

В.И.КОМАЩЕНКО
В.Ф.НОСКОВ
Ю.А. ЛЕБЕДЕВ

БУРОВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ

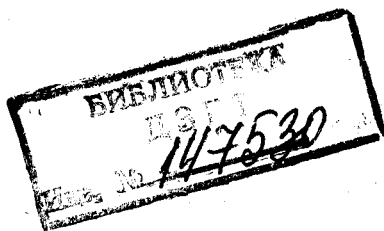
*Рекомендовано Государственным комитетом
Российской Федерации по высшему образованию
в качестве учебника для студентов
горно-геологических специальностей
высших учебных заведений*



МОСКВА "НЕДРА" 1995

ББК 33.13
К 63
УДК 622.235+622.24(075.8)

Рецензенты: д-ра техн. наук, проф-ра В. Г. Лукьянов
и П. И. Федоренко



К 2502010300—038
043(01)—95 Без объявл.

© В. И. Комашенко, В. Ф. Носков,
Ю. А. Лебедев, 1995

ISBN 5-247-01944-X

ВВЕДЕНИЕ

Главной задачей разведчиков недр является открытие месторождений, определение количества и качества полезного ископаемого и изучение геологических и гидрогеологических условий его залегания.

Залегание полезных ископаемых в недрах Земли, их качество и запасы, экономическая целесообразность эксплуатации месторождения определяются с помощью буровых скважин и горно-разведочных выработок.

Сочетание горно-разведочных работ с подземным бурением, геофизическими и другими методами изучения месторождений полезных ископаемых позволяет значительно повысить эффективность работ геологов-разведчиков.

В зависимости от положения относительно земной поверхности различают открытые и подземные горные выработки. Открытые выработки вследствие примыкания к земной поверхности имеют незамкнутый контур поперечного сечения; в отличие от них подземные выработки характеризуются тем, что по всему контуру поперечного сечения они ограничены горными породами. В зависимости от положения главной оси подземные выработки подразделяют на горизонтальные, наклонные и вертикальные. Поверхность открытой или подземной горной выработки, граничащая с массивом горных пород и подвигающаяся в процессе проходческих работ, называется забоем. Поверхности горных пород, ограничивающие горную выработку с боков, называют боками выработки, сверху — ее кровлей, а снизу — почвой.

Породу в горных выработках разрушают различными способами, выбираемыми главным образом в зависимости от физических свойств горных пород: машинами, с помощью взрывчатых веществ (ВВ), вручную и под действием высоконапорной водной струи.

При проведении горных выработок (особенно подземных) наиболее распространен способ разрушения пород с применением ВВ.

Использование энергии взрыва в процессе разведки месторождений практикуется не только при проведении горных выработок, но и для других целей. Процессы проведения горных выработок в подавляющем большинстве случаев взаимосвязаны с взрывным разрушением пород. Взрывная отбойка определяет технологию и организацию проходческих работ.

Внедрение новой техники и технологии горно-разведоч-

ных работ на базе использования современных достижений науки и техники позволило создать Горно-разведочные предприятия нового типа, оснащенные высокопроизводительной горно-транспортной техникой на основе комплексной механизации и автоматизации производственных процессов.

Кроме того, большое значение имеют также правильная организация производства и управления геолого-разведочными предприятиями на основе использования методов математического программирования, сетевого планирования и др.

Раздел I. БУРОВЫЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ БУРЕНИИ

Для обеспечения эффективности взрывной отбойки пород заряды ВВ необходимо размещать внутри массива горных пород в искусственно создаваемых полостях (зарядные камеры).

В качестве зарядных камер используют в основном скважины различных размеров. При диаметре скважин до 75 мм и глубине до 5 м их называют шпур а м и, при более значительных размерах — в з р ы в н ы м и с к в а ж и н а м и (относительно редко ВВ размещают непосредственно в специальных горных выработках, называемых минными).

Определенное количество ВВ, подготовленное к взрыву, называют зарядом ВВ. В зависимости от типа взрывных камер различают методы отбойки пород зарядами, которые расположены в шпурах (шпуровые заряды), во взрывных скважинах (скважинные заряды) и в минных выработках (камерные заряды).

При проведении разведочных выработок почти во всех случаях поро да отбивается шпуровыми зарядами. Область распространения отбойки скважинными зарядами при разведке месторождений ограничивается проведением в некоторых случаях открытых и иногда подземных горных выработок. Отбойку пород, выполняемую взрыванием камерных зарядов, используют только на горных предприятиях; при разведке месторождений она практически не применяется.

Таким образом, при горно-разведочных работах взрывной отбойке пре д щ е с т в у е т в о с н о в н о м б у р е н и е ш п у р о в.

При бурении происходят последовательные разрушения поверхности забоя шпура или скважины и извлечение продуктов разрушения на поверхность. Рассматриваемый процесс состоит из следующих основных операций: подготовка и установка бурильной машины, бурение с очисткой скважины от продуктов разрушения, наращивание бурового става для достижения требуемой глубины бурения и его разборки после окончания работ, смена изношенного бурового инструмента.

По характеру разрушающего воздействия все способы бурения шпуров и скважин можно разделить на механические, немеханические (физико-химические) и комбинированные (рис. 1.1).

В условиях геологоразведочных работ породу при бурении разрушают с помощью передачи на забой через буровой инструмент механических нагрузок, т. е. механическими способами. При таких способах бурения на забой передают сжимающие нагрузки, вызывающие в породе напряжения сжатия, которые трансформируются в напряжения сдвига, среза, растяжения. Когда эти напряжения превышают предел прочности, поро да н а з а б о е р а з р у ш а е т с я.

В табл. 1.1 приведены области применения способов бурения в зависимости от крепости горных пород. В крепких породах применяют

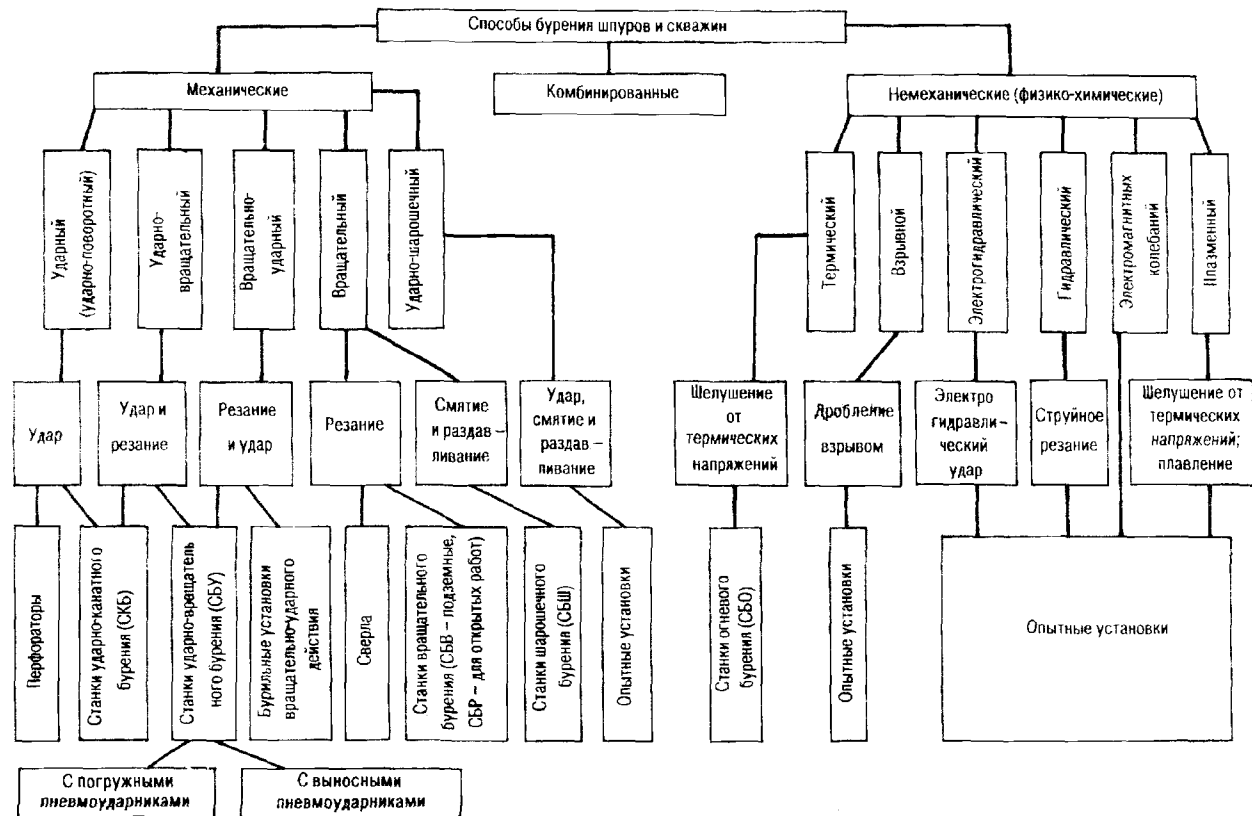


Рис. 1.1. Классификация способов бурения шпуров и скважин

Таблица 1.1

Области применения различных способов бурения

Способ бурения	Инструмент	Буровое оборудование	Диаметр шпура или скважины, мм	Коэффициент крепости пород по шкале проф. М. М. Протодьяконова
Подземные работы				
Вращательный	Твердосплавные резцы	Сверла, станки СБВ	40—50	≤8
»	Шарошечные долота	Станки СБШ	110—150	≤6
Вращательно-ударный	Твердосплавные коронки	Бурильные установки БУ	42—52	8—14
	То же	Станки СБУ с пневмоударниками	60—85	6—20
Ударно-вращательный		То же, с погружными пневмоударниками	85—105	6—20
Ударный		Перфораторы	36—60	4—20
Открытые работы				
Вращательный	Твердосплавные резцы	Станки СБР	125—160	2—6
»	Шарошечные долота	Станки СБШ	145—320	6—18
Ударно-поворотный	Твердосплавные коронки	Станки СБУ	105—200	10—18
Ударный	Спальные долота	Станки СБК	320	10—18
Термический		Станки СБО	180—250	14—20

ударные способы бурения. В мягких породах эффективнее применять способы, в которых преобладает резание.

Важной операцией при бурении является удаление шлама из шпура (скважины), которое осуществляется водой, воздушной струей или механически.

По характеру передачи энергии породе способы бурения подразделяют на контактные (ударно-поворотное, вращательно-ударное, электротермическое) и бесконтактные (термическое, плазменное, гидравлическое, электрогидравлическое, ультразвуковое).

По характеру воздействия на породу различают следующие виды бурения: 1) твердым породоразрушающим инструментом (ударное, вращательное, ударно-поворотное, вращательно-ударное); 2) газами (взрывное, патронированными зарядами); 3) жидкостью (электрогидравлическое и гидравлическое); 4) электрическим током (электрическое и электроимпульсное); 5) комбинированное (с помощью газов и тепла — струйное взрывание, огневое, плазменное, с помощью абразива и жидкости — ультразвуковое).

Различают колонковое бурение с отбором керна, когда по периферии сечения забоя выбуривается кольцевое углубление, а центральная неразрушенная часть породы (кern) извлекается с помощью специаль-

ных керноподъемников на поверхность, и бурение сплошным забоем, когда буровой инструмент разрушает всю площадь забоя.

По способу удаления продуктов разрушения с забоя различают *периодическую* (с помощью желонки, различных буров и грунтоносов) и *непрерывную* очистку. Последняя осуществляется механически с помощью витых штанг и шнеков (при вращательном бурении) и циркулирующим жидким азрированным или газообразным агентом (при вращательном и ударном бурении).

По способу подачи промывочного агента к забою различают *прямую* очистку, при которой агент движется внутри бурового става, оmyвает забой и вместе с продуктами разрушения поднимается по затрубному пространству на поверхность, и *обратную* очистку, при которой промывочный агент подается по затрубному пространству, поступает вместе с продуктами разрушения внутрь бурового става и поднимается на поверхность.

По виду используемой энергии различают *ручное* бурение, когда все операции выполняются вручную, и *машинное* (с помощью электрической, пневматической и гидравлической энергии), когда все процессы бурения выполняются с применением различных механизмов для разрушения горной породы и транспортировки продуктов разрушения на поверхность.

Бурение скважин и шпуров осуществляется разнообразными бурильными молотками, буровыми станками и установками, которые характеризуются разными принципами воздействия бурового инструмента на забой и очистки скважин или шпуров при бурении от продуктов разрушения.

Производительность бурильной машины характеризуют числом метров скважин, пробуренных машиной за рабочую смену. Время (мин) на бурение 1 м скважины

$$T = T_{п.з} + T_o + T_{вс} + T_{р.п}. \quad (1.1)$$

где $T_{п.з}$ — продолжительность подготовительно-заключительных операций (прием и сдача смены, приведение забоя в безопасное состояние и др.), отнесенная к 1 м скважины (шпура), мин; T_o — продолжительность основной операции — бурение 1 м скважины, мин; $T_{вс}$ — продолжительность вспомогательных операций, отнесенная к 1 м скважины (шпура), мин; $T_{р.п}$ — продолжительность регламентированных перерывов (отдых и др.), мин.

Сменная производительность (м/смену) бурильной машины по бурению

$$L = \frac{60}{T} T_{см}, \quad (1.2)$$

где $T_{см}$ — продолжительность рабочей смены, ч.

Как видно из формул (1.1) и (1.2), производительность буровых машин повышается при уменьшении времени на подготовительно-заключительные и вспомогательные операции, которые в общем балансе

времени составляют иногда значительную долю. Продолжительность подготовительно-заключительных операций можно уменьшить, например, вследствие сокращения времени на подготовку к бурению путем автоматизации управления буровыми машинами и установки их на самоходные платформы. Вспомогательное время в основном складывается из времени на наращивание става штанг, смену инструмента и спуско-подъемные операции, вызываемые необходимостью смены инструмента.

Механическая скорость бурения $v_{\text{мех}}$ (м/мин) выражается длиной скважины, пробуренной в единицу чистого времени бурения,

$$v_{\text{мех}} = 1/T_0. \quad (1.3)$$

Механическая скорость бурения зависит от свойств горных пород, конструкции инструмента, некоторых энергетических и режимных параметров буровых машин.

Исходя из баланса энергии, подведенной к бурильной машине и израсходованной на разрушение, механическая скорость бурения

$$v_{\text{мех}} = \frac{240 \eta N}{\pi d^2 F_{\text{уд}}}. \quad (1.4)$$

Из формулы (1.4) следует, что для повышения механической скорости бурения нужно увеличивать мощность на единицу сечения скважины N (с учетом ограничений по прочности инструмента), повышать к.п.д. η буровой машины и снижать удельную энергоемкость разрушения породы $F_{\text{уд}}$, применяя рациональный способ бурения при оптимальном режиме.

С увеличением глубины бурения механическая скорость несколько снижается в связи с дополнительными затратами энергии на трение инструмента о стенки шпура (скважины), а также в связи с ухудшением условий очистки забоя от разрушенной породы при бурении горизонтальных и нисходящих шпуров и скважин. В первом приближении зависимость между механической скоростью и глубиной бурения можно принять линейной: с ростом глубины скорость снижается.

Остановимся подробнее на механических способах бурения.

§ 1. Ударное бурение

Ударное бурение осуществляется обычными и погружными бурильными молотками (перфораторами). При этом буровой инструмент поворачивается в промежутках между ударами специальным поворотным устройством (отсюда другое название — ударно-поворотное бурение).

При бурении шпуров и скважин ударным способом энергия поршня бурильной машины, совершающего поступательно-возвратные движения, передается разрушаемой породе через бур или твердосплавный инструмент в течение времени, исчисляемого тысячными долями секунды, и породоразрушающий инструмент в течение этого времени внедряется на некоторую глубину.

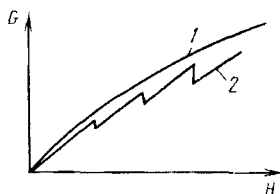


Рис. 1.2. График изменения усилий внедрения инструмента в породу (G) с увеличением глубины (H) при малых (1) и больших (2) скоростях

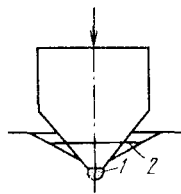


Рис. 1.3. Схема разрушения породы при ударном бурении:

1 — зона дробления; 2 — зона скола

Благодаря энергии, переданной в виде ударного импульса, внедряющееся лезвие бура образует на поверхности забоя шпура лунку. Последующий удар наносится под некоторым углом к предыдущему. При определенных соотношениях энергии удара и угла поворота бурового инструмента происходит скалывание секторов породы между соседними лунками. Разрушенная порода транспортируется из забоя шпура водой или сжатым воздухом.

В основу изучения процесса разрушения пород при бурении шпуров и скважин положена физическая сущность явления, позволяющая установить зависимости, используемые в инженерных расчетах, и определить оптимальные параметры создаваемых машин. При этом должны учитываться волновые явления при передаче энергии и разрушении породы.

Время внедрения инструмента на глубину 3—5 мм составляет 200—400 мс. В течение этого времени начальный импульс распространится в породе на 80—160 см при средней скорости распространения волн в породе 4000 м/с. Изменение величины усилий внедрения инструмента в породу с увеличением глубины показано на рис. 1.2.

При динамических воздействиях максимальная глубина внедрения инструмента значительно меньше глубины разрушения, поскольку при разрушении между породой и инструментом образуется зона разрушенной породы, через которую передается энергия.

В процессе динамического внедрения инструмента в породу (рис. 1.3) вначале происходит ее разрушение на мелкие частицы, затем устанавливается плотный контакт инструмента с породой, после чего появляются трещины. При дальнейшем внедрении инструмента образуется постоянно зона объемного разрушения. На контакте инструмента с породой возникают трещины, которые выходят на свободную поверхность, вследствие чего по краям зоны разрушения происходит откол породы.

Физическая сущность динамического разрушения породы под лезвием инструмента подобна разрушению породы от взрыва накладного заряда.

На рис. 1.4 показана схема механизма разрушения породы при ударном бурении. Проф. А. Ф. Суханов рассматривал систему сил со-

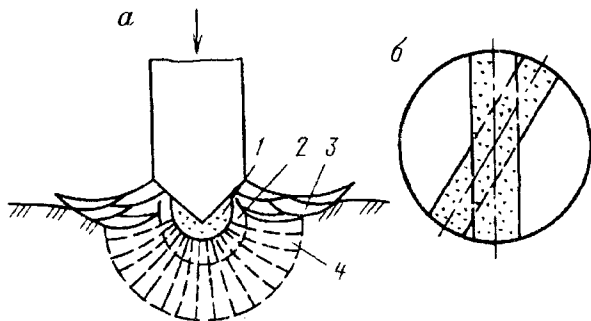


Рис. 1.4. Схема механизма разрушения при ударном бурении:

1 — зона дробления; 2 — разрушенный слой; 3 — зона растрескивания; 4 — зона скола

противления породы внедрению в нее инструмента клиновидной формы при ударном бурении без учета механизма разрушения породы. При внедрении в породу под действием удара поршня под лезвием инструмента с определенной поверхностью притупления формируется зона тонко измельченной породы (рис. 1.4, а). После завершения разрушения лезвие следует повернуть на такой угол, чтобы при следующем внедрении произошел скол секторов породы между смежными ударами (рис. 1.4, б). При нескольких ударах происходит разрушение большого объема породы.

При повороте лезвия бура на 180° порода забоя шпура разрушается на глубину h_0 за число ударов $n = 180/\beta$ (β — угол поворота рабочего органа за один удар).

Если число ударов в минуту равно n_0 , то углубление (мм) шпура в минуту будет $h_{\min} = h_0 n_0 / n$. Величины n_0 и n приводятся в паспорте машины или определяются путем измерений на стенде. $h_{\min}$ можно определять измерением при бурении, а h_0 для каждой породы можно получить расчетом.

Угол β в существующих конструкциях перфораторов изменяется от 15 до 30° .

При одиночном ударе лезвия бура о породу в ней образуются след и углубление в виде эллипса. При последовательных ударах объем воронки выкола (при повороте бура) увеличивается в том случае, когда расстояние между следами двух последовательных ударов по дуге круга диаметра не превышает $1,5$ – 2 малой полуоси эллипса, т. е. при правильно выбранной полуоси эллипса удельный расход энергии в 2 – 3 раза меньше удельного расхода энергии при одиночном ударе.

С увеличением диаметра шпура $d_{\min}$ скорость бурения уменьшается.

В зависимости от мощности техническая скорость бурения (м/мин)

$$v_{\text{тех}} = \frac{60N_{\text{уд}}}{F_{\text{уд}}S} + \frac{60N_{\text{вр}}}{F_{\text{уд}}S}, \quad (1.5)$$

где $N_{\text{уд}}$, $N_{\text{вр}}$ — соответственно ударная мощность и мощность враще-

ния, Вт; $F_{уд1}$, $F_{уд2}$ — удельные энергоемкости разрушения породы соответственно при ударной нагрузке и срезающих усилиях, Дж/м³; S — площадь сечения шпура, м².

У машин, реализующих ударный способ бурения, ударная мощность составляет более 90% общей мощности, расходуемой на забое, т. е.

$$N_{уд} \geq 10N_{вр}. \quad (1.6)$$

Вопросы для повторения

1. Какова схема разрушения породы при ударном бурении?
2. Какие параметры определяют производительность ударного бурения?

§ 2. Вращательное бурение

При вращательном бурении разрушение горных пород производит резец, который под действием осевого усилия внедряется в породу, перемещается поступательно и, вращаясь, разрушает ее по площади забоя шпура. В породах мягких, пластичных разрушение имеет характер плавного срезания стружки при незначительных изменениях усилий на резце. Разрушение хрупких пород и углей сопровождается резкими колебаниями усилий вдавливания и скола на лезвиях инструмента.

При малых скоростях инструмент, внедряясь, разрушает отдельные выступы и кристаллы породы, разрушает их на мелкие частицы и тем самым создает хороший контакт инструмента с породой. Постепенно происходит нагружение породы под всей рабочей поверхностью инструмента. При дальнейшем внедрении инструмента нормальные напряжения в породе будут увеличиваться до тех пор, пока их критическое значение не распространится на слой толщиной, равной среднему размеру кристаллов, образующих породу. Разрушение породы на забое вращающимся резцом включает в себя два повторяющихся цикла: вдавливание режущих лезвий под действием осевого усилия с образованием перед ними определенного объема тонкоизмельченной породы и скола породы под действием крутящего момента в виде стружки перед режущим лезвием.

Резец, пройдя определенный путь до встречи с ненарушенным массивом породы, наносит по породе удар. Сопротивление движению резца резко возрастает, перед режущей гранью образуется главный объем давления, и цикл разрушения повторяется вновь.

Схема такого объемного разрушения показана на рис. 1.5. Как видно из схемы, резец под действием осевого усилия вдавливается в породу на глубину h , преодолевая сопротивление породы вдавливанию. При недостаточном давлении на резец разрушение породы будет иметь характер поверхностного абразивного износа. Скорость бурения в области объемного разрушения определится по формуле:

$$v_{tex} = hnm, \quad (1.7)$$

где h — глубина внедрения резца, м; n — частота вращения, мин⁻¹; m — число лезвий на резце.

Глубина внедрения

$$h = \frac{\cos \alpha \cos^2 \varphi}{\sin (\alpha + 2\varphi)} \frac{P_{oc}}{\sigma_B l}, \quad (1.8)$$

где P_{oc} — осевое усилие, Н; σ_B — предел прочности породы на вдавливание, Па; l — длина лезвий резца, м; α — угол заточки инструмента, градус; φ — угол трения, градус ($\operatorname{tg} \varphi$ — коэффициент трения инструмента о породу).

С помощью формул (1.7) и (1.8) можно установить влияние режимных факторов на скорость бурения.

Оптимальное осевое усилие по О. Д. Алимову и Л. Т. Дворникову определяется из неравенства

$$P_{oc} \geq 350f, \quad (1.9)$$

где f — коэффициент крепости пород.

Усредненная рациональная частота вращения инструментов по формулам О. Д. Алимова и Л. Т. Дворникова для шпуров диаметром 40 — 45 мм:

$$n = 2200/f; \quad (1.10)$$

$$n = 700 - 50f. \quad (1.11)$$

Формула (1.10) применима для расчетов режимов для слабых углей и пород с $f \leq 4$. При бурении более крепких пород справедлива формула (1.11).

При разрушении породы перед передней гранью сопротивление продвижению лезвия и потребляемая мощность увеличиваются до максимума, а после скола породы — снижаются до минимума. Циклич-

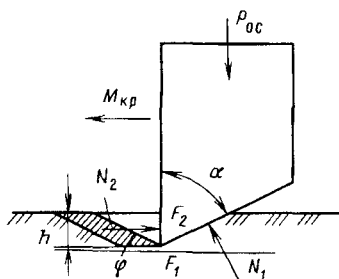


Рис. 1.5. Схема сил, действующих на резец при вращательном бурении:

P_{oc} — осевое усилие; $M_{кр}$ — крутящий момент; N_1 и N_2 — силы сопротивления породы внедрению; F_1 и F_2 — силы трения по граням; φ — угол внутреннего трения инструмента

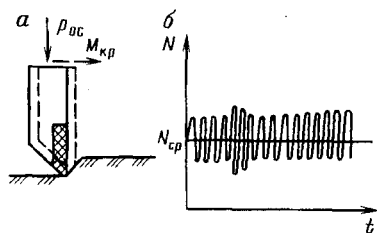


Рис. 1.6. Схема разрушения породы при вращательном бурении:

a — внедрение резца в породу и ее скол; b — колебание потребляемой мощности двигателем вращателя при бурении

ность процесса разрушения иллюстрируется графиком потребляемой двигателем сверла мощности N , колеблющейся во времени t от минимума до максимума (рис. 1.6). Таким образом происходит объемное разрушение слоя породы. Следующий слой разрушается при новом нагружении породы до предельного состояния.

Если скорости внедрения инструмента большие, то частицы очередного разрушенного слоя породы не успевают существенно переместиться в стороны из-под лезвия инструмента вследствие больших сил трения, возникающих между отдельными частицами. Поэтому сила сопротивления, обусловленная деформированием горной породы, практически не изменится после объемного разрушения ее очередного слоя, что подтверждается плавным характером кривой (см. рис. 1.2).

С увеличением осевого усилия для определенной породы скорость бурения увеличивается до некоторого предела, при котором дальнейший рост скорости замедляется из-за недостаточного удаления продуктов разрушения с забоя.

При увеличении скорости вращения скорость бурения сначала увеличивается пропорционально, а затем темп роста снижается и возникают вибрации, при которых бурение невозможно.

В крепких породах рациональные значения осевых усилий возрастают, а частота вращения уменьшается. Поэтому при вращательном бурении целесообразно применять максимально возможные (в зависимости от технических характеристик сверла) осевые усилия, а скорости вращения выбирать из допустимого уровня вибраций при бурении. Зависимость скорости бурения от осевого усилия и частоты вращения инструмента в единицу времени показана на рис. 1.7. Частота вращения, после достижения которой эффективность разрушения начинает уменьшаться, называется критической.

Вращательно-поступательное движение инструмента на забое шпура или скважины осуществляется за счет приложения к буровому инструменту большого крутящего момента и больших осевых усилий. Забойная мощность вращателя N_v у машин вращательного бурения зависит от соотношения крутящего момента M , а последний в свою очередь зависит от осевого усилия P , т. е. для вращательного бурения справедливо соотношение

$$N_v = f[M(P)]. \quad (1.12)$$

Мощность на резе по И. Ф. Медведеву (Вт):

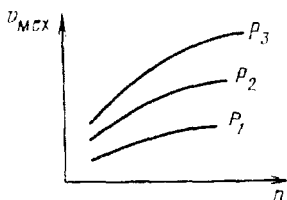


Рис. 1.7. Зависимость скорости бурения ($v_{мех}$) от осевого усилия ($P_3 > P_2 > P_1$) и частоты вращения (n)

$$H_p = (1,15 - 1,2) \frac{\pi R^2 n}{45 \cdot 10^5} 736 \left(\frac{\sigma_{ск} h}{\cos \gamma} + \mu a_l \sigma_v \right), \quad (1.13)$$

где R — радиус резца, мм; n — частота вращения резца, мин⁻¹; $\sigma_{ск}$ и σ_v — сопротивление породы соответственно скалыванию и вдавливанию, МПа; γ — угол скалывания породы перед резцом, градус; μ — коэффициент трения пары инструмент — порода; $a_l = 2 \div 3$ — мм величина пригупления на резце.

Пределы прочности

$$\sigma_v = 2,8f; \quad (1.14)$$

$$\sigma_{ск} = \left(\frac{1}{12} - \frac{1}{15} \right) \sigma_v. \quad (1.15)$$

Пределы изменения режимов бурения при вращательном бурении шпуров приведены в табл. 1.2.

Оптимальные режимы бурения для конкретных условий работы определяются, в основном, экспериментально.

Техническая производительность определяется как среднечасовая в конкретных условиях применения. Она определяется с учетом потерь времени на спуско-подъемные операции, замену инструмента, забуривание, переход с одной скважины на другую.

Эксплуатационная производительность определяется с учетом затрат времени на организационные и технические простои, не зависящие от конструкции буровой машины. Она определяется как сменная производительность

$$Q_{см} = \frac{(T_{см} - T_{п.з} - T_m) k_n}{\frac{1}{v_m m k_n} + t_1 + t_2 + t_3 + t_4}, \quad (1.16)$$

где $T_{см}$ — продолжительность смены, мин; $T_{п.з}$ — продолжительность подготовительно-заключительных операций, мин; T_m — время на маневры буровой каретки, мин; k_n — коэффициент надежности машины; v_m — механическая скорость бурения, м/мин; m — число бурильных

Таблица 1.2

Влияние крепости буримых пород на пределы изменения режимов вращательного бурения

Порода	Коэффициент крепости пород по шкале проф. М. М. Протодьяконова	Частота вращения резца, мин ⁻¹	Осевое усилие на резец, Н	Ожидаемая скорость бурения, мин ⁻¹
Каменный уголь и антрацит	1,5—2	600—1500	400—1200	200—600
Глинистый сланец	3—4	600—400	1500—4500	200—150
Песчаник средней крепости	6	450—300	6000—8000	100
Крепкий песчаник	8—10	350—200	9000—11 000	30—50

машин; k_o — коэффициент одновременности; t_1 — время, затраченное бурильной машиной на перемещение от шпура к шпуру, отнесенное к 1 м шпура, мин; t_2 — время обратного хода податчика, отнесенное к 1 м шпура, мин; t_3 — время на замену резца и штанг, отнесенное к 1 м шпура, мин; t_4 — время на продувку и прочистку шпуров, отнесенное к 1 м шпура, мин.

Контрольные вопросы

1. Какова схема разрушения пород при вращательном бурении?
2. Какие параметры определяют производительность вращательного бурения?
3. Какое влияние на скорость бурения оказывают силовые параметры?
4. Назовите достоинства и недостатки вращательного бурения.

§ 3. Вращательно-ударное бурение

Вращательно-ударное бурение представляет собой сочетание двух способов, при которых на породу забоя шпура действует большое осевое усилие, большой крутящий момент и ударная нагрузка. Увеличенное осевое усилие позволяет внедрить инструмент в породу, а ударная нагрузка увеличивает величину вруба, получаемую при статическом воздействии на инструмент. Приложенный крутящий момент позволяет срезать стружку величиной, большей, нежели при вращательном бурении.

Буровой инструмент после удара не отходит от забоя, как это имеет место при ударном бурении. Эффективность применения машин вращательно-ударного бурения в породах с коэффициентом крепости $f = 5 \div 13$ обусловлена повышенным эффектом разрушения в результате значительных статического осевого усилия (500—1000 Н на 1 см лезвия) и крутящего усилия (1500—3000 Н). Схема разрушения пород при вращательно-ударном бурении представлена на рис. 1.8. В зависимости от осевого усилия различают следующие режимы разрушения. При осевых усилиях P до 1 кН в породах средней крепости и до 2,5 кН в крепких породах процесс разрушения близок к ударному. При вращении коронки лезвия выходят из углублений, образующихся при ударе по наклонной плоскости, разрушая резанием некоторый объем породы. В диапазоне осевых усилий от 1 до 7,5 кН в породах средней крепости и от 2,5 до 12,5 кН — в крепких породах бурение выполняется во вращательно-ударном режиме. Внедренная ударом в породу коронка с $P_{уд}$ при вращении срезает определенный объем породы. Увеличение осевого усилия способствует росту толщины срезаемой стружки с уменьшением объемной работы. При осевом усилии свыше 12,5 кН коронка в достаточной степени внедряется в породу под действием статического осевого усилия, и значение удара на внедрение лезвий в породу уменьшается. Как следствие удельные затраты энергии на разрушение значительно возрастают и бурение становится невыгодным энергетически.

Скорость бурения вращательно-ударными машинами в породах с $f = 9 \div 11$ в несколько раз выше, чем при ударном бурении перфоратора-

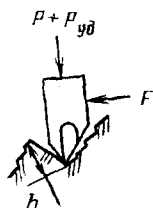


Рис. 1.8. Схема разрушения пород при вращательно-ударном бурении

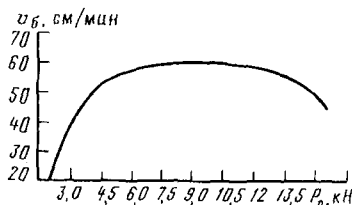


Рис. 1.9. Зависимость скорости вращения-ударного бурения ($v_в$) от усилия подачи (P_n)

ми. В породах с $f = 12 \div 14$ и более скорость вращательно-ударного бурения становится меньше, чем при бурении перфораторами.

Режимные параметры вращательно-ударного бурения можно определить по эмпирическим формулам О. Д. Алимова и Л. Г. Дворникова (для шпуров диаметром 42 мм).

Угол поворота между ударами (градус)

$$\omega = 5(A_y + 1) - 0,7f, \quad (1.17)$$

где A_y — энергия удара поршня ударника, кДж.

Рациональная частота ударов (удар/мин)

$$n_{y.p} = 2000 + 3000/f A_y. \quad (1.18)$$

Крутящий момент на буре (Н·м)

$$M = 9,8(50 - 2,5f). \quad (1.19)$$

Механическая скорость бурения (мм/мин)

$$v_m = 100(20 - f). \quad (1.20)$$

Осевое усилие определяют по данным Н. М. Марковича (рис. 1.9).

Сменная производительность (м/смену):

$$U_{см} = \frac{(T_{см} - T_{п.з} - T_{всп} - T_m) n k_o k_n}{\frac{1}{v_m} + t_1 + t_2 + t_3 + t_4}, \quad (1.21)$$

где $T_{см}$ — продолжительность смены, мин; $T_{п.з}$ — продолжительность подготовительно-заключительных операций, мин; $T_{всп}$ — продолжительность вспомогательных операций, мин; T_m — продолжительность маневров в течение смены, мин; n — число бурильных машин на установке; k_o — коэффициент одновременности работы бурильных машин; $k_n = 0,90$ — коэффициент надежности буровой установки; $t_1 = 0,45$ мин — время, затраченное на забуривание и перестановку автоподатчика на шпур, отнесенное к 1 м шпура; $t_2 = 0,12$ мин — время обратного хода податчика, отнесенное к 1 м шпура; $t_3 = 0,15$ мин — время замены коронки или штанги, отнесенное к 1 м шпура; $t_4 = 0,20$ мин — время на прочистку шпуров, отнесенное к 1 м шпура.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение способу вращательно-ударного бурения.
2. Какова область применения вращательно-ударного бурения?
3. Какие режимные параметры определяют производительность вращательно-ударного бурения?

§ 4. Ударно-вращательное бурение

При увеличении значений ударного импульса силы, статического усилия прижатия бурового инструмента к забою и крутящего усилия по сравнению с вращательно-ударным бурением разрушение породы средней крепости ($f = 6 \div 12$) переходит в режим ударно-вращательного бурения.

Широкое распространение получили станки ударно-вращательного бурения с погружными пневмоударниками, у которых ударный и вращательный механизмы независимы, что позволяет создать на коронке большой крутящий момент. Коронка пневмоударника, находясь под большим осевым усилием и непрерывно вращаясь с большим крутящим моментом, лезвием срезает стружку породы. Кроме того, под действием поршня-бойка пневмоударника коронка наносит по забою скважины удары, разрушая породу, как при ударном бурении, и вызывая в породе трещинообразование, ослабляющее сопротивление породы резанию.

При ударно-вращательном бурении поверхность забоя шпура имеет ступенчатую форму, наклонную к оси шпура. Схема разрушения породы представлена на рис. 1.10.

Углубление бурового инструмента в забой шпура происходит не только в момент удара под действием силы $P_{уд}$, но и в промежутках между ударами под действием осевого статического усилия P . Скорость бурения ударно-вращательными машинами в породах с $f = 9 \div 12$ в несколько раз выше, чем бурильными молотками. С повышением коэффициента крепости породы f до 14 эффективность ударно-вращательного бурения снижается, его скорость становится меньше, чем при бурении перфораторами. Это объясняется тем, что сопротивление породы вдавливанию инструмента превосходит по величине осевое статическое усилие прижатия P , т. е. контактное давление на лезвии коронки недостаточно для статического разрушения породы. Механизм разрушения приближается к ударному. При этом разрушение пород малоэффективно и носит характер абразивного износа.

Режим ударно-вращательного бурения определяется давлением сжатого воздуха P , осевым усилием $P_{ос}$, частотой вращения инструмента n (рис. 1.11). С возрастанием крепости пород оптимальное осевое усилие, обеспечивающее максимальную скорость бурения, незначительно увеличивается. Рациональная частота вращения в зависимости от крепости пород меняется в широких пределах: от 20 мин⁻¹ в весьма крепких породах ($f = 14 \div 18$) до 90 мин⁻¹ в породах ниже средней крепости ($f = 8 \div 10$).

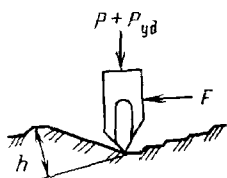


Рис. 1.10. Схема разрушения пород при ударно-вращательном бурении

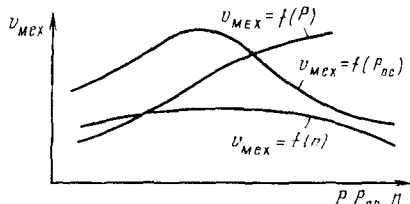


Рис. 1.11. Зависимость скорости бурения ($v_{мех}$) от осевого усилия, ($P_{ос}$), давления сжатого воздуха (P) и частоты вращения инструмента (n) — при ударно-вращательном бурении

Ниже приведены средние данные о сменной производительности различных станков ударно-вращательного бурения на подземных и открытых горных работах.

Подземные горные работы:

коэффициент крепости пород по шкале проф. М. М. Протодяконова	6	10	12	14	14 - 18
сменная производительность станка НКР-100М по бурению, м.	8	17	6	12	4,5 - 6

Открытые горные работы:

коэффициент крепости пород по шкале проф. М. М. Протодьяконова	2	4	4-4	6-10	10	12	12	14	
сменная производительность станка СБУ-125 по бурению, м.	70	90	20	40	15-25	12	18	8	13

Основные резервы повышения производительности буровых станков — увеличение механической скорости бурения путем оптимизации режимных параметров и улучшение использования станка на основной работе, для чего решающее значение имеет повышение износостойкости и надежности коронок.

Бурильные машины ударно-вращательного действия характеризуются следующими величинами силовых компонентов, воздействующих на инструмент: $P_{уд} = (10 \div 20)$ Н на 1 см лезвия коронки, $P = (1500 \div 2000)$ Н на 1 см лезвия, крутящие усилия $F = (6000 \div 8000)$ Н.

Механическая скорость бурения пневмударника на заданной глубине скважины

$$v = v_0 \cdot \xi \cdot L, \quad (1.22)$$

где v_0 — начальная механическая скорость бурения; L — глубина скважины; ξ — коэффициент уменьшения скорости бурения с увеличением глубины скважины.

Сменная производительность (м/смену) при бурении веера скважин

$$Q_{см} = \frac{T_{см} + T_{ил.з}}{\frac{1}{v_0 - \frac{L}{2}} + \left[\frac{L}{B} + \left(\frac{1}{L} + \frac{1}{B} \right) \right] + \frac{T_{ил} + T_c (m-1)}{mL}}, \quad (1.23)$$

где B — стойкость долота на одну заточку, м; l — длина штанги; t_n — продолжительность навинчивания или развинчивания одной штанги, мин; t_z — время, затрачиваемое на замену долота, мин; T_n — время, затрачиваемое на передвижение установки с одного веера на другой, мин; T_c — время, затрачиваемое на переход от одной скважины к другой, и время на забуривание, мин; m — число скважин в веере или его части; L — глубина скважины, м.

Для агрегатов НКР-100М и пневмоударников М-48 значения величин, входящих в формулу (1.23), следующие: $\xi = 0,0004$; $t_n = 2$ мин; $T_{см} = 360$ мин; $T_{пз} = 110$ мин; $T_n = 16$ мин; $t_z = 40$ мин; $T_c = 33$ мин; $l = 1$ м.

Для полного веера $m = 2\pi L / b$, где b — расстояние между концами скважин, м. Если бурится часть веера, то берется число скважин в секторе.

Контрольные вопросы

1. В чем состоит разница процессов разрушения пород при ударно-вращательном и вращательно-ударном бурении?
2. Каковы рациональные параметры ударно-вращательного бурения?
3. В каких условиях применяется данный способ бурения?

§ 5. Шарошечное бурение

Бурение скважин станками с применением долот шарошечного типа в настоящее время получило широкое распространение в горнорудной промышленности. Они выпускаются для открытых и подземных горных работ.

При вращении инструмента, прижатого к забою скважины, оснащенного конусами или цилиндрами с зубками (шарошки), последние перекатываются по забою, при этом зубки внедряются в породу с переменной скоростью (от максимума до нуля) и осуществляют ее разрушение, т. е. движение шарошки подобно движению по плоской поверхности катка с зубьями. Внедрение зубков в породу происходит под действием осевого усилия, передаваемого через буровой став.

При шарошечном бурении разрушение породы и формирование скважины основано на последовательном образовании по всей поверхности забоя лунок скола в результате динамического внедрения зубьев долота в породу и непрерывного удаления продуктов разрушения с помощью нагнетаемого в скважину промывочного агента (бурового раствора или воздушно-водяной смеси). В процессе скольжения по забою вследствие того, что глубина разрушения породы всегда больше глубины внедрения зубка, последний не производит дополнительного разрушения, а только способствует очистке забоя от продуктов разрушения.

Режим шарошечного бурения определяется осевым усилием, оказываемым буровым станком на забой, частотой вращения долота и количеством сжатого воздуха или воздушно-водяной смеси, расходуемой на продувку скважин.

Указанные параметры взаимосвязаны и оптимальное их сочетание зависит от размеров и конструкции долота, характеристик станка и горнотехнических условий бурения.

При увеличении осевого усилия и постоянной частоте вращения увеличиваются глубина внедрения зубьев долота и объем разрушаемой породы. Таким образом, с увеличением осевого усилия соответственно возрастает скорость бурения.

Осевое усилие зависит от крепости породы, диаметра долота и давления на каждый сантиметр диаметра. Максимальное осевое усилие предопределяется следующими факторами: прочностью зубьев долота, прочностью опор долота, продольной устойчивостью колонны бурового става, частотой вращения долота.

Для эффективного бурения в различных условиях величины осевого усилия на долото должны составлять от 100 до 300 кН.

С увеличением частоты вращения скорость шарошечного бурения возрастает. Однако среднее углубление забоя за один оборот долота при этом не увеличивается. Для пород, обладающих пластичностью (большинство пород осадочного происхождения), прирост скорости бурения с увеличением частоты вращения долота уменьшается.

Ограничение частоты вращения вызвано вибрациями бурового станка, которые растут по мере увеличения крепости пород. Частота вращения долота находится в пределах $40 \div 46 \text{ с}^{-1}$. С увеличением крепости пород частота вращения уменьшается.

Станки для открытых горных работ в зависимости от типа — легкие, средние, тяжелые — предназначены для бурения пород с коэффициентом крепости соответственно $f = 6 \div 14$; $f = 10 \div 16$; $f = 10 \div 20$.

Долота большого диаметра позволяют разместить более мощные шарошки с большим числом зубьев и большим радиусом удаления их от центра забоя. Это значит, что при одной и той же частоте вращения долота большого диаметра будет наносить по забою большее число более мощных ударов. С этой точки зрения крепкие породы следует бурить долотами диаметром 250—320 мм.

Расход сжатого воздуха определяется эффективностью охлаждения долота и интенсивностью удаления буровой мелочи. При недостаточном расходе продувного сжатого воздуха скорость бурения замедляется, а после достижения некоторой величины — начинает снижаться.

Для современных станков шарошечного бурения скважин диаметром от 214 до 269 мм рекомендуемый расход воздуха составляет от 20 до $30 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Для интенсификации очистки забоя скважины применяют долота с продувочными насадками, расположенными в лапах между шарошками и направленными в место сопряжения вертикальных стенок скважины с плоскостью забоя. Долота с такими насадками позволяют увеличить проходку на 20—30%.

Механическую скорость шарошечного бурения v_m (м/ч) рекомендуется определять по формуле

$$v_M = \frac{0,01 P_n^{0,8}}{f^{1,6} D^{0,8}} \quad (1.24)$$

где P — осевое усилие на долото, Н; n — частота вращения долота, мин^{-1} ; f — коэффициент крепости пород; D — диаметр долота, см.

Скорость бурения обратно пропорциональна диаметру скважины лишь в том случае, если при неизменных P и n увеличивать диаметр долота. Однако такое бурение явно нерационально, так как с увеличением D увеличиваются потенциальные возможности шарошечного долота и P должно быть увеличено по крайней мере пропорционально D .

Для инженерных расчетов при подсчете механической скорости бурения v_M (м/ч) можно пользоваться следующей формулой:

$$v_M = 24 \frac{P_n}{P_k D} \quad (1.25)$$

где P_k — контактная прочность горных пород, кПа.

Формула верна при $150 \text{ кПа} < P_k < 400 \text{ кПа}$, $70 \text{ мин}^{-1} < n < 150 \text{ мин}^{-1}$, $150 \text{ мм} < D < 400 \text{ мм}$, $150 \text{ кН} < P < 40 \text{ кН}$.

Производительность станка шарошечного бурения может быть определена по формуле

$$F = T \eta_{\text{см}} v_M \quad (1.26)$$

где T — продолжительность смены, ч; $\eta_{\text{см}}$ — коэффициент машинного времени, или использование бурового станка на собственно бурение.

Коэффициент машинного времени для шарошечных станков при хорошей организации работы колеблется от 0,5 до 0,7. Среднее значение $\eta_{\text{см}}$ можно принимать равным $0,55 \div 0,6$.

Сменная производительность бурения

$$F_{\text{см}} = 0,006 T \frac{P_n^{0,8}}{f^{1,6} D} \quad (1.27)$$

Контрольные вопросы

1. Дайте определение способу шарошечного бурения.
2. Чем определяется режим шарошечного бурения?
3. Напишите формулы для определения механической скорости шарошечного бурения.

§ 6. Немеханические способы бурения

Огневой способ. При огневом бурении порода разрушается в результате интенсивного воздействия на нее высокотемпературной газовой струи, вылетающей из сопла со сверхзвуковой скоростью.

При мгновенном нагреве породы в ней образуется поле термических напряжений, вызывающих разрушение поверхностного слоя (на глубину 3–5 мм) на отдельные мелкие частицы — чешуйки.

Бурение осуществляется самоходными огнеструйными буровыми

станками, имеющими термобур с горелкой. Вращением термобура достигается периодическое нагревание отдельных участков забоя.

Технологические операции выполняются в следующей последовательности: зажигание горелки, бурение, расширение скважин в нижней части и очистка.

При зажигании в камере сгорания огнеструйной горелки смешиваются горючее и окислитель и образуются высокотемпературные газовые струи, которые проходят через сопловой аппарат, приобретая при этом сверхзвуковую скорость.

На производительность станков огневого бурения оказывают влияние температуры истекающих из сопел горелки газов, их скорости и массовые расходы, а также физико-механические характеристики горных пород — минеральный состав, крепость, трещиноватость, упругость и теплофизические свойства.

Огневое бурение эффективно применять в окисленных и неокисленных железных рудах, так как в этих породах и рудах разрушение происходит путем шедушения с образованием мелкой крошки, т. е. без плавления. В других породах из-за низкой скорости бурения и плавления область применения данного способа бурения ограничена и находит применение лишь при бурении 3—4% пород общего объема горной массы.

Перспективно применение огневого бурения в комбинации с шарошечным: вначале скважину бурят шарошечным станком, а затем нижнюю ее часть (в месте размещения заряда ВВ) расширяют огневым способом. Для бурения скважин по такой технологии применяются термшарошечные станки.

Тепловые потоки создаются горелками ракетного типа, которые работают на смеси керосина и кислорода либо бензина со сжатым воздухом.

Скважины диаметром 160—225 мм и более на карьерах бурят станками огневого бурения СБО-1, СБО-2, СБО-4 и СБО-5, СБО-160/20, которые способны расширить нижнюю часть скважины до 500 мм. Буровой станок СБО-160/20 показан на рис. 1.12.

На станках огневого бурения в качестве горючего применяют керосин и реже бензин, а окислителя — газообразный кислород или сжатый воздух. Использование кислорода позволяет значительно повысить температуру газов, но обуславливает высокие затраты на бурение (доля затрат на кислород и его доставку достигает 45%). При этом повышаются требования к технике безопасности.

Часто в качестве окислителя широко применяется сжатый воздух, что существенно упрощает организацию огневого бурения и существенно снижает затраты на него.

Шпуров глубиной 1—1,5 м и диаметром — 50—60 мм бурят ручными термобурами с односопловыми горелками. Окислитель — сжатый воздух — подается в термобур под давлением 50—60 Па от передвижного компрессора. В качестве горючего применяется бензин.

Ручные термобуры используются также для термического разруше-

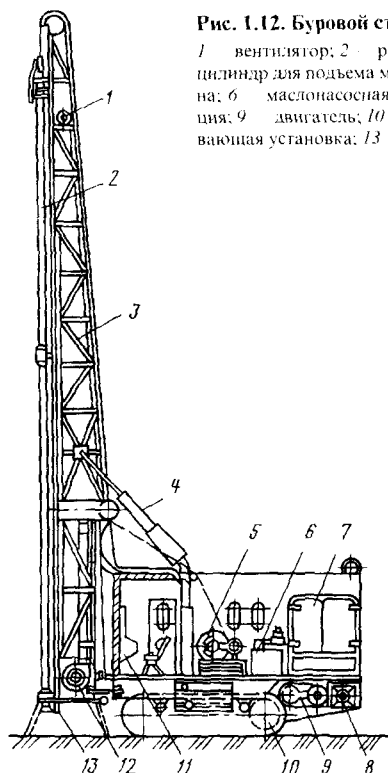


Рис. 1.12. Буровой станок СБО-160/20:

1 вентилятор; 2 рабочий орган (буровая штанга); 3 мачта; 4 гидроцилиндр для подъема мачты; 5 лебедка для спуска и подъема рабочего органа; 6 маслонасосная станция; 7 станция управления; 8 насосная станция; 9 двигатель; 10 ходовая часть; 11 пульт управления; 12 отсасывающая установка; 13 электрозапал

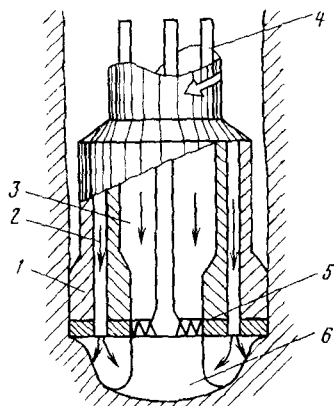


Рис. 1.13. Схема плазмобура с расширителем:

1 механический расширитель; 2 канал для промывочной жидкости; 3 камера сгорания; 4 кабель постоянного тока; 5 электрод; 6 плазма

ния негабаритных кусков, резания каменных блоков и обработки их поверхности.

Совершенствование станков и повышение эффективности огневого бурения осуществляется в результате создания:

станков комбинированного действия;

комбинированного термомеханического бурения скважин с разрушением пород высокотемпературными газовыми струями и механическими органами;

механического бурения труднотермобуриемых пород с последующим расширением скважин воздушно-огневым способом;

разрушения труднотермобуриемых пород знакопеременным полем (поочередное воздействие на забой скважины газовой струей и распыленной сжатой воздухом водой).

На режим термического бурения большое влияние оказывают температура и скорость газового потока. Поэтому регулирование частоты вращения и подачи на забой термобура осуществляется изменением теплового потока.

Оптимальный режим бурения характеризуется минимальными за-

тратами энергии при высокой скорости бурения. Оптимальная скорость вращения термобура составляет 15—20 мин¹.

