16.1. Получение разрешения на право производства работ	220
16.2. Персонал для руководства и производства работ	221
16.3. Работа взрывника	222
16.4. Единая книжка взрывника	223
16.5. Персональная ответственность взрывника	224
16.6. Переход взрывника на другой вид взрывных работ	225
Глава 17. Обращение со взрывчатыми материалами	226
17.1. Общие правила обращения со взрывчатыми материалами	226
17.2. Склады ВМ и правила поведения в них	227
17.3. Подготовка ВМ к использованию	232
17.4. Учет и выдача ВМ	233
17.5. Переноска и хранение ВМ на месте работ	234
17.6. Транспортирование ВМ	236
17.7. Особенности доставки ВМ современными средствами механизации	237
Глава 18. Испытание и уничтожение взрывчатых материалов	238
18.1. Сроки и место проведения испытаний	238
18.2. Порядок проведения испытаний	239
18.3. Особенности испытаний средств инициирования	240
18.4. Причины и способы уничтожения ВМ	240
18.5. Выбор места и используемая документация при уничтожении ВМ	241
18.6. Предельные количества уничтожаемых за один прием ВМ	242
Глава 19. Правила безопасности при производстве взрывных работ	242
19.1. Порядок допуска ВМ к применению	242
19.2. Транспортирование ВМ на складах и к месту работ	243
19.3. Безопасные расстояния и сигнализация	244
19.4. Правила ликвидации невзорвавшихся зарядов	246
19.5. Требования к оборудованию для механизированного заряжания	247
19.6. Эксплуатация зарядных устройств и использование новых типов ВВ	248
Список литературы	251

ЕВГЕНИЙ ГЕРАСИМОВИЧ БАРАНОВ
ОЛЕГ НИКОЛАЕВИЧ ОБЕРЕМОК

**ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ
НА ПОДЗЕМНЫХ
РУДНИКАХ**

Ответственный редактор Г. Н. ЕФИМОВА
Редактор издательства С. В. МЕЛЬНИК
Художественный редактор О. Н. ЗАИЦЕВА
Технические редакторы Л. А. МУРАШОВА, Е. С. СЫЧЕВА
Корректор Р. А. СЛОБОЖЕНКО

ИБ № 5183

Сдано в набор 01.11.84. Подписано в печать 02.04.85.
Т-07259. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага книжно-журнальная. Гар-
нитура «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 16,0.
Усл. кр.-отг. 16,0. Уч.-изд. л. 17,21. Тираж 6900 экз. Заказ
1900/9096—9. Цена 70 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 103633,
Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного
Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга»
им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государст-
венном комитете СССР по делам издательств, полиграфии
и книжной торговли. 191126, Ленинград, Социалистическая
ул., 14.