Скорость бурения зависит от расстояния между срезом сопла горелкой и забоем скважины. Оптимальная величина находится в пределах 100—150 мм (при меньшей величине происходит плавление породы, при большей — растрескивание теплового потока).

В сильно нарушенных и трещиноватых породах скорость бурения снижается на 25—30%, поэтому в этих условиях рационально применять горелки с наклонным расположением сопел.

К термическому бурению относится также разрушение пород лазерным лучом в результате их нагрева и создания термических напряжений (шелушения) и их расплавления. Лазерный луч получают посредством возбуждения группы атомов в кристалле или газе до их высокоэнергетического состояния, после чего атомы начинают излучать фотоны, образуя поперечный световой луч. Данный способ найдет широкое практическое применение в случае увеличения выходной мощности лазерной установки и обеспечения безопасности работ. В буровых условиях применяются кристаллические и газовые лазеры.

Плазменный способ — разновидность термического бурения (рис. 1.13) — основан на создании устойчивой электрической дуги между двумя электродами и выдувании ее из сопла с помощью давления сжатого воздуха. Источником холодной плазмы является плазмотрон. Струя плазмы создается электродуговым разрядом и продувкой газа через столб разряда. Для интенсивного разрушения породы оптимальны температура 5500—6000 °С и скорость истечения газов 2000 м/с. Под действием плазменных струй на горные породы последние быстро плавятся, в результате чего образуется скважина. Скорость бурения по кварцитам в легкобуримых породах составляет до 30 м/ч, в труднобуримых — от 5 до 10 м/ч. Скважины при этом получают небольшого диаметра, поэтому в дальнейшем механическими способами их увеличивают до нужного диаметра. Применение лазеров для бурения шпуров и скважин в горных породах считается перспективным.

Современные способы бурения. Разработаны новые, в перспективе более эффективные средства и способы бурения. Физические способы основаны на непосредственном использовании для разрушения горных пород и формирования скважин электрической, электролучевой энергии, энергии взрывчатых веществ, магнитострикционного эффекта и т. д.

Бурение с использованием магнитострикционного эффекта осуществляется шарошечным станком с наложением на долото вибраций, генерируемых магнитостриктором, встроенным в первую штангу бурового става станка. Выполнен он в виде набора системы стержней из ферромагнитной стали, продольные колебания которых происходят под влиянием магнитного поля с частотой генерирующего его переменного тока. С целью обеспечения наиболее эффективного резонансного режима предусмотрено, чтобы период собственных колебаний магнитостриктора, определяемый его длиной, совпадал с периодом вынуж-

денных электромагнитных колебаний. За счет создания физического эффекта механическая скорость бурения в горных породах увеличивается в 2—3 раза.

Взрывной способ бурения основан на последовательном многократном взрывании непосредственно на забое зарядов ВВ для разрушения горных пород и формирования таким образом скважин без применения механического породоразрушающего инструмента.

Длительности и непрерывности данного способа бурения способствуют:

быстрое выделение энергии, создающее в зоне забоя, прилегающей к заряду, весьма высокое поле давлений и скоростей смещения среды;

отсутствие потери энергии на транспортирование зарядов ВВ к забою скважины и изнашивание породоразрушающего инструмента.

При использовании ВВ для бурения не всегда можно получить заданную форму скважины и достаточно мелко разрушенную, легко удаляемую породу. В качестве ВВ используются флегматизированный гексоген и тротил.

Эффективность разрушения породы при взрывном бурении зависит от бризантности заряда (его плотности и скорости детонации), а также выделяемой при взрыве энергии (удельной теплоты взрыва).

При взрывном бурении по трубам вместе с промывочной жидкостью с большой частотой подаются 50-граммовые пластиковые ампулы с компонентами жидкого ВВ. При взрыве заряда ампулы порода разрушается в результате удара продуктов детонации и гидравлического удара жидкости.

Взрывное бурение с продувкой скважин сжатым воздухом характеризуется следующими показателями: при диаметре буримой скважины 250 мм величина заряда ВВ должна составлять 300 г, средняя проходка за один взрыв — 40—80 мм, а скорость бурения — 30—40 м/ч. Этот способ наиболее перспективен для бурения крепких и крепчайших горных пород.

Кроме того, применяется также способ «струйного» взрывобурения, при котором заряд ВВ образуется непосредственно в забое путем слияния подаваемых по отдельным трубам (каналам) струй жидких горючего и окислителя. Взрыв инициируется с помощью третьего компонента — специального сплава калия и натрия. Взрывы при данном способе протекают с небольшой скоростью и характеризуются относительно низкой эффективностью разрушения. При данном методе бурения также сложно своевременно удалять образующиеся при взрыве продукты разрушения, поскольку в забой непрерывно подаются струи компонентов жидких ВВ.

На карьерах для бурения скважин предложены два способа взрывного разрушения: патронами твердых и жидких ВВ. Скорость бурения достигает 30 м/ч при расходе жидкого ВВ 0,3—0,5 л/м³ скважины.

В стадии производственного эксперимента находится способ и д р о б у р е н и я, эффективное разрушение крепких пород при кото-

ром осуществляется струей воды, истекающей из сопла со сверхзвуковой скоростью под давлением 10 — 20 кПа.

Давление напора воды устанавливается с учетом физико-механических свойств горных пород и прежде всего коэффициента крепости. Данный принцип разрушения используется в гидромпульсном комбайне для скоростного проведения горизонтальных выработок в крепких породах. Гидробурение найдет широкое применение при разработке россыпей и мерзлых пород.

Сущность гидравлического способа заключается в следующем: в жидкости, заполняющей скважину, при помощи двух электродов создается разряд. Образующийся при этом вакуумный канал затем захлопывается. Вокруг разряда возникает ударная волна, которая воздействует на поверхность забоя знакопеременными нагрузками и вызывает разрушение пород.

Ультразвуковой, электронскровой, электронпульсный, электрогидравлический способы бурения находятся пока в стадии опытно-промышленного испытания.

Контрольные вопросы

1. Перечислите немеханические способы бурения.
2. Какие достоинства и недостатки огневого способа бурения?
3. Что такое плазменное бурение?
4. Каковы пути повышения эффективности огневого бурения?
5. На чем основан взрывной способ бурения?
6. Раскройте сущность гидравлического способа бурения.

§ 7. Технические средства бурения

К техническим средствам бурения шпуров и скважин относятся собственно буровые машины, несущие-подающие механизмы и приспособления, буровой инструмент, вспомогательные механизмы и приспособления (шумо- и виброгасители, пылеуловители). В совокупности эти элементы образуют буровые станки и установки.

Буровые установки классифицируются в соответствии с рассмотренными выше способами бурения (см. рис. 1.1). Кроме того, буровые установки подразделяются: по виду вращателя — шпиндельные, роторные, с забойной буровой машиной; по типу силового привода — станки с электродвигателем, двигателем внутреннего сгорания, дизель-электрическим и пневматическим или гидравлическим приводами; по типу ходовой тележки — самоходные (установки, смонтированные на автомобилях, тракторах, самоходных тележках и т. д.), передвижные на специальных тележках (на гусеничном, пневмошинном и санном ходу), стационарные (перемещающиеся автомобильным, железнодорожным и другими видами транспорта) и переносные (на колонках для подземных условий).

Бурильные машины с пневматическими двигателями необходимо обеспечивать сжатым воздухом, подаваемым от компрессоров по воз-

духопроводам, бурильные машины с электродвигателями снабжаются электроэнергией по кабелям. Бурильные машины с двигателями внутреннего сгорания не нуждаются в подводе того или иного вида энергии, а эксплуатируются, потребляя жидкие топливные бензино-масляные смеси.

Наиболее распространены буровые станки механического бурения.

Для скважин используют ударное (перфораторами с составными бурами), шарошечное и вращательное бурение.

Шпур бурят с использованием компактных, транспортабельных бурильных машин относительно небольшой мощности. Эти особенности бурильных машин обеспечивают удобство их эксплуатации в горных выработках; в условиях разведки месторождений они облегчают перевозку оборудования к месту производства работ и позволяют бурить шпур при небольшой энергооборуженности геологоразведочных партий.

Ударное бурение. При разведке месторождений полезных ископаемых шпур в подавляющем большинстве случаев бурят перфораторами и сверлами. В табл. 1.3 приведена классификация данных видов бурильных машин по виду энергии, области применения, типу подачи бурового става и условиям работы.

В геологоразведочных партиях наиболее распространены пневматические перфораторы. В особых условиях проведения горных выработок при отсутствии достаточно мощных энергетических источников применяют перфораторы с двигателями внутреннего сгорания, называемые мотоперфораторами.

Мотоперфораторы наиболее эффективны при бурении неглубоких (до 4 м) шпуров в относительно мягких и средней крепости породах с коэффициентом крепости $f = 2 \div 6$.

На рис. 1.14 показан общий вид легкого мотоперфоратора. Ниже приведена техническая характеристика отечественного перфоратора МП-1 «Смена».

Энергия удара бойка, Дж	30
Частота ударов бойка, с ⁻¹	47
Основные размеры, мм	250×325×750
Масса перфоратора, кг	30
Вместимость топливного бака, л	1,9

В качестве топлива используется смесь бензина А-72 с маслом МС-30 или МК-22 в соотношении соответственно 12:1 и 15:1.

Рабочее положение перфоратора (определяющее направление бурения шпуров) может меняться от вертикального вниз до наклонного вверх под углом 45° к горизонту. Мотоперфоратор снабжен виброгасящим устройством, вследствие чего вибрация его рукояток не превышает санитарно допустимую норму.

Пневматические перфораторы работают на энергии сжатого воздуха (рис. 1.15) и имеют следующие конструктивные элементы: стальной цилиндр 3 с поршнем 5, воздухораспределительное устройство 1 с клапаном 2 и поворотный механизм с винтовым стержнем 12. Под давлением

Таблица 1.3

Области применения различных бурильных машин

Тип машины	Энергия	Область применения	Подача бурового стока	Способ работы или установка машины
Ударно-поворотные бурильные машины				
Переносные перфораторы (ПП)	Пневматическая	Породы различной крепости	Ручная, механическая	Бурение на пневмоподдержке, распорной колонке
Колонковые перфораторы (ПК)	»	Крепкие породы	Механическая	На колонке, манипуляторе или буровой каретке
Телескопные перфораторы (ПТ)	»	Породы различной крепости	»	На телескопных податчиках

Вращательные бурильные машины				
Ручные сверла	Электрическая, пневматическая, гидравлическая	Угли и мягкие породы	Ручная	Бурение на колонке
Ручные сверла с механической (принудительной) подачей	То же	Крепкие угли, мягкие и ниже средней крепости	Механическая	На колонке или податчике
Длинноходные сверла	Электрическая, гидравлическая	Породы средней крепости	»	На манипуляторе или буровой каретке
		То же	Механическая или гидравлическая	

Ударно-вращательные бурильные машины				
Колонковые длинноходные сверла с механической подачей	Пневматическая, гидравлическая и электрическая	Породы различной крепости	Механическая	На буровой каретке или манипуляторе

ем сжатого воздуха поршень со штоком 10 совершает поступательно-возвратное движение, нанося удары с частотой 1700—3000 в минуту по хвостовику бура 9, удерживаемого буродержателем 8.

Клапан 2 воздухораспределительного устройства обеспечивает очередное поступление сжатого воздуха в левую и правую части цилиндра. Положение клапана меняется автоматически за счет сжатия воздуха в полости цилиндра по ходу движения поршня. В конце переднего хода поршня задняя часть цилиндра через выхлопное отверстие сообщается с атмосферой. Происходит выхлоп сжатого воздуха, под давлением которого совершался рабочий ход поршня. Дальнейшее дви-

Рис. 1.14. Мотоперфораторы:

1 корпус; 2 рукоятка; 3 буродержатель; 4 бур

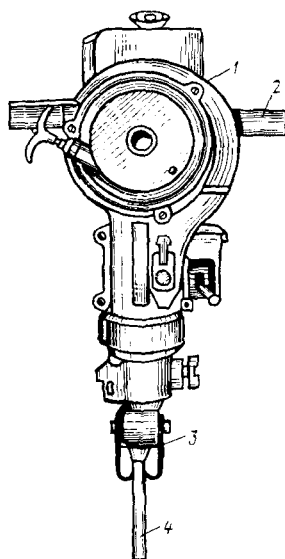
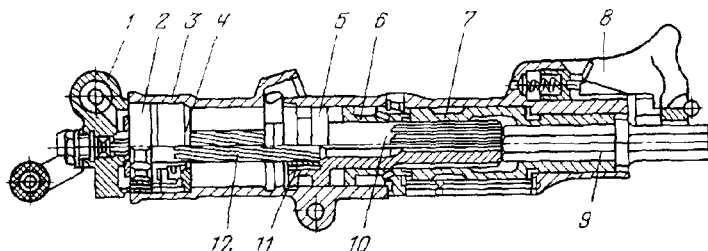


Рис. 1.15. Пневматический перфоратор



жение поршня вперед вызывает сжатие воздуха в передней части цилиндра. Сжатый воздух из передней части цилиндра, поступая в воздухораспределительное устройство по каналам в его корпусе, меняет положение клапана 2, и поршень идет назад.

При обратном ходе шлицы поворотной гайки 11 стремятся повернуть винтовой стержень 12 вправо, чему препятствует храповой механизм головки винтового стержня 4.

При обратном ходе поршень с поворотной гайкой 11, поворотной втулкой 6, патроном 7 и буром поворачиваются влево. За один ход поршня бур поворачивается на $15-40^\circ$. При рабочем ходе поршня под действием шлицов поршневой гайки поворачивается влево винтовой стержень. Буровая мелочь удаляется из шпура водой, сжатым воздухом. В подземных выработках и на карьерах на больших глубинах применяется в основном бурение с осевым или боковым подводом воды для удаления буровой мелочи либо с сухим пылеулавливанием. На верхних горизонтах карьеров при разбуривании негабаритных отдельных допускаяется удаление мелочи сжатым воздухом.

При осевом подводе вода по стальной трубке, проходящей по оси молотка сквозь винтовой стержень, поршень и шток, поступает в канал бура и далее в шпур, вымывая из него буровую мелочь.

При боковом подводе, вода для промывки шпура, минуя буровой молоток, посредством муфты подводится непосредственно к хвостовику бура, который в данном случае делается на 60—70 мм длиннее обычного для посадки промывочной муфты. При этом способе исключается возможность проникновения воды в цилиндр бурового молотка, обеспечивается надежная промывка глубоких шпуров.

При отсосе удаление пыли обеспечивается эжектором пылеуловителя. Диаметр канала буровой штанги и пылеуловителя создает вакуум до 13 мм. Эжектор пылеуловителя создает вакуум до 53 кПа. Крупная буровая пыль при входе в пылеуловитель выпадает в бункер, а мелкая задерживается фильтром и сбрасывается в бункер вибратором.

Воздухораспределительные устройства, применяемые в перфораторах, делятся на клапанные (кольцевой или откидной клапан) и золотниковые (с фланцевым, полым цилиндрическим, управляемым, катушечным, жесткосвязанным золотником).

Клапаны бывают шариковые, мотыльковые, кольцевые. В клапанах воздухораспределительных устройств каналы закрываются и открываются сразу на полное сечение, при золотниковых — впускные каналы открываются и закрываются при наливании на них золотника.

Достоинства золотниковых воздухораспределительных устройств — это высокая энергия удара, наибольший крутящий момент, сравнительно малый расход воздуха, уменьшенная отдача, автоматичность действия, безотказность и четкость работы ударного механизма. Однако они не обеспечивают такой частоты ударов, как клапанные.

К достоинствам воздухораспределительных устройств с кольцевым клапаном относятся малый ход клапана, следовательно, высокая скорость перебросок его и малые утечки воздуха. Это устройство надежно в работе и широко применяется в перфораторах.

При работе перфораторов в них, кроме сжатого воздуха и бурового раствора, подается смазка, обеспечивающая снижение трения между движущимися относительно друг друга деталями и уменьшение износа их поверхностей. Смазочное масло поступает в перфоратор из автомасленки, устанавливаемой на воздухоподводящем шланге.

По частоте ударов пневматические перфораторы подразделяют на обычные с числом ударов менее 2000 в 1 мин и высокочастотные (быстроударные) с числом ударов более 2000 в 1 мин. По способу очистки шпуров от буровой мелочи они могут быть с осевой промывкой, с боковой промывкой, с отсосом пыли. Продувку или пылеотсос осуществляют в тех случаях, когда подача бурового раствора в шпур невозможна или нежелательна (например при производстве работ в безводных районах, при бурении в мерзлых или сильнообводненных породах).

По условиям применения пневматические перфораторы подразделяются на переносные (ПП), колонковые (ПК) и телескопные (ПТ). По

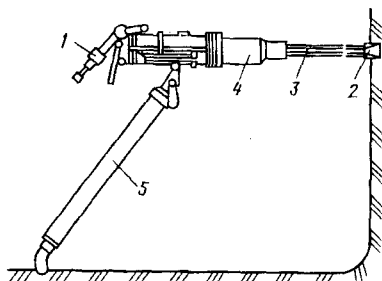


Рис. 1.16. Поддерживающе-подающее устройство с перфоратором:

1 — автомасленка; 2 — коронка; 3 — бур; 4 — переносной перфоратор; 5 — пневмоподдержка

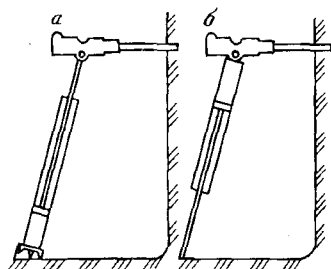


Рис. 1.17. Схемы пневмоподдержек

массе перфораторы делятся на легкие (до 18 кг), средние (20—25 кг) и тяжелые (более 30 кг).

Переносные перфораторы предназначены для бурения нисходящих, горизонтальных и наклонных шпуров при проведении разведочных канав, траншей, шурфов, стволов шахт, горизонтальных и наклонных выработок. При этом в горизонтальных и наклонных выработках перфораторы устанавливаются на пневматические поддержки или на легкие переносные установки, колонки типа УПБ-1 (ЛКР-У). Техническая характеристика переносных перфораторов, выпускаемых отечественными заводами, приведена в табл. 1.4.

Пневмоподдержки для облегчения ручного бурения перфораторами (рис. 1.16) представляют раздвижную телескопическую трубу, состоящую из пневматического цилиндра и штока с манжетами; цилиндр оборудован устройством для крепления перфоратора, шток — упором.

Применяются короткоходовые пневмоподдержки с подачей до 1000 мм и длинноходовые с подачей более 1000 мм. По конструкции пневмоподдержки могут быть двух типов: с опорным цилиндром, из которого выдвигается шток (рис. 1.17, а); с опорным штоком и выдвигающимся цилиндром, к которому прикреплен буровый молоток (рис. 1.17, б).

В зависимости от типа перфоратора применяют унифицированные пневмоподдержки, со следующими техническими характеристиками:

Тип пневмоподдержки.....	П8	П11	П13
Масса, кг.....	17	20	22
Длина, мм.			
в сдвинутом положении.....	1200	1500	1700
в развернутом положении.....	2000	2600	3000
Максимальный ход штока, мм.....	800	1100	1300
Максимальное подъемное усилие, Н.....	1716	1716	1716

Более совершенная переносная буровая установка УПБ-1 (рис. 1.18), представляющая собой трубчатую П-образную раму с установленным на ней податчиком. Податчик с перфоратором поднимаются и опускаются на требуемую высоту с помощью канатно-червячного механизма. Установка характеризуется следующими показателями.

Сила удара, Н, не менее	60
Крутящий момент, Н·м, не менее	17,6
Удельный расход воздуха, м ³ /(с·кВт)	0,089
Диаметр бурения скважины, мм	36 - 40
Рабочее давление воздуха, МПа	0,5
Число ударов в минуту, не менее	1600
Глубина бурения скважины, м	2,25
Усилие подачи, кН	2,0
Величина подачи, мм	1300
Высота установки, мм:	
без удлинителей	1800 - 2400
с удлинителями	2400 3000
Внутренний диаметр рукава, мм:	
воздушного	25
водяного	12
Уровень шума, дБ, не более	115
Масса, кг:	
установки	102
транспортируемого узла	37

Колонковые перфораторы (масса от 50 до 100 кг) для бурения устанавливаются на распорных колонках или манипуляторах. Они предназначены для бурения в крепких породах преимущественно горизонтальных и слабонаклонных шпуров глубиной до 12 м, а также скважин диаметром до 75 мм.

Шпуры бурят колонковыми перфораторами с достаточно прочных распорных колонок и других поддерживающих устройств или машин, при этом подача перфораторов на забой осуществляется не вручную, а механизмами, называемыми податчиками.

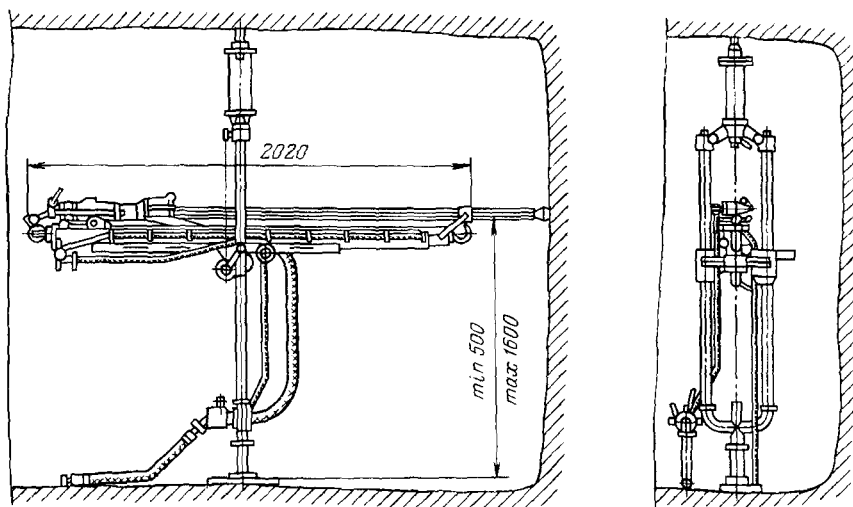


Рис. 1.18. Переносная бурильная установка УПБ-1

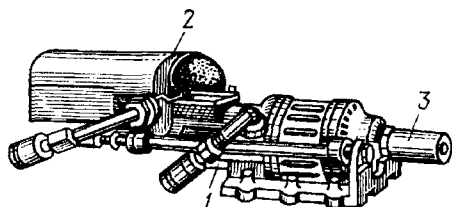
Таблица 1.4

Техническая характеристика переносных перфораторов

Тип	Область применения	Энергия удара, Дж	Частота ударов, с ⁻¹	Крутящий момент, Н·м	Удельный расход воздуха, м ³ ·с ⁻¹ ·кВт ⁻¹	Номинальное давление воздуха, МПа	Размеры хвостовика, мм	Масса, кг
ПП36В	Для бурения горизонтальных и наклонных шпуров диаметром 32-40 мм с пневмоподдержкой в породах мягких и средней крепости. Глубина бурения до 2 м	36	38,33	20	0,029	0,5	22×108	24
ПП54В	Для бурения горизонтальных и наклонных шпуров диаметром 40-46 мм с пневмоподдержкой в породах мягких и средней крепости. Глубина бурения до 4 м	55,5	38,33	29,43	0,029	0,5	25×108	31,5
ПП54ВБ	То же с боковой промывкой	55,5	38,33	29,43	0,029	0,5	25×108	31,5
ПП63В	Для бурения горизонтальных и наклонных шпуров диаметром 40-46 мм с пневмоподдержкой в породах средней крепости и крепких с центральной промывкой. Глубина бурения до 5 м	63,74	30	26,93	0,029	0,5	25×108	33
ПП63ВБ	То же с боковой промывкой	63,74	30	26,93	0,029	0,5	25×108	33
ПП63С	Для бурения нисходящих шпуров диаметром до 46 мм и глубиной до 5 м при проходке обводненных шахтных стволов	63,74	30	26,93	0,029	0,5	25×108	33
ПП63СП	Для бурения шпуров с пылеотсосом с пневмоподдержкой в породах средней крепости и крепких	63,74	30	26,93	0,029	0,5	25×108	33
ПП63СВП	Для бурения шпуров диаметром до 46 мм и глубиной до 5 м с интенсивной продувкой и подавлением пыли методом увлажнения	63,74	30	26,93	0,029	0,5	25×108	33

Рис. 1.19. Колонковый перфоратор с независимым вращением бура:

1 корпус перфоратора, в передней части которого размещается вращатель;
2 глушитель; 3 патрон для бурового инструмента



Податчики по своему устройству делятся на винтовые (усилие подачи до 8 кН), цепные, поршневые (до 12 кН).

При бурении колонковыми перфораторами в основном применяются податчики винтового типа ПП-3 с ротационным пневмодвигателем реверсивного действия мощностью 0,07 кВт. Винтовые автоподатчики используются на колонковых буровых установках КБУ-50 и КБУ-80. К цепным относится автоподатчик ПЦ-12.

Наиболее совершенные мощные ПК относятся к бурильным машинам вращательно-ударного действия. Эти перфораторы снабжены ударным и воздухораспределительным механизмами, аналогичными по принципу действия механизмам ПП. Вращатель бура, состоящий из статора и ротора с воздухораспределительным золотником, представляет собой своеобразный пневматический мотор, который непрерывно вращает буровой инструмент.

Шлам из шпуров удаляют промывкой и продувкой. С целью снижения интенсивности шума, производимого работающим перфоратором, он оборудуется глушителем. На рис. 1.19 показан общий вид колонкового перфоратора с независимым вращением бура.

Ниже приведена техническая характеристика колонковых перфораторов.

Тип перфоратора	ПК60	ПК75
Энергия удара, Дж	90	150
Число ударов в минуту	41,6 – 45	33,3 – 41,6
Крутящий момент, Н·м	160	220
Удельный расход воздуха, м ³ /(с·кВт)	0,029	0,029
Рабочее давление воздуха, МПа	0,5	0,5
Осевое усилие подачи, кН	7	10
Длина, мм	575	695
Диаметр цилиндра, мм	110	120
Диаметр шланга (рукава), мм:		
воздушного	32	38
водяного	18	18
Глубина бурения скважины, м, не более	25	50
Масса бурового инструмента, гидрокоммуникации, звукогасящего устройства, кг	60	75

Телескопные перфораторы предназначены для бурения шпуров и скважин, направленных вверх, диаметром до 85 мм и глубиной до 15 м в средних и крепких породах. Ниже приведены размеры

телескопных перфораторов при подаче телескопного устройства 650 ± 10 мм.

Тип телескопного перфоратора	ПТ-38	ПТ-42	ПТ-38
Энергия удара ударника, Дж, не менее	45	55	80
Число ударов в минуту, не менее	2000	2000	2000
Крутящий момент, кН·м, не менее	200	250	300
Удельный расход воздуха, м ³ /мин, не более	1,3	1,3	1,3
Номинальное рабочее давление, МПа, не более	0,5	0,5	0,5
Масса, кг, не более	38	42	48

Конструктивная особенность телескопных перфораторов состоит в том, что пневмоперфоратор соосно соединен с телескопическим устройством (податчик), обеспечивающим поддержание и подачу пневмоперфоратора на забой в процессе бурения шпуров (рис. 1.20). Таким образом, телескопный перфоратор представляет собой комплекс из бурильной машины и податчика.

Конструкция бурильной машины, размещенной над податчиком, подобна конструкции переносного перфоратора. Телескопическое устройство состоит из пневматического цилиндра, в котором находится поршень со штоком, имеющим в нижней части вилкообразный упор (сошка). Под воздействием поступающего в цилиндр податчика сжатого воздуха поршень перемещается вниз, в результате чего обеспечиваются фиксация перфоратора в необходимом рабочем положении и подача его на забой при бурении шпура. Органы управления пневмоперфоратором в процессе его установки и бурения размещены на рукоятке управления, смонтированной на корпусе пневмоперфоратора.

Перфоратор оборудуется шумогасящими и антивибрационными устройствами. При бурении шпур очищается от шлама интенсивной продувкой.

Вращательное бурение применяется при бурении шпуров и скважин в мягких, полускальных породах с коэффициентом крепости $f \leq 6 \div 8$.

В мягких породах машины вращательного бурения работают с высокой производительностью и значительно меньшим шумом, чем ударные. По потребляемой энергии они делятся на бензиновые, пневматические, электрические и гидравлические, а по мощности и способу установки — на переносные и колонковые.

Бурильные машины вращательного принципа действия с бензиновыми двигателями называются мотобурами (рис. 1.21).

Для бурения скважин шнековым способом используют мотобуры М-1, МП-1 и ДС-10. Мотосверла и мотобуры предназначены для бурения шпуров и скважин в мягких породах и грунтах (в том числе мерзлых) при поисковых и разведочных работах. Мотобур М-1 может применяться для бурения скважин шнековым способом в породах I—III категорий с отбором проб при поисковых и геологосъемочных работах, а также для бурения шпуров витыми штангами в породах до V категории включительно и в мерзлых грунтах.

Мотобур М-1 имеет следующие показатели.

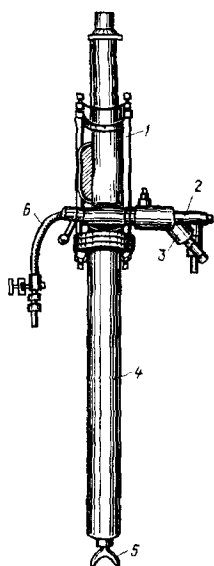


Рис. 1.20. Телескопный перфоратор:

1 пневмоперфоратор; 2 рукоятка управления; 3 и 6 — соответственно воздушный и водяной патрубки; 4 телескопический податчик; 5 упор

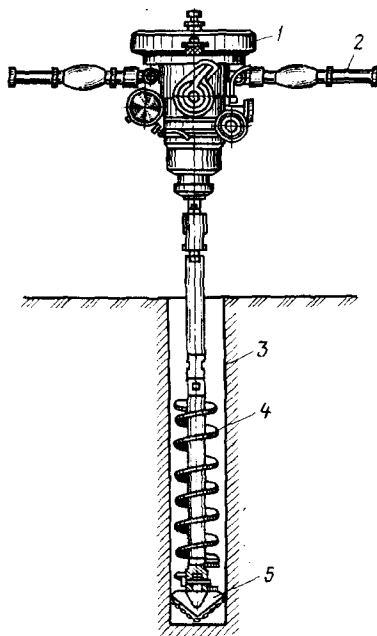


Рис. 1.21. Мотобур:

1 — корпус; 2 рукоятка; 3 шпур; 4 шнековый бур; 5 — резец

Глубина бурения скважины, м:

штангами с породными резцами	2
шнеками диаметром 65 мм	7—10
шнеками диаметром 92 мм	1,5

Диаметр бурения скважины, мм:

штангами с породными резцами	43
шнеками	65, 92

Диаметр отбираемых образцов пород, мм (соответственно при бурении шнеками диаметрами 65 и 92 мм)

	24, 30

Частота вращения шпинделя, с⁻¹:

I скорость	4,25
II скорость	10,25

Двигатель

	«Дружба-4»

Мощность, кВт

	2,9

Основные размеры, мм

	540×450×540

Масса мотобура без рюкзака, кг

	15

Вращательные электрические машины (ЭР14Д-2М, ЭР18Д-2М, ЭРП18Д-2М) называются электросверлами. Ручные электросверла в принципе выполнены одинаково и лишь незначительно отличаются своими параметрами. Они состоят из электродвигателя, редуктора, включателя, вентилятора, кожуха и вводной муфты.

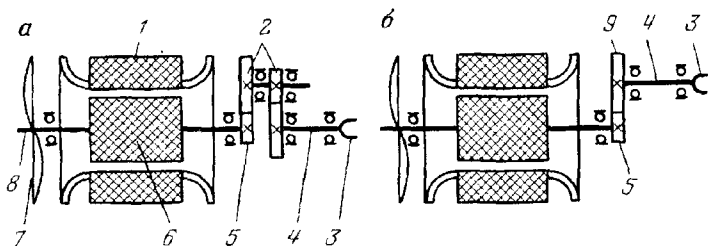


Рис. 1.22. Кинематические схемы ручных электросверл с двухступенчатым (а) и одноступенчатым (б) редукторами:

1 - статор электродвигателя; 2 - промежуточные шестерни; 3 - патрон; 4 - шпиндель; 5 - роторная шестерня; 6 - ротор; 7 - вентилятор; 8 - вал ротора; 9 - шпиндельная шестерня

Для увеличения теплоотдачи корпус изготавливается ребристым. Затыльная крышка защищает вентилятор, находящийся на валу ротора, от ударов и попадания в него частиц породы. Крышка вентилятора вместе с ребрами корпуса образует каналы для прохода охлаждающего воздуха вдоль нагретой поверхности.

Ручные электросверла могут быть с одно- и двухступенчатым редуктором. На рис. 1.22 представлены кинематические схемы электросверл с такими редукторами.

Включение электросверла в работу производится нажатием на курок, находящийся на правой рукоятке.

Сменная производительность бурильщика при бурении ручными электросверлами по углю средней крепости 80—120 м шпуров (максимальная 250 м).

Ручные электросверла (рис. 1.23) массой до 25 кг используют для бурения шпуров в открытых или подземных горных выработках. Диаметр шпуров до 46 мм, глубина до 3 м; шпуров могут буриться в различных направлениях.

Техническая характеристика ручных электросверл приведена ниже.

Тип электросверла	ЭР14Д-2М	ЭР18Д-2М	ЭРП18Д-2М	СЭР-19М
Крутящий момент на шпинделе, Н·м	10,8	20,31	40,82	35
Напряжение, В	127	127	127	127
Эффективная мощность, кВт	1,0	1,4	1,4	1,2
Частота вращения шпинделя под нагрузкой, с ⁻¹	14,33	10,69	10,69	12,53
Основные размеры, мм	380×316×248	395×316×248	450×316×248	365×318×300
Масса, кг	16,5	18	24,5	18

Колонковые электросверла предназначены для бурения горизонтальных и наклонных шпуров в породах средней и выше средней крепости. На горноразведочных работах колонковые электросверла применяются редко, поскольку они неудобны для бурения в выработке небольшой площади сечения.

Колонковые сверла — более мощные бурильные машины (масса 100—120 кг, мощность двигателя от 2,5 до 5 кВт). Они применяются при

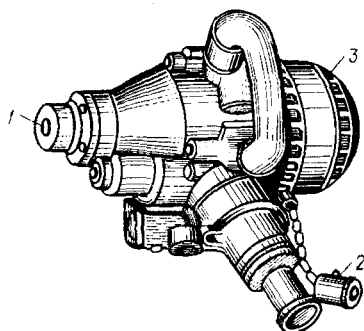


Рис. 1.23. Ручное электросверло СЭР-19М:

1 гнездо для установки буровой штанги;
2 электроразъем; 3 электродвигатель

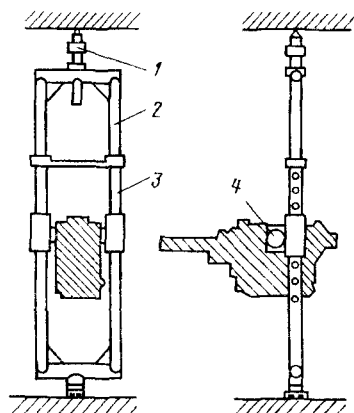


Рис. 1.24. Винтовая распорная колонка для электросверла:

1 распорное устройство; 2 и 3 соответственно верхняя и нижняя рамы; 4 сержы для поддержки сверла

бурении шпуров и скважин диаметром до 50 мм, глубиной до 5 м, в породах средней и выше средней крепости ($f = 4 \div 8$). Их устанавливают на колонках, манипуляторах или буровых каретках.

Они состоят из двухскоростного электродвигателя, редуктора, механизма ручного управления и подающего устройства. Применяются дифференциально-винтовые и гидравлические механизмы подачи. Подача бурового инструмента автоматизирована.

Ниже приведена характеристика колонкового электросверла ЭБП-1.

Мощность электродвигателя (получасовая), кВт	2,5
Напряжение, В	660/380
Частота вращения, с ⁻¹	2,84—5,26
Ход подачи шпинделя, мм	900
Глубина бурения одной штангой, м	2,2
Размеры, мм	1680×410×400
Масса, кг	130

На рис. 1.24 представлена схема поддерживающего устройства для колонкового электросверла в виде винтовой распорной колонки. Кинематическая схема такого сверла показана на рис. 1.25.

Бурение шпуров по углю в шахтах, опасных из-за наличия газа или пыли, осуществляется наряду с электросверлами также пневмосверлами, в которых в качестве привода применяют ротационные пневматические двигатели. Для бурения шпуров по углю и слабым сланцам применяют ручные пневмосверла с приспособлением для установки на пневмоподдержке. Сверла СР-3М и СР-3Б имеют приспособление для бурения с промывкой. Пневмосверло состоит из корпуса двигателя,

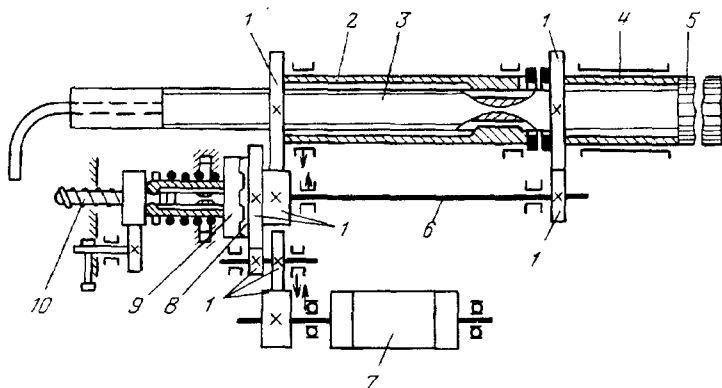


Рис. 1.25. Кинематическая схема колонкового электросверла:

1 шестерни; 2 втулка; 3 шпиндель; 4 гайка; 5 патрон; 6 промежуточный вал; 7 электродвигатель; 8 кулачковая муфта; 9 узел переключения; 10 ручка

пускового устройства, ротационного пневматического двигателя, планетарного редуктора со шпинделем.

Техническая характеристика ручных пневмосверл

Тип пневмосверла	СРЗБ-1М	СРЗМ	СРЗБ
Давление сжатого воздуха, МПа	0,4	0,4	0,4
Крутящий момент на шпинделе, Н·м	7,16	7,16	8,15
Эффективная мощность, кВт	2,58	2,58	2,58
Расход сжатого воздуха, м³/мин	3,5	3,5	3,5
Частота вращения шпинделя под нагрузкой, с	5,6	5,6	9,0
Размеры, мм	345×445×280	410×450×300	325×445×280
Масса, кг	13	13,5	12,5

Гидросверлами бурят наклонные ($\pm 40^\circ$ к горизонту) и горизонтальные шпуры.

Вода к гидроприводу сверла подводится от водопровода по высоконапорному шлангу диаметром 16 мм и более под давлением 0,3 МПа.

Электрогидравлический бур ЭБГП-1М с гидроподачей и перехватом показан на рис. 1.26. Он состоит из реверсивного асинхронного двигателя 2 мощностью 2,5 кВт (напряжение 660/380 В), четырехступенчатого редуктора 3, маслососа 1 и двух спаренных гидроцилиндров 4. Штоки поршней гидроцилиндров соединены траверсой в упорном подшипнике. В шпинделе 5 с помощью зажимного патрона крепится буровая штанга. Электробур на колонке или манипуляторе крепят посредством цапф 6. Ход гидроподатчика составляет 900 мм. Максимальная глубина шпуров без замены штанги равна 2,2 м.

После выбуривания шпура на длину хода гидроподатчика зажимной патрон освобождает буровую штангу и поршни с траверсой и шпинделем возвращаются для перехвата в исходное положение. Усилие подачи плавно регулируется независимо от частоты вращения шпинделя.

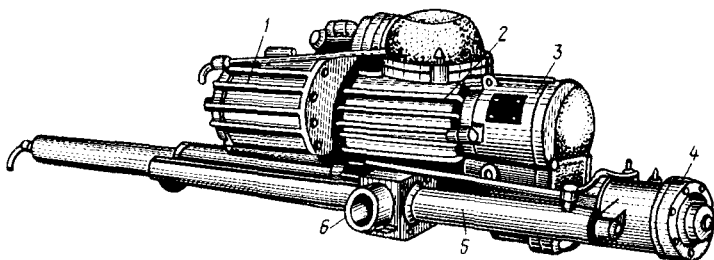


Рис. 1.26. Электрогидравлический бур ЭБГП-1М

Вращательное бурение применяется в породах с $f \leq 6$ и диаметром скважины до 160 мм.

Для подземного вращательного бурения скважин применяют станки специальных конструкций или некоторые типы станков разведочного бурения. Лучшие показатели достигаются на станках, имеющих плавно регулируемые частоту вращения, скорость подачи и осевое усилие. Отличительной особенностью станков для карьеров является наличие мачты, угол наклона которой у многих станков можно менять от горизонтального (транспортное положение) до вертикального. Вертикальное и наклонное положения мачты являются рабочими. Мачта служит для размещения длинного става штанг, что приводит к уменьшению времени на наращивание их и, следовательно, увеличивает время производительного бурения. Продукты бурения из забоя удаляют шнеком. Для вращательного бурения выпускают легкие буровые станки на шагающем ходу 2СБР-125 (рис. 1.27) и тяжелые на гусеничном ходу СБР-160.

Буровой станок 2СБР-125 предназначен для бурения скважин режущим инструментом по породам с $f = 6$ и ниже, шарошечным инструментом — по породам с $f = 10$, а станок СБР-160 — для бурения в породах с $f = 2 \div 6$.

Технические характеристики станков вращательного бурения для подземных (СВБ-1) и открытых (БСН-2, 2СБР-125, СБР-160М) горных работ приведены ниже.

Тип станка	СВБ-1	БСН-2	2СБР-125	СБР-160М
Глубина бурения, м	100	25	25	25
Диаметр скважины, мм	100	125	125/118*	160
Частота вращения бурового инструмента, мин ⁻¹	180	220	220	80, 124, 161, 248
Угол наклона скважины к вертикали, градус	0	0 30	0—30	0 30
Максимальное осевое усилие, кН	15,0	7,0	7,0	8,0
Мощность двигателей, кВт	10	16,8	24,8	55,7
Скорость передвижения станка, км/ч	—	0,3	0,3	1,36
Масса станка, т	1,0	1,3	8,5	12,0

* В числителе режущим, в знаменателе — шарошечным инструментом.

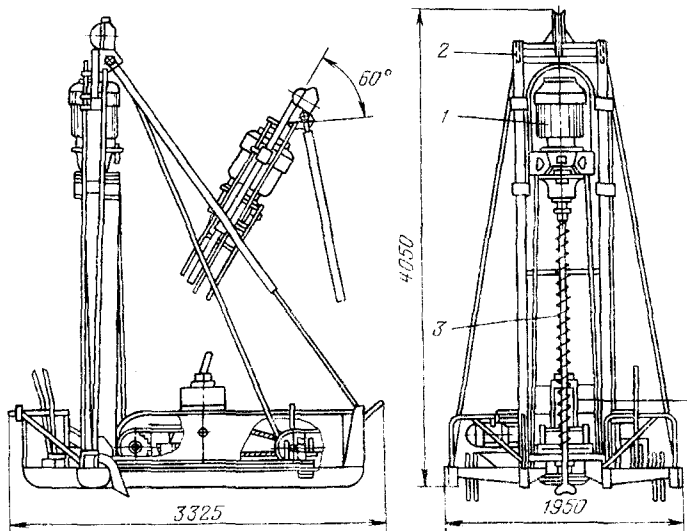


Рис. 1.27. Буровой станок 2СБР-125:

1 — вращатель; 2 — рама; 3 — буровая штанга

В станках вращательного бурения вращатель движется по направляющим и своей массой вместе со ставом-штангой создает осевое усилие на забой (см. рис. 1.27).

Сменная производительность легких станков при бурении скважин по углю достигает 100 м, но при увеличении крепости пород их производительность из-за недостаточного осевого усилия на ре�ец резко снижается.

В породах с $f < 8$ вращательное бурение резанием имеет ряд преимуществ перед ударными способами:

уменьшенные шум и вибрация;

уменьшенное пылеобразование и больший коэффициент полезного действия (к.п.д.) за счет более крупного скола породы и применения электрических двигателей. При бурении крепких и абразивных пород разрушение из объемного переходит в поверхностное, характеризующееся абразивным истиранием лезвий резов. Это ограничивает область применения вращательного бурения. Серьезным недостатком вращательного бурения является потеря глубины скважины до 15% из-за неполного удаления шнеками разрушенной породы.

Вращательно-ударное бурение применяется в породах крепостью $f = 6-12$ и при глубине скважин до 25 м. Область применения машин вращательно-ударного бурения непрерывно расширяется.

Машина вращательно-ударного бурения состоит из вращательного, ударного и подающего механизмов. Все механизмы располагают в общем корпусе и устанавливают на каретке.

Оборудование буровой каретки, состоящее из автоподатчиков, ма-

манипуляторов, маслостанции и пульта управления, монтируется на платформе, установленной на колесно-рельсовом или гусеничном ходу с электрическим или пневматическим приводом. Такой набор оборудования образует буровую установку.

Техническая характеристика машин вращательно-ударного бурения с пневмоприводом

Тип машины вращательно-ударного бурения	БГУ-70	БГА-1	1100-1М	МБПГ-1	БГА-1М
Диаметр шпура, мм	42	42—52	45—52	42 52	42—52
Давление сжатого воздуха, МПа	0,5 0,6	0,5 0,6	0,4—0,5	0,5—0,6	0,5
Расход сжатого воздуха, м ³ /мин	8,5	10	3,5—4,0	6—8	10
Энергия единичного удара, Дж	150	70	35 40	140	85
Частота ударов, мин ⁻¹	2300	2500	3200—3500	3000	2600
Частота вращения бурового става, мин ⁻¹	30—100	100 130	130 150	150	140
Длина станка, мм	815	1080	990	950	1080
Масса, кг	86	140	105	110	140
Глубина шпура, м	4	5	4	5	5

Техническая характеристика буровых вращательно-ударных установок

Тип установки	1БУ-1	1БУР-2	1СБУ-2	1СБУ-2К
Размеры забоя, обуриваемого с одной позиции, м:				
ширина	5,2	5,8	5,88	6,2
высота	4	4	3,92	5,8
Коэффициент крепости пород по шкале проф. М. М. Протодяконова	16	16	16	16
Глубина бурения шпуров, м	2,7; 3,3	2,7; 3,3	2,7; 3,3	4
Бурильные машины:				
тип	БГА-1М	БГА-1М	БГА-1М	БГА-1М
число	1	2	2	2
Расход сжатого воздуха, м ³ /с	0,21—0,25	0,42—0,5	0,42 0,5	0,42 0,5
Тип ходовой части	Колесно-рельсовый		Гусеничный	
Ширина колеи, мм	600, 750, 900	750, 900	—	—
Основные размеры в транспортном положении, м:				
длина	8,7	7	9,1	10
ширина	0,85	1,35	2	2,4
высота	1,5	1,5	1,8	2,75
Масса, т	4,1	6,5	8,9	13,9—14,6

Самоходная установка БУР-2 на колесно-рельсовом ходу состоит из двух бурильных машин вращательно-ударного действия, манипуляторов, верхних тележек, направляющих станин, ходовой тележки и пульта управления.

Буровая установка имеет две верхних тележки (левую и правую), на которых крепятся манипуляторы и гидроцилиндры подъема и поворота стрелы. Верхние тележки также служат для размещения двух независимых гидросистем. В каждой тележке имеется маслонасос НШ-10Д, масло от которого под давлением поступает к двум гидрораспределите-

лям. От первого гидрораспределителя действуют гидроцилиндры подъема и поворота стрелы манипулятора и гидроцилиндр подачи верхней тележки. С помощью этого цилиндра верхняя тележка передвигается на раме ходовой тележки, а следовательно, передвигается относительно забоя и вся группа механизмов. Второй гидрораспределитель предназначен для управления гидроцилиндрами поворота и подъема бурильной машины.

Техническая характеристика вращательно-ударных установок с электроприводом

Тип установки	БУЭ-1М	БУЭ-3	БКГ-2
Размер забоя, обуриваемого с одной позиции, м:			
ширина	3,8	5,4	5,5
высота	4	4,2	4
Коэффициент крепости породы по шкале проф. М. М. Протоdjаконова, не более	8—12	16	16
Площадь сечения выработки в проходке, м ²	8—12	9—25	9—22
Диаметр шпура, мм	42	42	42
Глубина бурения шпура (без замены штанг), м	3	3	2,8
Число бурильных машин	1	2	2
Установленная мощность электродвигателей, кВт	15	40	40
Тип бурильной машины	МБЭ-1, БУЭ-1	МБЭ-1	БКГ-2
Частота вращения шпинделя бурильной головки, с ⁻¹ :			
вращательной	2,5; 5,03; 12,2	6,1	—
вращательно-ударной	2,4; 6,2	2,03	4; 6,7
Частота ударов, с ⁻¹	41,7	41,7	50
Ширина колеи, мм	600; 750; 900	600; 900	750; 900
Основные размеры в транспортном положении, м:			
длина	8,9	8,6	7,2
ширина	1,15	1,3	1,32
высота	1,2	1,6	1,4
Масса, т	5,4	9,8	5,5

Бурильная установка БУЭ-1М предназначена для бурения шпуров при проведении горизонтальных горных выработок в породах $c/f \leq 16$. Для породы $c/f = 4 \div 6$ установка выпускается с вращательной, а для пород $c/f = 6 \div 16$ — с вращательно-ударной бурильной головкой. Бурильная установка на колесно-рельсовом ходу состоит из головки, податчика, манипулятора, рамы-бака, шасси, станции управления, перекатной платформы и др.

Электрооборудование выполнено для применения в шахтах, опасных по газу или пыли, и выпускается на напряжение 380 и 660 В.

Перед началом бурения установка закрепляется за рельсы.

Электрическая бурильная установка БУЭ-3 вращательно-ударного и вращательного действий предназначена для бурения шпуров при проведении выработок высотой до 4,5 м и площадью сечения в свету 9—20 м² в породах $c/f \leq 16$. Установка отличается от установки БУЭ-1М наличием двух бурильных машин, двух манипуляторов, тележек — правой и левой, установленных на ходовом колесном шасси. На каждой из тележек независимо смонтированы насосная станция, гидро- и электроаппаратура управления бурильной машиной, манипулятором и тележкой. Бурильная машина, манипулятор и насосная стан-

ция унифицированы с аналогичными узлами установки БУЭ-1М. Самоходная бурильная установка БКГ-2 предназначена для бурения шпуров при проведении одно- и двухпутных выработок вращательно-ударным или вращательным способами в породах с $f \leq 16$.

Ударно-вращательное бурение. Отечественные агрегаты ударно-вращательного бурения позволяют бурить скважины диаметром от 95 до 290 мм на значительную глубину и при высокой производительности в породах средней и выше средней крепости.

Агрегаты ударно-вращательного бурения состоят из станка и погружного пневмоударника. Станок применяется для вращения бурового става, для подачи его к забою скважины с определенным осевым усилием и подачи сжатого воздуха к пневмоударнику, который находится в скважине.

Пневмоударники разделяются на три группы по способу удаления буровой мелочи:

- работающие на воздушно-водяной смеси;
- с продувкой забоя отработанным сжатым воздухом;
- с промывкой забоя потоком нагнетаемой по штангам воды.

Применение воздушно-водяной смеси позволило решить проблему пылеподавления при бурении погружными пневмоударниками и применить буровые штанги упрощенной конструкции. Кроме того, выпускаемые пневмоударники по технологическим и конструктивным признакам различаются следующим образом: по типу воздухораспределения — клапанные и бесклапанные; по частоте ударов в минуту — низкочастотные (до 1000 ударов в минуту), нормальной частоты (1600—1800 ударов) и высокочастотные (более 2000 ударов); по типу крепления долота в корпусе — плоской чекой, шлицевое, роликовое.

Область целесообразного применения пневмоударников малого (95—105 мм) или большого (150—290 мм) диаметров определяется физико-механическими и структурными особенностями разрабатываемых пород. В породах хрупких и имеющих густую сеть трещин более целесообразно применение погружных пневмоударников с диаметром 150—290 мм.

Главной особенностью всех конструируемых пневмоударников при бурении скважин любого диаметра является обеспечение постоянной оптимальной удельной работы удара (работа, приходящаяся на единицу лезвия коронки). Этим достигается постоянная скорость проходки скважины вне зависимости от ее диаметра.

Пневмоударники для бурения скважин малых диаметров отличаются упрощенной конструкцией воздухораспределения, что позволяет иметь большое число ударов, а следовательно, и большую скорость бурения.

Получение воздушно-водяной смеси в пневмоударниках производится вводом воды в поток сжатого воздуха перед его поступлением в колонну штанг. Большая часть смеси идет для работы ударного механизма.

Таблица 1.5

Техническая характеристика пневмоударников

Показатели	МН-8	М-48	М-29Т
Диаметр долота, мм	105	105	85
Наружный диаметр пневмоударника, мм	90	92	68
Длина пневмоударника без долота, мм	380	470	408
Внутренний диаметр цилиндра, мм	65	74	54
Масса ударника, кг	1,81	2,8	1,6
Подача ударника, мм	111	50	65
Число ударов в минуту	1600	2000	1700
Энергия единичного удара, Дж	85	93	50
Мощность пневмоударника, кВт	3,0	4,22	2,35
Номинальное рабочее давление сжатого воздуха, МПа	0,5 - 0,6	0,5 - 0,6	0,5 - 0,6
Расход сжатого воздуха, м ³ /мин	4,2	6,8	4,5
Масса, кг	11,7	16,1	10,0

Рассмотрим конструкцию погружного пневмоударника М-48 (рис. 1.28). Пневмоударник состоит из цилиндрического корпуса 1, воздухо-распределительной коробки 2, поршня-бойка 3, переходника с резьбой 5 (для крепления пневмоударника к буровой штанге). В переднюю часть корпуса вставляется хвостовик коронки, который удерживается от выпадения шпонкой 4, не препятствующей некоторому перемещению коронки вдоль оси пневмоударника (отскоку коронки). Через выхлопные отверстия отработанный сжатый воздух выбрасывается в атмосферу. Для удаления шлама из скважины по каналам на забой подается часть сжатого воздуха или воздушно-водяной смеси.

Пневмоударник М-48 имеет клапанное воздухораспределение. Подача воздуха в нижнюю полость цилиндра осуществляется через центральную трубку и отверстие в поршне. Стойкость серийных пневмоударников от 800 до 100 м в породах с коэффициентом крепости соответственно от 6 до 18. Скорость бурения составляет от 20 до 10 см/мин в породах с коэффициентом крепости соответственно от 8 до 16. Техническая характеристика пневмоударников приведена в табл. 1.5.

Отличительными особенностями пневмоударников зарубежных фирм являются высокая энергия удара, получаемая благодаря применению тяжелых поршней-ударников с увеличенной длиной хода, более эффективная очистка забоя скважины благодаря выхлопу всего отработанного воздуха через отверстие в долоте.

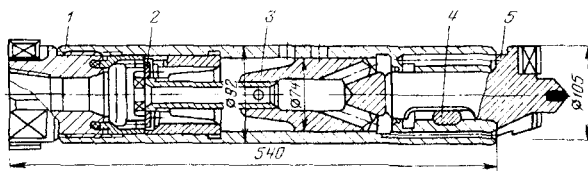


Рис. 1.28. Погружной пневмоударник М-48

M-1-75	И-105	И-125	M-32K	И-160	И-200
105	105	125	155	160	205
93	96	110	135	140	175
464	607	566	515	740	900
75	82	90	100	120	148
3,1	3,0	5,6	5,5	11,3	19,3
74			60		
1960	1250	1250	1900	1275	1150
67	130	150	140	280	420
2,92	3,6	4,2	5,9	7,9	10,8
0,5 0,6	0,5 0,6	0,5 0,6	0,5 0,6	0,5 0,6	0,5 0,6
5,5	5,5	7,0	9,7	12	18
13,8	21,0	31,0	40	56	110

Характерной тенденцией развития буровой техники является применение гидравлических бурильных машин.

К достоинствам гидравлических бурильных машин относят: высокую по отношению к пневматическим машинам скорость бурения; низкий уровень шума; низкую плотность масляного аэрозоля в забое; удобство в управлении; более низкую себестоимость бурения скважин.

Техническая характеристика гидравлических ударно-вращательных машин

Тип бурильной машины.....	БКГ-2	БМГ-1	БМГ-2
Число ударов в минуту.....	3000	5000	3200
Энергия удара, Дж.....	70	100	160
Частота вращения бура, мин.....	250 480	250	160
Максимальный крутящий момент, Н·м.....	250	360	360
Давление жидкости в гидросистеме ударника, МПа.....	8,0	10,0	10,0
Основные размеры, мм.....	900×480×310	1270×420×230	1360×420×230
Масса, кг.....	200	140	145
Установленная мощность, кВт.....	19,85	29,41	29,41

На рис. 1.29 показан гидравлический перфоратор ГП-3, имеющий независимый гидровращатель и устройство для регулирования вращения и частоты ударов.

Молоток ударно-вращательного бурения крепится резьбовым соединением к буровой поллой штанге буровой машины.

Для открытых горных разработок сконструированы машины СБУ-100, СБУ-125, СБУ-125ХЛ, «Урал-64»; для подземных — БМК-4, СБУ-6, НКР-100М и др.

Технические характеристики некоторых станков пневмоударного бурения приведены в табл. 1.6.

Буровой агрегат БМК-4 имеет раму, состоящую из двух труб, которые являются направляющими для перемещения вращателя. В передней части рамы смонтирован откидной люнет, центрирующий пневмоудар-

Таблица 1.6

Техническая характеристика отечественных станков пневмодарного бурения

Показатели	БМК-4	НКР-100М	ЛПС-3М	БП-160	БМН-5А	УК-1	СВУ-6
Диаметр долота, мм	105	105	105—155	105—155	105	55; 75	160
Глубина бурения, м	35	50	35	50	50	20	50
Тип пневмодарника	М-1900УК	П-1-75; М-48	М-32; М-48	П-125; М-32; М-48	П-125; М-1900УК	П-55; П-75	П-160
Расход сжатого воздуха при давлении 0,5 МПа, м ³ /мин	6	6—7	10—11	5	6	6	15
Расход воды, л/мин	8—10	6—8	6—8	6—8	10—12	8	10—20
Привод вращателя	Электрический	Электрический или пневматический	Пневматический	Пневматический	Электрический	Пневматический	
Мощность, кВт	2,8	2,8; 5,1	2,9	7,8	1,7	1,7	7,8
Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	41	76	30—40	10—80	76	30	0—80
Шаг подачи бурового инструмента, мм	1000	1300	1120	2100	1300	850	1650
Максимальное усилие подачи, кН	7,5	6,0	6,6	20,0	7,8	3,5	16,50
Размеры станка, мм:							
длина	2500	1500	2420	2100	1800	2000	2100
ширина	400	645	270	1000	960	230	1000
высота	625	665	475	1050	650	260	225
Масса станка, кг	340	365	496	900	260	188	1100

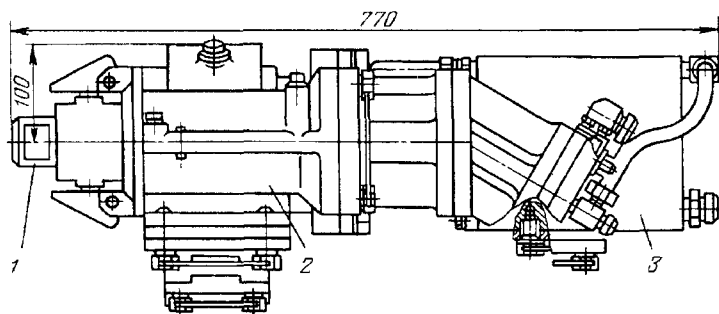


Рис. 1.29. Гидравлический перфоратор ГП-3:

1 гнездо для установки буровой штанги; 2 корпус; 3 гидровращатель

ник при забурировании. Для более прочного раскрепления станка на раме имеются распорные винты. К люноте крепится защитный лист из плотной резины.

Податчик станка — пневматический, поршневого типа, развивает тяговое усилие до 7,9 кН. Вращатель состоит из асинхронного электродвигателя и планетарного редуктора, уменьшающего частоту вращения двигателя с 1420 до 41 мин⁻¹.

Буровые штанги выпускают в двух исполнениях — для бурения с воздушно-водяной смесью и для сухого бурения. Штанги первого исполнения имеют наружный диаметр 60 мм и массу 9,3 кг и второго исполнения — соответственно 89 мм и 10,6 кг.

Пульт управления станка выносной и может располагаться на расстоянии до 4 м от станка. На пульте управления имеется кран подачи воздуха к молотку, кран подачи воды, двухходовой кран подачи воздуха в цилиндр податчика, редукционный клапан для регулирования давления воздуха в податчике и электрический реверсивный переключатель. Для контроля за давлением воздуха в сети на пульте управления имеется манометр. Для подъема рамы станка применяется ручная лебедка.

Буровой агрегат НКР-100М позволяет бурить скважины в любом направлении. Агрегат (рис. 1.30) состоит из пневмоударника 1, бурового става 2, станка 10, редуктора 11, распорной колонки 4, пусковой аппаратуры 8, линейной автомасленки 9, пневмозахвата 6, подающего патрона 7, пульта управления 5, цилиндров подачи 3, электродвигателя 13, салазок 12 и отбойного щита 14.

Основным узлом станка является редуктор с пневмозахватом: на нем закрепляются все перечисленные выше узлы. Редуктор удерживает и вращает став штанг, когда подающий патрон разъединяется со штангой для последующего захвата ее на новом месте.

Для бурения агрегат НКР-100М устанавливают в камере. Горизонтальные и слабонаклонные скважины бурят из камер высотой 1,8—2,2 м и сечением 2,8×2,8 м. При бурении вертикальных скважин

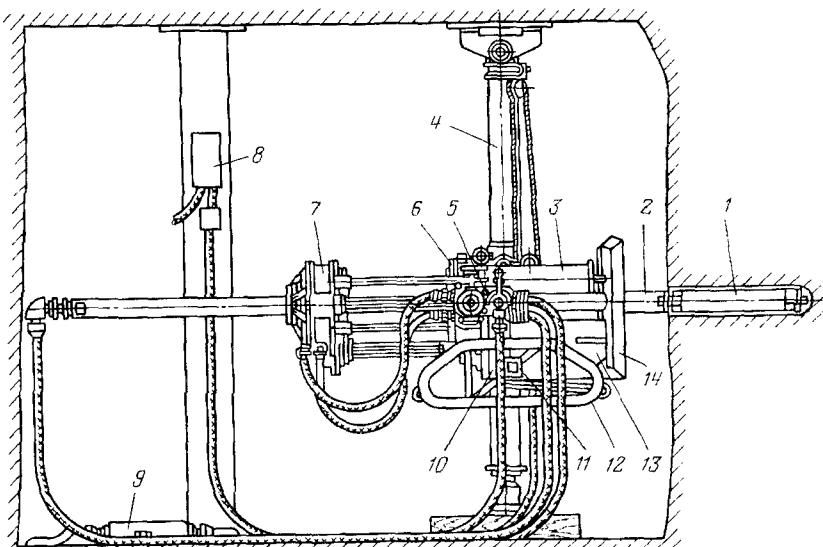


Рис. 1.30. Буровой полуавтоматический агрегат НКР-100М

высота камеры должна быть 2,5—2,9 м. Если скважины бурят из выработок большой высоты, то колонку можно устанавливать горизонтально.

В буровую камеру необходимо подавать воздух для проветривания в количестве не менее 6 м³/мин.

Буровой агрегат СБУ-6 предназначен для бурения скважин диаметром 160 мм. Агрегат состоит из рамы, автоподатчика, вращателя, направляющего устройства, бурового става и пневмоударника.

Агрегат имеет выносной пульт управления, позволяющий управлять бурением дистанционно. Внутри рамы агрегата установлена лебедка, позволяющая перемещать его по выработкам. В качестве исполнительного органа на агрегате использован пневмоударник П-160. На агрегате могут быть применены штанги разного диаметра.

Для размещения агрегата требуется выработка сечением 2,5×2,5 м и высотой 2,3 м.

Податчик агрегата — цепной, развивающий усилие до 20 кН. Подача составляет 1360 мм. Податчик может быть повернут в нужное положение для бурения с помощью пневмодвигателя и редуктора. Длина податчика 2100 мм.

Применяемый на открытых горных работах станок СБУ-125 состоит из ходовой части, вращателя, бурового става, пневмоударника, мачты, кассетирующего устройства, механизма подачи, кабины с пультом управления, гидросистемы, пневмосистемы, электрооборудования и системы пылеподавления.

Станок имеет гусеничный ход от углепогрузочной машины УП-3 с

электродвигателем. От двигателя имеется отбор мощности на маслонасосную станцию, питающую механизм включения бортовых фрикционов.

Мачта станка представляет собой сварную конструкцию из швеллеров. Вращатель бурового става состоит из планетарного редуктора и трехскоростного асинхронного электродвигателя.

На станке имеется кассета для размещения штанг, которая помещена между швеллерами мачты. В кассете помещается восемь штанг длиной до 2,5 м. В нижней части мачты имеются люнет и гидрозажимы. Для механизации свинчивания и развинчивания буровых штанг имеется ключ с гидроцилиндром. Станок оборудован цепным автоподачиком с червячным редуктором, крутящий момент к которому подается от пневмодвигателя. Свободные концы цепей крепятся к плите вращателя. Плита на катках перемещается вдоль мачты.

Станок СБУ-125ХЛ применяют для бурения скважин в условиях Заполярья. Его можно эксплуатировать при температуре -80°C и относительной влажности воздуха 95%. Станок имеет мощный обогреватель и мощную систему сухого пылеулавливания, состоящую из двух ступеней.

Техническая характеристика станков ударно-вращательного бурения для открытых работ приведена в табл. 1.7.

Шарошечное бурение — один из наиболее прогрессивных способов бурения на карьерах. Однако в породах с $f > 14$ эффективность его значительно снижается.

Станки шарошечного бурения для открытых горных работ имеют гусеничный, реже колесный ход и электрический или дизельный привод. Современные шарошечные станки позволяют бурить как вертикальные, так и наклонные (до 60°) к горизонту скважины до глубины 45 м.

По своим характеристикам они подразделяются следующим образом:

- по массе — от 20 до 120 т;
- по диаметру скважины — от 145 до 320 мм;
- по глубине бурения — от 25 до 45 м;
- по конструкции бурового станка — с неразборным ставом и со ставом, состоящим из отдельных последовательно наращиваемых и соединяемых резьбой штанг;
- по расположению мачты на станке — с консольной мачтой и мачтой по центру станка;
- по механизму подачи бурового става — с гидравлической, цепной, канатно-гидравлической;
- по расположению механизма вращения — с верхним (над штангой) и на раме станка (роторная схема).

Область применения станков различных типов определяется массой станка и диаметром долота:

- 1) легкие (30—50 т), диаметр долота 214 и 243 мм для пород с $f = 6 \div 14$ (2СБШ-200);

Таблица 1.7

Техническая характеристика станков ударно-вращательного бурения для открытых работ

Показатели	БМК-2Б	БА-100М	БМ-150К	БАШ-290	СБШ-250	СБША-2
Диаметр скважин, мм	106	100	155	250 290	130 250	150
Глубина бурения, м	35	50	40 50	25	32	20
Угол наклона бурения, градус	0-90	0-90	0 90	90	90 60	45 90
Частота вращения шпинделя, мин	22	85	80	12,5		30/60
Ход подачи шпинделя, мм	1300	400	500	1000	1000	
Наружный диаметр штанги, мм	89	50	73	190 215	190	
Тип пневмоударника	М-10-16	М-1900	М-150	М-250/3, М-1900	М-2500	ПУ-2
Размеры станка, мм:						
длина		1540	8000	7000	105 500	4600
ширина	600	400	3000	3200	3500	2000
высота	2500	590	20 700	1500	32 400	2500
Масса станка, кг	420	325	15 000	18 000	45 000	

2) средние (55—75 т), диаметр долота 243 и 269 мм для пород $c f = 10 \div 16$ (СБШ-250МН);

3) тяжелые (более 75 т), диаметр долота 269 и 320 мм для пород $c f = 10 \div 20$ (СБШ-320, БАШ-320).

На карьерах широко применяются буровые станки следующих типов: 2СБШ-200Н, 2СБШ-200, БАШ-250, БАШ-320, СБШ-250МН, СБШ-320.

Типоразмеры станков шарошечного бурения приведены ниже.

Тип станка	СБШ-160	СБШ-200	СБШ-250	СБШ-320	СБШ-400
Диаметр скважины (условный), мм	160	200	250	320	400
Глубина скважины, м	12; 32	12; 32	15; 32	15; 32	32
Масса, т, не более	35	55	75	140	160

Использование шарошечного бурения позволило существенно повысить показатели буровзрывных работ на открытых разработках.

Станки шарошечного бурения для подземных работ широко применяются при проведении выработок и разработке мощных месторождений полезных ископаемых подземным способом. Они должны быть маневренны, транспортабельны по выработкам, иметь минимальные размеры и развивать большие осевые усилия.

Несмотря на большое число типов шарошечных буровых станков их основные узлы и приспособления можно выделить в следующие группы: ходовой части, мачты для размещения бурового снаряда, механизма для подъема и опускания мачты, механизма подачи бурового инструмента на забой скважины, механизма вращения бурового става, механизма для подъема бурового инструмента, для наращивания и разборки бурового става, механизма установки станка в рабочее положение.

СУББ	СБУ-160	СБУ-200	СБМК-5	«Урал-61»	«Авант»	СБУ-125	«Урал-64»
108	160	200	100-125	158	150	105-125	155-165
40	32	32	30	16	20	18	19
—	60-90	90-60	14-120	65-90	0-90	0-90	0-30
22	0-60	0-80	41	75	140	27, 40, 80	25, 50
5700	—	600	1300	625	—	2500	525
90	—	—	89	—	—	89	114
Ю-16	П-160	П-200	У-110К	М-150У	ПУ-2700	П-125	М-32К
4000	4800	7100	—	6300	7000	4500	7980
2300	2800	3200	—	4500	2700	1800	4070
6800	6700	11 200	—	207 800	87 000	6000	4670
5400	20 000	30 000	3200	22 000	—	3000	29 000

ние, устройства для очистки забоя скважины, пылеулавливания и кондиционирования.

По типу конструкции вращательно-подающих механизмов станки разделяют на станки с верхней и нижней подачей и нижним, верхним и погружным приводами вращения. Сочетание этих элементов позволяет иметь шесть конструкций вращательно-подающих механизмов. Станки, выполненные по схеме верхняя подача — верхнее вращение, имеют наибольшее распространение (СБШ-250МН, СБШ-320).

Станки шарошечного типа для подземных горных разработок выпускают самоходные и несамоходные. Наибольшее распространение получили несамоходные станки БШ-145.

Для открытых горных выработок серийно выпускают станки 2СБШ-200, 2СБШ-200Н, СБШ-250МН, СБШ-320; для подземных горных работ — станок БШ-145.

На открытых разработках СНГ широкое применение получили станки шарошечного бурения БСШ-1М, БСВ-2М, БСВ-3, СБШ-200, СБШ-250, БАШ-250, СБШ-320, СББК-200 и др. Основные технические данные отечественных станков шарошечного бурения приведены в табл. 1.8.

Рассмотрим подробно конструкцию станка СБШ-320. Станок смонтирован на гусеничном ходу экскаватора ЭГ-400. Индивидуальные приводы гусеничных лент расположены в задней части станка, они имеют бортовые редукторы цилиндрического типа.

Рама станка выполнена из швеллеров. На раме размещено машинное отделение станка, которое разделено внутренней перегородкой на две части. В передней утепленной части размещаются электрические шкафы управления, маслonaсосная станция, блок гидроаппаратуры,

Таблица 1.8

Техническая характеристика станков шарошечного бурения

Показатели	БСШ-1М, БСШ-2М	С ВБК-200	С БШ-250	Б АШ-250	С БШ-320	Б АШ-320
Диаметр скважины, мм	190, 214	150, 190, 200	243, 269	250 - 275	320	320
Глубина бурения, м	24,0	24,0	32,0	27,5	40,0	30,0
Развиваемое осевое усилие, кН	173	120	300	400	600	700
Коэффициент использования массы	0,36	0,48	--	0,5	0,5	0,7
Коэффициент крепости пород по шкале проф. М. М. Прогодьяконова	6 - 14	6 - 12	--	12 - 14	<18	12 - 20
Частота вращения долота, мин ⁻¹	30 - 300	105 - 124	81, 157	0 - 300	0 - 130	--
Скорость подачи бурового инструмента, м/мин	0 - 1,8	0,41	0,75	0,67	0,7	0 - 2,0
Установленная мощность двигателя, кВт	156	180	322	262	550	458
Марка компрессора	К-9	ДК-9	--	К-9	--	--
Число компрессоров	2	2	2	3	--	--
Суммарная подача компрессора, м ³ /мин	18,0	28,0	18,0	30,9	48,0	--
Давление сжатого воздуха, МПа	0,6	0,6	--	0,6	0,7	0,7
Диаметр штанги, мм	152	180	--	180	--	--
Скорость передвижения станка, м/мин	16,7	16,7	10,0	12,50	8,3	12,5
Масса бурового станка, т	38,4	25,0	50,0	50,0	120,0	96 - 98
Производительность, м/смену	47	52	--	28	--	--

насос для закачки воды в бак, насос подачи воды в пневмосистему и другое вспомогательное оборудование. В задней части машинного отделения располагаются два винтовых компрессора, а в хвостовой части станка (ниже машинного отделения) — два кабельных барабана.

Станок имеет четыре гидравлических домкрата, с помощью которых машина устанавливается в горизонтальное положение. Передние домкраты крепят к передней стенке рамы хода, а задние — к поперечной балке, которая прикреплена к нижней задней части каркаса машинного отделения. На верхней части каркаса машинного отделения установлены два кронштейна, на которых шарнирно закрепляется мачта станка. Мачта устанавливается в рабочее (вертикальное) положение или в транспортное (горизонтальное) с помощью двух гидравлических цилиндров.

Мачта представляет собой рамную конструкцию, внутри которой размещается основное оборудование станка: механизм подачи, головка бурового снаряда, сепаратор, оборудование для свинчивания и развинчивания става и замены долота. На верхнем поясе мачты закрепляются блоки механизма подачи, а также электрическая таль, предназначенная для механизации трудоемких работ, в том числе и для подъема долота. Механизм подачи развивает усилие прижатия бурового снаряда к забою скважины до 600 кН и обеспечивает подъем и спуск бурового снаряда при наращивании штанг и при разборке става.

Усилие подачи создается двумя лебедками подачи 1 (рис. 1.31) и передается на опорный узел 2 через канат 3, огибающий последовательно несколько раз цилиндрические желоба барабанов лебедок. Усилие подачи передается на канат за счет сил трения, возникающих в желобах приводных барабанов. При этом натяжение обегających ветвей канатов при бурении создается массой вращателя 4, а при подъеме става — натяжным устройством 7 за счет массы рычагов и усилий, развиваемых пружинами.

Подача выполняется одним канатом, концы которого закреплены на правой и левой блочных обоймах 6 упорного узла. Огибая последовательно блоки опорного узла, натяжные устройства, барабаны лебедок, верхние блоки 5 и блоки вращателя, канат образует четыре пятикратных полиспаста, два из которых расположены ниже головки бурового снаряда, а два — выше.

В нижней части станка смонтирован комплекс дистанционно управляемых механизмов, обеспечивающих выполнение всех операций по сборке и разборке става и замене долота, — нижний ключ, верхний ключ и механизм замены долота. С помощью нижнего ключа производится страгивание резьбы между штангами, а также между штангой и долотом. Верхний ключ предназначен для удержания верхней штанги при страгивании резьбы нижним ключом. Он имеет два гидравлических цилиндра, один из которых подводит ключ к штанге, а второй служит для выдвигания плашки при захвате штанги. Механизм замены долота служит для удержания долота при его замене и для отвода от оси бурения изношенного долота и подведения к оси нового. Выполнен он в

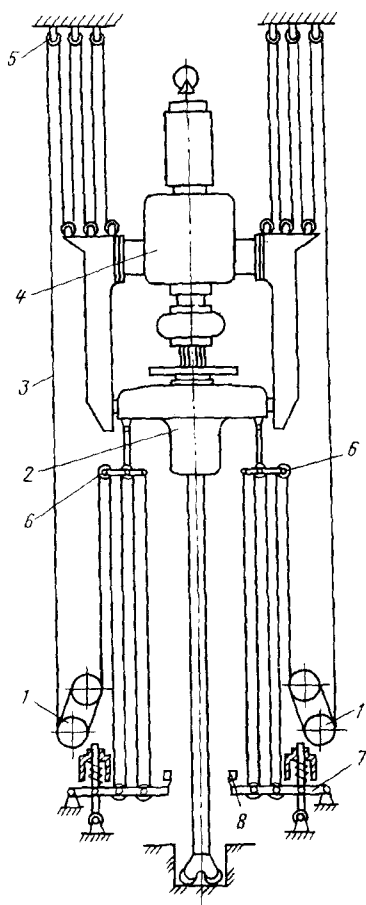


Рис. 1.31. Схема механизма подачи станка СБШ-320

виде шарнирно закрепленного двухплечевого рычага, на большом плече которого расположена чашка для долота.

Гидропривод станка СБШ-320 позволяет выполнить следующие операции: подачу бурового снаряда на забой и его перемещение, свинчивание и развинчивание штанг и замену долота, управление сепаратором, горизонтирование станка, подъем и заваливание мачты, натяжение гусеничной цепи, управление колодочными тормозами привода лебедок механизма подачи.

Силовая подача бурового снаряда на забой осуществляется только в режиме бурения. Все остальные операции выполняются в режиме вспомогательных операций.

Питание всех механизмов осуществляется от одной маслонасосной станции, в которой смонтированы регулируемый радиально-поршневой насос НР-101, эксцентриковый поршневой насос Н-403, лопастные

насосы БГ12-22 и 5БГ12-22 с электроприводом, а также контрольно-регулирующая и распределительная гидравлическая аппаратура, фильтры, электродвигатели. Маслонасосная станция имеет два бака вместимостью 250 и 850 л.

Вращение долота осуществляется двигателем постоянного тока с глубоким регулированием скорости, он выполнен по системе тиристорный преобразователь — двигатель с электромагнитной системой импульсно-фазового регулирования. Применение на входе электромагнитной системы управления суммирующего магнитного усилителя с несколькими обмотками управления позволяет в электроприводе обеспечить автоматическое регулирование частоты вращения долота в зависимости от одного или нескольких параметров бурения. Для упрощения системы управления тиристорным преобразователем схема электропривода принята нереверсивная, трехфазная, мостовая. Реверс осуществляется переключением полярности тока в обмотке возбуждения двигателя.

Электропривод вращателя состоит из электродвигателя постоянного тока ДПВ-72, тахогенератора ТМГ-30, тиристорного преобразователя и релейно-контактной аппаратуры.

Станок СБШ-320 оборудован двумя компрессорами 6ВКМ-25/8. Для уменьшения пылеобразования в трубопровод сжатого воздуха подается под давлением вода. На станке имеется бак для воды вместимостью 8 м³ и насос СНО-2. Вода в бак подается вихревым насосом. Для обеспечения нормальной работы водяной системы в зимнее время предусмотрен подогрев насосов и баков.

Буровой шлам от устья скважины воздушным потоком уносится от станка, для этой цели под станком поставлены два вентильатора ВМ-5.

Основным достоинством станка СБШ-320 является возможность бурения скважин большого диаметра и большой глубины. Непрерывная подача на длину 18 м позволяет резко сократить продолжительность спуско-подъемных операций.

Для шарошечного бурения скважин при подземных горных работах предназначен станок БШ-145М (рис. 1.32). Станок обеспечивает бурение скважин диаметром 145—190 мм в породах с $f = 10 \div 18$. Основными узлами машины является рама 1, в цапфах которой установлен вращатель для обурирования веера скважин. Основание рамы выполнено в виде салазок. В выработке раму укрепляют при помощи распорных колонок. Вращатель 2 состоит из траверсы, опорного узла, посредством которого осевое усилие от цилиндров подачи передается на став штанг и долото, редуктора, передающего крутящий момент от электродвигателя на шпindel, и вертикального для подачи промывочной жидкости в скважину. Гидроключ 3 применяется для разборки става штанг. Маслостанция монтируется на отдельной раме с салазками. Для транспортирования по выработкам станок разбирают на узлы.

Техническая характеристика бурового станка БШ-145М

Диаметр буримой скважины, мм	145
Глубина скважины, м, не более	100

Осевое усилие на забой, кН	170
Величина подачи, мм	750
Частота вращения долота, об/мин	146
Крутящий момент на долоте, Н·м	2000
Расход промывочной воды, л/мин	130
Давление промывочной воды, МПа	0,6 – 0,7
Угол наклона скважины, градус	0 – 180°
Мощность электродвигателя на вращателе, кВт	30
Рабочее напряжение, В	380
Максимальное давление масла в гидросистеме, МПа	10
Основные размеры станка, мм:	
длина	2800
ширина	800
высота	1900
Минимальные размеры выработки, м	3×3
Основные размеры насосной станции, м:	
длина	1225
ширина	645
высота	1170
Число рабочих, обслуживающих станок	2
Масса, кг:	
станка	1500
насосной станции	307

Шарошечные буровые станки совершенствуют путем улучшения их параметров, увеличения диаметра и глубины бурения скважин, производительности компрессорных установок, а также повышения надежности станка, автоматизации и механизации основных и вспомогательных процессов, пылеподавления, создания комфортных условий труда для обслуживающего персонала.

Эффективность работы шарошечного станка определяется усилием прижатия долота к забою и частотой вращения штанги. Оптимальные величины этих основных параметров зависят от многих факторов, важнейшими из которых являются физико-механические свойства горных пород и конструкция долота. За критерий оптимальности режима принимается линейная скорость бурения скважин. Режим шарошечного бурения характеризуется осевым усилием, оказываемым буровым станком на забой, частотой вращения долота и количеством сжатого воздуха или воздушно-водяной смеси, расходуемой на очистку скважин. Данные параметры взаимосвязаны, а оптимальное их сочетание зависит от размера и конструкции долота, характеристик станка и конкретных условий бурения. Так при увеличении осевого усилия при постоянной частоте вращения увеличивается глубина внедрения зубьев долота и, соответственно, растет объем разрушенной породы, что повышает производительность бурения.

Таким образом, определение оптимального режима бурения сводится, прежде всего, к нахождению рациональной частоты вращения долота, повышающей скорость бурения. При недостаточном расходе продувочного сжатого воздуха прирост скорости бурения замедляется, а по достижении критической величины — начинает снижаться.

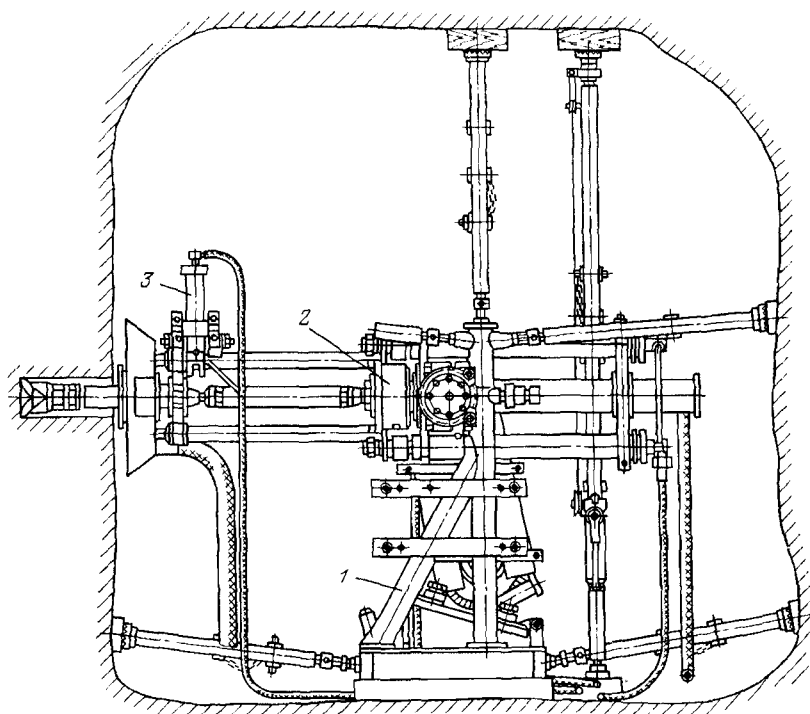


Рис. 1.32. Станок БШ-145М

Для обеспечения нормальных режимов шарошечного бурения в различных горнотехнических условиях величины удельного осевого усилия на долото должны составлять от 2000 до 15 000 Н/см.

На рост производительности большое влияние оказывает частота вращения долота. Средняя величина углубления забоя за один оборот долота при этом не снижается. Однако увеличение частоты вращения ограничивается уровнем вибраций бурового станка. Оптимальная частота вращения долота колеблется в пределах 80—150 мин⁻¹.

Для эффективного охлаждения долота и интенсивного удаления буровой мелочи должен быть установлен рациональный расход воздуха.

При бурении скважин диаметром от 214 до 269 мм рекомендуемый расход воздуха находится в пределах от 20 до 30 м³/мин. Шарошечным станком можно бурить при максимальной скорости за счет увеличения частоты вращения долота и осевого усилия, однако при этом оптимальный режим бурения обеспечивается при повышенном износе долота.

Скорость и производительность бурения повышаются путем увеличения частоты вращения долот и применения принудительной смазки подшипников опор.

Одним из перспективных методов шарошечного бурения и разруше-

ния при этом пород долотами является применение на станках магнитострикторных ставов, сообщающих долотам высокочастотные (до 400 Гц) вибрации.

Огневое бурение. Конструкции станков для огневого бурения определяются их назначением и видом применяемого окислителя. На карьерах СНГ применяются и испытываются три вида станков огневого бурения: станок СБО-1Б, работающий на керосине и окислителе — кислороде и предназначенный для бурения вертикальных скважин глубиной 19 м; станок СБО-160/20, работающий на керосине и окислителе — кислороде (или сжатом воздухе) и предназначенный для бурения вертикальных скважин глубиной 20 м; станок СБО-160/40.

Техническая характеристика станков огневого бурения

Тип станка	СБО-1Б (СБО-1)	СБО-160/20 (СБО-2)	СБО-160/40 (СБО-3)
Диаметр скважины, мм	250	200	240
Максимальный диаметр расширенной скважины, мм	400	500	600
Глубина бурения, м	19	20	40
Средний расход рабочих компонентов:			
кислорода, м ³ /ч	240	350	400
горючего, кг/м	125	150	190
воды, м ³ /ч	3,6	3,5	3,6
Наружный диаметр горелки, мм	145	135	160
Частота вращения горелки, мин ⁻¹	6—30,4	3,8—38	15—30
Рабочая скорость подъема и опускания горелки, м/ч	1,9—14,4	3,9—39	—
Удельное давление гусениц на грунт, МПа	0,1	0,102	—
Скорость передвижения станка, км/ч	0,65	0,625	—
Общая установленная мощность электродвигателей, кВт	80	111	—
Основные размеры станка в рабочем положении, мм:			
длина	7106	8250	6800
ширина	4250	5000	4480
высота	22 500	24 150	11 000
Основные размеры станка в транспортном положении, мм:			
длина	20 500	23 200	10 200
ширина	4250	5000	4480
высота	4850	8000	5000
Масса станка, т	40	43	33

Рассмотрим устройство станка СБО-1Б. Станок представляет собой самоходную буровую установку на гусеничном ходу с индивидуальными приводами на каждую гусеницу. Мощность каждого двигателя ходовой части 14 кВт. Скорость передвижения станка 0,65 км/ч.

Мачта станка решетчатой конструкции с размерами в поперечном сечении 60×800 мм и длиной 20,5 м. Металлоконструкция мачты жестко соединена с горизонтальной осью, опирающейся на два кронштейна, укрепленные в передней верхней части кузова.

При рабочем положении станка мачта устанавливается вертикаль-

но посредством установочных механизмов и прочно закрепляется. Во время переездов станка на значительные расстояния по карьеру мачта высвобождается от закрепления, опускается и закрепляется в горизонтальном положении.

Мачта имеет разъем на расстоянии 6,45 м от оголовья и при транспортировке на дальние расстояния разбирается на две части.

Верхняя часть мачты заканчивается оголовьем, в котором укреплены блоки для несущего рабочий орган каната диаметром 12,5 мм. В передней части мачты укреплены трубчатые проводники. На них опирается каретка рабочего органа при его поступательном перемещении, и они воспринимают вращательный момент при вращении буровой штанги.

В нижней части мачты в закрытом коробе помещен механизм вращения буровой штанги, частично выполняющий и функции противовеса относительно верхней части мачты. Несколько выше механизма вращения внутри мачты помещен так называемый механизм прощупывания, используемый для автоматизации продольной подачи рабочего органа при бурении.

Механизм подъема-опускания буровой штанги состоит из электродвигателя, червячного и цилиндрического редукторов и лебедки со встроенным планетарным редуктором.

Механизм вращения буровой штанги состоит из электродвигателя постоянного тока, червячного редуктора и цилиндрической зубчатой пары.

Система питания горелки керосином состоит из расходного бака, насосных агрегатов, трубопроводов с арматурой и приборов.

Система подачи кислорода состоит из передвижного кислородного резервуара, откуда кислород подается под давлением к станку по гибким шлангам высокого давления.

Система подачи воды состоит из двух соединенных параллельно расходных водяных баков, двух насосных агрегатов, трубопроводов, арматуры и контрольно-измерительных приборов. Водяные баки имеют двойные стенки, промежутки между которыми заложены термоизоляционным материалом.

Внутри баков помещены электроподогреватели.

Газоотсасывающая установка служит для удаления от станка газов и пара, выходящих из устья скважины при бурении. Установка состоит из центробежного пылевого вентилятора, электродвигателя переменного тока, всасывающего хобота и нагнетательного трубопровода.

Для предотвращения попадания газов и паров в кабину машиниста следует к нижней плите мачты прикрепить со стороны кузова и с левой стороны съемные шторы.

Электрооборудование станка весьма разнообразно. Напряжение питания электродвигателей и цепей управления 380 В, напряжение постоянного тока и освещения 220 В, напряжение в линиях переносного освещения и выносного поста управления передвижением станка 36 В.

Все двигатели переменного тока подключены к сети при помощи

контакторов или магнитных пускателей. Защита двигателей переменного тока осуществляется при помощи тепловых реле.

В случае резкого уменьшения количества воды, протекающей по каналам охлаждения, во избежание перегрева и прогорания огнеструйной горелки на стенке предусмотрена защита при помощи реле давления. Отсечной клапан перекрывает подачу керосина к горелке.

Основным узлом станка огневого бурения является его рабочий орган, состоящий из подводящего устройства, буровой штанги, переходника и горелки.

Конструкция подводящего устройства обеспечивает непрерывное вращение буровой штанги и поступательное движение самого устройства с присоединенными к нему шлангами для кислорода, керосина, воды.

Рабочим инструментом является горелка, действие которой основано на принципе реактивного двигателя.

Размеры, форма и направление огненных газовых струй зависят от конструкции горелки, объема и формы камеры сгорания, режимов в камере сгорания (температура, давление), количества и направления сопловых отверстий и пр.

Схематически устройство горелки показано на рис. 1.33. Через форсунку 2 эжекторного типа в корпусе горелки 4 смесь раскаленного керосина с газообразным кислородом поступает в камеру сгорания 5. Образующиеся внутри камеры сгорания газообразные продукты выбрасываются со сверхзвуковой скоростью через сопло 8 в виде огненных струй. Камера горелки расположена в чехле 3, внизу имеется днище 6 с башмаком 7.

Горелка при помощи переходника 1 соединяется с буровой штангой, выполненной из толстостенной цельнотянутой трубы с двумя продольными пазами. Внутри штанги размещены трубопроводы для подвода к горелке кислорода, керосина и воды.

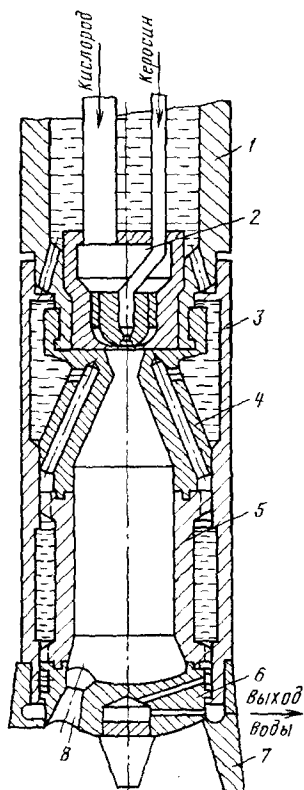
Зажигание смеси топлива в горелке производится электрической искрой или открытым огнем факела.

Скорость бурения зависит от конструкции горелки. Материалом для горелок служат главным образом красная медь, латунь, сталь. Охлаждающая вода с последующим разбрызгиванием через радиальные отверстия специального колпачка поступает по каналам прямоугольной резьбы на внешней поверхности камеры сгорания.

Применение односопловых горелок ограничено недостаточным диаметром образующейся скважины и заклиниванием в ней инструмента при низкой скорости бурения.

В гранитах и крепких гранитоподобных породах эффективно могут работать односопловые горелки с цилиндрической камерой сгорания. Цилиндрическая форма камеры сгорания характерна для горелок малых диаметров. Для бурения скважин на карьерах широкое распространение имеют горелки с грушевидными камерами сгорания. При этой форме камера сгорания обеспечивает хорошее испарение и смешение образующихся паров керосина с кислородом в начальной (узкой) части

Рис. 1.33. Огнеструйная горелка



камеры. Для полного сжигания топлива в грушевидной камере сгорания необходимо незначительное время, что ведет к уменьшению объема камеры.

Расширение скважин по диаметру осуществляют расширителями МЗ и М4. Днище горелки-расширителя отличается от обычного днища горелки величиной критических сечений, углом наклона и числом сопловых отверстий (обычно это два сопловых отверстия). Центральное сопловое отверстие, предназначенное для улучшения выноса бурового шлама, имеет сравнительно небольшой (6—8 мм) диаметр критического сечения и расположено параллельно оси горелки.

Главное боковое сопловое отверстие, предназначенное непосредственно для расширения скважин, имеет диаметр критического сечения 16 мм и угол наклона к оси горелки 55° .

При работе огнеструйной горелки могут быть две системы ее охлаждения: прямоточная и кольцевая.

При прямоточной системе охлаждающая вода полностью выбрасывается из горелки в скважину. Образовавшиеся в первый момент сухие насыщенные пары попадают под струи воды, выходящие из

отверстий кожуха горелки, увлажняются и, проходя по кольцевому зазору между трубой и скважиной, в значительной степени конденсируются и уходят по трещинам. Следовательно, энергия, полученная в момент испарения воды в газовой струе, бесполезно теряется, уменьшая работу пара по выносу буровой мелочи.

В относительно монолитном массиве горелка работает в заполненной водой скважине. Давление в скважине повышается, вследствие чего уменьшаются скорость и температура газовой струи, и процесс разрушения породы становится менее эффективным. При забуривании скважин горелкой с прямоточной системой охлаждения отверстия для выхода воды из горелки находятся на расстоянии 240—250 мм от разрушаемой поверхности, водяные струи выбрасываются в атмосферу над устьем скважины, не соприкасаясь с газовыми струями, и скважину бурят диаметром 240—250 мм. Как только водяные струи при опускании горелки начинают выбрасываться в скважину, диаметр бурения уменьшается до 190 мм и скорость бурения замедляется. Это объясняется тем, что водяными струями от газовых горелок отнимается большое количество тепла, чем и снижается эффективность работы огнеструйной горелки.

Увеличение расхода охлаждающей воды при прямоточной системе от 0,4 до 3,5 м³/ч увеличивает расход керосина и кислорода на 25—30% и снижает скорость бурения на 16%.

При кольцевой системе охлаждения водой значительно меньше отнимается тепла от газовых струй, понижается давление в скважине, увеличиваются температура и скорость газовой струи.

Для охлаждения ручного термобура была применена кольцевая система с использованием для охлаждения жидкого топлива.

Для бурения относительно коротких шпуров и резки каменных блоков созданы огнеструйные горелки диаметром от 20 до 40 мм. Диаметр камеры сгорания таких горелок ограничивается величиной 17—30 мм. Расход компонентов в горелках такого типа составляет примерно: кислорода 15—25 м³/ч, горючего 8—13 л/ч, воды 60—200 л/ч. Глубина бурения ручными огнеструйными горелками около 1,5 м, а скорость бурения в очень крепких кремнистых породах от 250 до 400 мм/мин.

Ниже приведены основные сравнительные показатели огневого бурения и бурения перфоратором ПП-54В.

Показатели огневого и перфораторного бурения

Бурение.....	Горелкой ТБР-31/2	Перфоратором ПП-54В
Скорость чистого бурения, м/ч.....	15—20	7,5—9,5
Скорость общего бурения, м/ч.....	9—12	3,0—3,7
Сменная производительность бурильщика, м.....	60—65	12,4
Коэффициент использования рабочего времени, %.....	50	22

Стоимость 1 м шпура при огневом бурении в 1,9 раза ниже, чем при бурении перфоратором, а скорость в 2—3 раза выше. Установка мобильная и не зависит от энергосистемы карьера.

Весьма перспективными являются огневое бурение с окислителем в виде концентрированной азотной кислоты, а также создание огнеструйных горелок с использованием плазменной струи.

Одним из существенных достоинств огнеструйного бурения шпуров является малое пылеобразование, что особенно важно при бурении пород с высоким содержанием свободного железа.

Недостатками ручного огневого бурения являются сравнительная сложность питания горелки компонентами и неудобство ручного ведения процесса.

Контрольные вопросы

1. Какие виды перфораторов Вы знаете?
2. Назовите средства поддержки ручных перфораторов.
3. В каких условиях предпочтительней осуществлять вращательное бурение?
4. Из каких основных узлов и механизмов состоят машины вращательно-ударного бурения?
5. Опишите конструкцию буровой каретки.
6. На какие группы делятся пневмударники?
7. Из каких основных узлов и механизмов состоят агрегаты ударно-вращательного бурения?
8. Назовите достоинства гидравлических бурильных машин.
9. Какие разновидности хода и привода имеют станки шарошечного бурения?
10. Чем определяется область применения различных типов станков шарошечного бурения?
11. В какие группы выделяют основные узлы и приспособления шарошечных буровых станков?
12. Назовите пути совершенствования станков шарошечного бурения.
13. Из каких систем и механизмов состоят станки огневого бурения?
14. Опишите схематично устройство горелки огневого бурения.
15. Какие средства применяются для огневого бурения сравнительно коротких шпуров?
16. Какие преимущества и недостатки присущи огнеструйному бурению?

§ 8. Инструмент для бурения шпуров и скважин

При ударно-поворотном бурении в качестве инструмента применяют цельные и составные буры. Наиболее распространены составные буры, которые имеют штангу 2 с хвостовиком 1 (с буртиком) и съемную коронку 3 (рис. 1.34). Хвостовик воспринимает удары поршня бурильного молотка, а коронка воздействует на породу и разрушает ее. Буры

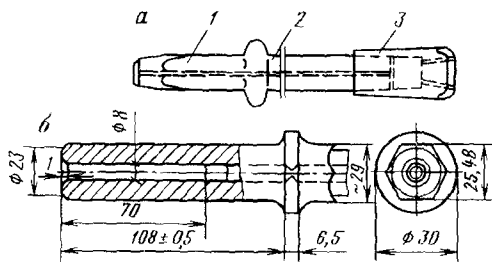


Рис. 1.34. Бур с центральной промывкой:

а бур; б хвостовик буровой штанги

со съёмными коронками избавляют от необходимости транспортировать большое число буров в мастерские для восстановления. Целые буры могут иметь стальную закаленную головку или головку, армированную твердым сплавом. Целые и цельные со съёмной коронкой буры, применяемые для переносных перфораторов, обеспечивают более высокую производительность бурения в сравнении с составными бурами, применяемыми для колонковых, вследствие меньших потерь энергии удара на соединениях.

Буровые штанги для ручных и телескопных перфораторов изготовляют из шестигранной стали диаметром 19, 22 и 25 мм с внутренним промывочным каналом диаметром 6—7 мм, для колонковых — из круглой стали диаметром 32—40 мм, длиной от 1 до 5 м с каналом диаметром 9 мм.

Для бурения глубоких шпуров и скважин обычно применяют комплект буров разной длины. Самый короткий бур в комплекте длиной от 0,7 до 1 м, которым начинают бурение шпура, называется забурником. Число буров в комплекте и шаг бура по длине зависят от крепости породы и глубины шпура. Каждый последующий бур в комплекте имеет диаметр коронки (головки) на 2—3 мм меньше. Штанги составных буров соединяют между собой муфтами.

Буровые коронки выпускают различных размеров с конусным или резьбовым соединением со штангами. Для ручных и телескопных перфораторов применяют коронки с конусным соединением, для колонковых — с резьбовым (рис. 1.35).

При бурении в мягких породах угол заострения лезвия должен составлять 90°, для пород средней крепости — 100—110° и крепких пород — 120°. В зависимости от крепости и трещиноватости массива горных пород применяют коронки различной формы.

Для перфораторов и станков вращательно-ударного действия применяют следующие типы коронок (рис. 1.36): КДП (долотчатые пластинчатые) — для бурения в вязких монолитных породах; ККП (крестовые пластинчатые) — для вязких трещиноватых и абразивных пород; КТШ (трехлестые штыревые) — для хрупких монолитных и трещиноватых; КНШ (неперетягиваемые штыревые) — для хрупких абразивных.

Широко применяются коронки крестовой и долотчатой форм. Коронки долотчатой формы обеспечивают максимальную скорость бурения в монолитных породах, крестовой формы — для бурения шпуров в трещиноватых и нарушенных породах.

Съёмные коронки долотчатой и крестовой форм выпускают следующих типоразмеров: 36, 40, 43, 46, 52, 56, 60, 65, 70, 75, 85 мм. При замене затупившейся коронки следующую необходимо брать меньшего размера (диаметра). Разницу в диаметрах двух последовательно работающих коронок называют шагом, который составляет 1—2 мм.

Для изготовления съёмных коронок применяются следующие марки стали: 35ХГСА, 20Х2Н4А, 18Х2Н4МА, 18Х2Н4ВА или 38ХНЗМФА. В пазы коронок вставляют плотно пригнанные пластинки твердых сплавов, которые припаивают бронзой, медью или впрессовывают.

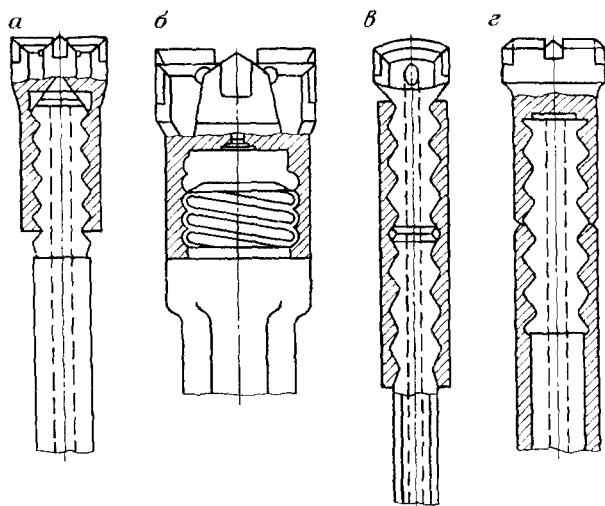


Рис. 1.35. Типы резьбовых соединений коронки со штангой:

а с упором в дно коронки; б с упором в бурт штанги; в соединение долота и штанги муфтой; г соединение ниппелем

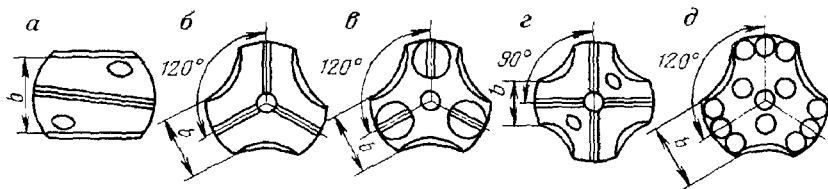


Рис. 1.36. Типы буровых коронок:

а КДП; б КТП; в КТЩ; г ККП; д КНШ

Пластины изготавливают из вольфрамо-кобальтовых металлокерамических сплавов. Вольфрам, входящий в сплав в виде карбида, придает сплаву твердость, а кобальт является цементирующим компонентом.

Для армирования коронок при ударном бурении применяют сплавы ВК11В, ВК15, ВК10КС, где цифры характеризуют процентное содержание в нем кобальта. Увеличение содержания кобальта повышает его вязкость, но уменьшает твердость.

Кроме того, применяются коронки с прерывистым лезвием, армированные пластинками или стержнями твердого сплава. Для поддержания постоянной скорости бурения съемные коронки, армированные твердыми сплавами, необходимо своевременно затачивать. В процессе бурения образование площадок затупления на расстоянии 5 мм от периферии коронки шириной более 2,5 мм снижает скорость бурения и увеличивает расход твердого сплава.

Таблица 1.9

Области применения коронок при бурении шпуров перфораторами

Тип коронки	Область применения	Диаметр шпура, мм
Долотчатые коронки		
КДП32-19	Бурение шпуров в вязких монолитных породах с коэффициентом крепости $f < 10$ легкими ПП	32
КДП36-22	То же	36
КДП40-25	То же, ПП средней мощности	40
КДП43-25	То же, тяжелыми ПП и ПТ	43
КДП46-25	То же	43
Крестовые коронки		
ККП40-25	Бурение шпуров в вязких трещиноватых породах с коэффициентом крепости $f > 10$ ПП средней мощности	40
ККП43-25	То же, ПП или ПТ	43
ККП46-25	То же	46
Трехперые штыревые коронки		
КТШ36-22	Бурение шпуров в хрупких и вязких монолитных или трещиноватых породах с коэффициентом крепости $f > 10$ легкими ПП	36
КТШ40-25	То же, ПП средней мощности и телескопными перфораторами	40
КТШ43-25	То же	43

Буровые штанги под съемные коронки изготавливают из стали Ш-22-6-55С2 и Ш-25-7-55С2. При бурении быстроударными молотками с частотой более 2500 ударов в минуту буровые штанги следует изготавливать из буровой стали К32П-55С2, увеличивающей стойкость первых штанг в 1,2 раза.

Коронки снабжены каналами для подачи на забой промывочной воды или отсоса пыли.

В табл. 1.9 приведены данные о наиболее распространенных коронках для бурения шпуров перфораторами. Типоразмер коронок обозначается двумя двузначными цифрами, первая из которых — диаметр коронки, вторая — начальный диаметр посадочного конуса. Например, индексом КДП32-19 обозначается коронка долотчатая, пластинчатая, диаметром 32 мм, с диаметром концевой выемки 19 мм для насадки на штангу.

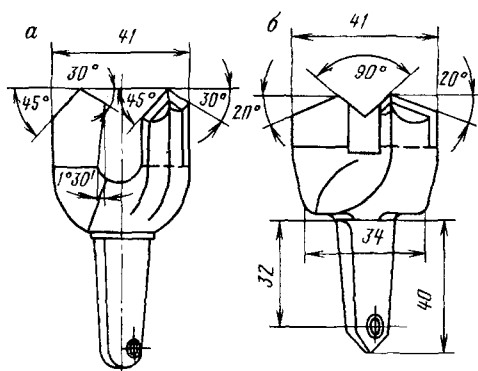
При вращательном бурении шпуров применяют резцы со стальными лезвиями или армированными пластинками сплава.

Для армирования лезвий применяют пластинки из твердых сплавов марок ВК4В, ВК6, ВК8, ВК8В, ВК8ВК.

Резец для вращательного бурения шпуров состоит из корпуса, режущих лезвий и хвостовика. Геометрические характеристики резцов меняются с увеличением крепости пород. В крепких породах применяют резцы торцового резания, лезвия которых имеют отрицательный передний угол.

Хвостовики резцов в зависимости от характера соединения со штан-

Рис. 1.37. Резцы типа РУ и РП



гой подразделяются на клиновые, цилиндрические и конические, кроме того, имеются резцы с внутренним конусом и резьбовым соединением со штангой.

Для бурения по углю и слабым породам выпускают двухперые резцы РУ с узкими и длинными перьями (рис. 1.37, а), в более крепких породах — резцы РП с короткими и более широкими перьями (рис. 1.37, б). Резцы для бурения с промывкой изготовляют с хвостовиками круглого сечения и осевым каналом. К штангам резцы для бурения с промывкой крепят конусно-клиновым и резьбовым соединениями. Резцы типа РУ, РП вставляют в гнездо штанги и закрепляют с помощью шплинтового соединения.

Области применения некоторых резцов приведены в табл. 1.10.

Буровые штанги для сверл изготавливаются из прутков углеродистой стали марок У7, У8 и У10. Прутки витые (рис. 1.38) длиной 4—5 м. форма поперечного сечения прутков ромбическая, размеры 18 и 36 мм.

Буровые штанги нарезают длиной от 0,7 до 5 м с интервалом 0,7 м при бурении колонковыми электросверлами. Для бурения ручными электросверлами применяют штанги длиной 1, 2 и 3 м. Штанга с одного конца имеет хвостовик для закрепления в патроне буровой машины, а с другого конца — гнездо для закрепления резца. Для удаления буро-

Таблица 1.10

Области применения некоторых резцов

Тип резца	Область применения	Диаметр шпуров, мм
РУ-43	Бурение шпуров ручными сверлами в углях и мягких породах с $f \leq 4$	43
РУ-6	То же, в крепких углях и сланцах с $f \leq 6$	44
РУ-13	Бурение шпуров ручными сверлами в породах с $f < 6$, а	42
РП-7, РП-42	колонковыми сверлами — в породах с $f < 8$	
РП-17	Бурение шпуров колонковыми сверлами в породах с $f < 8$	43
БИ741-25	Бурение шпуров колонковыми сверлами с промывкой (соединение со штангой конусное) в породах с коэффициентом $f \leq 8$	42

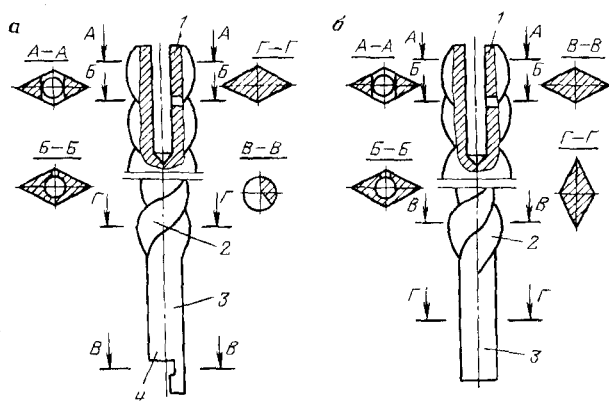


Рис. 1.38. Витые штанги для электросверл:

а — ручных; б — колонковых; 1 — головка; 2 — штанга; 3 — хвостовик; 4 — замок

вой мелочи соотношение между диаметрами резцов и буровых штанг должно находиться в пределах 1,1—1,2.

Штанги для вращательного бурения шпуров изготавливают с шагом витка 100—110 мм, шестигранные и круглые диаметрами 25 и 32 мм. Буровые штанги выполняют три основные функции: передачу резцу крутящего момента и осевого усилия, а также выдачу буровой мелочи. В зависимости от способа удаления шлама из шпура или скважины штанги имеют различную конструкцию. При вращательном бурении с промывкой водой применяют шестигранные или круглые штанги с центральным отверстием диаметром 6—8 мм, при сухом бурении — витые.

На карьерах и разрезах применяют штанги-шнеки, представляющие собой трубы с навитой на нее стальной спиралью — ребордой.

Инструмент для вращательного бурения состоит из набора штанг-шнеков и резцов (рис. 1.39). Штанга-шнек представляет собой трубу 1 с приваренной к ней спиралью из полосовой стали 2, внешняя сторона которой наплавлена твердым сплавом. Широко применяются резцы с закругленными лезвиями, армированные цилиндрическими вставками твердого сплава. Выбор рационального режима бурения производится с учетом типа применяемых резцов на основе экспериментального определения производительности станка и стоимости бурения.

Для вращательного бурения в наиболее крепких породах ($f = 16 \div 20$) применяются алмазные резцы. Различают алмазные резцы керновые со сплошными режущими кольцами, секторные керновые, бескерновые вогнутые и ступенчатые. Алмазный резец состоит из корпуса и вставок (или матриц), в которых закреплены алмазы. Различают однослойные и многослойные матрицы алмазных резцов. Для однослойных матриц применяют более крупные алмазы (60—70 шт/карат), в многослойных более мелкие (200—300 шт/карат).

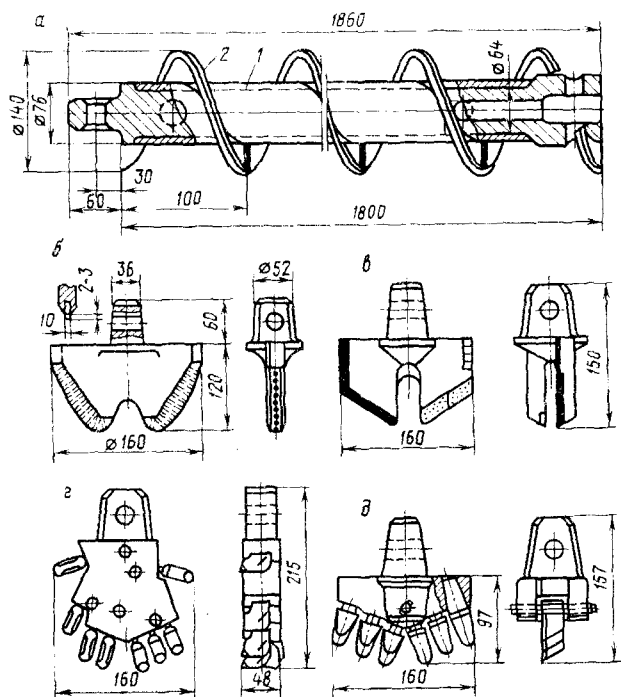


Рис. 1.39. Штанга-интек (а) и резцы (б, в, г, д) для вращательного бурения на карьерах

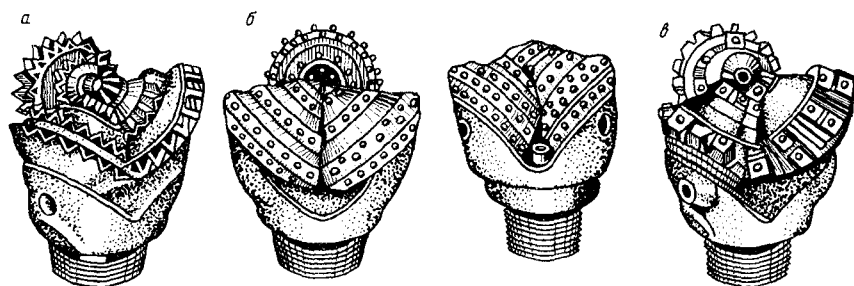


Рис. 1.40. Шарошечные долота:

а зубчатые; б штыревые; в комбинированные

Для сохранения постоянства диаметров скважин применяют алмазные расширители, представляющие собой стальные цилиндры, на внешней поверхности которых закреплены вставки с алмазами.

Породоразрушающим инструментом при шарошечном бурении является шарошечное долото (рис. 1.40), состоящее из корпуса и соединенных с ним наклонных цапф, на которых посредством подшипников установлены шарошки.

Корпус долота сварен из отдельных лап, предварительно собранных с шарошкой и цапфой. Шарошки представляют собой тела вращения конической или сферической форм с зубьями на наружной поверхности, разрушающие породу.

Долота бывают одно-, двух-, трех-, четырех- и многошарошечные. В горной промышленности на открытых работах наиболее распространены трехшарошечные долота диаметром от 145 до 320 мм. В них хорошо сочетаются достаточная динамичность работы, хорошая устойчивость на забое и механическая прочность опор. Многошарошечные долота применяют для бурения скважин большого диаметра (600 мм и более).

Долота различают также по геометрии наружной поверхности шарошек. Имеются долота с одно- и многоконусными шарошками, самоочищающегося и несамоочищающегося типа, со смещенными осями и без смещения осей. В долотах самоочищающегося типа зубчатый венец одной шарошки входит в углубление второй шарошки. Такая конструкция долота позволяет сделать шарошки большого диаметра и разместить в них более прочные опоры. Кроме того, самоочищающиеся долота хорошо работают в вязких, склонных к слипанию породах.

В зависимости от условий применения выпускают зубчатые, зубчато-штыревые и штыревые долота. Зубчатые долота разрушают породу стальными зубьями, выфрезерованными в теле шарошек, штыревые долота — штырями из твердого сплава, запрессованными или впаиваемыми в тело шарошек.

Зубчато-штыревые долота представляют собой комбинированный инструмент.

Шарошки долот свободно вращаются на цапфах. На цапфе расположены беговые дорожки, на которых размещаются ролики и шарики подшипников. Различают подшипники скольжения С, шариковые Ш и роликовые Р. Шарошка долот малого диаметра вращается на подшипниках скольжения с одним роликовым замковым рядом. В шарошках долот большого диаметра предпочтение отдают роликовым подшипникам. Схемы опор шарошечных долот показаны на рис. 1.41.

Одна из схем расположения подшипников на цапфе долота следующая: подшипник скольжения С, шариковый подшипник Ш и снова

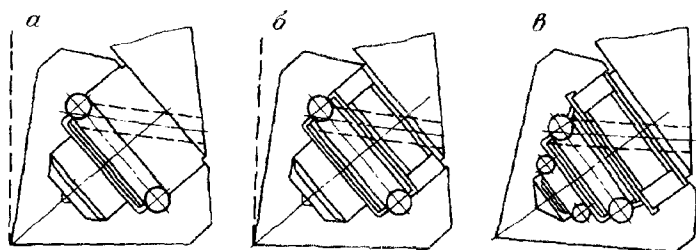


Рис. 1.41. Схемы опор шарошечных долот:

а — СШС; б — РШС; в — РШШ

подшипник скольжения С. Таким образом, имеем первую схему СШС. Вторая схема РШС и третья РШШ. Известны и другие схемы.

Долота больших размеров (диаметром 350 мм и более), как правило, изготавливают с целым корпусом, к которому приваривают лапы с шарошками. Такие долота называют корпусными. Долота меньших размеров сваривают из отдельных лап. Они не имеют специального корпуса и поэтому называются бескорпусными или секционными.

Различают долота с индексами: М и МС — для бурения в мягких несцементированных или слабосцементированных породах, в мерзлых грунтах с $f = 1 \div 3$; С и СТ — для бурения в пластичных и хрупко-пластичных породах с $f = 3 \div 5$; СЗ — для бурения в абразивных породах средней твердости; Т — для бурения в твердых скальных породах небольшой абразивности, характеризующихся хрупко-пластичным разрушением, и с $f = 6 \div 8$.

Для бурения в крепких породах выпускают штыревые шарошечные долота со следующим индексом: ТЗ — отличаются от долот типа Т тем, что они оснащены зубками из твердого сплава с клиновидной рабочей частью, предназначены для бурения в абразивных породах; К — для бурения в самых твердых и крепких абразивных породах; ОК — для бурения в особо крепких породах; ТК — для бурения в породах, состоящих из чередующихся крепких и пластичных пропластков, имеют комбинированное вооружение; МСЗ — для бурения в абразивных мягких породах с прослойками средней твердости.

В табл. 1.11 приведены марки долот, применяемых при горно-разведочных работах.

С целью эффективного разрушения породы в процессе бурения забой скважины должен быстро очищаться сжатым воздухом от буровой мелочи. Расход сжатого воздуха на современных станках при бурении скважин различного диаметра следующий:

Диаметр долота, мм	127	145	171	214	243	320
Расход сжатого воздуха, м ³ /мин . .	10		14	18	25	50

В шарошечных долотах, предназначенных для бурения с продувкой воздухом, по каналам для продувки опор подается до 20% общего количества воздуха, идущего на продувку. Долота, в опоры которых подается воздух, обозначают индексом ПВ.

На рис. 1.42 представлены схемы распределения потоков воздуха в зоне шарошечного долота.

При бурении обводненных скважин в забое неизбежно образуется шлам. При прекращении бурения для наращивания очередной штанги и по другим причинам, когда прекращается подача воздуха, шлам через центральное продувочное отверстие проникает в полость буровых труб и забивает продувочные каналы опор. Для предохранения долота от зашламовывания в центральное продувочное отверстие долота ввертывается обратный клапан.

Когда в работу включается компрессор, поршень клапана благода-

Таблица 1.11

Марки долот в зависимости от назначения

Диаметр долота, мм	Для пород средней твердости с включением песчаных и доломитных пород	Для твердых пород	Для твердых доломитных пород	Для крепких и хрупких доломитных пород	Для особо крепких и доломитных пород
59				Ш-59К	
76		Ш-76Т	Н-76ТЗ	Ш-76К	Ш-76ОК
93		В-93Т		В-93К	
97		В-97Т	В-93ТЗ		В-97ОК
112		В-112Т	Ш-112ТЗ	Ш-112К	Ш-112ОК
118		В-118Т	В-118ТЗ	В-118К	В-118ОК
140		В-140Т	В-140ТЗ	В-140К	В-140ОК
145		ОВ-145Т	Ш-145ТЗ	Ш-145К	Ш-145ОК
190	В-190СТП	В-190ТП	В-190ТЗП	В-190КП	К-190ОКП
		К-1900ТП	2Н-190ТЗП	Р-190КП	7Р-190ОКП
214	2К-214СТП	К-214ТП	2К-214ТЗП	-	ОМ-190ОКП 2К-214ОКП 8Р-214ОПК 13Р-214ОКП
243		АСТ-2143ТП	У-243ТЗП		Р-243ОКП В-243ОКП 3У-243ОКП
269		ОМ-269ТП У-269ТП	У-269ТЗП Н-269ТЗП		Р-269ОКП У-269ОКП ОМ-269ОКП
295			У-295ТЗП		У-295ОКП
320					Ш-320ОКП Р-320ОКП

ря давлению на него сжатого воздуха опускается вниз, преодолевает усилие пружины и открывает каналы, имеющиеся в корпусе клапана. По этим каналам воздух поступает в нижнюю часть долота, омывает забой скважины и через затрубное пространство уходит из скважины.

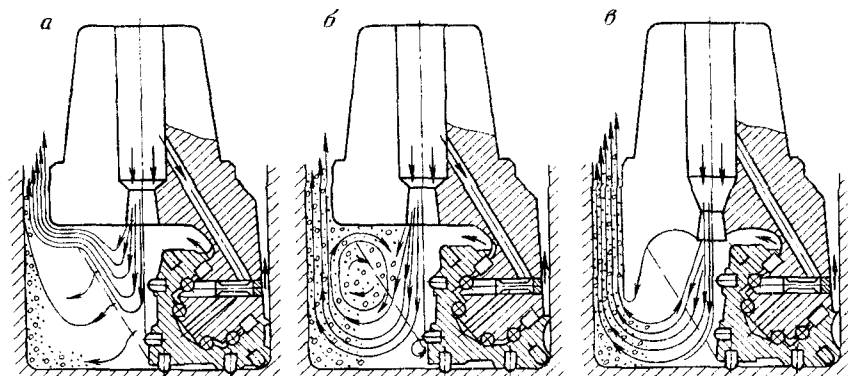
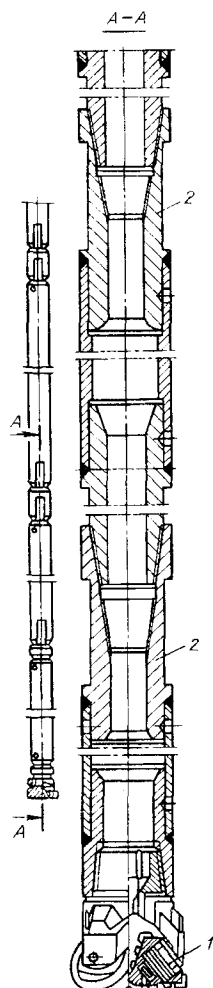


Рис. 1.42. Распределение воздушных потоков в зоне шарошечного долота:

а — известное из литературы; б — установленное МГИ; в — в долоте без эжекционных поддонов

Рис. 1.43. Буровой став



унося с собой продукты разрушения. Часть воздуха проходит по каналам внутрь цапф долота и продувает подшипники шарошек. При прекращении подачи сжатого воздуха поршень клапана поднимается пружиной вверх и закрывает отверстие. Оставшийся внутри долота воздух предотвращает попадание шлама внутрь сопла долота и в подшипники.

Буровой став (рис. 1.43) состоит из долота 1, наддолотного амортизатора и буровых штанг 2. Если амортизатор не применяют, то в комплект входят одна концевая штанга и четыре основные буровые штанги. Концевая штанга состоит из трубы с приваренными ниппелями — нижним и верхним. Основная буровая штанга состоит из трубы с приваренным штуцером и ниппелем.

Амортизатор представляет собой упругую систему. Он передает буровому ставу колебания от долота с уменьшенной амплитудой, что благоприятно сказывается на работе долота и механизмов станка, ресурс которых возрастает, соответственно, на 20—25 и 30—40%. Амортизатор состоит из двух перемещающихся друг относительно друга концентрических труб, между которыми в обоймах расположены эластичные элементы, воспринимающие энергию вибрации.

Шарошечное долото с помощью соединительной конической замковой резьбы соединяется с бурильной штангой. Для осуществления процесса бурения долоту через штангу сообщают вращательное движение и необходимое прижатие к забою (осевое усилие).

На эффективность шарошечного бурения влияют конструкция долота, частота вращения и усилия прижатия его к забою, расход и характеристика промывочного агента, а также физико-механические свойства горных пород.

При постоянной величине осевого усилия с увеличением частоты вращения долота скорость бурения растет, причем в начальном диапазоне до $0,65 \text{ с}^{-1}$ по степенной зависимости с показателем, большим единицы, а затем практически линейной. После достижения некоторой достаточно высокой частоты вращения прирост скорости замедляется. Оптимальная частота вращения для различных условий составляет от $0,65$ до 3 с^{-1} .

При постоянной частоте вращения долота скорость бурения зависит от величины осевого усилия, увеличиваясь с его возрастанием. Оптимальное осевое усилие зависит от типа и размеров долота, а также от физико-механических свойств и трещиноватости массива.

Двухшарошечные долота применяют для бурения скважин максимального (до 100 мм) диаметра в подземных условиях. На карьерах при бурении взрывных скважин применяют в основном трехшарошечные долота диаметром 190—320 мм. Для бурения скважин диаметром 269—320 мм целесообразно применять четырехшарошечные долота.

При *вращательно-ударном бурении* применяются буровые штанги и буровые коронки долотчатого типа.

Буровые штанги (рис. 1.44) выпускают длиной 1; 1,5; 2; 2,8 и 3,2 м. В СНГ буровые штанги изготовляют диаметром 32 мм с осевым каналом диаметром 9 мм для подачи воды. На концах штанг вытачивают конусы с углом конусности 1:12. Один конец штанги вставляется в хвостовик бурильной машины, а на другой надевается коронка. Лезвия коронок заточены асимметрично.

Наилучшее разрушение породы происходит при их выполнении в форме асимметричного клина с углом приострения для слабых пород 70° , а для крепких — 90° .

Биссектриса угла заострения лезвия с вертикальной линией образует угол $15\text{—}20^\circ$, что способствует лучшему внедрению его в породу. Передняя грань инструмента располагается к плоскости забоя под углом $60\text{—}65^\circ$ (рис. 1.45).

Коронки армируются двумя пластинками твердого сплава мар-

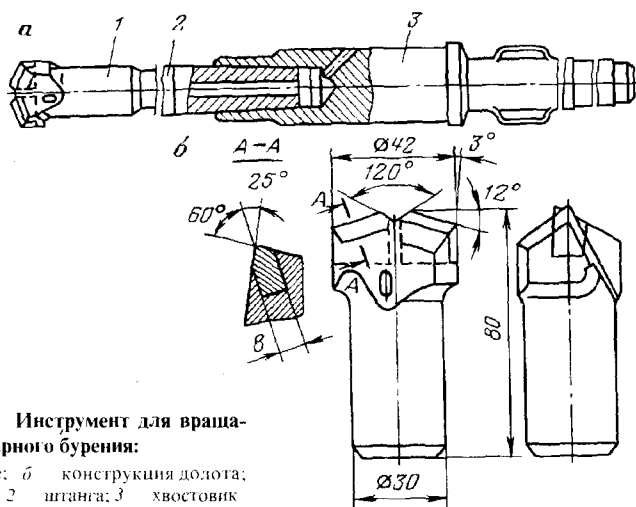


Рис. 1.44. Инструмент для вращательно-ударного бурения:

а — в сборе; *б* — конструкция долота;
1 — долото; 2 — штанга; 3 — хвостовик

ки ВК. Корпус изготавливают из стали У8. Пайка производится латунью.

Выпускают следующие типы коронок: БУ-42С и КУВШ-42А. Первая коронка имеет пластинки твердого сплава, расположенные в одном пазу. У коронки БУ-42С пластинки смещены одна относительно другой на 12 мм. Коронка КУВШ-42А армирована штырями, имеющими асимметричную заточку.

Соединение буровой коронки со штангой конусное.

Техническая характеристика коронок для вращательно-ударных бурильных машин приведена ниже.

Тип коронки	БУ-1100-1-06	БУ-42С	КУВШ-43
Наружный диаметр, мм	42	42	43
Диаметр корпуса, мм	32	32	34
Высота коронки, мм	81	67	82
Марка твердого сплава	ВК15	ВК6В	ВК8В, ВК11В
Масса твердого сплава, кг	0,063	0,063	0,073
Масса коронки, кг	0,31	0,44	0,45

В СНГ буровые коронки, армированные пластинками твердого сплава ВК6В, обычно выдерживают от трех до восьми заточек.

При ударно-вращательном бурении применяются буровые долота, состоящие из головной части 1, армированной твердосплавными вставками 2, и хвостовика 3 (рис. 1.46).

Буровые долота погружных пневмоударников классифицируются по следующим признакам:

по диаметру — 85, 100—105, 155—160 и 190—200 мм;

по расположению лезвий — одно-, двух- и многоступенчатые;

по форме твердого сплава — с цилиндрическими вставками и призматическими пластинками;

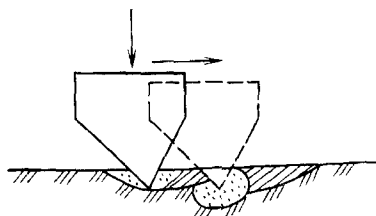


Рис. 1.45. Схема взаимодействия инструмента с породой при вращательно-ударном бурении

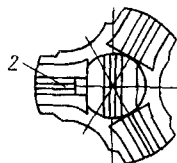
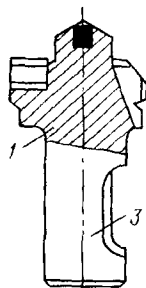


Рис. 1.46. Коронка для бурения погружными пневмударниками

по способу удаления продуктов разрушения — с центральной, боковой и внешней продувкой;

по числу разрушающих лезвий и их расположению — с одним лезвием, трехлезвые, Х-образные и многолезвийные.

Для бурения погружными пневмударниками используют трехлезвые коронки с опережающим лезвием: К100В (БК105), К130, БК155, а также Х-образные коронки: К85К, К105К, К125К, К125КМ, К155, КТ105К.

Техническая характеристика долот

Тип долота	К-100В (БК-105)	БК-155	К-105	К-125	К-160
Диаметр, мм	105	155	105	125	160
Длина, мм	180	210	190	185	245
Длина хвостовика, мм	110	140	90	110	140
Диаметр хвостовика, мм	50	70	52	62	82
Число боковых лезвий	3	4	4	4	4
Длина боковых лезвий, мм	28	49	28, 46	52	70
Число опережающих лезвий	1	1	Нет	Нет	Нет
Длина опережающего лезвия, мм	46	49	—	—	—
Величина опережения, мм	25	31	—	—	—
Общая длина лезвий, мм	130	168	148	208	280
Угол заточки лезвий, градус	110	110	110	110	110
Масса твердого сплава, г	246	457	281	425	820
Диаметр центрального канала, мм	—	—	22	24	32
Тип пневмударника	П-1-75; М-48; МПЗ	М-32К	П-105	П-125	П-160
Масса, кг	3,5	9,2	3,0	5,6	12,5

Долота армируются пластинками твердого сплава ВК15, ВК11В, ВКСВ или цилиндрическими штырями. Для уменьшения искривления скважин применяют долота с опережающим лезвием. Долота выпускают цельные и разъемные. Во всех случаях им придают формы, имеющие

плавные изменения сечений, исключают концентрацию напряжений в долоте и улучшающие показатели передачи энергии удара от поршня пневмоударника долоту. Соединение долота с корпусом пневмоударников шлицевое, шпоночное, байонетное.

Широко применяют самозатачивающиеся долота с плоским торцом, армированные цилиндрическими вставками твердого сплава со сферической рабочей поверхностью. При бурении головная часть долота изнашивается быстрее вставок, поэтому долото остается работоспособным до полного износа вставок. Стойкость таких долот 1200—2500 м при 10—15 перезатачках.

Восстановление бурового инструмента. При использовании буровой инструмент изнашивается и требует восстановления.

Коронки бура для перфораторов и резцы для электросверл затупляются, абразивный износ приводит к изменению размеров и форм их корпусов и поверхности конусных или резьбовых соединений со штангами. Износ буровых штанг в основном проявляется в изменении форм поверхностей соединительных конусов и деформации хвостовиков; в процессе работы или использования не по назначению штанги могут быть изогнуты.

На горных и геологоразведочных предприятиях буровой инструмент восстанавливают в бурозаправочных мастерских, откуда коронки, долота и буры доставляют на участки работ. В геологоразведочных партиях с небольшим объемом работ инструмент восстанавливают вручную. На крупных горных предприятиях, в геологоразведочных партиях и экзедических изготовлении и восстановлении инструмента осуществляют механической и термической обработкой металлов в центральных механических мастерских, имеющих электронагревательные и нефтяные печи, бурозаправочные, заточные и токарные станки, закалочные ванны, оснащенные приборами и контрольно-измерительной аппаратурой.

Печи предназначены для нагрева буровых штанг (или целых буров) перед механической обработкой и закалкой. Послековки и обжига хвостовиков они подвергаются вторичному нагреву и закалке в водяных или масляных ваннах. Режим нагрева буровой стали имеет большое влияние на стойкость восстанавливаемых буровых штанг; для контроля за температурой нагрева используют термоэлектрические пирометры.

Более совершенны нефтяные и электрические печи. Электрические печи по сравнению с нефтяными имеют ряд преимуществ: простота обслуживания, большая равномерность нагрева стали, механизация и автоматизация при выполнении работ. Нефтяные печи отапливаются нефтью, поступающей под небольшим давлением по трубе в форсунку, где она распыляется сжатым воздухом и сжигается в пламенной камере. Пламя регулируется вентиллями, установленными на трубопроводе подачи нефти и воздуха.

Бурозаправочные станки предназначены для изготовления и заправки головок и хвостовиков буров. Кроме того, они выполняют

Техническая характеристика бурозаправочного станка типа БЗС

Усилие, создаваемое вертикальным молотом, Н	160
Рабочее давление сжатого воздуха, МПа	0,5 - 0,7
Расход сжатого воздуха, м ³ /мин	4—4
Максимальный диаметр обрабатываемого изделия, мм	32
Основные размеры, мм:	
длина	1600
ширина	1170
высота	1470
Масса, кг	2190

вспомогательные работы: изготовление болтов, заклепок, костылей и т. п. При необходимости эти станки могут использоваться для изготовления цельных буров с неотделяемой от штанги буровой головкой.

Бурозаправочный станок представляет собой пневматическую универсальную ковочную машину.

Промышленность выпускает бурозаправочные станки различных марок, имеющие сходную конструкцию и состоящие из нижней и верхней станин, вертикального молота, горизонтального ковочного молота, молота-пробойника, воздухораспределительного устройства и системы управления.

Пайка пластинок производится газосварочными аппаратами (автогеном, ацетиленом) и в отдельных случаях в кузнечных горнах с применением припоя.

На заводах, выпускающих буровой инструмент, пайка пластинок твердого сплава осуществляется при помощи индукционного электрического нагрева с использованием токов высокой частоты. Качество пайки при этом высокое. После охлаждения головки производятся обдирка и заточка пластин твердого сплава на специальных заточных станках.

Закалочные ванны предназначены для закалки бурового инструмента после механической обработки. Для этих целей применяют водяную ВЗВ-1 и масляную МЗВ-1 ванны, закалочной средой в которых соответственно служат вода и масло специального состава.

Заточные станки предназначены для грубой обдирки головок буров, заточки коронок и резцов, армированных твердым сплавом в условиях геологоразведочных партий. Станок БЗС помимо заправки головок и хвостовиков буров может использоваться для рубки сталей, изготовления пик для отбойных молотков.

Станок ВЗ-141М предназначен для заточки любых коронок и шлифовки конусов буровых штанг.

Обдирка и заточка производятся на карборундовых кругах: предварительная — на крупно- и среднезернистых кругах, а окончательная — на мелкозернистых. Заточка буров на кругах должна сопровождаться постоянным охлаждением водой или эмульсией.

Шарошечные долота восстанавливают в механических цехах путем резания их на отдельные части и замены изношенных твердосплавных штырей и подшипников отдельных секций.

Техническая характеристика заточных станков

Тип станка	B3-141M	B3-130M	B3-140 (B3-140C1*)
Назначение	Заточка цельных бу- ров и коро- нок с долот- чатой фор- мой лезвия	Заточка долотчатых коронок	Заточка крестовых коронок лопастная
Диаметр затачиваемых коронок, мм	36—60	36—46	36—46
Посадочный диаметр конуса коронки, мм ..	19—25	19—25	19—38
Мощность привода, кВт	0,6	4,12	5,0
Основные размеры, мм:			
длина	685	1190	1140
ширина	430	780	1000
высота	820	1584	1690
Масса, кг	980	1190	1200

* Применяют для заточки треммерных коронок.

Посадочные конусы восстанавливают и шлифуют на токарных станках.

При небольших объемах горнопроходческих работ буровой инструмент в геологоразведочных партиях восстанавливают с использованием кузнечных горнов, заправка буров производится вручную с помощью специальных матриц, а заточка — с использованием ручных шлифовальных машин типа ШР с электрическим или пневматическим приводом. Пневматическая шлифовальная машина ШР-0,6 при массе 2,1 кг имеет диаметр заточного круга 60 мм. Расход сжатого воздуха — 0,7 м³/мин. Машина ШР-0,6 может использоваться непосредственно в горной выработке.

Контрольные вопросы

1. Какие виды породоразрушающего инструмента применяются при различных способах бурения?
2. Каковы особенности буровых долот?
3. Как производится восстановление бурового инструмента?

§ 9. Улучшение условий труда при бурении

Производительность труда бурильщиков во многом зависит от условий труда, которые определяются уровнем развития техники и технологии производства, характером выполняемых работ, соответствием окружающей обстановки санитарно-гигиеническим, эстетическим и физиологическим требованиям.

Задачами организации труда являются установление рационального режима труда и отдыха, а также проведение мероприятий по снижению влияния факторов, вызывающих утомление работников.

При работе на горно-разведочных предприятиях на работоспособность человека оказывают влияние много факторов, но учитываются

только те из них, которые вызывают нервное напряжение, физические усилия, темп работы, рабочее положение, монотонность работы, производственный шум, вибрацию, температуру, влажность и запыленность воздуха в рабочей зоне.

Затраты физических усилий обуславливаются характером выполнения работы и зависят от массы перемещаемых грузов, усилий по поддержанию тяжести и т. п. Затраты физических усилий до 150 Н считаются не очень значительными, 160—300 Н — средними, 310—500 Н — тяжелыми, 510—800 Н — очень тяжелыми. Технические средства для снижения физических усилий при бурении были рассмотрены выше (поддержки, колонки, манипуляторы, каретки и т. д.).

Нервное напряжение (умственное или органов чувств — слуха, зрения) вызывается сложными формами выполнения работы, необходимостью соблюдения особых требований безопасности при ведении горных работ.

При выполнении подготовительно-заключительных операций время на отдых, как правило, не предоставляется, так как чередование оперативной и непродолжительной подготовительно-заключительной работ — одна из форм активного отдыха (к ним относятся перегон станка, замена долота, штанг и т. д.). Однако, если выполнение подготовительно-заключительных операций в течение смены в балансе времени рабочего занимает значительную долю, то эта работа уже не может рассматриваться как перемена деятельности, способствующая снижению утомляемости. Поэтому в тех случаях, когда продолжительность работы по выполнению подготовительно-заключительных операций превышает 45 мин в смену, время на отдых исчисляется от суммы времени, необходимого на выполнение оперативной и подготовительно-заключительной работ.

Правильно установленная продолжительность отдыха и рациональное распределение его времени на протяжении рабочего дня позволяют предупреждать утомляемость, поддерживать высокую и равномерную работоспособность в течение рабочей смены.

Обычно в течение первого часа работы производительность труда бурильщика повышается, что соответствует периоду постепенной вработываемости рабочего. Далее достигнутый высокий уровень производительности труда держится около 1,5 ч, затем постепенно падает к середине рабочего дня. После перерыва для отдыха и принятия пищи в середине смены производительность труда снова повышается, хотя и не достигает того высокого уровня, который был в первой половине смены.

Важными условиями роста производительности труда являются повышение общей культуры производства и чистота рабочего места, а также личная гигиена рабочего.

Технические средства и технология пылеподавления при бурении. При проведении горно-разведочных выработок, а также при бурении, взрывании, погрузке и транспортировке горной массы образуется большое количество пыли. Основным источником ее выделения является буре-

Предельно допустимые концентрации аэрозолей, кг/м³

Кремнеземсодержащие пыли:

диоксид кремния кристаллический (кварц, кристобалит, тридимит) при содержании его в пыли свыше 70% (кварц и др.)	1
диоксид кремния кристаллический при содержании его в пыли от 10 до 70% (гранит, шпат, слюда-сырец, углеродная пыль и др.)	2
диоксид кремния кристаллический при содержании его в пыли от 2 до 10% (горючие кукерситные сланцы, медно-сульфидные руды, углеродная и угольная пыль, глина и медно-никелевая руда)	4
Доломит, известняк, нефелин	6
Магнетит	10
Силикаты и силикагосодержащие пыли:	
асбест природный при содержании асбеста более 10%	2
тапльк, слюда-флогопит и мусковит	4
Каменный уголь с содержанием диоксида кремния менее 2%	10

ные шпуров и скважин (количество пыли, выделяемой при этом, составляет 75—80% общего ее количества).

Запыленность воздуха в зависимости от содержания пыли в процентах от предельно допустимой концентрации делится на незначительную (до 50%), среднюю (51—60%), повышенную (61—70%), высокую (71—85%) и очень высокую (свыше 85%). Наиболее опасны для человека виды пыли размером 10 мкм и менее, находящейся во взвешенном состоянии и вызывающей тяжелые заболевания легких — пневмокониозы (силикоз, антракоз, бериллоз, апатитоз, асбестоз и др.).

Борьба с пылью при бурении осуществляется промывкой и пылеотсосом из буримой выработки, а также применением индивидуальных средств защиты — респираторов.

При бурении перфораторами с промывкой вода, поступающая к забою, с помощью сжатого воздуха разбрызгивается на мелкие частицы (размерами 40—60 мкм), которые обволакивают пылинки (крупнее 2 мкм), оседают на стенках шпура, а затем стекают в забой в виде шлама.

Для достижения максимальной эффективности пылеподавления и высокой скорости бурения шпуров с промывкой необходимо соблюдать оптимальные режимы промывки, так как недостаточный расход воды ухудшает вынос буровой мелочи из шпура, а при повышенном расходе забой обводняется, что также затрудняет работу. Расход воды при бурении составляет для переносных перфораторов не менее 3 л/мин, для колонковых и телескопных — не менее 5 л/мин, для бурильных машин вращательно-ударного действия — не менее 12 л/мин. В результате добавления к промывочной воде поверхностно-активных веществ (ПАВ) в количестве 0,1—0,2% пылинки обволакиваются пленкой, выпадают в осадок, образуя стекающий из шпура шлам. Промышленностью выпускаются следующие виды ПАВ: ДБ (дибутил), смачиватели ОП-7, ОП-10, ДС-РАС, ОТ, сульфонол, мылонафт и др.

Существует две схемы подачи воды. По первой схеме (рис. 1.47, а) промывочная вода под давлением 0,2—0,3 МПа от центральной магистрали или индивидуальных бачков подается по напорным шлангам к перфоратору, затем по трубке, проходящей внутри перфоратора, попа-

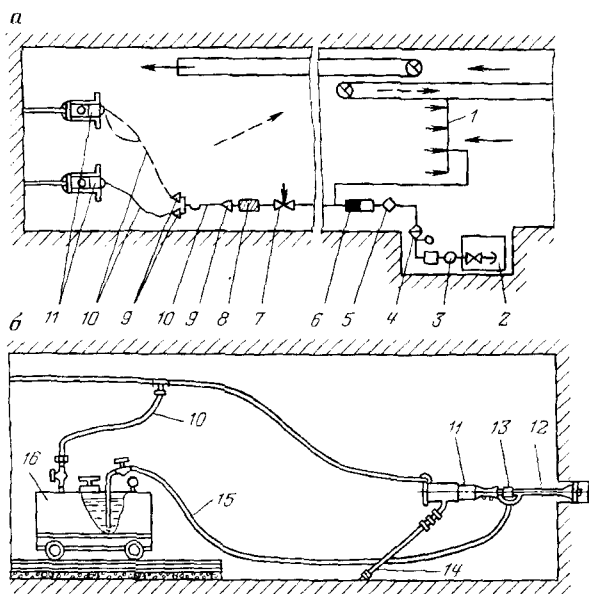


Рис. 1.47. Схемы промывки шпуров:

1 водяная завеса; 2 зумпф; 3 насосная установка; 4 фильтр; 5 - дозатор смачивателя ДСУ-4; 6 магнитная установка; 7 вентиль; 8 расходомер; 9 переходники; 10 напорные рукава; 11 перфораторы; 12 бур; 13 муфта; 14 поддерживающая колонка; 15 водоподводящий рукав; 16 - бачок индивидуального водоснабжения забоя

дает в канал буровой штанги и, выходя из отверстия в коронке, оmyвает забой. По второй схеме вода по шлангу и затем промывочной муфте, надетой на хвостовик бура, попадает в канал буровой штанги, минуя корпус перфоратора (рис. 1.47, б).

В некоторых условиях бурение шпуров с промывкой водой невозможно (многолетнемерзлые породы и отрицательная температура в забое, высокогорные или безводные районы, сильная слеживаемость смоченной породы, образование сальников на буре и др.).

На горных предприятиях, где нет возможности бурить шпурь и скважины с промывкой, применяется сухое пылеулавливание. Пыль из шпур (скважины) или через канал бура отсасывают в пылеуловитель и собирают в сухих или водяных фильтрах либо в циклонных устройствах. Поступление воздуха с пылью в пылеуловитель обеспечивается эжектором, специальным вентилятором или вакуумным насосом.

В СНГ на горных работах применяются следующие пылеуловители: ТБИОТ-ДСП-3 для улавливания пыли при сухом бурении переносными и телескопными перфораторами; ПО-4М при бурении переносными перфораторами с центральным или боковым отсосом пыли; УПЗ-2 для отсоса и улавливания пыли при сухом бурении шпуров переносными и телескопными перфораторами; ВНПП-1М-71РД для отсоса пыли при бурении шпуров всухую.

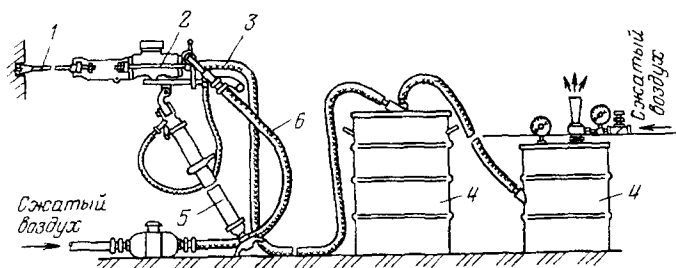


Рис. 1.48. Перфоратор с пылеуловителем ПО-4М

Схема устройства системы пылеотсоса показана на рис. 1.48. Продукты бурения через бур 1 и центральную трубку перфоратора 2 попадают в резиноканевый рукав 3 и транспортируются в пылеулавливающую установку 4. Установка оборудована пылеуловителем и эжектором.

Для работы с пылеотсосом буровые штанги должны иметь внутренний канал диаметром не менее 10 мм, а коронка — два отверстия диаметром 7—8 мм. Перфоратор с виброгасящей кареткой устанавливается на пневмоподдержке 5. Сжатый воздух к перфоратору и пневмоподдержке подается по шлангу 6.

Широко используют способ связывания пыли при бурении шпуров пористой пеной, представляющей 3%-ный водный раствор пирогена.

При ведении горных работ на карьерах, где для бурения скважин применяют станки шарошечного бурения, используют в основном сухие системы пылеулавливания (пылеосадочные камеры, циклоны, мультициклоны и тканевые фильтры) и системы пылеподавления с помощью воды (бурение с промывкой и водо-воздушной смесью, очисткой отсасываемого воздуха в гидрофильтрах).

Широко применяются трехступенчатые системы улавливания пыли. Они состоят из бункера или зонда для улавливания буровой мелочи размером более 3000 мкм (I ступень), циклонов и мультициклонов для улавливания пылевидных частиц размером от 3000 до 60 мкм (II ступень), рукавных фильтров для осаждения частиц менее 60 мкм. Иногда на II и III ступенях устанавливают мокрые пылеуловители.

Перечисленные системы обеспечивают снижение запыленности до предельно допустимой концентрации.

Техническая характеристика пылеуловителя ПО-4М

Расход сжатого воздуха, м ³ /мин	1,23
Разрежение на входе в эжектор, кПа:	
при бурении	29
максимальное	60
Наибольшее расстояние от пылеуловителя до забоя, м	60
Основные размеры, мм:	
высота	900
диаметр	500
Масса, кг	35

Таблица 1.12

Условия труда в зависимости от уровня и частоты шума

Условия труда	Уровень громкости шума, дБ		
	Низкочастотные шумы (до 300 Гц)	Среднечастотные шумы (от 300 до 800 Гц)	Высокочастотные шумы (>800 Гц)
Нормальные	<90	<75	<65
Допустимые	91--100	76--85	66--75
Неблагоприятные	101--115	86--100	76--90
Особо неблагоприятные	>115	>100	>90

Осевший толстый слой пыли убирают специальными машинами. Рудничную пыль смывают поливной машиной конструкции МакНИИ.

Во всех случаях, когда применение перечисленных выше технических средств и инженерных мероприятий не позволяет снизить запыленность воздуха до предельно допустимой концентрации (ПДК), работы должны выполняться в противопылевых респираторах «Астра-2», Ф-62Ш, ШВ1, «Лепесток-5», У-2К, РП-К и др.

Технические средства для борьбы с шумом и вибрацией при бурении. Производственный шум снижает внимание, работоспособность и неблагоприятно сказывается на здоровье рабочего. Чрезмерный шум снижает производительность труда на 20--30%. Шум при работе перфораторов возникает в результате выхлопа отработанного воздуха, вибрации буровых штанг и соударения деталей.

Степень вредности шума зависит от его интенсивности и частоты, а также от продолжительности пребывания работающего в этих условиях.

В табл. 1.12 приведена зависимость условий труда от уровня и частоты шума.

Главным и эффективным способом борьбы с шумом является переход на другие источники энергии — электрический, гидравлический, электрогидравлический и т. п.

Для поглощения шума при работе бурильных машин ударно-поворотного действия применяют различные конструкции глушителей и средства индивидуальной защиты. Так, реактивные и комбинированные глушители позволяют снизить шум от выхлопа сжатого воздуха до 20 дБ. Однако при применении глушителей производительность бурения снижается более чем на 10%.

Перфоратор с глушителем шума в виде резинового колпака (рис. 1.49) снижает уровень звукового давления со 119 до 114 дБ. Масса глушителя 1,6 кг.

В качестве средств индивидуальной защиты от шума применяют противошумные каски, полупластичные антифоны и заглушки. Антифоны представляют собой наушники, которые прижимаются к околушной области пластинчатой пружиной и с помощью ремешка удерживаются на голове бурильщика.

Заглушки состоят из резиновой оболочки, наполнителя и направля-

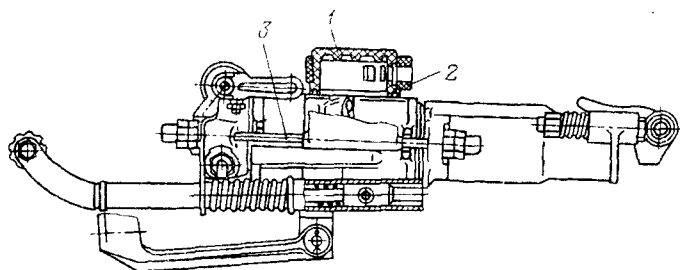


Рис. 1.49. Глушитель шума на перфораторе:

1 — глушитель; 2 — насадка; 3 — стяжной болт

ющего стержня из пластмассы, который вставляется в слуховой аппарат.

Заглушающая способность некоторых технических средств шумоподавления приведена в табл. 1.13.

Если работа связана с наличием шума, то необходимо с помощью специальных приборов (шумо- и частотомеров) установить интенсивность шума (в децибеллах) и частоту шума (в герцах) и в необходимых случаях наметить мероприятия по его снижению.

Длительное воздействие вибрации может вызвать так называемую вибрационную болезнь (заболевание суставов с нарушением двигательных рефлексов организма человека). Воздействие вибрации приводит к снижению производительности труда рабочих и уменьшению надежности работы оборудования. Так, большая часть аварий и поломок происходит в результате завышенных уровней вибрации.

Для уменьшения вибраций, возникающих при работе оборудования и инструментов, следует применять различные вибропоглощающие средства, виброизоляторы, а также средства индивидуальной защиты.

С целью предупреждения заболевания вибрационной болезнью рабочих, занятых на бурении при проведении горных выработок, необходимо использовать проходческие буровые каретки для устранения контакта рабочих с буровым инструментом.

На горных предприятиях действуют санитарные нормы и правила, регламентирующие уровень вибрации. Допустимые значения виброскорости в двух интервалах частот колеблются от 11 до 3000 и от 2 до 63 Гц.

Таблица 1.13

Заглушающая способность (дБ) технических средств (по Ю. Н. Власову)

Средства	Октавные доклады среднегеометрических частот, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
Каска ВЦНИОТ-2М	7	12	14	22	35	40
Заглушки из ткани ФПА-111	15	15	18	20	25	30
Заглушки НИГРИ	2	7	6	12	18	27
Антифоны	5	8	8	2	20	28

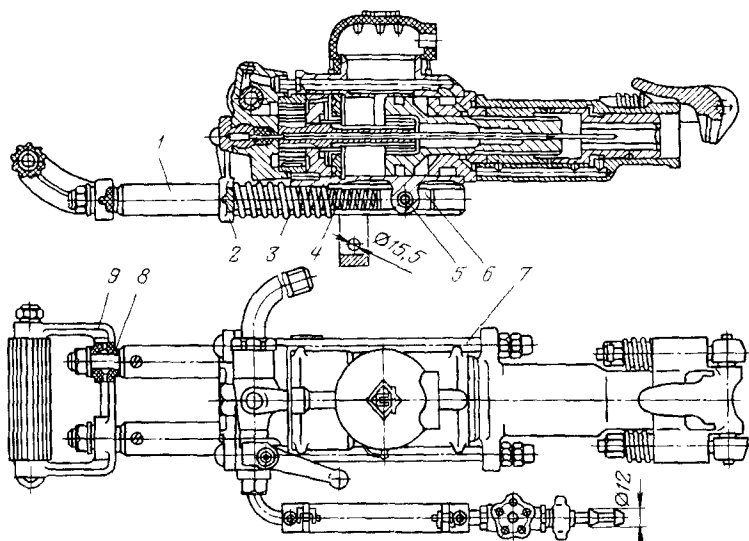


Рис. 1.50. Виброгасящее устройство перфоратора

Предельно допустимые уровни вибрации в октавных полосах по частоте приведены ниже:

Частота, Гц	<11	16	32	63	125	250	500	1000	2000
Виброскорость, см/с	<5	5	3,5	2,5	1,8	1,2	0,9	0,63	0,45

На геологоразведочных и горных предприятиях наибольший процент заболеваний вибрационной болезнью приходится на долю рабочих, работающих с ручными инструментами ударного и вращательного действий.

Современные перфораторы создают виброскорости корпуса на всех частотах выше нормы. Поэтому все ручные перфораторы эксплуатируются с виброзащитными устройствами. Колонки и каретки также надежно защищают оператора от опасных влияний вибрации.

Виброгасящее устройство перфоратора (рис. 1.50) состоит из сварной рамы 1, представляющей собой две трубы, скрепленные кронштейном с отверстием для присоединения пневматической поддержки. В трубах помещены рабочие пружины 4 и ползуны 6. Между направляющим кронштейном 2 и упорными кольцами на трубах рамы установлены вспомогательные пружины 3, которые предназначены для гашения вибрации работающего перфоратора при извлечении буровой штанги из шпура.

Виброгасящее устройство соединяется с перфоратором осью 5, вставляемой в отверстие прилива цилиндра перфоратора, и при помощи направляющего кронштейна 2, установленного под головками стяжных болтов 7. В трубах рамы виброгасящего устройства имеются пазы.

по которым виброгасящее устройство перемещается относительно перфоратора. Усилие подачи от пневматической поддержки передается перфоратору через рабочие пружины. Кронштейн рукоятки 9 виброгасящего устройства изолируется от рамы эластичными кольцами 8, гасящими высокочастотную вибрацию. Масса виброгасящего устройства 6 кг.

Для телескопных перфораторов ТП-29 и ПТ-36 разработаны виброзащитные рукоятки ПРВ-2А, у которых вибрация гасится упругим элементом, сделанным из стального каната или резинового стержня. Следует иметь в виду, что виброгасящие устройства, как правило, гасят колебания с низкими частотами. Для гашения высокочастотных колебаний применяют рукавицы с полихлорвиниловыми вкладышами. Рукавицы уменьшают уровень вибрации в среднем на 5 дБ на частотах 20—40 Гц, на 10 дБ на частотах 50—100 Гц и на 20 дБ на частотах более 100 Гц.

Бурение взрывных скважин шарошечными стенками сопровождается значительной вибрацией станков. Влияние ее зависит от продолжительности и характера воздействия на рабочего (местная или общая вибрация, повороты, круговые движения, толчки). Действие этого фактора считается повышенным при наличии местной или общей вибрации на протяжении более половины рабочей смены. Если рабочий испытывает местную или общую вибрацию на протяжении всей смены, сильные толчки и повороты, то действие этого фактора считается сильным. На буровых станках у пульта управления, где находится машинист станка, применяют резиновые коврики, а также амортизаторы, снижающие вибрацию станка при бурении.

Для снижения уровня вибраций на станках шарошечного бурения широко применяются забойные амортизаторы, устанавливаемые между долотом и буровыми штангами. Упругие элементы амортизатора гасят вибрации, возникающие при работе долота на забое.

Уровень вибрации на станках снижается в 1,5 раза, а стойкость долот увеличивается на 30—60%. Скорость бурения при одинаковых осевых усилиях с амортизаторами и без них примерно одинакова или даже несколько (на 15—20%) выше.

Решающее значение в профилактике вибрационной и шумовой болезней у горнорабочих имеют инженерно-технические мероприятия, как, например, усовершенствование горных машин и механизмов в направлении ликвидации вредных воздействий на организм человека при работе этих машин, а также переход на автоматическое и дистанционное управление горными машинами и механизмами.

В настоящее время возможности ручных пневматических бурильных машин для проведения геологоразведочных выработок ограничены. Намечились тенденции использования более тяжелых буровых машин с массой свыше 30 кг, смонтированных на манипуляторах или салазках. Тяжелые бурильные машины позволяют на 30—50% сократить бурение за счет высоких усилий подачи и на 10—15% повысить производительность. Их применение позволяет исключить непосредственный контакт проходчика с бурильной машиной.

Контрольные вопросы

1. Что влияет на условия труда рабочих при бурении?
2. Как осуществляется пылеподавление при бурении?
3. Опишите способы борьбы с шумом и вибрацией при бурении.

§ 10. Машины для производства сжатого воздуха, электроагрегаты и воздухопроводные сети

Энергия сжатого воздуха необходима для приведения в действие приводов перфораторов и некоторых других пневматических машин, используемых при производстве горно-разведочных работ (сжатый воздух потребляется и при бурении разведочных скважин).

Для обеспечения пневматических машин сжатым воздухом при проведении горных выработок в геологоразведочных партиях и экспедициях применяют компрессорные установки. Компрессоры по принципу действия подразделяют на турбинные, ротационные, винтовые, гидравлические и поршневые.

Турбокомпрессоры (рис. 1.51) применяются преимущественно на крупных горных предприятиях. При вращении с частотой n колеса 1 с лопатками, насаженными на вал 2, воздух, заполняющий каналы 3, отбрасывается к наружной поверхности насоса с избыточным давлением. Далее воздух попадает в диффузор 4, в котором вследствие расширения каналов происходит преобразование динамического воздействия в статическое давление. Подача турбокомпрессора превышает 200 м³/мин при давлении сжатого воздуха 0,6—0,8 МПа.

В ротационных компрессорах (рис. 1.52) благодаря эксцентричному по отношению к оси цилиндра расположению ротора с пластинками образуется серповидное пространство. При вращении ротора пластинки выдвигаются из пазов, прижимаются к стенкам цилиндра и образуют камеры, постепенно уменьшающиеся при вращении ротора. Вследствие этого происходит сжатие заключенного в них воздуха.

Подача ротационных компрессоров составляет до 50 м³/мин, конечное давление сжатого воздуха до 0,9 МПа.

В винтовых компрессорах воздух из всасывающего патрубка поступает в винтовые каналы между ведущим и ведомым роторами, размещенными в цилиндрических расточках корпуса. Роторы находятся в зацеплении посредством шестерней связи и вращаются в противоположном направлении. В определенный момент вращения заполненные воздухом полости изолируются от всасывающего патрубка, а затем зубцы одного ротора заполняют впадины другого, в связи с чем уменьшается объем воздуха в канале и происходит его сжатие. Сжатие продолжается до соединения заполненной воздухом полости с выпускным отверстием.

В гидрокомпрессорах для сжатия засасываемого воздуха используется энергия воды, движущейся по вертикальному трубопроводу.

В поршневом компрессоре (рис. 1.53) поршень выполняет возвратно-поступательное движение. При движении поршня вниз происходит

Рис. 1.51. Секция турбокомпрессора

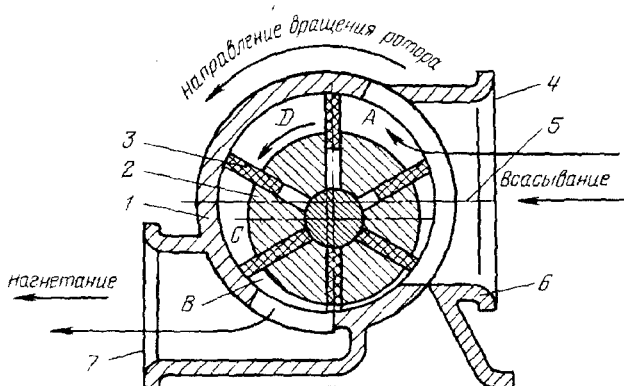
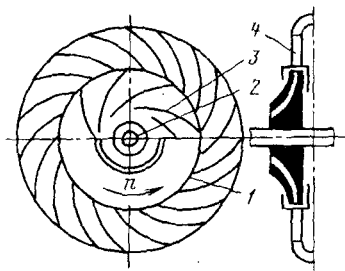


Рис. 1.52. Схема работы ротационного компрессора:

1 корпус; 2 ротор; 3 пластина; 4 всасывающий патрубок; 5 ось цилиндра; 6 блок цилиндра; 7 нагнетательный патрубок; ABCD ячейки

всасывание атмосферного воздуха через клапан, а при обратном движении (вверх) происходит сжатие его до тех пор, пока давление в цилиндре не достигнет такого же давления, как и в воздухохранильнике, после чего воздух выталкивается в воздухохранильник через нагнетательный клапан.

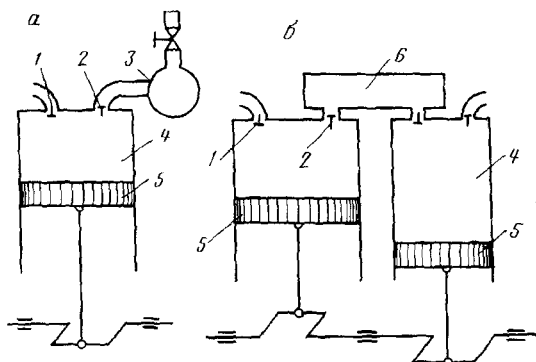


Рис. 1.53. Схема поршневых компрессоров простого действия:

а одноступенчатого; б двухступенчатого; 1 и 2 соответственно всасывающий и нагнетательный клапаны; 3 воздухохранильник; 4 цилиндр; 5 поршень; 6 промежуточный холодильник

Различают поршневые компрессоры: по способу действия — простого (всас при прямом ходе, нагнетание — при обратном) и двойного действия (всас и нагнетание при любом ходе); по числу ступеней сжатия — одно- и многоступенчатые; по способу установки — передвижные и стационарные; по подаче — с малой (до $10 \text{ м}^3/\text{мин}$), средней ($10\text{—}30 \text{ м}^3/\text{мин}$) и большой (свыше $30 \text{ м}^3/\text{мин}$) подачей; по расположению цилиндров — наклонные, горизонтальные и вертикальные; по способу охлаждения — с воздушным и водяным охлаждением.

При поисково-разведочных работах находят применение передвижные компрессорные станции, которые перевозят с одного объекта на другой. Эти станции подразделяют на два типа: прицепные и переносные. Прицепные станции монтируют на одно- или двухосных прицепах, снабженных поворотным устройством, тормозной системой, рессорной подвеской и колесами на пневмоходу. Такие станции к месту работы буксируют автомашиной или трактором.

Переносные станции монтируют на раме без колес и на место работ их доставляют с помощью средств автотранспорта или перемещают волоком по земле. По роду привода передвижные компрессорные станции подразделяют на станции с двигателями внутреннего сгорания или электрическими двигателями. На передвижных компрессорных станциях используют компрессоры с малой (до $3 \text{ м}^3/\text{мин}$) и средней (до $10 \text{ м}^3/\text{мин}$) подачей при давлении до 1 МПа.

Наибольшее распространение получили поршневые и винтовые компрессоры.

Передвижные прицепные компрессорные станции с поршневыми компрессорами двухступенчатого сжатия и воздушным охлаждением (ЗИФ-55, ЗИФ-51, ДК-9М, ПК-10 и др.) обеспечивают производительность $4,6\text{—}10,5 \text{ м}^3/\text{мин}$ при рабочем давлении $0,6\text{—}0,7$ МПа. Компрессоры имеют бензиновый (ЗИФ-55), дизельный (ДК-9М, ПК-10) или электрический (ЗИФ-51) двигатель и от трех до шести раздаточных вентилях.

Преимущества поршневых компрессоров, обеспечившие их широкое применение при горно-разведочных работах, следующие: надежность, высокий к.п.д. и длительный срок службы (кроме поршневых компрессоров, в некоторых геологоразведочных партиях используют ротационные и винтовые компрессоры с меньшими основными размерами и массой — ЗИФ-ПР-6, ПР-10, ПВ-10 и ЗИФ-55В с подачей от $5,5$ до $10 \text{ м}^3/\text{мин}$ при давлении $0,7$ МПа, имеющие дизельный или бензиновый двигатель мощностью около 75 кВт).

К вспомогательному оборудованию компрессорных установок относятся воздухосборники (ресиверы), устройства для охлаждения воздуха и контрольно-измерительная аппаратура. Воздухосборник необходим для сглаживания колебаний давления воздуха, которые являются следствием прерывистого характера подачи его поршневым компрессором. Воздухосборник представляет собой стальной цилиндрический резервуар с патрубками для ввода и вывода воздуха и с краном для выпуска конденсата.

Коэффициент полезного действия пневматических установок ниже электрических, однако пневматические установки более безопасны в обслуживании, просты в эксплуатации, надежны в работе.

Применение электросверл для бурения шпуров обусловлено наличием на месте производства работ электрической энергии (отметим, что кроме электросверл электрическими приводами снабжены многие машины, используемые при проведении горных выработок).

При горно-разведочных работах в качестве местных источников электроэнергии используют электрические станции, оснащенные бензиновыми или дизельными электроагрегатами различной мощности.

Бензоэлектрические агрегаты выпускают мощностью от 1 до 12 кВт. Они представляют собой комплекс из трехфазного генератора, карбюраторного двигателя, блока аппаратуры управления и рамы с кожухом. Параметры бензоэлектрических агрегатов приведены ниже.

Типоразмер	АБ-1-Т/230	АБ-4-Т/230	АБ-8-Т/230	АБ-12-Т/400
Ток, А	3,12	12,6	25,0	21,7
Масса, кг	62	190	400	880

Примечание. 1. Первая цифра типоразмера бензоэлектрического агрегата обозначает мощность (кВт), вторая — напряжение питания (В). 2. Частота питающего напряжения 50 Гц.

Электроагрегаты с дизельными двигателями серии АД выпускают мощностью 5—200 кВт и массой от 700 до 3760 кг.

Помимо электроагрегатов при производстве горно-разведочных работ применяют передвижные электростанции с дизельными двигателями; электростанции мощностью до 20 кВт монтируют аналогично компрессорным передвижным станциям на одном четырехколесном прицепе.

Иногда на геологоразведочных работах используют стационарные электростанции мощностью от 50 до 500 кВт, которые состоят обычно из нескольких дизельных электрических агрегатов. При электроснабжении геологоразведочных работ от ЛЭП применяют понижающие трансформаторные подстанции. Трансформаторные подстанции подразделяют на передвижные и стационарные.

Вырабатываемый компрессором сжатый воздух подается к потребителям по воздухопроводной сети (трубопроводам диаметром от 20 до 320 мм) и воздухопроводным рукавам (шлангам) диаметром 10—50 мм. Трубы диаметром до 50 мм соединяются резьбовыми муфтами. При большем диаметре соединение производится фланцами с болтовым соединением. Прокладки в местах соединения труб выполняются из резины, клингерита, асбеста и картона. Основные магистральные трубопроводы соединяют сваркой. По трассе трубопровода устанавливают маслоделители.

К воздухопроводным сетям предъявляют ряд требований: они должны быть герметичными, иметь малое сопротивление движению сжатого воздуха и диаметр труб, соответствующий пропускаемому количеству воздуха. В качестве запорных устройств на трубах устанавли-

вают вентили или задвижки. Энергетические параметры сжатого воздуха при движении его по трубопроводу снижаются за счет аэродинамических потерь и утечек в атмосферу.

Общие допустимые потери давления воздуха в воздухопроводе не должны превышать 15%.

При прокладке трубопровода необходимо соблюдать следующие требования. Прокладка трубопровода должна производиться по кратчайшему пути. На поверхности трубы следует укладывать с уклоном 0,005 в сторону движения воздуха, а в подземных выработках уклон должен составлять 0,003. Количество арматуры в трубопроводе должно быть минимальным. Трубы, используемые для прокладки в шахте, подлежат гидравлическому испытанию на давление, в 2,5 раза превышающее нормальное рабочее давление воздуха. При прокладке не допускается провисаний трубы во избежание скопления в ней воды. Воздухопровод в шахте должен быть заземлен через 500 м. Каждый участок ответвления от главной магистрали должен иметь запорный вентиль или задвижку.

Прокладка жестких воздухопроводов в горизонтальных и наклонных выработках осуществляется на кронштейнах, на подвесках-хомутах, по почве у стенки выработки, противоположной людскому проходу.

В вертикальных выработках (стволах шахт, шурфах) трубы прикрепляются при помощи хомутов к деревянной крепи или расстрелам. Трубопроводы также могут подвешиваться на канатах.

Контрольные вопросы

1. С какой целью применяются компрессоры при бурении?
2. Какие типы компрессоров Вы можете назвать?
3. Какие требования предъявляются к воздухопроводным сетям?

§ 11. Организация работ при бурении шпуров и скважин

На ритмичность работы геологоразведочных и горных предприятий оказывает влияние форма организации труда, которая должна соответствовать техническому уровню производства.

Для обеспечения согласованной, четкой и бесперебойной работы как бурового, так и взрывного цехов разрабатываются и осуществляются организационно-технические мероприятия.

Исходя из конкретных горно-геологических, физико-механических и структурных особенностей массива выбираются наиболее эффективные способы и методы ведения буровзрывных работ, современные высокопроизводительные буровые станки, зарядные, забоечные машины и водооткачивающие установки, соответствующие применяемой технологии ведения горных работ.

Используются методы автоматизированного расчета параметров на обустройство и взрывание блока, планирование их типа и количества с учетом продвижения фронта работы, изменения физико-механических

ких свойств пород, структурных особенностей массива и обводненности по горизонтам и временам года.

Применяются эффективные методы ремонта буровых станков и зарядных машин, включая мероприятия по регулярному планово-предупредительному осмотру и ремонту оборудования.

Ритмичность в работе буровых станков достигается в результате четкой организации обслуживания рабочих, к которым относятся: бесперебойное снабжение электроэнергией, регулярная подача запчастей и бурового инструмента, создание благоприятных условий труда и отдыха.

Очень важную роль играет наличие четкого графика доставки бригадам бурового инструмента и материалов, ликвидирующего простои. На геологоразведочных и горных предприятиях оборудуются передвижные мастерские, служащие также для хранения инструмента, смазочных материалов, мелких запчастей.

Наилучшие технико-экономические показатели работы достигаются там, где коллективы участков используют внутренние резервы производства, осуществляют замену устаревшего оборудования, контроль за качеством оборудования и по поддержанию взрывных скважин. Большое значение для ритмичной работы забоев, участков и горного предприятия в целом при добыче скальных горных пород с применением буровзрывной техники имеют качество обурирования и поддержание взрывных скважин. Несоответствие параметров сетки скважин паспортным данным, неудовлетворительное состояние скважин, недобуривание, перебуривание, засорение взорванной горной массы значительно ухудшают ее качество, нарушают ритмичность работы горного предприятия.

Перебуривание взрывного блока требует дополнительных трудовых, энергетических и материальных затрат, что значительно увеличивает себестоимость буровых работ.

Контроль и поддержание взрывных скважин важны в основном на открытых горных работах, где применяются скважины диаметром 190—320 мм. На подземных работах для взрыва небольших объемов горной массы применяются шпуры или скважины диаметром 32—105 мм, которые более устойчивы и не требуют особых мер по поддержанию.

На карьерах горнохимического сырья, стройматериалов, горнорудной и угольной промышленности СНГ ежегодно перебуривается около 10% взрывных скважин.

На современных карьерах в один прием взрывают около 500 тыс. м³ горной массы.

Обуривание такого большого объема взрывного блока осуществляется в течение 1,5—2 мес, зарядание и забойка производятся в течение недели. Как видно, взрывные скважины стоят до взрыва в течение двух и более месяцев, после чего, как они были пробурены.

Трудоемкость работы по содержанию взрывных скважин зависит от многих причин, а именно: физико-механических свойств пород, трещиноватости массива, обводненности месторождения, климатических ус-

ловий, объема взрываемого блока, организации надзора и ухода за взрывными скважинами, крепления скважин и укрытия их деревянными щитами и др.

Самая высокая трудоемкость и стоимость переобустройства взрывного блока имеют место при неустойчивых породах (I и II категории) и менее — в породах средней устойчивости и устойчивых (III, IV и V категории).

Опыт работы горных предприятий показывает, что основными путями снижения трудоемкости поддержания взрывных скважин являются: замена станков ударно-канатного бурения станками шарошечного бурения; крепление скважин химическими методами, обсадными трубами; применение защитных щитов, предохраняющих скважины от завала.

Осмотр, контроль и уход за взрывным блоком позволяют установить условия неустойчивости скважин, наметить необходимые мероприятия по их устранению, а также предупредить повреждения взрывных скважин от воздействия массовых взрывов и климатических условий.

При взрывании небольших ($10\text{—}30\text{ тыс. м}^3$) объемов горной массы может быть применен метод непосредственного заряжения скважин сразу же после обустройства.

Указанные мероприятия обеспечивают значительный рост производительности труда и повышение технико-экономических показателей бурения скважин.

Главным условием совершенствования буровых работ геологоразведочных и горных предприятий является улучшение организации процесса бурения. Важная проблема организации производства — рациональное использование рабочего времени. Снижение потерь и увеличение чистого времени бурения — основной источник роста производительности труда.

Кроме непосредственного бурения скважин осуществляется целый комплекс вспомогательных операций: опускание и подъем бурового инструмента, наращивание и рассоединение бурового става, чистка скважин, замена и заточка породоразрушающего инструмента и т. п. Время, затрачиваемое на выполнение этих операций, определяется видом бурения (ударное, вращательное, ударно-вращательное, термическое, гидравлическое и т. д.), длиной штанг, уровнем механизации подачи бурового инструмента на забой, расстоянием между обустраиваемыми скважинами и др.

Потери рабочего времени при бурении шпуров и скважин составляют примерно 30—35%. При этом более чем 2/3 суммарных потерь возникают в результате несовершенства организации буровых работ (например, перевоз станков от скважины к скважине, несвоевременное снабжение запчастями и материалами и др.).

Совершенствование организации технического обслуживания буровых станков приводит к снижению потерь времени на 10%, что в среднем увеличивает производительность шарошечного станка на 13% и огневого — на 10%.

Главными направлениями повышения производительности станков являются также новые конструктивные и технологические решения, повышающие скорость бурения, увеличивающие стойкость бурового инструмента и сокращающие время вспомогательных операций. Последнему способствуют полная механизация всех операций, автоматизация процесса бурения и совершенствование организации буровых работ.

Контрольные вопросы

1. Какие организационно-технические мероприятия разрабатываются при бурении?
2. Что обеспечивает ритмичность в работе буровых станков?
3. Как уменьшить потери рабочего времени при бурении?

Раздел II. ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА И ДЕЙСТВИЕ ВЗРЫВА В СРЕДЕ

ГЛАВА 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ВЗРЫВА И ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА

§ 1. Краткий обзор истории развития взрывного дела

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

Первым известным взрывчатым веществом был черный порох, использовавшийся с давних пор в Китае для фейерверков, а с XI в. арабами в военных целях. Примерно в XIV в. черный порох стали применять в Западной Европе и России для огнестрельного оружия и разрушения военных укреплений.

Первый завод по промышленному изготовлению пороха на Руси был построен в Москве в 1494 г. В 1552 г. при Иване Грозном был взорван заряд из 48 бочек черного пороха для разрушения крепостных стен Казани.

Горная летопись свидетельствует, что порох в горном деле начали применять в 1627 г. в Венгрии. В России для гражданских целей порох впервые был использован для расчистки русла р. Неман в 1548—1572 гг.

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

Бурное развитие промышленности во второй половине XIX в. способствовало созданию и производству новых ВВ и средств инициирования. В 1800 г. в Англии Говардом была открыта гремучая ртуть. В 1812 г. в России П. Л. Шилинг впервые применил электрический воспламенитель для взрывания зарядов; в 1831 г. в Англии У. Бикфорд изобрел огнепроводный шнур, который с некоторыми изменениями применяется до сих пор; в 1845 г. в Германии Ф. Шёнбайн открыл коллоидный хлопок; в 1847 г. в Италии А. Соберо изобрел нитроглицерин; в 1853 г.

в России Н. Н. Зинин и В. Ф. Петрушевский предложили ВВ на основе нитроглицерина, аналогичное по составу динамитам. Динамиты запатентованы в 1864 г. шведом А. Нобелем. В 1865 г. капитаном Д. И. Андриевским предложен первый детонатор в деревянной гильзе; в 1867 г. А. Нобель запатентовал детонатор в виде заряда гремучей ртути в медной гильзе; в 1863 г. был впервые получен тротил, взрывчатые свойства которого были определены только в 1891 г., а производство ВВ в России началось с 1909 г.; в 1867 г. шведскими химиками И. Ольсеном и И. Норбином были предложены и запатентованы ВВ на основе аммиачной селитры, близкие по составу современным аммиачно-селитренным ВВ. Нобель купил этот патент и более чем на 20 лет задержал внедрение аммиачно-селитренных ВВ в горную промышленность. Массовое производство аммонитов в б. СССР началось в 1929 г.

Для инициирования зарядов в 1879 г. был предложен детонирующий шнур, хлопчатобумажная оболочка которого была начинена гранулированным пироксилином.

В 1885 г. в качестве ВВ начали использовать пикриновую кислоту, которую длительное время до этого использовали как краситель тканей. С 1877 г. применяется тетрил, который в настоящее время является основным вторичным инициирующим ВВ.

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

В 1891 г. был синтезирован тэн, представляющий собой азотнокислый эфир многоатомного спирта пентаэритрита. Из нитроэфиров это наиболее стойкое взрывчатое вещество. Тэн является одним из мощных ВВ, для производства которого имеется практически неограниченная сырьевая база. В настоящее время тэн применяют главным образом при производстве электродетонаторов, промежуточных детонаторов и детонирующего шнура. В 1892 г. Д. И. Менделеев разработал составы и технологию изготовления бездымных порохов. В 1900 г. был предложен комбинированный капсюль-детонатор из гремучей ртути и тротила. С 1913 г. в капсюлях-детонаторах стали использовать азид свинца и тенерес. С 30-х годов в б. СССР происходит постепенная замена нитроглицериновых динамитов на более безопасные ВВ на основе аммиачной селитры: аммониты (смесь тротила, аммиачной селитры и горючего) и динамоны (смесь селитры и горючего). Эти ВВ к концу 50-х годов стали основными для карьеров.

Большая заслуга в разработке аммонитов и динамонов принадлежит канд. техн. наук В. А. Ассонову. Динамоны, известные с 30-х годов, особенно широко применялись в период Великой Отечественной войны, когда страна испытывала недостаток в ВВ. С 1953 г. динамоны не применяются из-за расслаиваемости заряда в скважине при зарядании. К применению простейших ВВ, не содержащих тротил, отечественная промышленность приступила снова в конце 50-х годов на основе

работ акад. Н. В. Мельникова, проф. Г. П. Демидюка и других специалистов, исследовавших взрывчатые свойства смеси гранулированной аммиачной селитры и солярового масла, получившей название игданит. Принципиальным отличием игданитов от ранее применявшихся ВВ явилось их изготовление из невзрывчатых компонентов непосредственно на горных предприятиях.

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.

С середины 50-х гг. в СССР была начата разработка группы более совершенных аммиачно-селитренных ВВ заводского изготовления: мощных скальных аммонитов с добавками гексогена, грубодисперсных гранулитов и граммонитов (ранее называвшихся зерногранулитами), водосодержащих акватолов, ифзанитов и горячелюющих ВВ. Пониженная по сравнению с порошкообразными ВВ чувствительность, хорошая сыпучесть и незначительное пыление при зарядании гранулированных ВВ позволили успешно решать задачи комплексной механизации взрывных работ на карьерах и рудниках. Для инициирования зарядов ВВ пониженной чувствительности созданы промежуточные детонаторы в виде прессованных или литых тротильовых шашек. Для взрывания ободненных массивов с проточной водой созданы гранулированные тротил (гранулотол) и алюмотол. Разработаны и широко внедрены пиротехнические замедлители КЗДШ для короткозамедленного взрывания нескольких зарядов с помощью ДШ. Разработаны более совершенные детонирующие шнуры в пластиковой оболочке.

Первые известные эмпирические зависимости по расчету величины зарядов взрывчатых веществ были предложены в 1669 г. французским маршалом и ученым Вобаном. Формулы, выведенные для условий взрывания грунтов и образования воронок определенных размеров, в дальнейшем стали применять в горном деле.

В 1749 г. М. В. Ломоносов впервые объяснил явление взрыва и его действие на окружающую среду, а первый труд в России по технологии изготовления ВВ опубликовал в 1799 г. А. А. Мусин-Пушкин. В 1871 г. М. М. Боресков на основе работ М. М. Фролова предложил формулу для расчета зарядов на выброс, которая широко используется до настоящего времени.

В 1918 г. при Главном военно-инженерном управлении РККА были созданы первые команды взрывников, на основе которых был организован Взрывштаб ГВИУ. Через некоторое время он был реорганизован во Взрывсельпром, на базе которого в 1931 г. была создана одна из ведущих организаций по буровзрывным работам в строительстве — трест Союзвзрывпром.

Советские ученые — академики Н. Н. Семенов, Я. Б. Зельдович, Ю. Б. Харитон, М. А. Садовский, М. А. Лаврентьев, Н. В. Мельников чл.-корр. АН СССР Л. Я. Компанеев и другие выполнили цикл фунда-

ментальных работ по описанию сущности детонации зарядов ВВ, действию взрыва в непосредственной близости от заряда и на разных расстояниях от него. Большой вклад в анализ физических явлений, связанных с действием взрыва на горную породу, а также в создание методов расчета зарядов для различных условий сделали д-ра техн. наук А. Ф. Беляев, Ф. А. Баум, Б. М. Шехтер, К. К. Андреев, Г. П. Демидюк, М. М. Докучаев, Э. О. Миндели и др.

Интересные работы по моделированию действия взрыва методами электрогидродинамических аналогий (ЭГДА) выполнены проф. О. Е. Власовым.

Фундаментальные исследования механизма разрушения горных пород взрывом проведены проф. Г. И. Покровским и развиты в трудах профессоров А. Н. Ханукаева, В. Н. Мосинца, Б. Н. Кутузова, Ф. И. Кучерявого, М. Ф. Друкованного, чл.-корр. АН УССР Э. И. Ефремова и др.

Под руководством проф. И. А. Остроушко выполнен комплекс работ, связанных с механизацией заряжания скважин и камер различными ВВ.

Неоспорим приоритет советских ученых и инженеров в разработке теории и применении крупных взрывов на выброс и сброс в горном деле, гидротехническом и мелиоративном строительстве. Большую работу по развитию и совершенствованию взрывов на выброс проводил Союзвзрывпром.

Значительный вклад в теорию взрыва и инженерную практику взрывных работ внесли зарубежные ученые М. Кук, Ч. Норрен (США), К. Хино (Япония), У. Лангефорс, Р. Густафссон (Швеция).

В настоящее время многие институты и специализированные лаборатории занимаются исследованиями в области взрывного дела. Ведущая роль в развитии взрывного дела принадлежит ИГД им. А. А. Скочинского, Московскому и Ленинградскому горным институтам, Днепропетровскому институту геотехнической механики, Центральной специализированной лаборатории б. треста Союзвзрывпром и другим организациям. Координация научных работ в области взрывного дела и разработка основных направлений осуществляются Межведомственной комиссией по взрывному делу.

В середине XIX в. составлена первая классификация горных пород рудников Колывано-Воскресенских заводов по трудоемкости их добычи (добываемости).

В 1911 г. проф. М. М. Протодяконов в журнале «Горнозаводское дело» опубликовал научно обоснованную классификацию горных пород, которая не потеряла своего практического значения до сих пор.

Большая работа в области классификации горных пород по буримости и взрываемости проделана в 40-х годах под руководством проф. А. Ф. Суханова. Эта работа и составленные общие классификации пород по буримости и взрываемости явились методической основой для составления местных и ведомственных классификаций пород по буримости и взрываемости, для нормирования буровзрывных работ на различных предприятиях.

Фундаментальные работы по классификации горных пород по трудности их разрушения при бурении, взрывании и других процессах добычи выполнены под руководством акад. В. В. Ржевского. На основе этой классификации (по значениям пределов прочности на сжатие, сдвиг, растяжение, плотности породы и т. д.) представляется возможным определить показатели трудности разрушения породы при различных технологических процессах (бурение, взрывание) и дать количественное сравнение различных разрабатываемых пород.

Для образования шпуров и скважин в массивах горных пород до начала XIX в. применялось ручное бурение, которое с конца XVII в. начинает постепенно заменяться машинами. В 1861 г. при проведении тоннеля в Альпах впервые применены поршневые ударные машины, повысившие скорость бурения более чем в 10 раз по сравнению с ручным. В конце XIX в. изобретены молотковые ударные машины — прообразы современных бурильных молотков. К этому же времени были созданы первые машины вращательного действия — электросверла. В дальнейшем создается оборудование для облегчения труда бурильщика: распорные колонки, пневмоподдержки, автоподагтики, буровые каретки. С 30-х годов в СССР начаты работы по созданию станков для бурения скважин при отбойке руд в подземных условиях.

Первый станок для вращательного бурения скважин диаметром до 150 мм создан в 1935 г. А. А. Миняйло. В 1938 г. А. К. Сидоренко предложил способ бурения скважины погружными бурильными молотками. В 1949—1950 гг. на подземных рудниках С. П. Юшко испытан станок с погружными пневмоударниками, вращение которого осуществлялось буровым ставом с поверхности.

В 1954 г. ИГД Сибирского отделения АН СССР и Кузнецким металлургическим комбинатом создан станок БА-100, при работе которого в качестве промывочной жидкости впервые применена воздушно-водяная смесь, а в 1959 г. создан полуавтоматический станок НКР-100 для бурения скважин диаметром 80—105 мм глубиной до 50 м. Начиная с 60-х годов в подземных рудниках до 50% взрывных скважин бурят погружными пневмоударниками. С 1950 г. разрабатывается и внедряется бурение скважин шарошечными долотами диаметром 145 мм, а с 60-х годов — станки вращательно-ударного бурения скважин диаметром 60—70 мм, пневматические, затем гидравлические. С начала XX в. на карьерах стали применять станки ударно-канатного бурения, которые до 50-х годов являлись основными при бурении взрывных скважин. В 40-х—50-х годах начали применять вращательное шнековое, а с 60-х годов — шарошечное бурение. Способ шарошечного бурения стал основным на карьерах. Одновременно испытывалось огневое бурение скважин как самостоятельный способ, а затем в комбинации с шарошечным для расширения нижней части скважин. С 60-х годов на карьерах применяют погружные пневмоударники для бурения скважин диаметром 105—160 мм.

В тесной связи с совершенствованием взрывчатых материалов и средств бурения находится развитие технологии взрывных работ.

С 1952 г. в связи с разработкой средств короткозамедленного взрывания на карьерах начинает внедряться короткозамедленное взрывание, которое обеспечило переход от однорядного взрывания к многорядному, способствовало увеличению масштабов взрывов и улучшению качества дробления пород. На подземных горных работах внедрение короткозамедленного взрывания началось с 1960 г.

Проводятся систематические исследования по разработке и изучению методов регулирования степени дробления горных пород взрывом. Изучается изменение степени дробления различных по трещиноватости и крепости массивов горных пород в зависимости от диаметра заряда, расхода и типа ВВ, сетки расположения и конструкции зарядов, интервала и схемы замедления, точки инициирования и т. д. Эти работы являются научно-инженерной основой для выполнения взрывов с целью получения заданной крупности дробления массива и параметров развала горной массы. Взрывание высоких уступов в зажатой среде является одним из методов интенсификации дробления пород взрывом, решающим в перспективе проблему применения поточной технологии при разработке скальных пород.

Технология массовой отбойки руд скважинными зарядами диаметром 100--200 мм и более 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 заряжения скважин, шпуров и камер гранулированными простейшими взрывчатыми веществами.

При подземной разработке рудных месторождений дальнейшее развитие преимуществ, обусловленных заменой шпуровой отбойки скважинной, связано с переходом на скважины диаметром 100--125 мм и даже до 200 мм. Перспективным является взрывание в зажиме на очистных работах и проходке восстающих.

Резкий рост добычи руд черных и цветных металлов в послевоенный период потребовал внесения серьезных новшеств и в технологию взрывных работ при проведении выработок. Внедрялись новые взрывчатые вещества и средства инициирования, контурное взрывание зарядов, что обеспечило повышенную устойчивость пород, окружающих выработку, и резко снизило законтурные разрушения, созданы новые средства механизации заряжения шпуров и скважин, новые схемы их размещения в забое. Внедрение буровых кареток позволило перейти на проходку глубокими заходками (до 3 м) с призматическим врубом. Внедрение при проходке угловых заходок обеспечило увеличение коэффициента использования шпура.

В практике работы горных предприятий широко внедряется система непрерывной корректировки параметров отбойки с учетом взрываемости горных пород, подлежащих выемке, на основе производственного анализа результатов предыдущих взрывов.

Все это позволило значительно повысить скорости проведения вы-

работок и, обеспечив горные предприятия необходимыми запасами подготовленных для отбойки руд, существенно увеличить объемы добычи полезных ископаемых в стране.

Контрольные вопросы

1. Что Вы знаете об истории развития и о применении взрывчатых веществ в горном деле?
2. Каков вклад советских ученых в теорию и практику взрывного дела?
3. Как развивалась буровая техника?

§ 2. Понятие о взрыве и взрывчатых веществах

Впервые задача изучения физической сущности взрыва была поставлена М. В. Ломоносовым. В работе «О природе и рождении селитры», написанной в 1748 г., он дает определение взрыва как очень быстрого выделения значительного количества энергии и большого объема газов.

В современной интерпретации взрывом называют процесс чрезвычайно быстрого (сверхзвукового) физического или химического перехода вещества или группы веществ из одного состояния в другое, сопровождающееся весьма быстрым переходом потенциальной энергии исходного вещества в энергию, способную совершать механическую работу.

По виду источника энергии и характеру протекания процесса различают взрывы ядерные, физические и химические. При ядерных взрывах происходят цепные реакции деления или синтеза ядер с образованием новых элементов. Известны два способа выделения атомной энергии при взрыве: превращение тяжелых ядер в более легкие (радиоактивный распад и деление атомных ядер урана и плутония) и образование из легких ядер более тяжелых (синтез атомных ядер). Так, при термоядерном взрыве из тяжелого водорода образуется гелий. Эти взрывы являются наиболее мощными из известных человечеству в настоящее время. При ядерном и термоядерном взрывах количество выделяемого тепла равно соответственно $6,7 \cdot 10^{13}$ и $4 \cdot 10^{14}$ кДж/кг.

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 сравнительно медленным. В горнодобывающей промышленности они имеют ограниченное применение. Примерами использования физического взрыва в горной промышленности являются электровзрыв (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) и отбойка пневмопатронами (высвобождение энергии воздуха сжатого в ограниченном объеме патрона). При химическом взрыве энергия выделяется в результате химической реак-

ции, т. е. в результате взрыва образуются вещества другого химического состава.

Химическое превращение взрывчатых веществ и смесей может протекать в форме медленного химического превращения, горения и детонации. При медленном химическом превращении реакция разложения протекает одновременно во всем объеме вещества, находящегося при одинаковой температуре, практически равной температуре окружающей среды. Скорость реакции соответствует этой температуре и во всех точках масса ВВ одинакова. При нагревании ВВ его температура возрастает не только за счет внешнего нагрева, но и за счет тепла, выделяющегося при химической реакции разложения. При определенных условиях эта реакция может стать самоускоряющейся, в результате чего ВВ быстро превратится в сжатые газы почти одновременно по всему объему. Произойдет тепловой взрыв ВВ, который может служить примером гомогенного (однородного) взрыва. Однако практически гомогенный взрыв неосуществим из-за неравномерного теплоотвода из ВВ, так как в веществе всегда имеет место возникновение одного или нескольких очагов горения, из которых горение затем распространяется на остальную массу ВВ.

Современная взрывная техника основана на использовании самораспространяющегося взрыва.

При этой форме взрыва химическое превращение, начавшееся в какой-либо точке заряда, самопроизвольно распространяется до его границ. Способность химической реакции к самораспространению является характерной особенностью этой формы взрыва.

Самораспространяющееся взрывчатое превращение возможно при горении и детонации ВВ. В обоих случаях имеется фронт химического превращения — относительно узкая зона, в которой происходит интенсивная химическая реакция, распространяющаяся по веществу с высокой скоростью. Впереди этой зоны находится исходное ВВ, позади нее — продукты превращения (рис. 2.1).

Температуры впереди фронта, позади него и в самой зоне химической реакции существенно различаются; имеет место также неравенство давлений и плотностей.

Скорость реакции, точнее, линейная скорость перемещения фронта взрывного превращения зависит в основном не от начальной температуры вещества, а от количества выделяющейся при реакции энергии, условий передачи ее непрореагировавшему веществу и характеристик химического процесса. Так как механизм передачи энергии при горении и детонации различен (при горении тепловая энергия передается за счет теплопроводности, при детонации основную роль играет ударная волна), скорость распространения процесса также различается и при горении не превышает для конденсированных ВВ нескольких сантиметров в секунду, а при детонации составляет километры в секунду.

Взрывное горение характерно для порохов и происходит со скоростью 400—1000 м/с. Медленное превращение может привести к повышению давления только в замкнутом объеме. Горение способно значи-

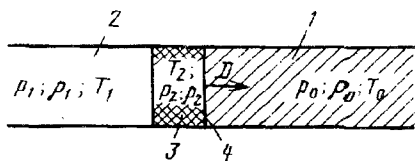


Рис. 2.1. Схема самораспространяющейся химической реакции:

1 - исходное взрывчатое вещество; 2 - продукты превращения; 3 - зона химической реакции; 4 - фронт химического превращения; p - давление; ρ - плотность; T - температура; D - скорость реакции

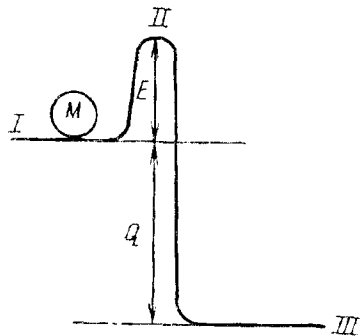


Рис. 2.2. Схема энергетических уровней молекул (M) до активации (I), после активации (II) и после реакции (III)

тельно повысить давление лишь в замкнутом или полужамкнутом объеме (ракетные камеры, огнестрельное оружие и т. д.). Давление, обеспечиваемое детонацией, практически не зависит от наличия оболочки.

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

Выделяют четыре основных условия, которым должна удовлетворять химическая реакция для того, чтобы она могла протекать в форме взрыва: экзотермичность (выделение тепла), образование газов, большая скорость реакции, способность к самораспространению.

Первое условие — любое превращение, протекающее с поглощением тепла, не может быть взрывом.

Разогрев газообразных продуктов взрыва до температуры в несколько тысяч градусов и их последующее расширение происходит за счет тепловой энергии реакции. Чем больше теплота реакции и скорость ее распространения, тем больше механическое действие взрыва. Теплота реакции является и критерием работоспособности современных ВВ, она составляет 3760—7500 Дж/кг.

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. Газы и пары воды, находясь в начальной стадии взрыва в чрезвычайно сжатом состоянии, расширяясь, переводят потенциальную энергию ВВ в механическую работу. При нормальных условиях (давление 101,3 кПа; $T = +15^\circ \text{C}$) 1 кг промышленных ВВ образует 700—900 л газов, температура которых 3000—4000° С. Максимальные давления в месте взрыва достигают сотен тысяч атмосфер, что на два-три порядка превышает предел прочности горных пород. Кроме того, резкий скачок давления приводит к образованию в горной породе удар-

ной волны, переходящей затем в волну напряжения, распространяющуюся со скоростью звука.

Третье условие — большая скорость реакции — определяет скорость энерговыделения, т. е. ту огромную мощность, которая характерна для взрыва. Переход к конечным продуктам реакции происходит при взрыве за сотысячные или даже миллионные доли секунды, что и определяет его энергетические преимущества по сравнению с обычным горением химических веществ. Критерием быстроты протекания процесса взрывчатого превращения служит линейная скорость распространения взрыва по заряду, которая для современных ВВ составляет 2—9 км/с.

Способность к самораспространению — четвертое условие взрыва — обеспечивает превращение всего вещества при локальном 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. 2.2). 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 , после чего молекула может вступать в реакцию с выделением энергии $Q + E$. Эта энергия расходуется на возбуждение последующих молекул и т. д. Очевидно, что $Q > E$.

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). Энергия взрыва ВВ высвобождается в результате химических реакций, основным типом которых является реакция окисления.

В принципе взрывчатое вещество представляет собой смесь горючего с окислителем. Старейшее ВВ — дымный порох — является смесью двух горючих (угля и серы) и окислителя (кашевой селитры), простейшее ВВ инданит — 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 низкочувствительным.

Полностью из невзрывчатых компонентов состоят, например, окси-

ликвиты, представляющие собой горючее (сажа, мох и т. п.), пропитанное жидким кислородом.

В виде горючих соединений они реагируют с избыточным кислородом окислителя, повышая теплоту и общую энергию взрыва ВВ.

Для повышения мощности ВВ в их состав вводятся иногда сенсibilизаторы.

Сенсибилизаторы — вещества, вводимые в состав ВВ и способствующие восприятию и передаче детонации.

Элементарный состав ВВ представлен, как правило, углеродом, водородом, кислородом и азотом. Соответственно, продукты взрыва могут состоять из следующих газов: CO_2 ; CO ; H_2 ; O_2 ; CH_4 ; NH_3 ; N_2 ; NO ; NO_2 . Кроме того, в продуктах взрыва могут находиться и твердые вещества, углерод, оксиды металлов, их соли и т. п.

Приведем несколько примеров реакций взрывчатого разложения ВВ и отметим их характерные особенности:

нитроглицерин $\text{C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3 \longrightarrow 3\text{CO}_2 + 2,5\text{H}_2\text{O} + 1,5\text{N}_2 + 0,25\text{O}_2 + 1400 \text{ МДж}$;

аммиачная селитра $\text{NH}_4\text{NO}_3 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{N}_2 + 0,5\text{O}_2 + 121 \text{ МДж}$;

нитроглицоль $\text{C}_2\text{H}_4(\text{ONO}_2)_2 \longrightarrow 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{N}_2 + 990 \text{ МДж}$;

аммонит 6ЖВ, состоящий из смеси аммиачной селитры и тротила $\text{C}_6\text{H}_6(\text{NO}_2)_3\text{CH}_3 + 10,7\text{NH}_4\text{NO}_3 \longrightarrow 7\text{CO}_2 + 23,9\text{H}_2\text{O} + 12,2\text{N}_2 + 0,1\text{O}_2 + 4520 \text{ МДж}$;

тротил $\text{C}_6\text{H}_6(\text{NO}_2)_3\text{CH}_3 \longrightarrow 3,5\text{CO} + 2,5\text{H}_2\text{O} + 3,5\text{C} + 1,5\text{N}_2 + 922 \text{ МДж}$;

азид свинца $\text{PbN}_6 \longrightarrow \text{Pb} + 3\text{N}_2 + 448 \text{ МДж}$.

В приведенных формулах масса ВВ и продуктов взрыва выражена в киломолях.

Соотношение окислителя и горючих компонентов в составе ВВ определяет полное или неполное окисление горючих элементов. Это соотношение характеризуется кислородным балансом ВВ. Недостаток кислорода в ВВ приводит к неполному окислению горючих элементов, в этом случае ВВ имеет отрицательный кислородный баланс. Если в ВВ окислителя хватает для полного окисления горючих элементов, то ВВ характеризуется нулевым кислородным балансом, если имеется избыток — положительным.

Таким образом, если ВВ имеет состав $\text{C}_a\text{H}_b\text{N}_c\text{O}_d\text{Al}_e$, то кислородный баланс можно выразить в процентах избытка или недостатка кислорода для полного окисления горючих элементов в молекуле ВВ

$$k_6 = \frac{d \left(2a + \frac{b}{2} + \frac{3}{2}l \right)}{M_{\text{ВВ}}} \cdot 16, \quad (2)$$

где a , b , d и l — соответственно, число атомов углерода, водорода, кислорода и алюминия в молекуле; 16 — атомная масса кислорода; $M_{\text{ВВ}}$ — молекулярная масса ВВ.

Для взрывчатых смесей расчет можно вести на 1 кг, тогда в числе

ель дроби войдет количество молей соответствующих элементов, содержащихся в 1 кг смесового ВВ, а в знаменатель — 1000, вместо $M_{ВВ}$. Положительный кислородный баланс имеем при $d > 2a + b/2 + 3/2l$, нулевой — при $d = 2a + b/2 + 3/2l$ и отрицательный при $d < 2a + b/2 + 3/2l$.

Кислородный баланс взрывчатых смесей удобно определять по формуле

$$K = K_1P_1 + K_2P_2 + K_3P_3 - \dots + K_nP_n, \quad (2.2)$$

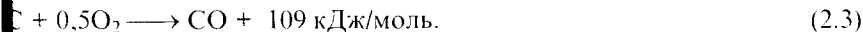
где $K_1, K_2, K_3, \dots, K_n$ — кислородный баланс каждого из компонентов взрывчатой смеси, %; $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ — содержание каждого из компонентов, доли единицы.

Если для полного окисления горючих элементов не хватает кислорода, то он должен вступать прежде всего в те реакции, которые сопровождаются максимальным выделением тепла. Поэтому при взрыве ВВ с отрицательным кислородным балансом в зависимости от относительного количества кислорода образуются либо ядовитый оксид углерода (угарный газ) с меньшим выделением тепла, чем при образовании углекислоты, либо чистый углерод в виде сажи, снижающий образование газов.

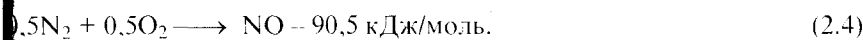
Отравляющее действие оксида углерода СО основано на его способности образовывать прочные соединения при вдыхании с красными кровяными тельцами, являющимися переносчиками кислорода из легких к тканям, из-за чего человеческий организм начинает испытывать кислородную недостаточность, а при концентрациях 1% и более быстро наступает смерть.

Предельно допустимая концентрация СО в атмосфере шахт 0,0016% по объему).

Таким образом, ВВ с нулевым кислородным балансом выделяют максимальное количество энергии и минимальное — ядовитых газов.



При положительном кислородном балансе ВВ образуются различные оксиды азота, являющиеся весьма ядовитыми газами, образование которых сопровождается поглощением тепла.



Оксиды азота NO, NO₂, N₂O₃ при вдыхании в легких, вступая в реакцию с водой, образуют азотную и азотистую кислоты, действие которых приводит к отеку легких и смерти. Особую опасность оксиды азота представляют из-за того, что они способны накапливаться в организме. Поэтому по токсическому действию они считаются в 6,5 раза более ядовитыми, чем оксид углерода.

Предельно допустимая концентрация условного оксида углерода в атмосфере шахт составляет 0,0002% по объему.

При взрыве могут также образовываться сероводород H₂S, сернистый ангидрид SO₂, хлор, при вдыхании которых происходят острое

раздражение дыхательных путей и отек легких. По токсичности эти газы считаются в 2,5 раза более ядовитыми, чем оксид углерода. При взрыве детонаторов образуются пары и аэрогели ртути или свинца, входящих в состав инициирующих ВВ, а свинец, кроме того, входит в состав электровоспламенителей и замедляющих составов ЭД.

Наиболее рационален нулевой кислородный баланс. Отклонение от него сопровождается образованием ядовитых газов и уменьшением выделения энергии при взрыве. Например, требуется определить кислородный баланс тротила $C_7H_5(NO_2)_3$, относительная молекулярная масса которого равна 227. Для полного окисления необходимо $2a + b/2$ или $2 \cdot 7 + 5/2 = 16,5$ атома кислорода. В наличии имеется шесть атомов кислорода.

$$k_6 = \frac{(6 - 16,5) \cdot 16}{227} 100\% = -74\%.$$

Реакции взрывчатого превращения зависят от кислородного баланса ВВ и делятся на три типа: I — реакция взрыва ВВ с положительным и нулевым кислородным балансом; II — то же с отрицательным, но достаточным для полного газообразования; III — реакция взрыва ВВ с выделением углерода. Реакции взрывчатого превращения позволяют определять характеристики ВВ (теплоту, температуру, объем и давление газов взрыва).

В табл. 2.1 приведены значения кислородного баланса некоторых ВВ и их компонентов.

Таблица 2.1

Кислородный баланс некоторых ВВ и их компонентов

Вещество	Химическая формула	Атомная или молекулярная масса	Кислородный баланс, %
Алюминий	Al	27,0	89,0
Аммиачная селитра	NH_4NO_3	80,0	+20,0
Бумага (оболочка патронов)	—	—	-130,0
Гексоген	$C_3H_6N_6O_6$	222,0	-21,6
Гремучая ртуть	$HgC_2O_3N_2$	284,0	-11,3
Динитронафталин	$C_{10}H_6N_2O_4$	218,0	-139,4
Калиевая селитра	KNO_3	101,0	+39,6
Калия хлорат	$KClO_3$	122,5	+39,2
Калия перхлорат	$KClO_4$	138,5	+46,2
Клетчатка	$C_6H_{10}O_5$	162,0	118,5
Магний	Mg	24,3	65,8
Древесная мука	$C_3H_5O_{10}$	262,0	137,0
Натриевая селитра	$NaNO_3$	85,0	+47,0
Натрия хлорат	$NaCl$	106,5	+45,0
Натрия перхлорат	$NaClO_4$	122,5	+52,2
Нитроглицерин	$C_3H_5N_3O_6$	152,0	0,0
Нитроглицерин	$C_3H_5N_3O_3$	227,0	+3,5
Гетрил	$C_3H_5N_3O_3$	287,0	47,4
Тротил	$C_7H_5N_3O_6$	227,0	74,0
Тин	$C_5H_8N_4O_{12}$	316,0	10,1
Углерод (аморфный)	C	12,0	266,7

Таблица 2.2

Характеристика взрывчатых превращений некоторых ВВ

ВВ	Молекулярный вес	Реакция взрывчатого разложения	Кислородный баланс, %	Объем газов при взрыве, л/кг	Температура взрыва, °С
Нитроглицерин	227	$4C_3H_5(ONO_2)_3 = 12CO_2 + 10H_2O + 6N_2 + O_2$	+3,5	715	4100
Динитроглицероль	152	$C_3H_5(ONO_2)_2 = 2CO_2 + 2H_2O + N_2$	0	738	4200
Тротил	227	$2C_6H_5(NO_2)_3CH_3 = 5H_2O + 7CO + 7C + 3N_2$	74	750	2950
Аммиачная селитра		$2NH_4NO_3 = 4H_2O + 2N_2 + O_2$	+28	980	1950
Динитронафталин	218	$C_{10}H_6(NO_2)_2 = CO + 3H_2O + 2N_2 + 9C$	129,4	750	2500
Коллоидный хлопок	1053	$C_{22}H_{28}O_{36}N_{10} = 14,4H_2O + 21,7CO + 0,8C + 4,35N_2$	33,6	936	2600
Гексоген	222	$C_3H_6N_6O_6 = 3H_2O + 3CO + 3N_2$	21,6	890	3800
Гон	316	$C(CH_3ONO_2)_3 = 4H_2O + 3CO_2 + 2CO + 2N_2$	-10,1	790	4000
Тетрил	287	$2C_6H_5(NO_2)_3NCH_3 = 5H_2O + 6CO + 8C + 5N_2$	47,4	740	3900

Характеристика взрывчатых превращений некоторых ВВ приведена в табл. 2.2.

Смешивая в определенной пропорции ВВ с отрицательным и положительным кислородным балансом, получаем ВВ с нулевым или близким к нулю кислородным балансом. Примером такой смеси из тротила и аммиачной селитры является аммонит 6ЖВ. Добавляя в ВВ с положительным кислородным балансом горючие добавки, можно получить взрывчатую смесь большей работоспособности.

Промышленные ВВ для взрывания в подземных условиях обычно имеют незначительный положительный кислородный баланс — от 0,1 до 4%. Избыток кислорода расходуется на окисление бумажных оболочек и парафинового покрытия патронированных ВВ.

Состав газообразных продуктов взрыва зависит не только от химического состава ВВ, но и от условий взрывания заряда (степени ограничения пространства, в котором расположен заряд, влажности ВВ) и свойств породы, влияющих на протекание вторичных химических взрывных реакций.

На карьерах разрешается применять ВВ с кислородным балансом, отличным от нулевого, однако при крупных взрывах и при взрывании на глубоких горизонтах карьеров при определении опасной зоны необходимо учитывать направление движения газового облака после взрыва, чтобы избежать случаев отравления рабочих. С увеличением глубины карьеров целесообразность применения ВВ с нулевым кислородным балансом с точки зрения санитарно-гигиенических условий атмосферы и охраны окружающей среды увеличивается.

Для придания определенных свойств при изготовлении смесевых ВВ в их состав вводят следующие компоненты: горючие вещества, окислители, сенсibilизаторы, стабилизаторы, флегматизаторы и пламегасители (последние только в составе предохранительных ВВ).

Горючие вещества вводятся в состав ВВ для увеличения количества энергии, выделяемой при взрыве. В качестве горючих веществ применяют твердые или жидкие компоненты (как правило, невзрывчатые, типа тонкоизмельченного угля, древесной муки, солярового масла), богатые углеродом и водородом, или пудры (алюминия, магния и т. д.), способные легко окисляться и выделять большое количество тепла и газов. Роль горючих веществ выполняют также некоторые взрывчатые компоненты (тротил, гексоген и т. п.), имеющие в своем составе недостаточное количество кислорода для полного окисления углерода. При этом часть углерода реагирует с избыточным кислородом окислителя, повышая тем самым общую энергию взрыва.

Окислители содержат избыточный кислород и вводятся в состав ВВ для окисления горючих элементов. В качестве окислителя применяют аммиачную, калиевую и натриевую селитры, перхлораты калия и натрия, жидкий кислород и т. д.

В качестве сенсibilизаторов обычно используют чувствительные мощные ВВ: тротил, нитроглицерин, нитроглицоль, гексоген и т. п. Иногда роль сенсibilизатора выполняют и невзрывчатые вещества, такие, как соляровое масло (не более 6%), уголь или древесная мука.

Стабилизаторы — вещества, вводимые в состав ВВ для повышения их химической и физической стойкости. В качестве стабилизатора в аммонитах используют древесную, жмыховую и торфяную муку, а в динамитах — мел и соду. Стабилизаторы, применяемые в аммонитах, выполняют также роль горючих добавок и разрыхлителей, уменьшая слеживаемость ВВ.

Флегматизаторы вводят в состав ВВ для снижения чувствительности его к механическим воздействиям. В качестве флегматизатора используют: вазелин, различные масла, тальк, парафин и т. п. Эти вещества обволакивают частицы ВВ, не вступая с ними в реакцию, и тем самым снижают его чувствительность к механическим воздействиям.

Пламегасители — вещества, вводимые в состав ВВ для снижения температуры взрыва и уменьшения вероятности воспламенения метано- и пылевоздушных смесей в шахтах. В качестве пламегасителей применяют хлористый натрий, хлористый калий и т. п.

Пластификаторы вводят в состав ВВ для придания ему текучести. В качестве пластификаторов обычно используют загущенные водные растворы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятию взрыва.
2. Какие виды взрыва Вы знаете?
3. Что такое химический взрыв?
4. Назовите обязательные условия протекания химического взрыва.
5. Что такое кислородный баланс?

6. Какие ядовитые газы выделяются при взрыве?

7. Какие принципы составления рецептуры ВВ обеспечивают наилучшие энергетические показатели взрыва и обеспечивают минимальное выделение ядовитых газов?

§ 3. Детонация взрывчатых веществ

Детонация — чрезвычайно быстрое распространение ударной волны по ВВ с постоянной сверхзвуковой скоростью порядка нескольких тысяч метров в секунду.

В разное время явление детонации объяснялось различными предположениями и теориями.

Большой вклад в теорию детонации внесли В. А. Михельсон, С. Чепмен, Е. Жуге, которые связали явление детонации с прохождением по ВВ ударной волны. Положения эти были в дальнейшем развиты и вошли в основу общепринятой в настоящее время гидродинамической теории детонации, которая нашла отражение в трудах советских ученых Я. Б. Зельдовича, Ю. Б. Харитона, Л. Д. Ландау, К. П. Станюковича и др.

Согласно гидродинамической теории детонацией считают перемещение по ВВ зоны химического превращения, ведомой ударной волной постоянной амплитуды. При этом амплитуда и скорость перемещения ударной волны постоянны, так как диссипативные потери, сопровождающие ударное сжатие вещества, компенсируются теплотой реакции превращения ВВ.

Ударная волна характеризуется скоростью распространения, превышающей скорость звука, и резким скачкообразным изменением параметров вещества — давления, плотности, температуры.

Формирование и характер распространения ударных волн определяются фундаментальными законами физики о сохранении массы вещества, об изменении количества движения и энергии частицы.

Процессы формирования и распространения ударных волн по ВВ принято в теории описывать законами распространения волн в газах. Это обусловлено тем, что на фронте ударной волны в заряде ВВ возникают давления, на порядок и более превышающие прочность материала ВВ, что позволяет пренебречь силами сцепления между частицами и описать его состояние уравнениями газодинамики.

Совокупность ударной волны и прилегающей к ней зоны взрывчатого химического превращения ВВ называется *детонационной волной*.

При взрыве детонатора, выполняющего роль инициатора (начального импульса), продукты взрыва производят резкий удар по прилегающему к детонатору слою ВВ и формируют ударную волну. Среда движется со скоростью v_H вслед за фронтом ударной волны. Скорость ударной волны зависит от величины ее амплитуды; ударная волна распространяется в виде однократного скачка уплотнения (рис. 2.3, а).

В результате действия ударной волны на ее фронте возбуждается интенсивная, чрезвычайно быстро протекающая химическая реакция с выделением тепла и газов. Энергия реакции этого слоя поддерживает

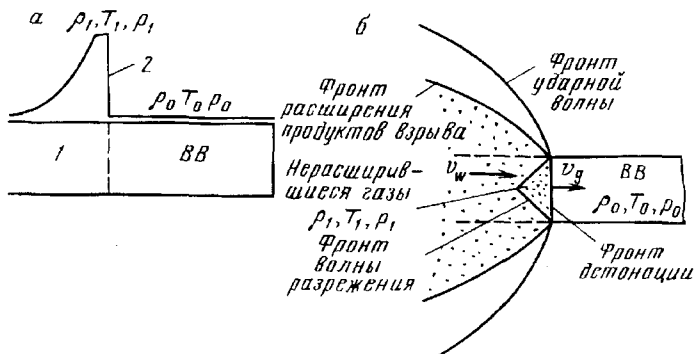


Рис. 2.3. Схема детонации заряда ВВ:

1 продукты взрыва; 2 фронт детонационной волны

амплитуду и скорость распространения ударной (детонационной) волны на определенном уровне, обеспечивая постоянную скорость детонации v_d для данного диаметра заряда.

Следовательно, при детонации в каждый момент времени в реакции участвует очень ограниченная масса ВВ в слое, находящемся под действием переднего фронта детонационной волны.

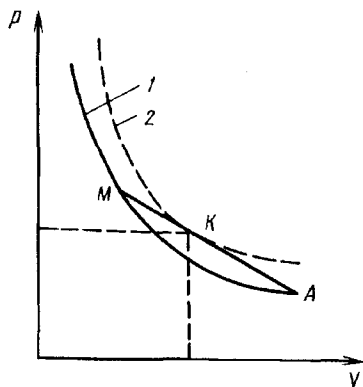
Ширина зоны химической реакции очень мала и составляет для порошкообразных ВВ доли миллиметра, у гранулированных ВВ она увеличивается до 4 см. За фронтом детонационной волны начинается расширение продуктов детонации с образованием волны разрежения, распространяющейся к оси заряда (рис. 2.3, б). Фронт волны разрежения не достигает фронта детонационной волны, и остается динамически стабильный определенный объем нерасширившихся газов, прилегающих к детонационной волне, который поддерживает стабильность параметров волны. Если это динамическое равновесие нарушается, то скорость детонации или увеличивается (при увеличении объема нерасширившихся газов), или затухает.

Изменение состояния ВВ в детонационной волне в координатах $p-V$, где V — удельный объем или величина, обратная плотности ρ , показано на рис. 2.4.

Вещество с начальным объемом V_0 (точка А) сжимается в ударной волне до состояния М. При этом начинается химическая реакция и давление p_m достигает максимального значения. Идет развитие реакции с выделением тепла и расширением продуктов взрыва, давление при этом падает, а объем вещества увеличивается. Заканчивается реакция в точке К на ударной адиабате продуктов взрыва, называемой точкой Чепмена—Жуге. Прямая АКМ, соединяющая параметры состояния исходного вещества с параметрами всплеска в состоянии максимального сжатия и завершения реакции, называется прямой Михельсона.

Вещество в детонационной волне последовательно проходит все состояния по прямой АКМ. Участок АК отвечает зоне сжатия в ударной

Рис. 2.4. Ударная адиабата



волне, участок KM — зоне химической реакции. Давление p_M примерно вдвое больше давления p_K .

По гидродинамической теории детонации, разработанной Я. Б. Зельдовичем и Д. Н. Нейманом, ВВ при сжатии характеризуется ударной адиабатой 1 (адиабатой Гюгонио), а конечные продукты — адиабатой 2 (ударной адиабатой продуктов взрыва) (см. рис. 2.4).

Зона сжатия ВВ в ударной волне очень мала (до 0,1 мкм), зона химических реакций зависит от физических и химических свойств ВВ и имеет протяженность от 0,5 мм (для азида свинца) до 10 мм (для тротила). Продолжительность зоны химической реакции в детонационной волне составляет 10^{-6} — 10^{-7} с.

Параметры детонационной волны — давление, объем, температура в точке, скорость детонации и скорость распространения продуктов взрыва за фронтом детонации — рассчитываются путем решения системы уравнений, основанной на законах сохранения массы, количества движения, энергии, состояния продуктов детонации и так называемого правила отбора скорости детонации Чепмена—Жуге, согласно которому в точке Жуге, характеризующей переход от адиабаты 1 к адиабате 2, скорость детонации равна

$$v_d = W + c, \quad (2.5)$$

где W — скорость движения продуктов взрыва, м/с; c — скорость звука в продуктах взрыва, м/с.

Л. Д. Ландау и К. П. Станюковичем предложено уравнение политропы для состояния продуктов взрыва

$$pV^n = \text{const}, \quad (2.6)$$

где p — давление; V — объем; n — показатель политропы, равный 3 для ВВ плотностью 1—1,2 г/см³.

Давление в плоскости Чепмена—Жуге рассчитывается с учетом основных законов сохранения и приведенных законов

$$\rho_{\text{ж}} = \frac{\rho_0 v_d^2}{n+1} \approx \frac{\rho_0 v_d^2}{4}, \quad (2.7)$$

где ρ_0 — начальная плотность ВВ, кг/м³.

Плотность продуктов детонации

$$\rho \approx \frac{4}{3} \rho_0. \quad (2.8)$$

Скорость движения продуктов взрыва за плоскостью Чепмена—Жуге

$$W = \frac{v_d}{n+1} \approx \frac{v_d}{4}. \quad (2.9)$$

Давление, скорость детонации и скорость движения продуктов взрыва связаны зависимостью

$$\rho_{\text{ж}} = \rho_0 v_d W. \quad (2.10)$$

Скорость детонации находится по теплоте взрыва и показателю политропы продуктов взрыва из выражения

$$v_d = 31.6 \sqrt{2(n^2-1)Q}, \quad (2.11)$$

где Q — теплота взрыва, кДж/кг.

Из всех перечисленных параметров ВВ одним из наиболее важных является скорость детонации. Она, в частности, определяет давление в детонационной волне.

Процесс детонации промышленных ВВ значительно сложнее, чем газовых смесей. Плотность продуктов детонации этих ВВ достигает 2 г/см³, уравнение их состояния неизвестно, а скорость детонации в зависимости от плотности достигает 8000 м/с, что в несколько раз превышает скорость детонации газов.

Основы теории детонации твердых ВВ разработаны советскими учеными Л. Д. Ландау и К. П. Станюковичем. Они впервые уподобили состояние продуктов во фронте детонации состоянию кристаллической решетки твердого тела.

Энергия твердого тела складывается из упругой энергии, обусловленной силами взаимодействия между молекулами, и из тепловой энергии колебаний частиц около их положений равновесия.

Л. Д. Ландау и К. П. Станюкович показали, что в условиях детонации можно учитывать только упругую энергию. Исходя из этого, они установили, что давление во фронте детонации пропорционально кубу плотности ВВ.

Скорость детонации может быть определена в зависимости от энергетической характеристики ВВ по формуле

$$v_d = \sqrt{2(n^2-1)Q_{TV}}, \quad (2.12)$$

где Q_{TV} — теплота взрыва ВВ при постоянном объеме, Дж/кг.

Из формулы (2.12) видно, что скорость детонации непосредственно

Таблица 2.3

Расчетные параметры детонации некоторых ВВ

ВВ	Плотность ВВ, г/см ³	Скорость детонации, км/с	Скорость распространения продуктов детонации, км/с	Плотность продуктов дето- нации, г/см ³	Давление на фронте волны, МПа
Тротил	1,6	7,0	1,75	2,12	20000
Тетрил	1,63	7,41	1,87	2,16	24000
Гексоген	1,69	8,34	2,08	2,24	30000
Нитроглицерин	1,6	8,4	2,1	2,12	30000
Аммонит 6ЖВ	1,0	4,8	1,2	1,33	5900

зависит от энергетических характеристик ВВ, которые также определяют и остальные параметры взрыва (табл. 2.3).

При теоретических исследованиях принято, что плоский фронт детонационной волны, распространяясь по заряду, сжимает впереди лежащие слои ВВ, вызывая их химические превращения. Такой механизм детонации называется *гомогенным*. Он сопровождается скоростями детонации 6–8 км/с. Расчеты показывают, что при меньших скоростях детонации на фронте волны однородного слоя ВВ будет недостаточно для возникновения химической реакции. В этом случае детонация возникает в результате разогрева отдельных очагов в сечении заряда. Такими очагами для порошкообразных и гранулированных ВВ являются пузырьки газа между частицами. Фактически в газообразных и жидких взрывчатых смесях происходит вращение фронта детонации и его пульсации, что является причиной неоднородности фронта.

Специфика промышленных ВВ состоит в том, что они являются физически и химически неоднородными системами, чем объясняются особенности их детонации. Промышленные ВВ представляют собой смеси разнородных по химическим и физическим свойствам материалов.

Скорость и устойчивость детонации промышленных ВВ зависят от типа ВВ, его дисперсности и плотности, диаметра заряда, наличия и характеристики оболочки.

При увеличении диаметра заряда d скорость детонации Q растет и приближается к максимальному значению. Начиная с некоторого предельного диаметра $d_{пр}$ скорость детонации близка к предельной. При критическом диаметре $d_{кр}$ детонация становится неустойчивой и затухает. Критический диаметр — это значение диаметра, ниже которого детонация невозможна. Чем меньше критический диаметр, тем больше детонационная способность ВВ (рис. 2.5).

Впервые влияние диаметра на скорость детонации заряда было теоретически объяснено Ю. Б. Харитоном и развито Р. А. Баумом.

Высокое давление на фронте волны детонации вызывает интенсивный разлет продуктов детонации в стороны. Возникающая при этом волна разрежения будет проникать в зону реакции и снижать давление и температуру продуктов взрыва, а следовательно, снижать и скорость детонации. Параметры этого процесса зависят от соотношения шири-

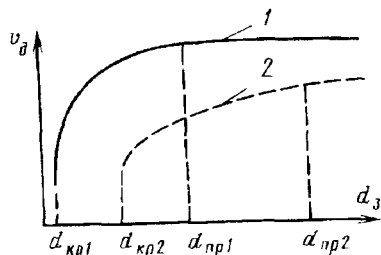


Рис. 2.5. Зависимость скорости детонации от диаметра заряда ВВ соответственно с большой (1) и малой (2) тепловой взрыва

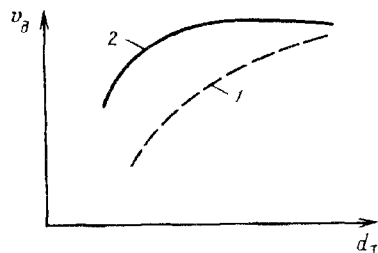


Рис. 2.6. Изменение скорости детонации v_d открытого заряда (1) и в оболочке (2) при увеличении диаметра заряда d_z

ны зоны реакции / и диаметра заряда d . Если время τ_1 в зоне химической реакции больше времени τ_2 прохождения волной разрежения расстояния, равного половине диаметра заряда, разрежение проникнет в эту зону. Давление на фронте волны станет ниже давления в точке K на адиабате Гюгонио (см. рис. 2.4), т. е. расширение продуктов взрыва начинается раньше завершения химической реакции. Критический диаметр находится из условия $\tau_1 = \tau_2$ и примерно равен ширине зоны химического превращения на фронте волны. Так как волна разрежения влияет на периферийные участки заряда, фронт детонации будет искривляться. На основе этого можно установить, что любая химическая система способна детонировать, если реакция ее разложения экзотермична, а энергия реакции достаточна для обеспечения распространения по веществу детонационной волны со скоростью больше критической. Оболочка заряда затрудняет разлет продуктов взрыва и уменьшает критический диаметр заряда.

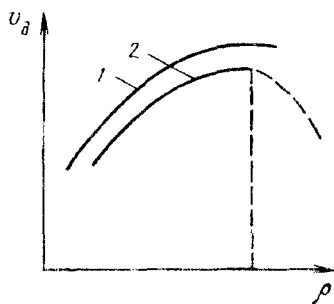
Критический диаметр детонации открытого заряда гранулированных ВВ в бумажной оболочке составляет 60–120 мм, а в металлической трубке — 10–30 мм.

Если заряд окружен оболочкой, затрудняющей разлет продуктов взрыва, то критический диаметр заряда уменьшается. Например, порошкообразная аммиачная селитра плотностью 1 г/см^3 в стеклянной трубке имеет критический диаметр 100 мм, а в стальной трубке со стенками толщиной 20 мм имеет диаметр 7 мм.

На скорость детонации влияют главным образом инерционные свойства оболочки и ее сжимаемость, оказывающие влияние на устойчивость детонации и прочность оболочки при малых плотностях заряжения. Оболочка только при меньших диаметрах позволяет получить предельные скорости детонации, а при больших диаметрах скорости детонации для зарядов в оболочке и без оболочки становятся одинаковыми (рис. 2.6).

В зарядах малого диаметра необходимо обеспечивать тщательное заполнение ВВ в шпуре, чтобы шпур выполнял роль оболочки. При взрывах зарядов большого диаметра оболочка не влияет на устойчи-

Рис. 2.7. Зависимость скорости детонации v_d от плотности ВВ ρ



вость детонации. Оболочка не оказывает существенного влияния на скорость детонации зарядов однокомпонентных ВВ большой плотности, но сильно сказывается на скорости детонации зарядов средней плотности.

Ниже приведены значения критического диаметра (мм) некоторых ВВ (плотность 0,9–1,1 г/см³, размер частиц 0,18 мм).

Заряд ВВ	В стеклянной трубке	В бумажной оболочке
Азид свинца	0,01–0,02	—
Тнп	1–1,5	—
Гексоген	1–1,5	4
Тротил	8–10	11
Аммонит 6ЖВ	10–12	12
Аммиачная селитра	100	—

Плотность ВВ существенно влияет на устойчивость и скорость детонации. Для однородных (индивидуальных) ВВ (тротил, гексоген, тнп и др.) с увеличением плотности ширина зоны реакции в детонационной волне сокращается и соответственно уменьшаются $d_{пр}$ и $d_{кр}$, скорость детонации увеличивается (рис. 2.7, кривая 1).

Для смесевых ВВ (граммовиты, аммониты и т. п.) с увеличением плотности вначале $d_{пр}$ и $d_{кр}$ уменьшаются, а затем увеличиваются. У механических смесей с увеличением плотности скорость детонации возрастает до максимального значения, соответствующего критической плотности, а далее детонация затухает (рис. 2.7, кривая 2). Критическая плотность смесевых ВВ — это значение плотности, выше которой детонация становится неустойчивой и затухает. При дальнейшем увеличении плотности происходят отказы. При сильном уплотнении аммиачная селитра в аммонитах ведет себя как инертное вещество и, поглощая энергию, делает невозможным распространение детонации по заряду. При наличии же большего процента мощного компонента в составе ВВ (тротила, гексогена) можно достичь такого уплотнения, что детонация будет идти только по этому компоненту, в результате чего скорость детонации увеличится. С увеличением диаметра заряда или с размещением его в оболочке критическая плотность ВВ увеличивается.

Особенно чувствительны к переуплотнению предохранительные ВВ с невысокими энергетическими характеристиками.

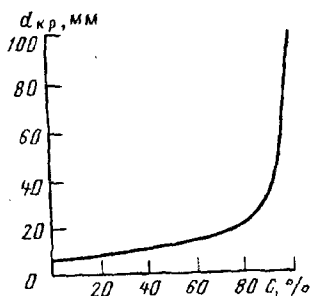


Рис. 2.8. Изменение критического диаметра заряда $d_{кр}$ взрывчатой смеси тротила — селитра в зависимости от содержания селитры C (область слева от кривой соответствует устойчивой детонации, а справа — неустойчивой)

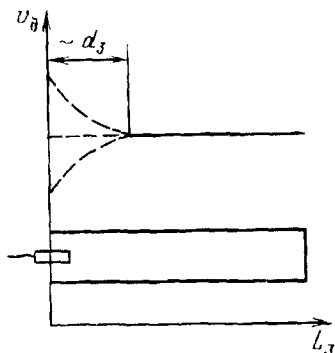


Рис. 2.9. Схема развития детонации заряда ВВ в зависимости от мощности (скорости детонации) начального импульса

На устойчивость детонации также влияет дисперсность ВВ. Тротил с частицами размером 0,01 мм имеет $d_{кр}$, равный 9 мм, а с частицами 0,5 мм — 28 мм. Критический диаметр для смесевых ВВ зависит и от процентного соотношения компонентов. Так, с уменьшением содержания тротила в аммонитах с 21 до 5% его критический диаметр увеличивается от 12 до 25 мм. Теплота взрыва увеличивает скорость детонации и уменьшает критический диаметр. С увеличением в смеси веществ ВВ компонента с меньшей теплотой взрыва критический диаметр увеличивается (рис. 2.8).

Мощность начального импульса оказывает влияние на параметры детонации лишь на начальном участке заряда, где в зависимости от величины импульса может быть получена скорость детонации v_d выше или ниже характерной для данного заряда, но в любом случае на участке, равном примерно диаметру заряда d_z , эта скорость стабилизируется и дальше будет постоянной по всей длине заряда L_z (рис. 2.9).

Поэтому для инициирования любого заряда необходимо иметь достаточно мощный точечный источник, от которого детонация будет распространяться с характерной для данного диаметра скоростью.

Контрольные вопросы

1. Какие режимы химического разложения ВВ Вы знаете?
2. Что такое детонация ВВ?
3. Дайте определения понятию фронта детонации.
4. Какие основные компоненты ВВ Вы знаете?
5. Что такое критический диаметр заряда?
6. Как плотность ВВ влияет на скорость детонации и критический диаметр?
7. В какой части заряда мощность инициирующего импульса определяет режим детонации?
8. Как оболочка влияет на скорость детонации?

§ 4. Общие положения о работе и балансе энергии при взрыве. Энергетические характеристики взрыва

Работа взрыва представляет собой процесс чрезвычайно быстрого расширения раскаленных газообразных продуктов взрыва с почти мгновенным превращением тепловой энергии в механическую.

Работа взрыва проявляется в полезных формах по выполнению функций, возложенных на взрыв, и бесполезных, связанных с неизбежными потерями и вредным воздействием на окружающую среду. Формы работы взрыва существенно меняются в зависимости от условий проведения и целей его применения. Применительно к взрывным работам общего назначения в скальных породах наибольшее значение имеет работа дробления и перемещения пород, в рыхлых — простреливание (образование полостей), уплотнение и выброс. При проведении специальных видов взрывных работ определяющей может являться работа по образованию направленных трещин или щелей, отверстий, сейсмической волны и т. д.

Работа взрыва совершается за счет теплоты, выделившейся при взрыве. В наиболее общем виде распределение энергии взрыва может быть оценено диаграммой А. Ф. Беляева (рис. 2.10). В качестве исходной взята потенциальная химическая энергия $ВВ$. Поскольку реализация потенциальной энергии $ВВ$ в условиях охлаждения неограниченно расширяющихся продуктов взрыва до абсолютного нуля лишена практического значения, $ВВ$ сравнивают между собой по максимальной работе, которую могут совершить продукты взрыва при адиабатическом расширении до атмосферного давления и охлаждении до температуры 650°С . Эта работа называется полной идеальной работой взрыва A_n , которая, исходя из основных законов термодинамики, составляет

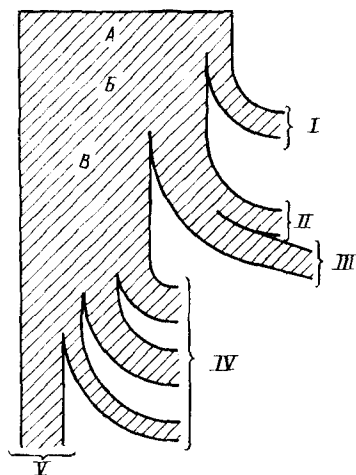


Рис. 2.10. Баланс энергии при взрыве

A — потенциальная энергия $ВВ$; $Б$ — полная фактическая тепловая энергия взрыва; $В$ — полная фактическая работа взрыва; I — химические потери; II — идеальные тепловые потери; III — потери тепла на нагревание окружающей среды; IV и V — соответственно бесполезные и полезные формы механической работы

$$A_n = \frac{p_0 V T_1}{273(k-1)} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) \quad (2.13)$$

где p_0 — атмосферное давление, Па; V_0 — объем продуктов взрыва, образующихся при взрыве 1 кг ВВ в нормальных условиях, м³; T_1 — температура продуктов взрыва в момент его совершения, °С; T_2 — температура продуктов взрыва после их расширения и охлаждения до нормальных условий, °С; k — отношение теплоемкостей при постоянных давлении и объеме.

Полная идеальная работа взрыва может быть также определена из следующего выражения:

$$A_n = Q_v \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right], \quad (2.14)$$

где p_1 — начальное давление газов взрыва, Па; $p_2 = 1,01 \cdot 10^5$ Па — атмосферное давление; Q_v — полная теплота взрыва, Дж/кг.

При взрыве в сплошной среде с сопротивлением сжатия $p_p = p_2$ полная работа уменьшается, а потеря тепла увеличивается. Максимальную работу, которую могут совершить газы взрыва при условии перехода всей внутренней энергии в механическую работу, называют *потенциалом ВВ*. Из-за возможности частичного разброса непрореагировавшего ВВ, недостаточной полноты взрывчатого превращения или других процессов фактическая теплота взрыва будет меньше на величину потерь. Относительный процент химических потерь увеличивается с уменьшением диаметра заряда. Использование прочных оболочек зарядов уменьшает эти потери. Химические потери максимальны при взрыве наружных зарядов, а также слежавшихся, увлажненных, переуплотненных и грубодисперсных ВВ.

Полная фактическая тепловая энергия взрыва не полностью превращается в механическую работу. Определенная доля тепловой энергии взрыва расходуется на идеальные тепловые потери, обусловленные поглощением тепла твердыми частицами в продуктах взрыва и повышенной теплоемкостью многоатомных газов. Пылевые частицы пород, смешиваясь с продуктами взрыва в процессе их расширения, отнимают значительное количество тепловой энергии. В зависимости от условий взрывания суммарные тепловые потери могут составлять 40–60% общей энергии заряда ВВ.

Если из полной потенциальной энергии ВВ вычесть химические и тепловые потери, то оставшаяся часть потенциальной энергии будет характеризовать величину полной фактической работы взрыва, которая представляет собой сумму всех видов механической работы: полезных, вредных и бесполезных, совершаемых взрывом по разрушению и сжатию твердой среды, перемещению взорванной массы, разбросу кусков породы, образованию трещин и заколов.

Таким образом, полная фактическая работа взрыва будет равна

$$A_{н.ф} = A_n - Q_n. \quad (2.15)$$

где Q_{Π} — суммарные тепловые потери, Дж/кг.

При взрыве скважинного заряда энергия взрыва бесполезно тратится на переизмельчение пород, образование заколов, разброс кусков породы, сейсмическое колебание массива, образование воздушной волны в пылегазовом облаке, когда продукты взрыва, имея значительную температуру, двигаясь по поверхности, не совершают полезной работы. Если взрыв произведен на поверхности массива, то полная работа взрыва остается прежней, работа на разрушение среды уменьшается, а затраты энергии на образование воздушной волны увеличатся.

Таким образом, если величина полного к.п.д. взрыва $\eta = A_{\Pi.ф}/A_{\Pi}$ равна 0,7—0,8, то полезный к.п.д. взрыва $\eta_{\Pi} = A_{\Pi.ф}/A_{\Pi}$ составляет всего 10—20% при взрывании на рыхление и 3—6% при взрывании на выброс ($A_{\Pi.ф}$ — полезная механическая работа). Поскольку точная теоретическая и экспериментальная оценки полезных форм работы взрыва пока невозможны, различные ВВ между собой сравнивают несколькими практическими способами. Эти способы будут рассмотрены ниже.

Основными характеристиками ВВ, определяющими его потенциальную энергию, потенциальную и фактическую работу взрыва, являются теплота и температура взрыва, объем и давление взрывных газов. Эти величины характеризуют параметры идеализированного процесса взрыва и не учитывают коэффициент полезного использования энергии. Вместе с тем они дают вполне объективную характеристику энергетического эффекта взрыва и могут быть использованы на практике.

Теплотой взрыва называют количество тепла, выделяющегося при взрывном превращении 1 моля или 1 кг ВВ. Теплоту взрыва можно определить расчетным путем через теплоту образования веществ. Вычисления основываются на термохимическом законе Гесса, согласно которому тепловой эффект реакции зависит не от пути реакции, а только от начального и конечного состояния системы. В соответствии с этим конечный тепловой эффект реакции, т. е. теплота превращения ВВ в продукты взрыва (теплота взрыва, Дж/моль), Q_v равен разности теплоты образования продуктов взрыва $Q_{\Pi.в}$ и исходных ВВ или их компонентов $Q_{ВВ}$, т. е.

$$Q_v = Q_{\Pi.в} - Q_{ВВ}. \quad (2.16)$$

Теплота взрыва 1 кг ВВ (Дж/кг) определяется по формуле

$$Q_1 = \frac{Q_v \cdot 1000}{M_{ВВ}}, \quad (2.17)$$

где $M_{ВВ}$ — молекулярная масса ВВ.

Для 1 кг взрывчатой смеси теплота взрыва определяется по формуле

$$Q_1 = \frac{q_1 n_1 + q_2 n_2 + \dots - (Q_{\Pi 1} N_1 + Q_{\Pi 2} N_2 + \dots)}{N_1 M_1 + N_2 M_2 + \dots}, \quad (2.18)$$

где $q_1, q_2, \dots$ — теплота образования продуктов взрыва; $n_1, n_2, \dots$ —

Таблица 2.4

Теплота образования некоторых ВВ, составных частей взрывчатых смесей и продуктов взрыва

Вещество	Химическая формула	Относительная молекулярная масса	Теплота образования при постоянном объеме, кДж/моль*
Вода (жидкая)	H ₂ O	18	283
Вода (газ)	H ₂ O	18	241
Углекислота (газ)	CO ₂	44	396
Оксид углерода (газ)	CO	28	113
Метан (газ)	CH ₄	16	74
Оксид азота (газ)	NO	30	90,5
Аммиак (газ)	NH ₃	17	43,5
Хлористый водород (газ)	HCl	36,5	91,7
Оксид алюминия	Al ₂ O ₃	102	1668
Оксид кальция	CaO	56	631,8
Углекислый калий	K ₂ CO ₃	138	1146
Аммиачная селитра	NH ₄ NO ₃	80	355
Азотнокислый калий	KNO ₃	101	490
Перхлорат аммония	NH ₄ ClO ₄	117,5	282
Тротил	C ₇ H ₅ N ₃ O ₆	227	56,5
Динитронафталин	C ₁₀ H ₆ O ₄ N ₂	218	-35,2
Тетрил	C ₇ H ₅ O ₈ N ₅	287	41,8
Гексоген	C ₃ H ₆ O ₆ N ₆	222	-87,4
Тэн	C ₃ H ₈ O ₁₂ N ₄	316	512,9
Нитроглицерин	C ₃ H ₅ (ONO ₂) ₃	227	350,7
Нитроглицоль	C ₃ H ₄ (ONO ₂) ₂	152	233,6
Коллоидный хлопок (12,2%)	C _{22,5} H _{28,8} O ₃₆ N _{8,7}	1000	2722,2
Гремучая ртуть	Hg(CNO) ₂	284,5	273,6
Стеарат кальция	C ₃₆ H ₇₀ O ₂ Ca	607	2686
Бумага (целлюлоза)	C ₁₀ H ₈ O ₅	162	—
Древесная мука	C ₁₅ H ₂₂ O ₁₀	362	—
Уголь	C	12	266,7
Парафин	C ₂₄ H ₅₀	338,5	—
Сернокислый калий	K ₂ SO ₄	—	1442,2

число образовавшихся молей продуктов взрыва; Q_{H1} , Q_{H2} , ... — теплота образования компонентов взрывчатой смеси; N_1 , N_2 , ... — число их киломолей в 1 кг смеси; M_1 , M_2 , ... — молекулярная масса компонентов.

Теплота образования некоторых ВВ, составных частей взрывчатых смесей и продуктов взрыва приведена в табл. 2.4.

Теплота взрыва ВВ, имеющих отрицательный кислородный баланс, зависит от плотности заряда. С увеличением плотности теплота взрыва возрастает, причем в тем большей степени, чем более отрицательный кислородный баланс. Это объясняется тем, что с увеличением плотности растет давление продуктов взрыва и соответственно смещается вправо равновесие реакции генераторного газа в продуктах взрыва, сопровождающееся выделением тепла,

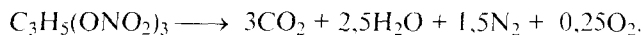


В целом теплота взрыва большинства ВВ находится в пределах 3200—6600 кДж/кг. Сравнивая с теплотой сгорания 1 кг, например, угля

или бензина (соответственно 33 600 и 42 000 кДж), видно, что при взрыве энергии выделяется в 5—12 раз меньше. Если рассчитать теплоту горения 1 кг смеси топлива с кислородом, то разница становится меньше, но еще достаточно большая — в 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 за счет скорости высвобождения энергии.

Для расчета теплоты взрыва необходимо знать уравнение взрывчатого превращения ВВ.

Например, требуется определить теплоту взрыва нитроглицерина, взрывчатое превращение которого протекает следующим образом:



Теплота образования нитроглицерина $Q_{12} = 351$ кДж/моль. Теплота образования продуктов взрыва

$$Q_{1-3} = Q_{\text{CO}_2} + Q_{\text{H}_2\text{O}} = 3q_{\text{CO}_2} + 2,5q_{\text{H}_2\text{O}} = 3 \cdot 396 + 2,5 \cdot 241 = 1790 \text{ кДж/моль}.$$

Теплота взрыва при постоянном давлении

$$Q_{23} = Q_{1-3} - Q_{12} = 1790 - 351 = 1439 \text{ кДж/моль}.$$

Теплота взрыва при постоянном объеме Q_V связана с Q_p следующими выражениями:

если охлаждение продуктов взрыва идет до 15°C (288 К), то $Q_V = Q_p + 0,572 n$;

если до 25°C (298 К), то $Q_V = Q_p + 0,592 n$
(где n — число молей газообразных продуктов взрыва).

Следовательно, если принять температуру среды за 15°C , то

$$Q_V = 1439 + 0,572(3 + 2,5 + 1,5 + 0,25) = 1439 + 4,2 = 1443,2 \text{ кДж/моль}.$$

В расчете на 1 кг ВВ выделившаяся теплота составит

$$Q_1 = Q_V \cdot 1000/M_{\text{ВВ}} = 1443 \cdot 1000/227 = 6357 \text{ кДж/кг}.$$

Температура взрыва — максимальная температура, до которой нагреваются продукты взрыва. Из-за сложности опытного определения по спектру светового излучения температуру взрыва обычно вычисляют, принимая процесс взрыва адиабатическим. В действительности имеются потери тепла на нагревание окружающей среды и некоторое расширение газов. Время реакции промышленных ВВ настолько мало, что этими факторами можно пренебречь.

Температура взрыва вычисляется по формуле

$$T = \frac{Q_v}{\sum n C_V}, \quad (2.19)$$

где Q_v — теплота взрыва ВВ, кДж/моль; $C_V = a + bT$ — теплоемкость

отдельных продуктов взрыва при постоянном объеме, зависящая от температуры, Дж/(моль·°С); a и b — эмпирические коэффициенты.

Подставив значение C_V и решив уравнение относительно T , получим

$$T = \frac{-\Sigma na + \sqrt{(\Sigma na)^2 + 4\Sigma nbQ_1}}{2\Sigma nb} \quad (2.20)$$

Продукты взрыва состоят из газов, теплоемкость которых различна, поэтому величина Σna означает суммарную мольную теплоемкость всех газов взрыва при температуре 0° С, т. е. $\Sigma na = n_1a_1 + n_2a_2 + \dots$.

Точно так же величина Σnb означает суммарное приращение мольной теплоемкости газов при повышении их температуры на 1° С, т. е. $\Sigma nb = n_1b_1 + n_2b_2 + \dots$.

Теплоемкость некоторых газов в зависимости от температуры, Дж/(моль·°С)

Для газов:

двухатомных	$4,8 + 4,5 \cdot 10^{-4} T$
трехатомных	$7,2 + 4,5 \cdot 10^{-4} T$
четыреатомных	$10 + 4,5 \cdot 10^{-4} T$
Углекислота	$9,8 + 5,8 \cdot 10^{-4} T$
Пары воды	$4 + 21,5 \cdot 10^{-4} T$

Зная температуру взрыва, можно правильно выбрать тип ВВ при взрывании в шахтах, опасных по скоплению газа и пыли. Температура взрыва колеблется от 1800° С для предохранительных ВВ до 4500° С для гексогена и тэна. При этом максимальная температура, до которой могут нагреваться продукты взрыва, зависит от состава, влажности ВВ и вида образуемых продуктов взрыва. Температура увеличивается при добавке алюминиевой пудры и уменьшается при введении в состав ВВ инертных солей.

Объем газов взрыва согласно закону Авогадро равен объему, который занимает 1 моль различных газов при 0° С и давлении $1,01 \cdot 10^5$ Па, и составляет $22,42 \cdot 10^{-3}$ м³. Объем газов (м³), образующихся при взрыве 1 кг ВВ,

$$V_0 = \frac{22,42 (n_1 + n_2 + \dots + n_k)}{m_1M_1 + m_2M_2 + \dots + m_nM_n}, \quad (2.21)$$

где n — число молей газообразных продуктов взрыва; m — число молей составных частей ВВ; M — относительная молекулярная масса составных частей ВВ.

При постоянном давлении и любой температуре объем (м³) газов при взрыве 1 кг ВВ определяют по формуле

$$V_1 = V_0(1 + T_r/273), \quad (2.22)$$

где T_r — температура газов взрыва, °С.

Объем газов, образуемых какой-либо смесью компонентов (хими-

ческих соединений или элементов), определяется как сумма объемов газов, образуемых отдельными компонентами смеси.

При взрыве заряда выделяются газы, оказывающие огромное давление на окружающую среду. Оно зависит от удельного объема газов, температуры взрыва, плотности заряда и других факторов.

Давление газов взрыва в зарядной камере определяется исходя из объединенных законов Бойля—Мариотта и Гей-Люссака по уравнению Клайперона:

$$p = \frac{p_0 V_0 T}{273 V}, \quad (2.23)$$

где $p_0 = 1,01 \cdot 10^5$ Па — атмосферное давление при температуре 0°C ; V_0 — объем газов взрыва ВВ (м^3) при 0°C и давлении $1,01 \cdot 10^5$ Па; T — температура взрыва, считая от абсолютного нуля, К; V — объем зарядной камеры, м^3 .

Для идеальных газов

$$T = T_c + 273 \text{ К},$$

где T_c — температура газов взрыва, $^\circ \text{C}$.

При очень высоком давлении, которое в момент взрыва возникает в зарядной камере (шпуре), плотность газов взрыва близка к плотности жидкости. При определении давления газов взрыва нельзя пренебрегать объемом молекул этих газов. Поэтому давление газов взрыва рассчитывают по упрощенному уравнению Ван-дер-Ваальса (расчет «статического давления газов при мгновенном взрыве»)

$$p = \frac{p_0 V_0 T}{273 (V - \alpha)}, \quad (2.24)$$

где α — коволюм газов взрыва, определяемый объемом, занятым молекулами.

При плотности заряжания ВВ, равной $0,5\text{—}1,0 \text{ г/см}^3$, $\alpha = 0,001 V_0$. Для твердых продуктов взрыва коволюм определяют по выражению

$$\alpha_T = \frac{n_T A / \gamma_T}{M_{\text{ВВ}}}, \quad (2.25)$$

где n_T — количество атомов выделившегося твердого продукта (углерода); A — атомная масса твердого продукта; γ_T — удельная масса твердого продукта; $M_{\text{ВВ}}$ — молекулярная масса ВВ.

Объем зарядной камеры заменим на плотность заряжания ВВ ($\Delta = M/V$). Тогда при $M = 1$ (единичная масса) получим уравнение для расчета давления газов взрыва:

$$p = \frac{p_0 V_0 T}{273 \left(\frac{1}{\Delta} - \alpha \right)} = \frac{p_0 V_0 T \Delta}{273 (1 - \alpha \Delta)}. \quad (2.26)$$

Например, требуется определить давление газов при взрыве заряда тротила, имеющего плотность заряжания $0,9 \text{ кг/дм}^3$, температуру взры-

ва 2950°C и удельный объем газов взрыва 750 л/кг . Для этого находим температуру взрыва:

$$T = T_c + 273 = 2950 + 273 = 3223^{\circ}\text{C}.$$

Затем определяем расчетное давление газов при взрыве 1 кг заряда тротила

$$p = \frac{1,03 \cdot 750 \cdot 3223 \cdot 0,9}{273 (1 - 0,001 \cdot 750 \cdot 0,9)} = 2,6 \cdot 10^9 \text{ Па}.$$

Эти расчеты дают достаточное представление о качественном влиянии отдельных факторов, и в особенности плотности заряда (заряжения), на эффект взрыва.

Удельная энергия ВВ F , т. е. энергия, отнесенная к единице массы, равна

$$F = p_0 V_0' T / 273. \quad (2.27)$$

Давления, развивающиеся при взрывах различных ВВ, могут достигать от $0,3$ до 20 МПа и выше. Возможны они благодаря огромным скоростям протекания самоускоряющихся реакций.

Контрольные вопросы

1. В каких формах проявляется работа взрыва?
2. Дайте характеристику распределению энергии взрыва. Каковы значения полного и полезного к.п.д. взрыва?
3. Назовите основные характеристики ВВ, определяющие его потенциальную энергию, потенциальную и фактическую работу.
4. Что называется теплотой взрыва?
5. По какой формуле вычисляется температура газов?
6. Напишите выражение для определения объема газов взрыва.

§ 5. Экспериментальные характеристики взрыва

Превращение тепла взрыва в механическую работу происходит со значительными потерями. Поскольку точная теоретическая оценка полезных форм работы взрыва пока невозможна, различные ВВ сравниваются между собой несколькими экспериментальными способами. В дополнение к вышеупомянутым характеристикам взрыва экспериментальным путем определяют характеристики, дающие относительную оценку ВВ.

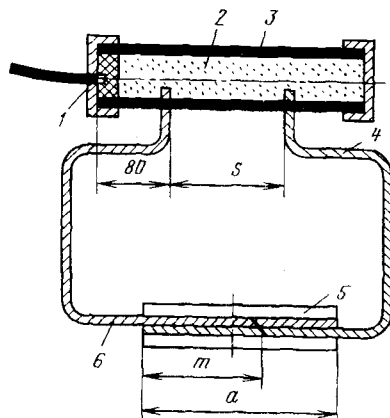
Промышленные ВВ подвергаются следующим испытаниям.

1. Для оценки взрывчатых свойств, характеризующих эффективность, производят экспериментальное определение скорости детонации, бризантности, работоспособности. Кроме того, экспериментальным путем для новых сортов определяют теплоту и работу продуктов взрыва, объем, температуру и давление газов взрыва.

2. Для проверки качества ВВ, их соответствия ГОСТу и пригодности к применению определяют полноту детонации, способность к передаче

Рис. 2.11. Схема к определению скорости детонации по методу Дотриша:

1 — инциатор; 2 — заряд ВВ; 3 — оболочка; 4 и 6 — отрезки ДШ длиной соответственно L_1 и L_2 ; 5 — свинцовая пластинка



детонации от патрона к патрону, влажность ВВ, химическую и физическую стойкости.

Для ВВ, содержащих нитроэфиры более 15%, определяют экссудацию — выделение жидких нитроэфиров на оболочке патронов.

3. Для оценки чувствительности и опасности ВВ в обращении определяется чувствительность к тепловому импульсу, к удару и трению, к инициированию, склонность к пылению, электризации.

4. Для характеристики технологичности применения ВВ определяют сыпучесть, дисперсность, увлажняемость, водостойчивость, раскисляемость, слеживаемость.

Определение скорости детонации осуществляется скоростной киносъемкой, фоторегистраторами, точными приборами (осциллографами), реостатными датчиками и сравнением скорости детонации испытываемого ВВ со скоростью детонации стандартного образца (метод Дотриша).

Осциллографический метод может быть применен только в том случае, если испытуемое ВВ не является токопроводящим.

Стандартный метод определения скорости детонации — *метод Дотриша*. В полевых условиях геологоразведочных партий более удобен метод Дотриша, модернизированный М. Я. Сухаревским и Ф. А. Першаковым, не требующий лабораторного оборудования. Сущность метода заключается в следующем: на боковой поверхности патрона по оси заряда диаметром 31 ± 1 мм и длиной 300 мм делают два отверстия, расстояние между ними 200 мм, в них вставляют концы отрезков ДШ (рис. 2.11). Расстояние от отверстия до капсуля-детонатора должно быть 80–100 мм. Два других конца шнура прикрепляют изоляционной лентой к жестяной пластинке толщиной 0,3–0,5 мм с прокладкой толщиной 10 мм.

При взрыве детонация распространяется по заряду и обоим ветвям ДШ. Длину отрезков шнура (обычно 0,6–1,1 м) рассчитывают так, чтобы встреча волн детонации произошла в пределах пластинки, на

которой в этом месте остается диагональная вмятина. Скорость детонации (м/с) вычисляют, исходя из равенства времени распространения детонационных волн по отрезку 4 , заряду ВВ и отрезку 6 (см. рис. 2.11), т. е.

$$\frac{L_1 - a + m}{v_{\text{ДШ}}} = \frac{S}{v_{\text{ВВ}}} + \frac{L_2 - m}{v_{\text{ДШ}}}, \quad (2.28)$$

где S — расстояние между отверстиями, в которые вставлены отрезки ДШ; a — длина свинцовой пластины; m — расстояние от конца пластины до точки встречи волн (углубления); $v_{\text{ВВ}}$ и $v_{\text{ДШ}}$ — скорости детонации соответственно ВВ и ДШ.

Откуда

$$v_{\text{ВВ}} = \frac{S v_{\text{ДШ}}}{L_1 - L_2 - a + 2m}. \quad (2.29)$$

Поскольку скорость детонации зависит от плотности ВВ, при испытаниях необходимо обеспечивать плотность, присущую ВВ в промышленных условиях.

Определение скорости детонации с помощью искровых хронографов, скоростной съемки свечения в зарядах, зеркальной фоторазвертки и другими способами сложно и применяется только при специальных исследованиях.

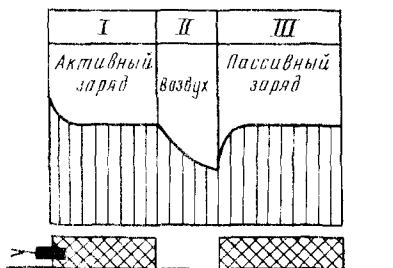
Детонационную способность пороха определяют в зарядах массой 8 кг, располагаемых на глубине 1 м в шурфах размером 0,5×0,5 м или канавах. Если порох не детонирует от детонатора из заряда аммонита 6ЖВ массой 2 кг, то партию бракуют.

Важной экспериментальной характеристикой является *расстояние передачи детонации от заряда к заряду*. Вероятность передачи детонации важна для надежного взрывания зарядов, состоящих из отдельных патронов или с воздушными промежутками, для установления толщины стен между ячейками хранилищ ВВ, обеспечивающих локализацию взрыва в одной из них, для проектирования средств заряжания.

Детонационная волна на границе заряда вызывает в окружающей среде ударную волну, которая вместе с продуктами взрыва в воздухе может вызвать взрыв другого заряда, если он не очень удален от первого. Первый заряд называется активным, второй — пассивным.

Дальность передачи детонации возрастает с увеличением массы и теплоты взрыва ВВ активного заряда, а на близких расстояниях — также с увеличением скорости детонации и плотности ВВ. Расстояние передачи растет с увеличением чувствительности ВВ пассивного заряда. С увеличением плотности пассивного заряда расстояние передачи детонации уменьшается. Дальность передачи детонации зависит также от плотности и упругости среды, в которой распространяется ударная волна: чем больше упругость и меньше плотность среды, тем больше дальность передачи детонации. Детонация через воздух передается на большее расстояние, чем через преграду (воду, дерево, глину, песок и т. д.).

Рис. 2.12. Взаимные переходы детонационной и ударной волны при передаче детонации на расстояние



В воздухе промышленные патронированные ВВ детонируют, если промежутки между патронами диаметром в 32–36 мм достигают 2–18 см. В воде это расстояние уменьшается в 5–6 раз, в известняках в 9–12 раз, в песке — в 2–8 раз. Передача детонации при наличии облоочки увеличивается до 3–5 раз и более.

Испытание ВВ на передачу детонации производится следующим образом. Два патрона укладываются на ровной поверхности грунта так, чтобы они находились на одной оси. В один патрон вставляется электродетонатор или капсюль-детонатор с отрезком огнепроводного шнура, он является боевиком или активным патроном; второй патрон является пассивным. Детонатор вставляется с внешней стороны патрона. Между торцами патронов вставляются шаблоны размером, соответствующим требованию ГОСТа или ТУ. Патроны плотно прижимают к шаблонам и по ним шаблоны убираются.

После подрыва патрона-боевика исследуется место укладки обоих патронов. Если на месте расположения патронов в грунте образовались два углубления и длина каждого из них не меньше длины патрона, то, следовательно, детонация от боевого патрона передалась пассивному и оба патрона полностью взорвались. Если будет обнаружено только одно углубление и длина его меньше суммарной длины двух патронов, то фиксируется отказ передачи детонации.

Если при трех испытаниях получена передача детонации, то считается, что ВВ выдержало испытание.

Взаимные переходы детонационной волны (I) в ударную (II) и обратно (III) при передаче детонации на расстояние схематично показаны на рис. 2.12.

В случае отказа число опытов удваивается. Если при этом повторяются отказы, то партия ВВ бракуется. Снявшие патроны аммонита перед испытанием разминают. При испытании ВВ, поступивших на склад в мешках, изготавливают патроны диаметром 31 ± 1 мм и массой 200 ± 10 г при плотности ВВ в патроне $0,95\text{--}1,05$ г/см³. Затем проводят испытания. Испытание водостойчивых ВВ проводят после выдержки патронов в воде на глубине 1 м в вертикальном положении в течение 1 ч. Патроны помещают в специальные футляры с отверстиями. При испытании к нижнему концу активного заряда должен быть обращен верхний конец пассивного заряда. Сами испытания проводят по обыч-

ной методике. В характеристиках патронированных ВВ обязательно указывается расстояние, на которое передается детонация между патронами. Эта величина является косвенной мерой чувствительности ВВ к внешнему импульсу. Чем больше расстояние, тем надежнее детонирует заряд.

Патроны водоустойчивых ВВ перед испытанием погружают в воду в вертикальном положении на глубину 1 м от нижнего торца.

Испытания на полноту детонации проводят для определения детонационной способности одного или нескольких патронов ВВ. Патроны укладывают на полигоне в один ряд торцами встык. Полнота детонации определяется по углублениям в грунте на месте расположения патронов и по отсутствию остатков бумаги и ВВ. Гранулированные ВВ помещают при насыпной плотности в бумажную гильзу заданного диаметра длиной более пяти диаметров заряда. Заряд инициируют капсюлем-детонатором через промежуточный детонатор (патрон аммонита 6ЖВ массой 200 г или шашка). При взрыве допускается разброс отдельных гранул и остатков бумажной оболочки. Партия ВВ считается выдержавшей испытания, если при трех опытах наблюдается полная детонация. В случае получения отказа число опытов удваивается, и при повторном отказе партия ВВ бракуется. Установлено, что гранулированные и водосодержащие ВВ устойчиво детонируют при размещении заряда в массиве горных пород при диаметрах в 3—4 раза меньших, чем диаметр открытого заряда.

Характеристики ВВ, определяющие их способность производить общую работу и местное дробящее действие взрыва, называют *работоспособностью*. Общее действие взрыва, называемое фугасностью, проявляется в разрушении (дроблении), отрыве и метании значительных масс горных пород. Процесс заканчивается, когда остаточное давление газов уравнивается противодавлением среды.

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

Местное действие взрыва, называемое бризантностью, совершается в непосредственной близости от поверхности заряда. Проявляется оно в очень сильном дроблении среды и происходит со значительными затратами энергии на пластические деформации. Определяется бризантное действие плотностью энергии на фронте детонационной волны пропорциональной произведению плотности на квадрат скорости детонации ρD^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 в ряде случаев могут достигать значительных величин, ухудшая общее действие взрыва. Бризантным действием обладают взрывчатые вещества, для которых характерным видом взрывчатого превращения является детонация.

Наиболее простым и распространенным методом определения фугасной работы взрыва является испытание ВВ по способу Траунцля

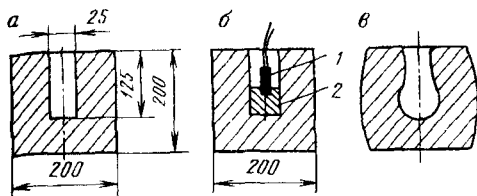


Рис. 2.13. Испытания ВВ на работоспособность:
а - бомба Трауэля; *б, в* - бомба соответственно до взрыва и после; 1 - электродетонатор; 2 - заряд ВВ

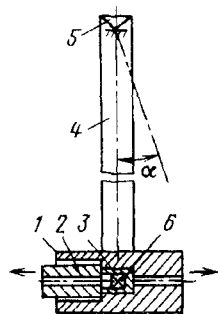


Рис. 2.14. Схема к определению работоспособности ВВ в баллистической мортире:

1 - мортира; 2 - снаряд; 3 - вкладыши;
 4 - подвеска; 5 - опора; 6 - заряд ВВ

свинцовой бомбе. Свинцовая бомба (рис. 2.13) представляет собой цилиндр диаметром и высотой по 200 мм из рафинированного свинца. По оси бомбы просверлен канал диаметром 25 мм и глубиной 125 мм. Канал имеет объем 61 см^3 . Внутри канала не должно быть раковин, поверхность свинцового цилиндра не должна иметь отслоений. На дно канала помещают 10 г испытываемого ВВ, завернутого в оловянную фольгу, с капсюлем-детонатором или электродетонатором таким образом, чтобы дно его находилось от дна патрона на расстоянии $1/3$ высоты заряда. Затем канал засыпают сухим мелким кварцевым песком без уплотнения и взрывают заряд ВВ.

После взрыва канал бомбы принимает грушевидную форму. Его очищают от песка и замеряют образовавшийся объем полости при помощи воды, наливаемой из мерного сосуда. Из полученного объема полости вычитают объем канала бомбы до взрыва (61 см^3), а также объем расширения, полученный за счет взрыва детонатора ($28,5\text{—}30 \text{ см}^3$). Разность объемов характеризует величину относительной работоспособности данного ВВ. Эта разность объемов и принимается за меру работоспособности, которая у большинства ВВ составляет $250\text{—}550 \text{ см}^3$.

Работоспособность ВВ определяют также с помощью баллистической мортиры или маятника.

Баллистическая мортира (рис. 2.14) представляет собой массивный цилиндр, подвешенный на тягах в виде маятника. В корпусе имеются взрывная камера, где подрывается заряд (обычно массой 10 г), и расширительная камера, в которой помещается массивный поршень-снаряд. При взрыве поршень-снаряд выбрасывается из мортиры, а сама мортира отклоняется на некоторый угол α , фиксируемый специальным устройством.

По углу отклонения мортиры оценивается эффективность ВВ. За стандарт принимается отклонение мортиры при взрыве ВВ массой

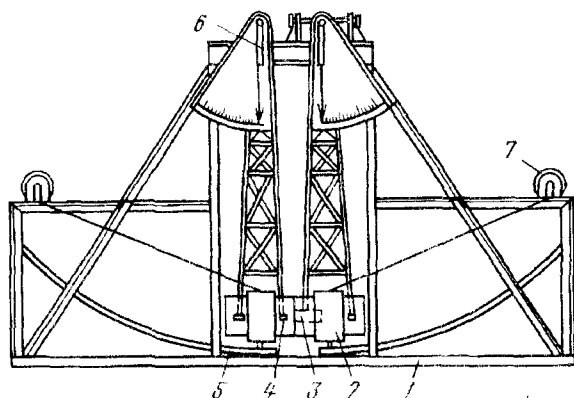


Рис. 2.15. Схема двухмаятниковой баллистической установки:

1 - рама; 2 - мортира; 3 - заряд ВВ; 4 - подвеска; 5 - ловитель; 6 - фиксатор угла отклонения мортиры; 7 - лебедка для спуска мортиры

10 г. Для сравнительной оценки другого ВВ определяют заряд, вызывающий такое же отклонение мортиры.

На рис. 2.15 показана схема двухмаятниковой баллистической установки. В торце одного из маятников имеется камера для заряда ВВ массой 10 г, торец второго маятника закрывает зарядную камеру. При взрыве заряда оба маятника отклоняются практически на одинаковый угол.

Работоспособность вычисляют по формуле

$$E = 2Mg(1 - \cos \alpha), \quad (2.30)$$

где M — масса одного маятника; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения; l — длина подвески маятника; α — угол отклонения маятника (для промышленных ВВ $\alpha = 20 \div 35^\circ$).

Угол отклонения маятника при испытании промышленных ВВ составляет от 14° (углинисты) до 33° (детониты, аммониты). Работоспособность ВВ относительно тротила по данным испытания и по способу Трауцля расходится не более чем на 7%. Столь малое расхождение результатов испытания позволило заменить испытания по способу Трауцля испытаниями на данной установке.

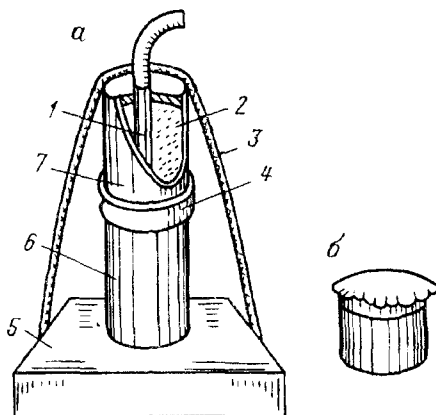
Работоспособность грубодисперсных ВВ оценивают по воронкообразованию (взрывают заряд в заданной горной породе и определяют объемы разрушения) или по дроблению породных блоков и кубиков (взрывают блоки или кубики и определяют качество дробления).

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

Бризантность принято оценивать величиной кинетической энергии продуктов детонации

Рис. 2.16. Схема к определению бризантности ВВ:

а — устройство перед взрывом; *б* — обжатый свинцовый столбик



$$E = Qv_d^2/2. \quad (2.31)$$

где Q — масса заряда, кг; v_d — скорость детонации, м/с.

Бризантность определяют по формуле Каста

$$B = Fv_d/\rho. \quad (2.32)$$

где F — сила взрыва, определяемая из отношения $p_0 V_0^2 T/273$; ρ — плотность ВВ.

Стандартные испытания на бризантность ВВ (рис. 2.16) с критическим диаметром до 60 мм проводят с помощью обжатия свинцовых столбиков 6 с зарядами 2 массой 50 г при плотности 1 г/см³ в бумажных патронах 7 диаметром 40 мм (проба Гесса). Между столбиком и зарядом прокладывают стальную пластину 4 диаметром 41 мм, а столбик располагают на массивной подставке 5. Устройство в сборе закрепляют шпагатом 3, взрывание производят капсюлем-детонатором 1. О бризантности судят по величине обжатия столбика, т. е. по разности между средней его высотой до и после взрыва, выраженной в миллиметрах. Бризантность большинства ВВ равна 14—25 мм.

Метод Гесса применяется только в качестве контрольного или приемочного на заводах-изготовителях. Для определения бризантности грубодисперсных и гранулированных ВВ, у которых критический диаметр открытого заряда больше 40 мм, их размещают в стальных кольцах. Получаемые при таких испытаниях результаты несравнимы с результатами, полученными при взрыве открытых зарядов.

Для наиболее мощных ВВ (гексоген, тэн) при определении бризантности применяют заряды массой 25 г, так как заряд массой 50 г разрушает цилиндр. Эти результаты трудно сопоставимы со стандартными.

Бризантность ВВ с предельным диаметром детонации не более 20 мм оценивают по пробе Каста — по обжатию медных крешерных столбиков.

Чувствительность ВВ к внешним 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. Внешнее воздействие, необходимое для возбуждения детонации заряда ВВ, называется инициирующим (начальным) импульсом. Возбуждение взрыва помощью начального импульса называется инициированием. Степень восприимчивости ВВ к начальному импульсу зависит от химического состава и физического состояния ВВ. Химический состав определяет прочность внутримолекулярных связей ВВ. Энергия начального импульса должна быть достаточной для нарушения внутримолекулярных связей хотя бы небольшой части молекул ВВ. Горение некоторых участков ВВ вследствие самоускорения приводит к образованию ударной волны. Если давление в ударной волне превосходит некоторое критическое значение, то процесс переходит в детонацию. Если давление в волне меньше критического, то она распространяется по заряду как в инертной среде с постепенным затуханием (снижением давления и скорости).

Физические свойства и условия по-разному влияют на восприимчивость ВВ к начальному импульсу. С увеличением влажности и плотности восприимчивость ВВ снижается, с уменьшением крупности частиц — повышается. Восприимчивость к начальному импульсу определяется также состоянием ВВ (порошкообразное, гранулированное, литое, прессованное и т. д.).

Восприимчивость к определенному внешнему импульсу, вызывающему горение или детонацию, называется чувствительностью ВВ.

ВВ характеризуются различной чувствительностью к внешним воздействиям. Наиболее чувствительные — инициирующие ВВ, которые применяют в капсюлях-детонаторах и электродетонаторах. Промышленные ВВ обладают низкой чувствительностью. Например, диазидотетразол взрывается от прикосновения пгичьего пера, азид свинца — от легкого удара, тротил не взрывается от удара винтовочной пули, игланил — от взрыва 15—20 капсюлей-детонаторов.

В процессе изготовления, перевозки, хранения и применения ВВ подвергаются неизбежному тепловому и механическому воздействию, вызванному случайными факторами или технологической необходимостью. Непосредственно при проведении взрывных работ в качестве источников начального импульса используются капсюли-детонаторы (КД), электродетонаторы (ЭД), детонирующие шнуры (ДШ) и другие средства, инициируемые в свою очередь термической энергией огнестойкого шнура (ОШ) или электроискрой.

Таким образом, чувствительность ВВ необходимо знать с одной стороны, для обеспечения безопасности производства, транспортировки, хранения и заряжания ВВ, с другой — для обеспечения надежного инициирования зарядов при взрывных работах.

Формы энергии начального импульса могут быть различными: эн-

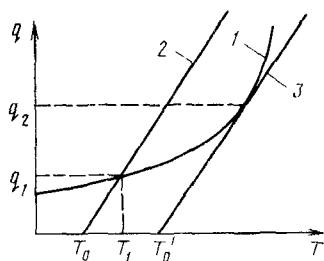
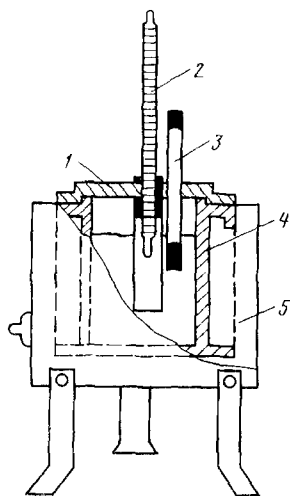


Рис. 2.17. Изменение соотношения между теплоприходом и теплоотводом при нагреве среды

Рис. 2.18. Термостат для определения температуры вспышки:

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



механическая (удар, трение), тепловая (луч, огонь) энергия, а также энергия взрыва другого ВВ и т. д. Только совокупность испытаний на различные виды внешних воздействий может дать всестороннюю характеристику чувствительности и опасности ВВ.

Допустим, что температура среды равна T_0 . Тогда температура ВВ за счет саморазогрева при разложении поднимается до величины T_1 (рис. 2.17). При ней обеспечивается равенство теплоприхода (кривая 1) и теплоотвода (прямая 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 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 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. При

очень медленном нагреве вспышки может и не быть из-за разложения ВВ в области малых температур. Вспышки может не быть и при очень быстром нагреве — из-за быстрого плавления и кипения ВВ с образование паров низкой плотности. Например, тротиловые навески массой 0,05 г вспыхивают при бросании в пробирку с температурой 320° С и бесследно разлагаются при температуре пробирки 400° С.

Для обеспечения сопоставимости чувствительности различных ВВ испытания необходимо проводить в одинаковых условиях.

Температуру вспышки определяют в термостате (рис. 2.18). Навеску ВВ массой 0,05 г помещают в пробирку и опускают в баню с легкоплавким сплавом Вуда, предварительно нагретым до 100° С. Повышая температуру бани со скоростью 20° С в минуту, определяют температуру при которой происходит вспышка.

Температура вспышки различных ВВ, °С

Гремучая ртуть	160	165
Тетрил	195	200
Нитроглицерин	200	205
Тол	215	220
Гексоген	230	
Аммонит 6ЖВ	320	340
Тротил	290	395
Азид свинца	330	

Интересно отметить, что опасный в обращении азид свинца взрывается при температурах, больших, чем менее опасные тол, гексоген.

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

Оценка чувствительности к лучу огня осуществляется поджиганием 1 г навески ВВ в пробирке с отрезком ОШ. Варьируя зазором, определяют максимальное расстояние между ВВ и торцом ОШ, при котором происходит поджигание ВВ. Большинство бризантных ВВ в условиях свободного оттока образующихся газов сгорают без взрыва. Наличие оболочки для многих ВВ обеспечивает переход горения во взрыв. Пластичные динамиты взрываются от луча огня и без оболочки.

По чувствительности к лучу огня огнестойкого шнура ВВ можно подразделить на следующие группы: детонирующие от луча огня — все инициирующие ВВ; взрывающиеся или вспыхивающие — дымный порох и сухая нитроклетчатка; загорающиеся — тетрил и динамиты; незагорающиеся и не взрывающиеся — аммониты, тротил, гексоген.

Температура вспышки не характеризует полностью воспламеняемость ВВ от луча огня или искры. Например, дымный порох, имеющий температуру вспышки 300—315° С, воспламеняется легче, чем бездымный порох, имеющий температуру вспышки 180—200° С.

Возбуждение взрыва механическим воздействием представляется следующим образом.

Рис. 2.19. Схема определения чувствительности ВВ к удару на копре

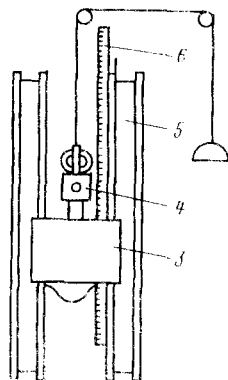
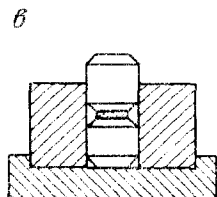
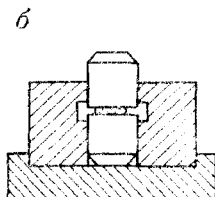
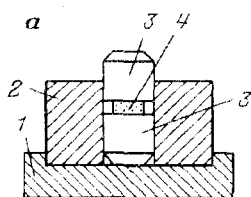
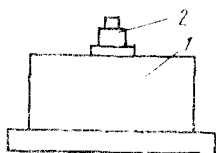


Рис. 2.20. Штемпельные приборчики для определения чувствительности ВВ к удару падающим грузом:

a — приборчик № 1; *б* — приборчик № 2; *в* — стандартный приборчик; 1 — подложка; 2 — муфта; 3 — стальные ролики; 4 — насадка ВВ



Часть энергии механического воздействия трансформируется в тепловую. В случае удара происходят локальные разогревы за 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 таких точек образуется и развивается очаг теплового возбуждения такой величины и интенсивности, что выделяющаяся энергия реакций обеспечивает постепенное его превращение в зону химической реакции стационарной детонационной волны.

Чувствительность ВВ к удару обычно определяют на вертикальных или дуговых копрах. Вертикальный копер (рис. 2.19) состоит из массивной наковальни 1, укрепленной на фундаменте, на которую устанавливают штемпельный роликовый приборчик 2 с навеской испытуемого ВВ. Падающий груз 3 при помощи специального держателя 4 может быть заключен на необходимой высоте между двумя направляющими рейками 5. Эта высота определяется с помощью рейки 6. Срабатывание

держателя происходит дистанционно от рукоятки троса, что обеспечивает необходимую безопасность обслуживающего персонала. В копре предусмотрено также приспособление, позволяющее улавливать груз при отскоке.

На рис. 2.20 показаны наиболее распространенные типы штемпельных приборчиков. Ролики выполняют роль бойка в наковальне. Чувствительность ВВ к удару в значительной степени зависит от многих факторов, в частности от состояния поверхности роликов и наличия на их краях фасок, качества стали, из которой они изготовлены, и степени закалки. Поэтому цилиндрические и торцовые поверхности их тщательно шлифуются и точно центрируются по отношению к грузу. Термическая обработка их должна удовлетворять требованиям, предъявляемым к роликоподшипникам.

Навеску испытуемого ВВ массой 0,02—0,05 г укладывают на штемпельный прибор слоем толщиной 1 мм и диаметром 5 мм. В зависимости от высоты, с которой сбрасывается груз, может произойти или не произойти взрыв или вспышка ВВ. Для бризантных ВВ применяют вертикальные копры с грузами 5—20 кг и высотой падения до 3 м. Для инициирующих ВВ применяют рычажные копры с грузом массой 0,5—1,8 кг. Мерой чувствительности ВВ к удару служит минимальная высота, с которой при шестикратном сбрасывании груза определенной массы происходит хотя бы только один взрыв или одна вспышка ВВ.

Взрывчатые вещества, имеющие чувствительность к удару менее 7 см, считаются очень чувствительными к удару, весьма опасными в обращении, и перевозка их в обычном порядке воспрещается. Чувствительность к удару гремучей ртути составляет 2 см, нитроглицерина — 4 см, азида свинца — 6 см, динамитов — 20—30 см, аммонитов — 70—100 см.

Существует и другой метод испытания на копре. Груз массой 10 кг сбрасывают с высоты 25 см и определяют процент взрывов, получившихся в 25 опытах, который и служит сравнительной характеристикой чувствительности ВВ к удару.

Испытывая ВВ на обоих приборах, получают более полное представление о его чувствительности, так как меняются условия течения вещества под нагрузкой.

Этими испытаниями установлено, что наиболее чувствительными к удару являются ВВ, содержащие гексоген, жидкие нитроэфир (30—80% взрывов); обычные предохранительные аммониты, аммоналы дают 10—30% взрывов, скальные аммониты № 1 и № 3 — 30—60%, гранулиты (измельченные) — 0—12%. Минимальную чувствительность имеют игданит (0—4%) и водосодержащие ВВ, которые при этих испытаниях не дают ни одного взрыва.

Иногда определяют максимальную высоту сбрасывания ударника массой 2 кг, при которой не происходит ни одного взрыва, и минимальную высоту, при которой взрыв навески происходит при каждом сбрасывании (табл. 2.5).

При смешивании, патронировании, транспортировании по трубам

Таблица 2.5

Характеристика чувствительности некоторых ВВ

ВВ	Чувствительность к удару (минимальная высота падения груза массой 2 кг, при которой происходит взрыв), см	ВВ	Чувствительность к удару (минимальная высота падения груза массой 2 кг, при которой происходит взрыв), см
Аммонит 6ЖВ	30—75	Нитроглицерин	4
Гексоген	29	Тротил	60—70
Азид свинца	3—4	тэн	28

и шнекам и других технических операциях проявляется явление трения между частицами ВВ или между частицами ВВ и рабочими поверхностями различных установок. Сила трения тем больше, чем больше давление, направленное по нормали трущихся поверхностей, и коэффициент трения.

На преодоление сил трения тратится определенная энергия, которая реализуется или в виде механической работы (деформирование и истирание частиц ВВ и взаимодействующих с ними участков установок), или выделяется в виде тепла, которое идет на нагрев трущихся тел. При этом температура может повышаться настолько, что произойдет воспламенение ВВ или его взрыв.

Известно, что коэффициент трения при скольжении намного больше, чем при качении. Поэтому при механических способах заряжания применяют гранулированные ВВ, для которых трение качения является преобладающим, при этом условия для воспламенения и взрыва ВВ не возникают. Применение этих же ВВ в порошкообразном виде и тех же механических зарядчиках резко снижает безопасность взрывных работ и может привести к катастрофам и трагическим случаям.

Стандартного метода испытаний ВВ на чувствительность к трению пока не существует. Наиболее часто используют метод, основанный на истирании испытуемого вещества в специальном устройстве стальными поверхностями под определенной нагрузкой в течение продолжительного времени, или метод, основанный на создании трения ударного характера. В последнем случае для ужесточения условий опыта можно применять различные фрикционные материалы.

Поскольку сила трения зависит от множества различных факторов, то целесообразно опыты с различными ВВ проводить в одних и тех же условиях и определять сравнительную их чувствительность к трению по отношению к эталонному ВВ.

Испытания по определению чувствительности ВВ к трению проводятся на копке К-44-III. Скользящий удар вызывает трение между частицами ВВ или между ними и поверхностью соударяющихся тел (рис. 2.21).

Навеска ВВ массой 0,05 г сжимается между двумя роликами диаметром 10 мм до некоторого давления с помощью гидравлического пресса. При боковом ударе падающего груза маятника по ударнику в направлении стрелки верхний ролик сдвигается относительно нижнего, подвигая навеску ВВ действию трущего сдвига.

Вероятность взрыва зависит от давления прижатия навески ВВ

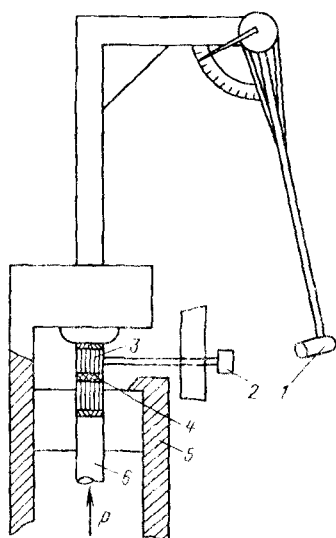


Рис. 2.21. Ковер для определения чувствительности ВВ к трению:

1 — ударник; 2 — стержень; 3 — ролик; 4 — навеска ВВ; 5 — станина копра; 6 — пуансон гидропресса

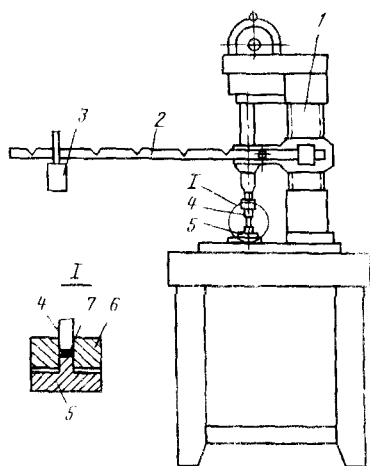


Рис. 2.22. Прибор для испытания ВВ на чувствительность к трению:

1 — сверлильный станок; 2 — рычаг нажатия; 3 — груз; 4 — верхний пуансон; 5 — нижний пуансон; 6 — корпус; 7 — навеска ВВ

между роликами. Изменяя эту величину, находят нижний, средний и верхний пределы чувствительности испытуемого ВВ, т. е. такие значения давлений, при которых частота взрывов равна 0, 50 и 100%. Давление прижатия контролируют при помощи двух манометров, включенных в гидросистему установки, один из которых имеет пределы измерения до $(15 \div 25) \cdot 10^5$ Па и служит для определения малых величин давления прижатия, а другой — до $(15 \div 20) \cdot 10^6$ Па.

В качестве эталонного ВВ обычно берут тетрил. Факт воспламенения или взрыва ВВ определяют по звуковому эффекту, вспышке, дымообразованию или нагару торцовых поверхностей роликов. После каждого опыта ролики тщательно очищают от остатков ВВ и нагара и протирают марлей, смоченной в ацетоне.

Кроме того, чувствительность ВВ к механическому воздействию определяется путем испытания навески ВВ в смеси с песком, увеличивающим чувствительность ВВ, на приборе вращательного действия. При этом определяется минимальная нагрузка, при которой при шести опытах не происходит вспышки навески ВВ. Сущность испытания состоит в том, что между двумя плоскими стальными поверхностями размещается навеска 0,05 г и растирается при частоте вращения верхней поверхности 150 мин^{-1} в течение 10 с и определенном давлении, которое создают подвешиванием на рычаг прижатия грузов массой 5, 10 и 20 кг. Схема прибора показана на рис. 2.22.

Инертные примеси, твердость и температура плавления которых существенно выше частиц ВВ (например, песок), повышают чувствительность ВВ к удару и к трению, а примеси с низкой температурой плавления (например, парафин) способствуют уменьшению чувствительности ВВ, так как часть энергии удара в этом случае расходуется на плавление легкоплавких примесей. На этом явлении основана флегматизация ВВ.

Чувствительность ВВ к инициирующему действию взрыва другого ВВ называется чувствительностью к детонации. Ударная волна инициирующего ВВ образует тепловой очаг возбуждения. При достаточных размерах и интенсивности очага выделяющаяся в нем энергия достаточна для преобразования ее в детонацию. Чем больше давление и продолжительность 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.

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. В неоднородных ВВ необходимый разогрев образуется лишь на механических неоднородностях вещества. Поэтому мощность инициирующей волны может быть значительно меньшей. Применяемые ВВ детонируют при сочетании обоих механизмов разложения. Критическое значение давления их инициирования находится в пределах 3 — 8 ГПа.

Увеличение диаметра заряда существенно снижает порог инициирования ВВ.

Помимо величины важно знать время действия инициирующего давления. Поэтому более точно чувствительность ВВ к инициированию оценивается критическим импульсом, равным произведению давления на время его действия.

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

В табл. 2.6 приведены минимальные инициирующие импульсы для некоторых ВВ.

Экспериментальное определение энергетических характеристик ВВ. Экспериментальные определения теплоты взрыва, состава и объема продуктов взрыва выполняют в специальных термометрических и ма-

Таблица 2.6

Восприимчивость ВВ к инициированию

ВВ	Минимальный инициирующий импульс (масса заряда), г	
	Греющей ртуть	Газовая смесь
Тротил (порошкообразный)	0,36	0,09
Аммонит 6ЖВ	0,14	
Динафалит	0,6	
Тетрил	0,15	0,025

нометрических бомбах. Применяемые для указанной цели бомбы представляют собой стальные толстостенные цилиндры с массивными крышками. Внутренний объем бомб составляет обычно от 30 л (бомба Бихеля) (рис. 2.23) до 50 л (бомба Долгова) (рис. 2.24). Перед взрывом воздух из бомбы выкачивают и измеряют остаточное давление. Иногда бомбу после вакуумирования заполняют инертным газом, например азотом.

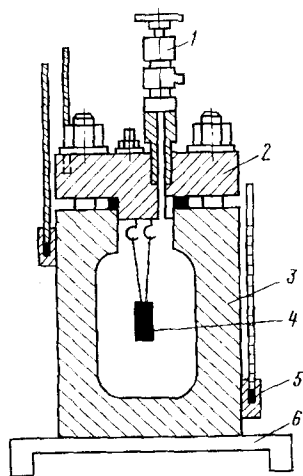


Рис. 2.23. Манометрическая бомба Бихеля:

1 — клапан для отбора газов после взрыва; 2 — крышка; 3 — корпус бомбы; 4 — заряд ВВ; 5 — термометры; 6 — деревянная подставка

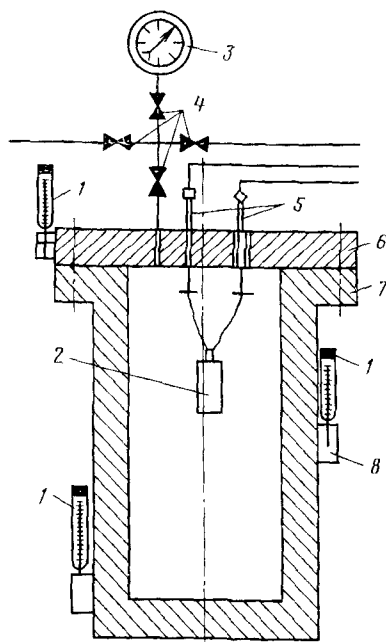


Рис. 2.24. Схема бомбы Долгова для определения объема газообразных продуктов взрыва:

1 — метастатические термометры Бекмана; 2 — заряд ВВ; 3 — мановакуумметр; 4 — клапаны; 5 — электроконтакты; 6 — крышка; 7 — корпус; 8 — клемма

Заряд ВВ в бомбе взрывают при помощи электрической спирали или электродетонатором (обычно взрывают заряды массой 50—100 г).

В целях сохранности бомбы плотность заряжения, т. е. отношение массы заряда к объему бомбы (или сосуда, в котором взрывается заряд), принимают не более $0,02 \text{ кг/дм}^3$.

Заряд ВВ иногда окружают свинцовой оболочкой, благодаря которой детонация происходит более полно в условиях, близких к практическим условиям применения ВВ.

Для измерения тепла, выделяющегося при взрыве, бомбу помещают в сосуд с точно измеренным количеством воды.

Для определения теплоты взрыва успешно применяют и непосредственное измерение повышения температуры корпуса бомбы после взрыва. Температуру фиксируют с помощью трех метастатических термометров Бекмана, помещенных в медные клеммы, расположенные на внешней стенке бомбы.

Количество тепла, выделившегося в бомбе и поглощенного телом бомбы или бомбой и водой, вычисляют умножением теплоемкости бомбы или системы «бомба плюс вода» на разность между конечной и начальной температурами воды или тела бомбы и относят полученный результат на 1 кг ВВ.

Бомбу калибруют как калориметр путем сжигания в ней навески безнойной кислоты в атмосфере кислорода.

Бомба после взрыва выдерживается в течение 60 мин для охлаждения и выравнивания температуры стенок с окружающей температурой. Затем измеряется давление внутри бомбы. Расчетным путем определяют объем газов, приведенный к нормальным условиям.

При охлаждении продуктов взрыва пары воды конденсируются на стенках бомбы. Объем конденсированной воды устанавливают, продувая бомбу сухим воздухом, который затем прогоняется через сосуды с хлористым кальцием. Воздух отдает хлористому кальцию воду, объем которой прибавляют к вычисленному объему газов.

После определения теплоты и объема газообразных продуктов взрыва можно с помощью газового анализа установить химический состав продуктов взрыва.

При проведении анализа большое внимание уделяют ядовитым газам взрыва — оксидам углерода и азота.

Состав продуктов взрыва может быть определен в практических условиях, например, взрыванием заряда ВВ в изолированном забое с последующим отбором проб газа для анализа.

После определения объема и состава продуктов взрыва и теплоты взрывчатого превращения можно рассчитать температуру взрыва. Опытное определение температуры взрыва связано с большими трудностями, и в частности с высокими абсолютными значениями (до 5000°C) этого параметра, а также чрезвычайной кратковременностью его существования. В связи с этим основным методом определения температуры взрыва является пока расчетный, основанный на том, что

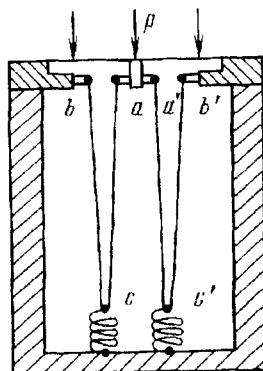


Рис. 2.25. Тензодатчик давления с растянутыми тензоэлементами

у различных ВВ температура взрыва связана с теплотой взрыва приблизительно линейным соотношением.

Экспериментальным путем давление взрыва измеряется с помощью комплекта приборов, состоящего из датчиков, воспринимающих давление, усилителя сигналов и осциллографа, принимающего и регистрирующего сигналы. Тензодатчик давления с четырьмя растянутыми проводочными тензоэлементами показан на рис. 2.25. Нижние концы всех тензоэлементов прикреплены к пружинам, укрепленным на дне корпуса датчика. Верхние концы крайних тензоэлементов прикреплены к корпусу, а средних — к мембране. При давлении взрыва на мембрану последняя прогибается и уменьшает натяжение плеч ac и $a'c'$, а натяжение плеч bc и $b'c'$ увеличивается. При этом изменяется их омическое сопротивление, что регистрируется гальванометрами осциллографа. Перед установкой тензодатчики тарируют.

Широко распространен пьезоэлектрический метод измерения давления, основанный на измерении электрического заряда, возникающего на поверхности пьезоэлемента под влиянием давления. В качестве пьезоэлементов применяют пьезокварц, турмалин, титанат бария и др.

Пьезоэлемент из титаната бария представляет собой диск диаметром 8 мм и толщиной 3 мм. Ось поляризации параллельна оси диска. Величина заряда, возникающего на торцах пьезоэлемента, пропорциональна давлению P , приложенного к его торцам, и величине пьезоэлектрического модуля m , т. е. $Q = mP$. Пьезоэлемент из титаната бария применяют для определения величины давления взрыва в горной породе на различных (небольших) расстояниях от взрываемого заряда.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность метода Дорншига по определению скорости детонации ВВ?
2. Какие экспериментальные методы оценки работоспособности ВВ Вы знаете?

3. Что называется чувствительностью ВВ? Для каких видов внешних воздействий оценивается чувствительность ВВ?
4. Что называется температурой вспышки ВВ?
5. Раскройте понятие минимального инициирующего импульса.
6. С помощью каких технических средств экспериментально определяются энергетические характеристики ВВ?

Глава 3. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВВ

§ 1. Классификация ВВ. Основные требования к промышленным ВВ

Известно большое число химических соединений и смесей, которые способны под действием внешнего импульса взрываться; они могут называться взрывчатыми системами. По своему физическому состоянию они бывают:

твердыми однокомпонентными химическими соединениями (гексоген, гэн, тротил) или смесями (аммиачная селитра + тротил и т. д.);

смесями жидких и твердых веществ (нитроэфиры + аммиачная селитра; соляровое масло + аммиачная селитра);

смесями газов (метан + воздух, ацетилен + кислород и т. д.);

смесями твердых и жидких веществ с газами (угольная, древесная или другая органическая пыль + пары керосина, бензина + воздух и т. д.);

жидкими веществами (тринитроглицерин, динитроглицерин);

смесями жидких веществ (тетранитрометан + бензол, четырехоксид азота + керосин и т. д.).

Для ведения взрывных работ в горной промышленности применяются промышленные взрывчатые вещества, на которые имеются ГОСТы или утвержденные в установленном порядке технические условия, а также журнальные постановления Госгортехнадзора.

Практическое применение в качестве промышленных ВВ имеют первые две группы, наибольшее распространение получили взрывчатые смеси из твердых веществ. Для взрывного бурения применяются ВВ из смеси жидких компонентов.

Промышленные ВВ должны обладать пониженной чувствительностью к внешним воздействиям, быть безопасными в обращении, при транспортировании и хранении, иметь относительно невысокую стоимость. Они не должны оказывать вредного влияния на организм человека как при их изготовлении, так и в процессе применения. Вместе с тем промышленные ВВ должны обладать достаточной мощностью, безотказно детонировать от современных средств инициирования (СИ) или промежуточных детонаторов соответствующей мощности, обеспечивать устойчивую детонацию по всей массе ВВ, сохранять свои свой-

ства в течение всего периода гарантийного срока хранения и иметь достаточную стойкость при длительном нахождении в зарядной камере.

При ведении взрывных работ на открытой поверхности нет ограничений по количеству ядовитых газов, выделяемых при взрывах, поэтому могут использоваться ВВ с кислородным балансом, не равным нулю. Однако применение ВВ с отрицательным кислородным балансом при взрывании на глубоких карьерах ограничено вследствие трудности удаления вредных газов из зоны глубоких горизонтов. Кроме того, ядовитые газы в течение почти 100 ч могут находиться в развале взорванной породы, проникать по трещинам в подземные выработки и вызывать отравление работающих там людей. Поэтому применение таких ВВ должно быть четко регламентировано.

Промышленные ВВ, применяемые в подземных условиях, при взрыве не должны образовывать много ядовитых газов, а в шахтах, опасных по взрыву газа или пыли, дополнительно еще должны иметь пониженную температуру взрыва.

ВВ должны обладать хорошей сыпучестью, минимальными слеживаемостью при хранении и пылением при пересыпке, быть малочувствительными к механическим воздействиям, чтобы работы по заряданию скважин могли выполняться зарядными агрегатами. В связи с необходимостью зарядания большого числа скважин ВВ должны сохранять постоянными свойства при нахождении в скважинах в течение времени подготовки блока к взрыву (7—10 сут и более).

При больших значениях линии наименьшего сопротивления (ЛНС) и диаметров заряда основное влияние на интенсивность дробления пород при взрыве оказывают трещиноватость пород и прочность отдельностей. Удельная энергия ВВ при крупных взрывах имеет меньшее значение, чем при отбойке шпурами и скважинами малого диаметра (70—100 мм). Поэтому допустимо применение ВВ с относительно невысокой теплотой взрыва (до 4000 кДж/кг). Такие ВВ в большинстве случаев обеспечивают хорошее дробление породы при относительно невысокой стоимости самих ВВ. Эти ВВ особенно эффективны, если в результате механизированного зарядания увеличивается плотность заряда в скважинах и тем самым повышается объемная концентрация энергии, т. е. количество энергии в единице объема (1 дм^3).

Примерно 15% общего количества ВВ должно обладать высокими взрывчатыми характеристиками с теплотой взрыва не ниже 5000 кДж/кг. Такие ВВ предназначены для дробления трудновзрываемых пород. Промышленными экспериментами на карьерах, разрабатывающих крепчайшие железистые кварциты (Кривой Рог, КМА), установлено, что при использовании высокоплотных ($\rho > 1,4 \text{ г/см}^3$) водосодержащих ВВ со скоростью детонации зарядов 5 км/с и более высоких расчетных удельных расходов ВВ ($1,2\text{--}1,7 \text{ кг/м}^3$) не только достигается интенсивное их дробление, но и происходит взрывное разупрочнение части кусков, за счет чего снижаются затраты на их механическое дробление и измельчение, увеличивается выход железа в концентрат. Такие

же результаты могут быть получены на некоторых рудах цветных металлов. Значительная часть (до 40%) ВВ должны быть водоустойчивыми и иметь плотность выше 1 т/м^3 . Это необходимо при зарядании обводненных скважин. При этом смесь ВВ и воды должна устойчиво детонировать от мощного детонатора. Экономически целесообразно применение водосодержащих ВВ на предприятиях с годовым потреблением более 10 тыс. т.

Следует считать перспективным создание водоустойчивых ВВ для зарядания скважин с непроточной водой и ВВ с загущенным нерастворимым раствором селитры, карбамида и т. п., которые можно применять и при наличии проточной воды в скважинах, создание горячельющихся ВВ плотностью более 1 т/м^3 из смеси селитры, тротила, пудры легко окисляющихся металлов и твердеющих растворов. Возможно при зарядании скважин использовать ВВ с меньшей водоустойчивостью в полиэтиленовых гирляндах, эластичных рукавах, имеющих общую плотность более 1 т/м^3 .

Особенно эффективно проводить зарядание обводненных скважин неводоустойчивыми ВВ путем установки полиэтиленового рукава с помощью специальных устройств, начиная от дна скважины с одновременным вытеснением из нее воды. При этом возможно вести зарядание скважины после установки рукава вручную или с использованием зарядных машин. Наиболее эффективно использовать совмещение операций установки полиэтиленового рукава, вытеснение воды из скважин и ее зарядание с подачей ВВ сжатым воздухом.

При зарядании обводненных скважин ВВ в жестких оболочках можно использовать гораздо более дешевые ВВ, чем гранулотол или алюмотол. Однако такие конструкции зарядов ВВ могут быть эффективны только при обеспечении механизации зарядания и небольших объемах взрывов.

С применением на крупных карьерах двухбункерных зарядных машин с устройствами для откачки воды из обводненных скважин требования к ассортименту ВВ могут существенно измениться. На предприятии можно поставлять отдельно гранулотол и аммиачную селитру, которая размещается в другом хранилище, примыкающем к стационарному узлу подготовки селитры для зарядных машин. Заполнение бункеров селитрой и гранулотолом и размещение на машине емкости с соляровым маслом позволяет получать на горном предприятии непосредственно перед заряданием блока различные ВВ: игданит, граммонит и т. д., применять гранулотол в скважинах с проточной водой. Это позволяет крупным горным предприятиям, использующим механизированные пункты подготовки ВВ и зарядные машины, уменьшить потребление тротила и других дорогих водоустойчивых ВВ. При этом доставка на предприятие отдельно гранулотола и аммиачной селитры обходится дешевле, чем доставка смешанного ВВ, так как аммиачная селитра перевозится по регламенту обычных, а не взрывоопасных грузов.

В целом на крупных карьерах с механизацией взрывных работ объем применения ВВ, изготавливаемых на стационарных пунктах их

подготовки, должен существенно возрасти. Стационарный пункт приготовления ВВ должен быть универсальным: для бестротиловых гранулированных и водосодержащих ВВ.

В настоящее время основной объем горных пород на карьерах отбивают зарядами, размещаемыми в вертикальных и наклонных скважинах диаметром 100–300 мм. ВВ, применяемые на карьерах, могут иметь критический диаметр более 100 мм, т. е. пониженную дегонационную способность в зарядах малого диаметра. Это могут быть грубодисперсные гранулированные ВВ с широкой зоной химической реакции. ВВ с такой характеристикой обеспечивают более равномерное дробление породы при взрыве путем уменьшения зоны переизмельчения у заряда.

Многообразие условий применения и высокие технические требования к промышленным ВВ вызывают необходимость иметь широкий их ассортимент, насчитывающий десятки наименований.

Промышленные ВВ классифицируются по ряду признаков, имеющих значение для практического использования.

По условиям применения ВВ подразделяются на восемь классов (табл. 3.1).

По физическому состоянию промышленные ВВ могут быть: порошкообразными, шнекованными, прессованными, литыми, гранулирован-

Таблица 3.1

Классификация ВВ по условиям применения

Класс ВВ	Вид ВВ и условия его применения	Цвет отливочной оболочки патрона
I	Непредохранительные ВВ для взрывания только на земной поверхности	Белый
II	Непредохранительные ВВ для взрывания на земной поверхности и в забоях подземных выработок, в которых либо отсутствует выделение горючих газов или пыли, либо применяется инертизация призабойного пространства, исключаяющая воспламенение взрывоопасной среды при взрывных работах	Красный
III	Предохранительные ВВ для взрывания только по породе в забоях подземных выработок, в которых имеется выделение метана и отсутствует взрывчатая пыль	Синий
IV	Предохранительные ВВ для взрывания: по угляю и (или) породе, или горючим сланцам в забоях подземных выработок, опасных по взрыву угольной или сланцевой пыли при отсутствии метана; или по угляю 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	Желтый
V	Предохранительные ВВ для взрывания по угляю и (или) породе в особоопасных по метану при взрывных работах в забоях подземных выработок, проводимых по угольному пласту, когда исключен контакт боковой поверхности шнурового заряда с метановоздушной смесью, находящейся либо в пересекающих шпур трещинах массива горных пород, либо в выработке	Желтый

Продолжение табл. 3.1

Класс ВВ	Вид ВВ и условия его применения	Цвет маркировки пороха или окраска пороха
VI	Предохранительные ВВ для взрывания: по углю и (или) породе в особо опасных по метану при взрывных работах забоях подземных выработок, проводимых в условиях, когда возможен контакт боковой поверхности шнурового заряда с метановоздушной смесью, находящейся либо в пересекающих шнур трещинах массива горных пород, либо в выработке; или в угольных и смешанных забоях, возникающих (с углем более 10%) выработках, в которых выделяется метан, при длине выработок более 20 м и проведении их без предварительного пробуренных скважин, обеспечивающих проветривание за счет общешахтной депрессии	Желтый
VII	Предохранительные ВВ и изделия из предохранительных ВВ IV — VII классов для ведения специальных взрывных работ (для водораспыления и распыления порошкообразных ингибиторов, для взрывного перебивания деревянных стоек при посадке кровли, при ликвидации завесания горной массы в угледупских выработках, для дробления негабаритов) в забоях подземных выработок, в которых возможно образование взрывоопасной концентрации метана и угольной пыли	Желтый
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	
1-я группа	Взрывные работы на земной поверхности: импульсная обработка металлов; инициирование скважинных и сосредоточенных зарядов; контурное взрывание для заоткоски уступов; разрушение мерзлых грунтов; взрывное дробление негабаритных кусков породы; сейсморазведочные работы в скважинах; создание заградительных полей при локализации лесных пожаров и другие специальные работы	Белый
2-я группа	Взрывные работы в забоях подземных выработок, не опасных по газу и пыли, взрывание сульфидных руд, дробление негабаритных кусков породы, контурное взрывание и другие специальные работы	Красный
3-я группа	Прострелочно-взрывные работы в разведочных, нефтяных, газовых скважинах	Черный
4-я группа	Взрывные работы в серных, нефтяных и других шахтах, опасных по взрыву серной пыли, водорода и паров тяжелых углеводородов	Зеленый

Примечания. 1. Степень опасности забоев по метану при взрывных работах устанавливается специалистами инструкциями или другими нормативными документами, утвержденными в установленном порядке. 2. Первую конкретную видов подземных выработок, в которых возможна при ведении ВВ опасность скопления в забоех взрывоопасной смеси. Единичные случаи безопасности при взрывных работах или другие нормативные документы, способствующие снижению опасности, не являются основанием для отнесения забоев к менее опасным в установленном порядке.

ными (чешуйчатыми), водонаполненными, льющимися, горячельющими, пластичными.

Компоненты гранулированных ВВ имеют гранулы размером 1–3 мм или чешуйки того же размера. Водонаполненные ВВ за счет добавок воды с загустителем имеют слаботекучую медообразную консистенцию. Льющиеся ВВ имеют легкоподвижную консистенцию, допускаю-

щую их транспортирование по шлангам. Горячелюющиеся водонаполненные ВВ легкоподвижной консистенции в горячем состоянии твердеют при нормальной температуре. Пластичные ВВ и смеси твердых компонентов с жидкой желатинизированной массой сохраняют приданную им форму длительное время.

Промышленные ВВ выпускаются в патронированном и непатронированном виде.

Патроны ВВ имеют цилиндрическую форму, диаметр и массу их принимают в зависимости от диаметра шпуров или скважин. Для люющихся ВВ в качестве оболочки могут быть использованы полиэтиленовые ампулы. Патронирование ВВ производится на заводе-изготовителе. При транспортировании и хранении патроны ВВ упаковывают в деревянные ящики, а непатронированные (россыпные) ВВ укладывают в бумажные или полиэтиленовые мешки.

Прессованные и литые ВВ изготавливаются в виде шашек. Шашкикумулятивных зарядов иногда заключают в корпуса и оболочки.

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 характеру действия ВВ на окружающую среду их разделяют на: 1) бризантные ВВ, которые в свою очередь могут быть подразделены на высокобризантные ВВ со скоростью детонации 5–7 км/с и бризантностью 20–27 мм; бризантные ВВ со скоростью детонации 3,5–5,0 км/с и бризантностью 15–20 мм; низкобризантные ВВ со скоростью детонации 2–3,5 км/с и бризантностью 10–15 мм; 2) метательные ВВ со скоростью детонации менее 2 км/с (например, скорость взрывного горения дымного пороха равна 100–400 м/с).

Из бризантных ВВ выделяют первичные инициирующие ВВ, обладающие высокой чувствительностью, которые применяют для изготовления средств инициирования (капсюлей-детонаторов, электродетонаторов, детонирующего шпура). Для изготовления средств инициирования, применяемых в горной промышленности, используют ртуть $\text{Hg}(\text{CNO})_2$, азид свинца PbN_6 , тетрил $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{NCH}_3$, гексоген $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6\text{O}_6$, тн $\text{C}_5\text{H}_8(\text{ONO}_2)_4$ и ТНРС $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{O}_2\text{PbH}_2\text{O}$.

Промышленные (вторичные) ВВ предназначаются для дробления и разрушения горных пород. Детонацию этих ВВ вызвать труднее, чем инициирующих, поэтому их взрывают посредством взрыва инициирующих ВВ.

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 т. п. 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.

Промышленные ВВ могут быть индивидуальными (однокомпонентными) и смесевыми. К индивидуальным относятся химически однородные вещества. В молекулах этих веществ содержатся горючие элементы и окислитель.

Индивидуальные ВВ по экономическим соображениям, а также из-за высокой чувствительности используют преимущественно как компоненты смесевых ВВ и для изготовления средств инициирования. В качестве однокомпонентного промышленного ВВ применяют тротил, в сейсморазведке иногда порох. Смесевые ВВ представляют собой механическую смесь, сплав, а также раствор двух или нескольких компонентов.

Наибольшее распространение получили взрывчатые смеси из твердых веществ. В состав смесей могут входить как взрывчатые, так и невзрывчатые компоненты. Химические вещества, используемые для изготовления смесевых промышленных ВВ, следующие: азотнокислые эфиры спиртов — тринитроглицерин, тетранитродиглицерин, динитроглицерин, т.н., применяемые при изготовлении нитроглицериновых ВВ и в качестве сенсibilизаторов других ВВ; азотнокислые эфиры клетчатки — коллоидный хлопок, используемый для желатинизации нитроглицерина; нитросоединения ароматического ряда — тротил (ТНТ), динитронафталин, используемые частично в чистом виде, а главным образом в качестве сенсibilизаторов механических смесей; тенерес (тринитрорезорцинат свинца) и тетрил, применяемые при изготовлении детонаторов; соли азотной кислоты — аммиачная (АС), натриевая и калиевая селитры, применяемые при изготовлении различных сортов промышленных ВВ; соли азотноводородной кислоты — азид свинца и гремучей кислоты — гремучая ртуть, применяемые при изготовлении детонаторов.

По химическому составу ВВ разделяют на аммиачно-селитренные, нитроглицериновые, нитропроизводные ароматического ряда, хлоратные, оксидквиты и пороха. Основное практическое применение имеют ВВ трех первых групп, хлоратные и перхлоратные ВВ почти не применяются из-за их высокой чувствительности к механическим воздействиям, оксидквиты не получили распространения из-за их малой жизнеспособности, а пороха применяются в сейсморазведке и при отбойке штучного камня.

По степени опасности при хранении и перевозке применяемые в промышленности взрывчатые материалы (ВМ) делятся на следующие группы.

I. ВВ с содержанием жидких нитроэфиров более 15%, нефлегматизированный гексоген, тетрил.

II. ВВ на основе аммиачной селитры, тротил и его сплавы с другими нитросоединениями. ВВ с содержанием жидких нитроэфиров до 15%, флегматизированный гексоген, ДШ.

III. Пороха дымные и бездымные.

IV. Все детонаторы и пиротехнические замедлители КЗДШ.

V. Перфораторные заряды и снаряды с установленными в них взрывателями для работы в глубоких скважинах.

ВМ различных групп следует перевозить и хранить отдельно. Допускается в отдельных случаях совместная перевозка ВВ и СН. Это регламентировано Едиными правилами безопасности при взрывных работах.

Контрольные вопросы

1. Каким могут быть ВВ по своему физическому состоянию?
2. Перечислите основные требования, которым должны удовлетворять промышленные ВВ.
3. По каким признакам классифицируются промышленные ВВ?
4. В каких физических состояниях могут находиться промышленные ВВ?
5. Назовите группы, на которые делятся промышленные ВВ по характеру действия.

§ 2. Индивидуальные взрывчатые химические соединения. Иницирующие ВВ

Индивидуальными взрывчатыми химическими соединениями являются: нитроглицерин, нитроглицоль, тэн, тротил, гексоген, динитро-нафталин, тенерес, азид свинца, гремучая ртуть и т. п. Они относятся соответственно к следующим классам химических соединений: эфиры спиртов, нитросоединениям, солям азотистоводородной кислоты и гремучей ртути. Такие ВВ, как тэн, гексоген, тенерес, гремучая ртуть и азид свинца, широко используют в качестве иницирующих.

Азотнокислые эфиры спиртов. Нитроглицерин (тринитроглицерин) $C_3H_5(ON_2)_3$ — продукт тройной нитрации глицерина азотной кислотой в присутствии серной кислоты. В чистом виде — это бесцветная прозрачная маслянистая ядовитая жидкость без запаха, которая при температуре $+13,2^\circ C$ переходит в твердое состояние (замерзает). В обычных условиях слабо летуч.

Нитроглицерин — очень чувствителен к механическим и тепловым воздействиям. Он обладает высокими удельной энергией взрыва и детонационной способностью. Теплота взрыва $6,3$ МДж/кг. Кислородный баланс нитроглицерина $+3,5\%$. Плотность $1,6$ г/см³.

Нитроглицоль (динитроглицоль) $C_2H_4(ONO_2)_2$ — продукт нитрования гликоля. Это прозрачная без запаха ядовитая жидкость сладковатого вкуса. Обладает значительно большими, чем нитроглицерин, детонацией и токсичностью. Температура замерзания $-22^\circ C$, плотность $1,39$ г/см³. Нитроглицоль — мощное ВВ с нулевым кислородным балансом. Теплота взрыва $6,8$ МДж/кг. По взрывчатым характеристикам близок к нитроглицерину. Нитроглицоль применяют в смеси с нитроглицерином при изготовлении смесевых ВВ (детонитов и т. п.).

К нитросоединениям относятся: тротил, динитронафталин, гексоген, тетрил, пикриновая кислота, октоген и др.

Тротил (тринитротолуол, тол) — продукт тройной нитрации толу-

ла. Это кристаллический порошок светло-желтого цвета, не растворимый в воде. Химически стоек. Теплота взрыва 4,2 МДж/кг; температура плавления +80°С, вскипяти 280–300°С; плотность кристалла 1,66 г/см³. Обладает хорошими детонационными способностями. Мало чувствителен к внешним воздействиям. Широко используется в качестве компонента промышленных ВВ, довольно часто применяется в чистом виде, имеет отрицательный кислородный баланс (–74%). Легко детонирует от капсуля-детонатора.

Выпускается в гранулированной, чешуйчатой, прессованной и литой формах.

Гранулированный тротил (гранулы желтого цвета) используется как самостоятельное ВВ — гранулотол, а также для изготовления граммонита, ифзанита и других ВВ. Применяется при взрывании в обводненных условиях. Чешуйчатый тротил — слабобризантное ВВ, применяется для изготовления граммонитов и водонаполненных ВВ; прессованный имеет повышенные взрывчатые свойства, используется для изготовления пашек-детонаторов; литой — для изготовления кумулятивных зарядов и пашек-детонаторов.

Динитронафталин $C_{10}H_6O_4N_2$ — однородный порошок или гранулы серо-желтого цвета. Мало чувствителен к механическим воздействиям и плохо восприимчив к детонации. Взорвать его можно лишь в крупных зарядах с помощью больших промежуточных детонаторов из мощных ВВ. Теплота взрыва 3,8 МДж/кг; плотность 1 г/см³. Влажность не должна превышать 0,5%. Применяется как компонент при изготовлении некоторых сортов аммиачноселитренных ВВ (динафталитов).

Соли азотной кислоты. К однородным взрывчатым соединениям можно отнести также аммиачную селитру. Это кристаллический порошок белого цвета плотностью 1,7 г/см³.

Аммиачная селитра NH_4NO_3 (нитрат аммония) является наиболее распространенным окислителем в промышленных ВВ. В сухом состоянии представляет собой сыпучий кристаллический порошок белого цвета, горьковатый на вкус. Отрицательные свойства аммиачной селитры — гигроскопичность и слеживаемость. Для снижения слеживаемости аммиачную селитру гранулируют или вводят специальные добавки.

Следует отметить, что аммиачную селитру можно применять как самостоятельное промышленное ВВ в очень ограниченных случаях, так как она обладает низкими детонационной способностью и чувствительностью к начальному импульсу и малой удельной энергией взрыва. Продукты взрыва ее содержат большое количество вредных газов (оксидов азота).

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

Иницирующими называют такие ВВ, взрыв которых в небольших количествах (не более 1 г) служит начальным импульсом для возбуждения детонации промышленных ВВ. Отличительной их особенностью является весьма быстрое, почти мгновенное нарастание скорости раз-

ложения. Возбуждение взрыва иницирующих ВВ осуществляется от теплового импульса — луча пламени от ОШ и электровоспламенителя.

Порошкообразные иницирующие ВВ очень опасны в обращении из-за высокой чувствительности к огню, удару и трению. В прессованном виде чувствительность к внешним воздействиям снижается. При увлажнении они теряют свои взрывчатые свойства.

По чувствительности ВВ условно разделяются на две группы: первичные и вторичные.

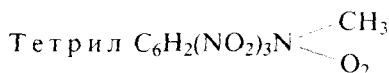
Первичные иницирующие ВВ предназначены для восприятия теплового импульса и передачи энергии в форме детонации заряду вторичной иницирующей ВВ. Они имеют большую плотность. К ним относятся гремучая ртуть, азид свинца и тенерес (тринитрорезорцинат свинца).

Гремучая ртуть $\text{Hg}(\text{CNO})_2$ — ртутная соль гремучей кислоты образуется в результате взаимодействия растворенной в азотной кислоте металлической ртути и этилового спирта. Она представляет собой мелкокристаллический порошок белого или серого цвета. Скорость детонации ее 5400 м/с. Теплота взрыва 1,8 МДж/кг. В воде растворяется слабо, при влажности 10% не взрывается, но горит, а при влажности 30% не горит, поэтому средства инициирования, снаряженные гремучей ртутью, необходимо предохранять от увлажнения.

Азид свинца $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$ — свинцовая соль азотистоводородной кислоты — образуется из азидата натрия путем замещения натрия свинцом, представляет собой тонкокристаллический порошок белого или светло-серого цвета, который при хранении приобретает желтый цвет. Не растворяется в воде, взрывается даже при влажности 30%. Азид свинца плохо прессуется, менее чувствителен по сравнению с гремучей ртутью к огню и обладает более мощной иницирующей способностью. Скорость детонации 5300 м/с. Теплота взрыва 1,5 МДж/кг.

Тенерес (тринитрорезорцинат свинца, ТНРС) $\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3\text{PbH}_2\text{O}$ — соль стифинной кислоты — получается при взаимодействии тринитрорезорцината натрия и азотнокислого свинца. Представляет собой золотисто-желтый кристаллический порошок. Физически и химически стоек, водоустойчив, с металлами не реагирует; взрывается от удара, трения, искр, однако его чувствительность значительно ниже, чем гремучей ртути. Так как его иницирующая способность ниже, чем у гремучей ртути и азидата свинца, то как самостоятельное ВВ не используется, а применяется совместно с азидом свинца в качестве чувствительной подсыпки. Теплота взрыва 1,2 МДж/кг.

Вторичные иницирующие ВВ (тетрил, гексоген, тэн) служат для усиления детонации первичных иницирующих взрывчатых веществ и передачи мощного импульса основному заряду ВВ. Обладают меньшей чувствительностью и более высокой работоспособностью по сравнению с первичными. Из-за малой чувствительности к внешним воздействиям они более безопасны.



— кристаллический порошок бледно-желтого цвета, не растворяется в воде, в реакцию с металлами не вступает. От огня загорается, а иногда и взрывается. Применяется при снаряжении детонаторов в качестве вторичного инициирующего ВВ. Теплота взрыва 4,6 МДж/кг.

Гексоген $C_6H_3N_3(NO_2)_3$ — кристаллический белый порошок плотностью 1,8 г/см³. Обладает высокой чувствительностью к внешним воздействиям, от огня горит, но не взрывается. Теплота взрыва 5,5 МДж/кг. Применяется в качестве вторичного инициирующего ВВ, а также для изготовления ДШ, детонаторов и скальных аммонитов.

ТЭН $C(CH_2ONO_2)_4$ — кристаллический порошок белого цвета плотностью 1,77 г/см³. Он не растворяется в воде и не теряет взрывчатых свойств. Теплота взрыва 5,7 МДж/кг. Очень чувствителен к внешним механическим воздействиям, преимущественно используется во флегматизированном виде. Температура плавления 141–142°С, горит спокойно, с металлами не взаимодействует.

Применяется как вторичное инициирующее ВВ для снаряжения капсулей-детонаторов и детонирующих шнуров.

Контрольные вопросы

1. Какие индивидуальные взрывчатые химические соединения Вы знаете?
2. Назовите основные свойства и характеристики тротила.
3. Напишите химическую формулу аммиачной селитры.
4. Чем отличаются первичные инициирующие ВВ от вторичных?
5. Назовите основные вторичные инициирующие ВВ.

§ 3. Смесевые взрывчатые химические соединения

Широкое применение получили смесевые ВВ, основной частью которых является аммиачная селитра. Это объясняется прежде всего доступностью исходного сырья, а также простотой и безопасностью технологии его получения и переработки.

Промышленные взрывчатые вещества на основе аммиачной селитры представляют собой механические смеси аммиачной селитры с другими ВВ или с горючими невзрывчатыми веществами. Во взрывчатых веществах этой группы она выполняет роль окислителя. ВВ на основе аммиачной селитры безопасны в обращении, поддаются различным видам технологической обработки, имеют низкую стоимость.

ВВ на основе аммиачной селитры делятся на несколько групп: аммоналы, граммонналы, аммониты, граммониты, гранулиты, динамоны, игданиты, водонаполненные.

Аммониты — самые распространенные ВВ на основе аммиачной селитры — представляют собой порошкообразные смеси аммиачной селитры с тротилом (реже с гексогеном, динитронафталином) и невзрывчатыми горючими компонентами. Соотношение компонентов взрывчатой смеси рассчитывается так, чтобы кислородный баланс ам-

монитов был близок к нулевому, поскольку они применяются как при открытых, так и при подземных горных работах.

С целью повышения водоустойчивости аммонитов, т. е. способности их сохранять взрывчатые свойства при погружении в воду, используют водоустойчивую селитру марок ЖВ и ЖВФ, а также различные добавки, например парафин, асфальтит и др.

Наиболее распространенным ВВ является аммонит 6ЖВ, который часто принимают за эталон при сравнительной оценке взрывчатых свойств ВВ.

Аммониты выпускаются в порошкообразном, патронированном, прессованном и шнекованном видах. Индексы аммонитов означают: ЖВ — марка водоустойчивой селитры, АП — аммонит предохранительный, К — марка малослеживающейся аммиачной селитры с добавкой красителя (фуксина) для уменьшения слеживаемости.

К недостаткам аммонитов относятся: недостаточная плотность, слеживаемость, гигроскопичность, низкая водоустойчивость, небольшая эффективность при взрывании крупноблочных крепких скальных пород.

Динафталит (динафталит-200) — промышленное ВВ, основными компонентами которого являются аммиачная селитра и динитро-нафталин; сыпучий порошок желто-песочного цвета. Малочувствителен к механическим воздействиям. Применяется в патронированном виде при открытых и подземных работах с ручным заряданием шнуров, распространен ограниченно.

Граммониты — смесь гранулированной аммиачной селитры тротила. Наиболее широкое применение нашли граммониты, представляющие собой смесь аммиачной селитры с наплавленными на них тротилом или чешуйчатым тротилом, а также водоустойчивые граммониты, представляющие собой гранулы селитры, закапсулированные оболочкой из тротила.

Аммоналы — смеси порошкообразной аммиачной селитры тротила с металлической горючей добавкой (алюминиевой пудрой). Аммоналы в гранулированном состоянии называются граммоналами.

Динамоны — смеси аммиачной селитры с жидкими или твердыми горючими добавками (соляровое масло, древесная мука, сажа, алюминиевая пудра и т. д.). Динамоны в гранулированном состоянии на-

Характеристика граммонитов

Марка граммонита	30/70	79/21	50/50
Теплота взрыва, кДж/кг	3511	4285	3678
Объем газов, л/кг	800	895	810
Работоспособность, см ³	335	360	345
Бризантность в стальной оболочке, мм	24-27	22-28	24-28
Критический диаметр, мм	40-60	40-60	40-50
Скорость детонации, км/с	3,8-4,5	3,2-4,0	3,6-4,2
Насыпная плотность, г/см ³	0,85-0,9	0,8-0,85	0,85-0,9
Кислородный баланс, %	45,9	+0,02	27,2
Идеальная работа взрыва, кДж/кг	3033	3561	3509

ваются гранулитам (например, АС-4, АС-8, в которые вводится большое количество солярового масла и порошка алюминия).

К динамомам относят игданиты — простейшие ВВ, готовящиеся непосредственно на местах работ и состоящие из гранулированной (или чешуйчатой) аммиачной селитры, пропитанной небольшим количеством жидкого горючего (солярового масла или дизельного топлива). Игданиты — самые дешевые ВВ из всех применяемых. Они предназначены для использования в сухих забоях или в сухой части скважины при комбинированных зарядах.

При содержании дизельного топлива в игданите более 6% резко снижается чувствительность его к детонации и он не взрывается даже от промежуточного детонатора.

Игданит изготавливают несколькими способами: соляровое масло заправляют непосредственно в мешки с селитрой или в специальные патроны на месте взрыва, после чего производят зарядание; применяют специальные смесительно-зарядные машины; используют стационарные пункты, а машинами доставляют игданит к месту взрыва и зарядания скважин.

Игданиты безопасны в обращении, пригодны для механизированного зарядания.

Недостатки игданита: возможность применения только в сухих скважинах, частичная потеря взрывчатых свойств при длительном зарядании из-за плохого удержания солярового масла гладкими гранулами селитры, флегматизация соляровым маслом ДШ, изготовленного из маслонеустойчивого полиэтилена, вследствие чего могут происходить отказы, низкое качество дробления крепких крупноблочных пород.

Игданит относится к ВВ невысокой мощности и предназначен преимущественно для взрывания пород некрепких и средней крепости. По данным проф. Г. П. Демидюка, игданиты при высокой плотности их зарядания могут применяться и для взрывания крепких пород. Область его применения расширяется. С выпуском гранулированной пористой селитры качество игданитов повысится, а область применения расширится как на открытых, так и на подземных работах.

Особенно важно создать детонирующие шнуры, устойчивые к воздействию солярового масла в течение 5—10 сут.

Характеристика простейших гранулированных ВВ

ВВ	Гранулит АС-4 и АС-4В	Гранулит АС-8 и АС-8В	Гранулит М	Игданит
Критический диаметр, мм	70—120	70—100	80—110	160—200
Теплота взрыва, кДж/кг	4522	5191	3852	3973—4061
Объем газов, л/кг	907	850	980	990
Бризантность в стальном кольце, мм	22—26	24—28	18—22	15—20
Скорость детонации, км/с	3,0—3,5	3,0—3,6	2,5—3,6	2,8—4,3
Насыпная плотность, г/см ³	0,8—0,85	0,8—0,85	0,8—0,90	0,80—0,90
Кислородный баланс, %	+0,35	3,3	+0,14	-1,65— +0,12
Идеальная работа взрыва, кДж/кг ..	3645	3997	3852	3164—3205

Взрывчатые вещества, имеющие в своем составе в качестве жидкого наполнителя и пластифицирующего материала водные гели, называются водосодержащими. Они составляют группу водосодержащих ВВ мало восприимчивы к детонационному импульсу, детонируют только от мощного детонатора типа тротиловой шашки, патрона скального аммонита или детонита. ВВ применяют как на открытых работах — акватолах и ифзаниты, так и на подземных — акваниты.

Акватола — водосодержащие ВВ, предназначенные только для применения на открытых горных выработках. Характеризуются отрицательным кислородным балансом (от -16 до -25%).

Акватола изготавливается заводским способом на специальных установках в виде сухих полуфабрикатов, содержащих гранулированную селитру, чешуйчатый тротил и загуститель. Для заряжания скважин используют смесительно-зарядные машины.

Акваниты и акваналы — водосодержащие суспензионные ВВ пластичной консистенции, основой которых являются аммониты и аммональные смеси с присутствием кальциевой или натриевой селитры и пластифицирующих добавок. Эти ВВ имеют близкий к нулевому кислородный баланс и могут применяться в подземных горных выработках. Их часто называют еще пластичными водосодержащими ВВ. В зависимости от содержания воды они могут быть либо жидкотекучими, либо тестообразными.

Горячельющиеся водосодержащие ВВ — это насыщенный горячий (75°C) раствор аммиачной селитры, смешанный с тротилом. Смесь должна иметь хорошую текучесть.

Таким способом изготавливают так называемые горячельющиеся акватола и ифзаниты.

Ифзаниты — аммиачно-селитренные ВВ: твердые компоненты — гранулированная аммиачная селитра и гранулол (или дисперсия алюминия); жидкая фаза — насыщенный раствор аммиачной селитры. Теплота взрыва $2,9\text{--}4,6$ МДж/кг. Температура насыщения зависит от состава ВВ (Т-20, Т-60 и Т-80). При охлаждении в скважине эти смеси затвердевают и представляют собой твердую массу. На горных работах применяются мощные комплексы для приготовления ифзанитов и их механизированного заряжания.

Карбаты — горячельющиеся водосодержащие ВВ, твердые при остывании зарядов в скважине. Эти ВВ готовят из расплавленной практически безводной эвтектической смеси компонентов (аммиачной селитры и карбамида) с добавлением гранулола. Плотность расплава близка к плотности гранул тротила, благодаря чему гранулол почти не тонет в заряде. Загуститель вводится в состав ВВ для повышения его водоустойчивости. В настоящее время рекомендованы карбаты 15Т и металлизированный ГЛ-10В. Затвердевшие карбаты могут, по данным изготовителя, находиться в скважинах с проточной водой до 5 лет без потери детонационной способности. Плотность заряда карбатов в скважинах $1,5\text{--}1,64$ г/см³. Иницирование зарядов карбатов производят промежуточными детонаторами. Испытаниями установ-

Характеристика водосодержащих взрывчатых веществ

ВВ	ГЛ-10В		ГЛ-15Т		Ифзанит Т-20	ГЛТ-20	Ипконит А-10		ГЛА-20
Кислородный баланс, %	21,4		9,6		4,6	-3,8	0,2 2,3		-4,1
Теплота взрыва, кДж/кг	5684		3427		3176	3678	4520 4860		4012
Идеальная работа взрыва, кДж/кг	4440		2975		2782	3100	3520 3790		3373
Объем газов, л/кг	844		946		937	905	852 870		895
Плотность, г/см ³	1,55	1,6	1,4	1,6	1,2	1,3	1,4	1,45	1,5
Критический диаметр, мм	150	160	120	150	120	150	80	100	225
Скорость детонации, км/с	4,5	5,0	4,5	4,8	4,0	4,5	4,9	5,0	3,8
									4,6
									4,8
									5,0

но, что карбатылы на 20—25% эффективнее гранулотола и алюмотола при взрывании в крепких обводненных породах.

Водосодержащие ВВ благодаря высокой плотности заряжания обеспечивают значительную объемную концентрацию энергии в шпуре и скважине и являются эффективными промышленными ВВ.

В 60-х годах за рубежом появился новый тип водосодержащих ВВ, основанный на эмульсиях типа «вода в масле».

Все эмульсионные ВВ состоят в основном из водного раствора аммиачной селитры (иногда с добавкой нитрата натрия или кальция) и жидкого нефтепродукта (минеральные масла, дизельное топливо и т. п.). Раствор окислителя, нагретый до 60—90° С, диспергируют и эмульгируют добавкой небольшого количества эмульгатора в жидком нефтепродукте так, чтобы каждая сферическая микрокапелька раствора была покрыта тонкой его пленкой, предохраняющей от контакта с водой при заряжании в обводненных скважинах. Охлажденное ВВ сохраняет пластичность и при отрицательных температурах, если при изготовлении был использован нефтепродукт с низкой температурой застывания.

Наиболее распространенным способом сенсibilизации эмульсионных водосодержащих ВВ является введение в их состав полых или пористых микросфер из стекла или порошка перлита. Такие эмульсионные водосодержащие ВВ имеют плотность 1,15—1,27 г/см³ и теплоту взрыва 2930—3350 кДж/кг. При необходимости повысить теплоту взрыва на 25—30% в состав эмульсионных водосодержащих ВВ вводят соответствующее количество алюминиевого порошка.

Эмульсионные водосодержащие ВВ дешевле суспензионных и в настоящее время им уделяют много внимания.

Одним из последних достижений в области разработки промышленных ВВ для открытых работ является создание взрывчатых смесей, состоящих из эмульсии типа «вода в масле», смешанной с пористой гранулированной аммиачной селитрой и горючими добавками таким образом, чтобы эмульсия заполняла межгранульное пространство. В результате получают взрывчатые составы, обладающие по сравне-

нию со смесями АС — ДТ большей объемной концентрацией энергии, более высокой водоустойчивостью и меньшей стоимостью по сравнению с эмульсионными водосодержащими ВВ. Эти смеси заряжают сухие скважины в непатронированном виде с помощью зарядных машин, а в обводненные скважины — патронированными в пластмассовые шланги.

ВВ, содержащие в своем составе в качестве основного компонента нитроглицерин, называют нитроглицериновыми.

Нитроглицериновые ВВ делятся на высокопроцентные желатиновированные, или пластичные ВВ, и низкопроцентные порошкообразные ВВ, содержащие не более 15% жидких нитроэфиров (победиты, детониты). В качестве нитроэфиров применяют нитроглицерин и нитроглицоль. Нитроглицериновые ВВ обладают высокой мощностью, водоустойчивостью и детонационной способностью.

Детониты — порошкообразные ВВ (с увеличенным содержанием нитроэфиров, приближаются к пластичным) — относятся к неперехватываемым ВВ. Они состоят из аммиачной селитры, тротила, 5—10% алюминевой пудры и 6—15% нитроэфира. Патроны детонитов имеют плотность 1,15—1,20 г/см³, что обеспечивает получение при взрывании высокого качества дробления массива горных пород.

При работе с детонитами необходимо соблюдать осторожность, защищая руки от действия нитроэфиров, не допуская просыпания ВВ в пакеты и патронов. Применение детонитов (например, детонит М), несмотря на их сравнительно высокую стоимость, весьма эффективно и экономически выгодно при взрывании крепких пород.

Алюмотол — гранулированная смесь тротила с порошком алюминия. Выпускается в виде гранул диаметром 5 мм, плотность гранул 1,5 г/см³, теплота взрыва 5,3—5,6 МДж/кг; работоспособность 420—440 см³, бризантность сухого алюмотола 14—16 мм, в воде — 26—30 мм, скорость детонации сухого алюмотола 4000 м/с, в воде — 6000—6300 м/с, критический диаметр 40 мм. Алюмотол применяется только в водонаполненном состоянии при взрывании крепких пород.

Гранитол-1 и гранитол-7А представляют собой гранулированный водоустойчивый сплав аммиачной селитры и тротила с небольшой добавкой (гранитол-7А) алюминевой пудры. Благодаря добавке селитры имеют меньший отрицательный кислородный баланс, чем гранулотол и алюмотол, и выделяют меньшее количество ядовитых газов. По запасу энергии занимают промежуточное место между гранулотолом и алюмотолом.

При ведении горных работ широко используют дымные (так называемые минные) пороха. Они применяются при добыче штучного камня. Дымные пороха неводоустойчивы, чувствительны к действию огня. Дымные пороха способны к взрывному горению, т. е. обладают металельными свойствами.

Бездымные пороха способны к взрывному горению и детонации, обладая при детонации как металельными, так и бризантными свойствами.

Характеристика гранулированных водоустойчивых тротилсодержащих ВВ для взрывания на поверхности

ВВ	Гранулотол	Алюмотол	Гранитол-1	Гранитол-7А
Теплота взрыва, кДж/кг	3642	5266	3770	4598
	4050	5510		
Работоспособность, см ³	290	430	450	380
Объем газов, л/кг	750	675	820	800
	1045	815		
Бризантность в стальных кольцах в водонаполненном состоянии, мм	32 34	Разрушение	Разрушение	24—26
Критический диаметр, мм	60—80	70—80	40—60	40 50
	10—15	25—30		
Скорость детонации в стальной трубе, км/с	5,5—6,5	5,5 6,0	5,0—5,5	5,0—5,3
Плотность, г/см ³	0,9	0,95	0,9 0,95	0,9 0,95
Кислородный баланс, %	-74	76,2	43,4	-52,0
Идеальная работа взрыва, кДж/кг	2975	4266	3080	3722

Примечание. В числителе приведены показатели для ВВ, находящегося в сухом состоянии, в знаменателе — водонаполненным.

Бездымные пороха — ВВ, изготовленные из нитратов целлюлозы с различным содержанием азота путем растворения их во взрывчатых и невзрывчатых растворителях. Они характеризуются следующими физическими и взрывчатыми свойствами: плотность 1,5—1,65 г/см³, насыпная плотность 0,6—0,9 кг/дм³, бризантность 6—24 мм, работоспособность 180—360 см³, скорость детонации 3500—8000 м/с, температура вспышки 180—200° С, теплота взрыва 2,9—4,6 МДж/кг.

В зависимости от технологии приготовления и их свойств бездымные пороха делятся на пироксилиновые и нитроглицериновые.

Пироксилиновые пороха представляют собой группу нитроцеллюлозных бездымных порохов. Они могут применяться для взрывания пород различной крепости.

Нитроглицериновые пороха представляют собой твердую желатинированную массу, полученную в результате пластификации нитроцеллюлозы нитроглицерином или другими нитроэфирами. В зависимости от состава характеризуются следующими физическими и взрывчатыми свойствами: теплота взрыва 2,9—5,0 МДж/кг, работоспособность 180—360 см³, бризантность 6—12 мм, скорость детонации 3,5—8 км/с, температура вспышки 180—200° С, действительная плотность 1,5—1,65 г/см³, насыпная плотность 0,6—0,9 г/см³.

При зарядании пороха электризуются. Искровой разряд способен вызвать вспышку пороховой пыли. Для снижения электризующей способности порохов их смачивают. Предусматривается также отвод статического электричества путем устройства заземлителей.

Оксиквисты — смесь жидкого кислорода с горючими веществами, являющимися одновременно поглотителями: активированный древесный уголь, торфяной мох, солома, бумажная масса. Жидкий кислород представляет собой подвижную жидкость голубоватого цвета с

температурой — $182,5^{\circ}\text{C}$. Оксидквиты чувствительны к пламени, удару, безотказно детонируют от КД и ДШ, быстро теряют взрывчатые свойства вследствие испарения кислорода. Их обычно изготавливают в месте производства взрывных работ непосредственно перед заряданием. Скорость детонации колеблется в пределах $2000\text{--}5000\text{ м/с}$, работоспособность — $250\text{--}600\text{ м}^3$. Теплота взрыва достигает $8,9\text{ МДж/кг}$, бризантность $16\text{--}21\text{ мм}$.

К числу смесевых ВВ относятся и предохранительные ВВ (см. таб. 3.1). Предохранительными называются ВВ, содержащие пламегасящие добавки или упакованные в предохранительные оболочки.

Для понижения температуры продуктов взрыва в момент их образования и предотвращения возможности вспышки взрывоопасных метановоздушной и пылегазовых смесей вводятся пламегасители. Они могут использоваться также для изготовления предохранительных оболочек.

В результате введения в состав предохранительных ВВ пламегасителей и инертных солей температура взрыва и мощность снижаются. В качестве сенсibilизаторов используют нитроэфиры.

Добавка нитроэфиров особенно важна в предохранительных ВВ, энергия и чувствительность которых ослаблены содержанием инертных пламегасителей. Выпускаемые промышленностью угленит Э-6, угленит серный аммонит, аммонит АП-5ЖВ и другие ВВ содержат инертные соли и жидкие нитроэфиры.

Угленит 5 — малоомошное высокопредохранительное ВВ, которое может применяться при взрывании открытыми зарядами породы угля в шахтах, опасных по газу или пыли. В комбинации с более мощными ВВ можно применять для взрывания шпуров в сухих забоях.

Угленит Э-6 — ВВ повышенной предохранительности, предназначенное для взрывания по углю в шахтах, опасных по метану и угольной пыли. Мощность его меньше, чем у аммонита ПЖВ-20, поэтому расход больше на $40\text{--}60\%$. Несмотря на это, угленит Э-6 применяется в угольных шахтах с обильным метановыделением.

Аммонит серный является предохранительным ВВ специального назначения.

Аммонит АП-5ЖВ — порошкообразное ВВ с видимыми крупными частицами соли характеризуется достаточно высокими взрывчатыми характеристиками.

К предохранительным ВВ предъявляются следующие требования: температура взрыва не более 2600°C , детонация устойчивая, кислородный баланс близок к нулю.

Малоплотные взрывчатые составы имеют среднюю плотность $0,6\text{ г/см}^3$.

Малоплотные взрывчатые составы применяются в подземных условиях при контурном и мягком («шадашем») взрывании, а также в специальных работах. Малая плотность достигается повышенной пористостью составов (джезполиты).

Известны низкоимпульсные пористые ВВ типа взрывной поро-

которые представляют собой высокочувствительные индивидуальные ВВ с частичным заполнением ячеек эластичным поропластом.

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 смешивания компонентов достигают «холодным» или «горячим» способами. Остальные компоненты могут быть высоко- или низкочувствительными химическими соединениями.

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

Контрольные вопросы

1. У каких смесевых ВВ основной частью является аммиачная селитра?
2. Что такое игданиты?
3. Какие водосодержащие ВВ Вы знаете?
4. Какие ВВ называют нитроглицериновыми?
5. Назовите основные виды порохов.
6. За счет каких компонентов обеспечиваются предохранительные свойства ВВ?
7. Охарактеризуйте область применения малоплотных ВВ.

§ 4. Промежуточные детонаторы. Кумулятивные заряды

Промежуточные детонаторы используют для создания мощного начального импульса при взрывании ВВ, имеющих низкую чувствительность. К таким ВВ относятся аммиачная селитра, алюмотол, гранитол, гранулиты, игданиты, граммониты, акватолы и другие водосодержащие ВВ, пироксилиновые и нитроглицериновые пороха.

На карьерах при взрывании скважинных и камерных зарядов предусматривается применение промежуточных детонаторов в виде патронов-боевиков из связки патронированных ВВ (аммонита 6ЖВ, скального аммонита и т. п.), обвязанных детонирующим шнуром (рис. 3.1), или из специальных шашек.

Созданы специальные промежуточные детонаторы из мощных прессованных ВВ в виде шашек различных форм и масс. Характеристика шашек-детонаторов приведена в табл. 3.2. Все шашки взрываются от четырех ниток детонирующего шнура, пропущенного через осевое отверстие.

Шашки-детонаторы прямоугольной или цилиндрической формы (рис. 3.2) изготавливают из прессованного тротила, тетрила, тротило-ексогонового и тротилоглицеринового (пентолитового) сплавов. Иницирующая способность шашек в зависимости от их массы, состава и плотности в десятки и сотни раз превышает иницирующую способность КД и ДШ. Если шашка-детонатор не имеет отверстия, то нитки ДШ в два-три ряда плотно наматывают на шашку и закрепляют прочным шпагатом. В шашках-детонаторах, инициируемых капсюлем-детонатором или электродетонатором, имеются для их размещения специальные

Рис. 3.1. Схема соединения патрона-боевика с ДШ

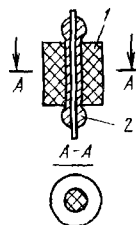
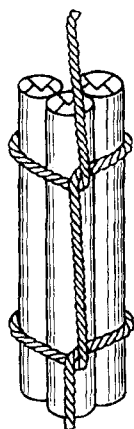


Рис. 3.2. Трогильная шашка-детонатор ТП-40

1 — шашка; 2 — детонирующий шнур

гнезда глубиной 73—75 мм. Сквозные отверстия и гнезда в шашках-детонаторах изготавливают только заводским способом. Шашки-детонаторы чувствительны к внешним воздействиям и их нельзя дробить, резать, сверлить и сжигать. Для повышения водостойкости поверхность шашек-детонаторов покрывается лаком или парафинированной мастикой.

Шашки или патроны ВВ, соединенные с детонирующим шнуром или детонатором, называют боевиками. Боевики изготавливают на местах работ или в специально отведенных местах. Количество их не должно превышать потребности подготавливаемого взрыва.

Патрон-боевик из патронированного ВВ в мягкой оболочке для ввода в патрон детонаторов или ДШ нужно хорошо размять, а оболочку с торца развернуть. После введения в патрон ДШ (завязанного узлом) или детонатора бумажную оболочку необходимо обвязать шнуром вокруг ДШ, огнепроводного шнура или проводов электродетонатора. Детонатор при этом должен быть введен в патрон ВВ на полную длину независимо от типа применяемого ВВ.

Таблица 3.2

Характеристика шашек-детонаторов

Тип шашки	Состав	Масса, г	Форма
ТП-200	Тротил	200	Прессованный цилиндр
ТП-400	«	400	То же
ТП-400Г	«	400	»
ТГ-500	Сплав тротила с гексо- геном	500	Литой цилиндр

Тип шашки	Плотность, г/см ³	Скорость детонации, км/с	Диаметр отверстий для ввода ДШ, мм
ТП-200	1,50—1,55	6,5—6,8	7,5—8,2
ТП-400	1,50—1,55	6,5—6,8	7,5—8,2
ТП-400Г	1,52—1,59	6,8—7,0	14,5
ТГ-500	1,58—1,64	7,2—7,8	14,5

При производстве взрывных работ в сырых условиях патрон-боевик изолируют с помощью резиновой оболочки или другими способами.

Боевики вводятся в заряд осторожно, без толчков. При зарядании запрещается уплотнять боевики, а также проталкивать их ударами.

Масса взрываемого скважинного заряда не оказывает существенного влияния на величину промежуточного детонатора. При дублировании взрывных сетей число промежуточных детонаторов в заряде должно быть не менее двух. В скважинном заряде промежуточный детонатор можно располагать сверху, в середине или внизу, в шпуровом — только сверху.

При расчете массы заряда переводной коэффициент для промежуточного детонатора не учитывается. При взрывании скважинных зарядов масса промежуточного детонатора из порошкообразных ВВ не должна быть более 6 кг.

Трогильные шашки рекомендуются для инициирования сухих и влажных скважинных и камерных зарядов игданита, гранулитов, граммонитов и других ВВ. Шашки с большей инициирующей способностью (ТГ-500) предназначены для инициирования обводненных зарядов гранулолита, алюмогита, граммонитов и водосодержащих акватоллов.

Для скважинных зарядов гранулитов, граммонитов, гранулолита и алюмогита боевик делается из двух шашек ТП-400Г, размещаемых на уровне подошвы уступа. При длине заряда более 12 м рекомендуется устанавливать второй боевик из одной шашки ТП-400Г в верхней части заряда. Для водосодержащих суспензионных и эмульсионных ВВ рекомендуется устанавливать два боевика: в нижнюю часть скважины — из трех шашек и в верхнюю часть заряда — из двух шашек.

В отечественной горной промышленности для вторичного дробления первоначально применялись кумулятивные заряды, по конструкции близкие к классической форме, используемой в военном деле и в нефтегазовой промышленности. Опыт показал, что классическая форма кумулятивных зарядов является малоэффективной для дробления негабаритных кусков горных пород. Поэтому массовое применение кумулятивных зарядов для этих целей началось с начала 70-х годов после разработки и освоения промышленностью плоских зарядов ЗКН и ЗКН-КЗ с торцевой кумулятивной выемкой, меньшей диаметра заряда.

Принцип действия таких зарядов заключается в использовании пробивного действия кумулятивной струи и дробящего действия части заряда ВВ, примыкающей непосредственно к породе на возможно большей поверхности и не участвующей в формировании кумулятивной струи.

Общая активная масса ВВ плоских кумулятивных зарядов $m_{a,з}$ состоит из суммы активных частей ВВ, расположенных над кумулятивной выемкой и торцом заряда $m_{a,т}$. Т. е. $m_{a,з} = m_{a,в} + m_{a,т}$.

Активная масса заряда ВВ, участвующая в формировании кумулятивной струи, находится из выражения

$$m_{ав} = \rho_{ВВ} \Phi r_0^3 / 3.$$

(3)

где $\rho_{ВВ}$ — плотность ВВ; r_0 — средний радиус струи, равный радиус кумулятивной выемки при условии расположения заряда непосредственно на породе.

Общая активная масса ВВ заряда рассчитывается по графоаналитическому методу Ф. А. Баума путем масштабного построения эквивалентной граничных поверхностей для заданной формы заряда, определяющих направление разлета продуктов детонации, и вычисления объемов и масс построенных фигур. В плоских зарядах общая активная масса ВВ $m_{ав}$ составляет в среднем 50–60% общей массы ВВ, в то время как у кумулятивных зарядов классической формы активная часть заряда составляет 28–30% его общей массы.

Выбор массы ВВ и формы кумулятивных зарядов определяется технологией ведения горных работ и технологичностью изготовления зарядов. В частности, масса ВВ кумулятивных зарядов, предназначенных для вторичного дробления, выбирается на основе анализа гранулометрического состава негабаритной части горной массы и среднего удельного расхода ВВ. При минимальных кондиционном куске 200 мм удельном расходе ВВ 0,3 кг/м³ минимальная масса кумулятивного заряда составляет 6 г. Заводская технология производства зарядов, однако, не позволяет изготавливать заряды различной массы. Предельно допустимой минимальной массой кумулятивных зарядов, изготавливаемых прессованием, является масса 0,048 кг, максимальной — 0,5 кг. При изготовлении зарядов литьем предельно допустимая минимальная масса увеличивается до 0,18 кг. Опыт применения кумулятивных зарядов показывает, что предельно допустимой максимальной массой заряда является 4 кг.

Заряд ЗКП (рис. 3.3) представляет собой шашку прессованного и литого тротила с металлической облицовкой торца и кумулятивной выемки. Для инициирования шашки служит промежуточный детонатор с зажимом для ДШ из медной проволоки.

При разработке конструкции зарядов ЗКН-КЗ за основу была принята ранее отработанная внешняя форма зарядов ЗКП с отдельными отклонениями конструктивных элементов. В конструктивном отношении заряды ЗКН-КЗ наиболее просты и состоят из шашки ВВ (литого тротила с 60–70% твердых окатышей из тротила диаметром 3–20 мм)

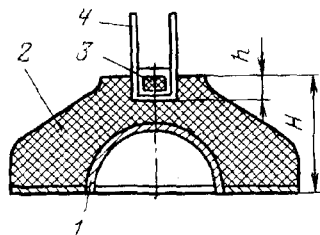


Рис. 3.3. Кумулятивный заряд для вторичного взрыва:

1 — стальная облицовка; 2 — заряд ВВ; 3 — шашка промежуточного детонатора в оболочке; 4 — алюминиевый скоба; H — высота заряда; h — углубление под промежуточный детонатор

Таблица 3.3

Характеристика кумулятивных зарядов ЗКН-КЗ и ЗКП

Тип заряда	Масса, кг	Основные размеры, мм			Соотношение масс активной части заряда и торцевой	Предельные размеры дробимого негабарита	
		Высота	Диаметр	Радиус кумулятивной выемки		Объем, м ³	Толщина, м
ЗКН-КЗ-180	0,18	35	90	17	1,0	0,24—0,45	0,5—0,55
ЗКН-КЗ-260	0,26	40	100	17	1,55	0,5—0,7	0,65—0,75
ЗКН-КЗ-500	0,51	50	130	27	2,03	0,9—1,3	0,7—1,00
ЗКН-КЗ-1000	1,00	75	150	35	1,96	1,4—1,85	0,9—1,2
ЗКН-КЗ-2000	2,00	90	140	45	2,27	3,0—3,5	1,3—1,6
ЗКН-КЗ-4000	4,00	115	230	55	1,97	6,5	1,5—2,0
ЗКП-25	0,028	28	48	15	1,0	0,1	0,18
ЗКП-50	0,076	29	58	15	2,62	0,18	0,26
ЗКП-100	0,135	36	90	17	1,81	0,45	0,45
ЗКП-200	0,245	41	100	22,5	1,76	0,8	0,65
ЗКП-400	0,475	57	125	30	1,82	1,6	0,9
ЗКП-1000	1,23	70	172	38,5	2,25	2,5	1,2
ЗКП-2000	2,18	85	200	45	2,22	4,4	1,6
ЗКП-4000	4,00	105	250	58	1,92	6,9	2,0

кумулятивной выемкой на торце в форме полусферы и полиэтиленовой капсулы с держателем ДШ, торцевой крышки и засыпкой порошкового гексогена.

В табл. 3.3 приведены основные технические характеристики и технико-экономические показатели зарядов ЗКН-КЗ и ЗКП для условий дробления свободнележащих негабаритных кусков с коэффициентом крепости по шкале проф. М. М. Протодяконова $f = 12 \div 18$.

При дроблении теми же зарядами негабаритов в случае нахождения кусков в зажатых условиях предельные размеры этих кусков уменьшаются в 1,75—2 раза по сравнению со значениями, указанными в табл. 3.3.

Согласно теоретическим расчетам пиковое давление, передаваемое породе непосредственно с торца накладного заряда, в 1,25—1,35 раза меньше, чем при ударе торцевым кольцом. Этот теоретический вывод подтверждается результатами экспериментальных исследований, согласно которым заряды ЗКП без металлической облицовки на 20—25% менее эффективны по сравнению с зарядами ЗКП с металлической облицовкой.

Однако обобщение практического опыта применения сотен тысяч кумулятивных зарядов ЗКП с облицовкой торца и кумулятивной выемкой и зарядов ЗКН-КЗ показывает, что при одинаковой массе и плотности ВВ техническая эффективность зарядов ЗКП лишь на 10—15% выше зарядов ЗКН-КЗ.

Однако вследствие высокой стоимости зарядов ЗКП стоимость дробления 1 м³ пород в 2—5 раз выше чем при использовании ЗКН-КЗ. Поэтому, несмотря на более высокую техническую эффективность зарядов ЗКП по сравнению с зарядами ЗКН-КЗ, их применение для вторич-

ного дробления негабаритных кусков горной массы является экономически менее выгодным, чем зарядов ЗКН-КЗ.

В кумулятивных зарядах типа ЗКН-КЗ металлические дегаги отсутствуют, что и упрощает технологию их изготовления и резко снижает стоимость.

Технология изготовления кумулятивных зарядов ЗКП имеет принципиальных отличий от технологии изготовления зарядов ЗКН-КЗ. Отличие заключается в том, что в специальной форме (изложнице) размещают торцовое кольцо с облицовкой кумулятивной выемки, которое при остывании тротила скрепляется с шашкой ВВ основного заряда. Тем самым увеличивается крепость конструкции заряда в целом. Кроме того, промежуточный детонатор с проволоочной скобой в заряде ЗКП размещается после его изготовления путем склеивания с прилегаемых поверхностей.

Кумулятивные заряды ЗКН-КЗ и ЗКП допущены к постоянному применению.

Контрольные вопросы

1. Для чего служат промежуточные детонаторы? Какие виды промежуточных детонаторов Вы знаете?
2. Что называют патроном-боевиком?
3. Каков принцип действия плоских кумулятивных зарядов?
4. Чем отличаются друг от друга заряды ЗКП и ЗКН-КЗ?
5. Почему применение зарядов ЗКН-КЗ для дробления негабаритов экономически более выгодно?

§ 5. Средства беспламенного взрывания

Помимо ВВ, действие которых основано на происходящей в момент взрыва экзотермической реакции, для отбойки угля и пород на свертках и горных угольных шахтах в особоопасных условиях применяют беспламенное взрывание.

При данном способе порода и уголь разрушаются и переменяются за счет газов высокого давления, образующихся в металлических патронах (патронах, гильзах), которые срезают специально установленные диски, диафрагмы или открывают клапаны и выбрасываются через выхлопные отверстия разрядных головок. Применение беспламенного взрывания допускается при содержании метана в воздухе до 2%.

Средства беспламенного взрывания отличаются предохранительными свойствами. Различают способы беспламенного взрывания с применением патронов гидрокс, аэрдокс (применяется редко).

Гидрокс (рис. 3.4) состоит из металлической гильзы 5 (диаметр 54 мм, длина 1320 мм) и патрона БВ-48 (масса 270 г). Металлическая гильза закрыта зарядной 7 и разрядной 1 головками. В гильзе, закрытой переходной муфтой со срезным диском 2, помещен заряд БВ-48, представляющий собой плотную бумажную гильзу, заполненную смесью обменных солей. Внутри патрона находятся инициатор реакции раз-

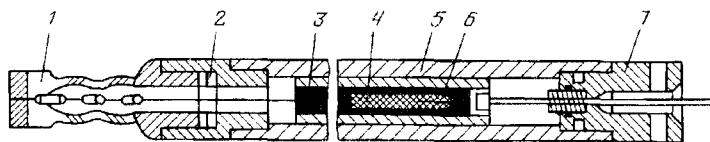


Рис. 3.4. Гидрокс

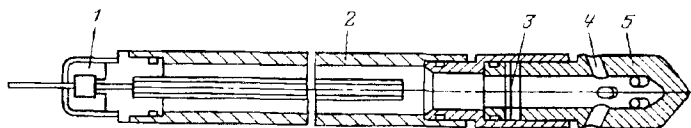


Рис. 3.5. Аэрдокс

жения 4, электротермический элемент 6 и основной состав заряда 3. При включении тока срабатывают электровоспламенитель и инициирующий патрон, возбуждающий реакцию в смеси обменных солей.

Заряд БВ-48 состоит из электротермического элемента ЭТЭ-62, бумажной гильзы, основного инициирующего состава. Реакция состава от тепла электротермического элемента происходит без пламени. Основной состав состоит из аммиачной селитры, азотнокислого магния и древесной муки. Реакция основного состава происходит при давлении 3,5—5 МПа. Интервал времени между подачей импульса и прорывом диска составляет 2—10 с.

При погрузке взорванного угля стальные цилиндры укладывают рядом с конвейером, а при следующем цикле их вновь заряжают патронами. Цилиндр выдерживает до 300 взрываний. Гидрокс обеспечивает более высокую безопасность взрывных работ, чем предохранительные ВВ. Взрыв осуществляется с помощью искробезопасного ИВП-1/12.

В патронах аэрдокс (рис. 3.5) источником потенциальной энергии является сжатый воздух высокого давления. Состоит из стальной трубы 2, разрядной головки 5 с выхлопными окнами 4, штуцера 1 для подключения к воздушной сети и запорного диска 3. Длина патрона 1,1—2,3 м, диаметр 42—63 мм. Шпур бурят на 0,2—0,8 м короче патрона. Последний закладывают в шпур, затем специальным шлангом соединяют его с воздухопроводом и подают в патрон сжатый воздух под давлением 30—70 МПа. Для взрыва следующего шпура необходимо вставить новый запорный диск и подать в патрон новую порцию сжатого воздуха.

Пневмопатроны выпускаются диаметром 42, 54 и 62 мм и длиной 1100—2300 мм. Типоразмеры патронов выбирают в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий разработки. Беспламенное взрывание обеспечивает безопасность работ в шахтах, опасных по газу или пыли, снижение трудоемкости добычных работ.

Использованные патроны передают в специальные зарядные мастерские, находящиеся на поверхности.

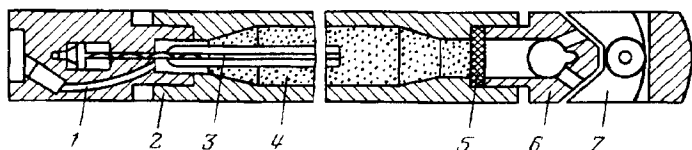


Рис. 3.6. Патрон кардокс для беспламенного взрыва:

1 зарядная головка; 2 цилиндр; 3 нагревательный элемент; 4 углекислота; 5 разрядный диск; 6 разрядная головка; 7 откидной сектор

В кардоксе газы образуются в результате быстрого испарения жидкой углекислоты при нагревании. Патрон для беспламенного взрыва состоит из полого стального цилиндра, зарядной и разрядной головок (рис. 3.6). При пропускании тока через мостик накаливания нагревательного элемента последний подогревает углекислоту или другой состав, вызывая бурное выделение газов. При этом давление в патроне может достигать 50 МПа. Применение патрона кардокс более надежно в шахтах, опасных по газу и пыли, но не обеспечивает полной безопасности, так как выходящая из патрона углекислота вызывает возникновение электростатического разряда, распространяющегося по всей электровзрывной сети.

Беспламенное взрывание применяется при отбойке угля с $f = 1 \div 2$ на пологих и наклонных пластах, в шахтах сверхкатегорных и III категории по газу, опасных по пыли, при проведении выработок по углю, в очистных забоях.

В последние годы проведены исследования по применению средств беспламенного взрыва при добыче кристаллического сырья, нарушение целостности кристаллов которого резко снижает его практическую значимость. Средства беспламенного взрыва перспективны для использования при добыче пьезокварца, исландского шпата, изумрудов, топазов, аквамарин и других ценных кристаллов.

Контрольные вопросы

1. Область применения средств беспламенного взрыва.
2. Какие способы беспламенного взрыва Вы знаете?
3. Какие источники газообразования используются в различных средствах беспламенного взрыва?

§ 6. Выбор типа ВВ и условий их рационального применения

Эффективность буровзрывных работ в значительной мере зависит от правильного выбора ВВ для конкретных горно-геологических условий взрыва. Выбор типа ВВ должен производиться с учетом ряда производственных, геологических, гидрогеологических, технических и экономических факторов. При этом в первую очередь учитывают возможность безопасного применения ВВ в конкретных условиях. Так, в

шахтах, опасных по газу и пыли, могут использоваться только предохранительные ВВ, для механизированного заряжания ВВ, не содержащие нитроэфиров, тэна и гексогена.

Для взрывания в обводненных условиях следует использовать водостойчивые ВВ, выбираемые с учетом возможной продолжительности нахождения их в воде и характера движения грунтовых вод. Абсолютной водостойчивостью обладают гранулотол и алюмотол. Граммонит 30/70 и акватолы на карбоксиметилцеллюлозе растворяются в воде, поэтому их можно применять в малообводненных и обводненных скважинах без проточной воды.

Физико-механические свойства горных пород, их минералогический состав и строение определяют крепость и взрываемость горных пород. Чем выше плотность породы, ее твердость и вязкость, тем больше требуется энергии на ее разрушение и перемещение. Для взрывания крепких скальных пород используют высокобризантные ВВ типа алюмотола, аммонита скального № 1 и другие. Для взрывания слабых пород на карьерах применяют гранулиты и игданиты. При проведении горных выработок в крепких и весьма крепких породах используют ВВ с высокой скоростью детонации (5,0—6,5 км/с), в породах средней крепости применяют ВВ со скоростью детонации около 4 км/с. При проведении выработок в слабых породах применяют низкобризантные ВВ.

Трещиноватость влияет на характер дробления массива горных пород взрывом: чем больше трещиноватость, тем меньше сопротивление массива разрушению взрывом. Наличие зияющих трещин снижает эффект взрыва из-за утечки взрывных газов.

При выборе ВВ учитывается диаметр скважин и шпуров. В любом случае диаметр скважин и шпуров должен быть больше критического диаметра ВВ. Например, гранулит С-2, имеющий критический диаметр открытого заряда 120—150 мм, не детонирует в шпурах диаметром 36—40 мм. Для взрывания шпуров в крепких породах используют аммонит 6ЖВ, имеющий критический диаметр открытого заряда 12 мм.

После изучения горно-геологических и производственных условий выбор ВВ начинается с анализа их взрывчатых свойств, основными элементами которых являются теплота взрыва, работоспособность, бризантность, плотность, скорость детонации.

Весовая концентрация энергии ВВ характеризуется теплотой взрыва. Произведение плотности ВВ на теплоту взрыва показывает объемную концентрацию энергии ВВ в 1 дм³. Знание весовой и объемной концентрации энергии ВВ позволяет определить требуемый объем бурения на 1 м³ взрываемых пород для размещения выбранного ВВ в шпурах или скважинах.

В табл. 3.4 представлены предпочтительные области применения различных отечественных промышленных ВВ на земной поверхности, рекомендуемые Межведомственной комиссией по взрывному делу.

Важной характеристикой технико-экономической эффективности применения ВВ является его стоимость. Применительно к взрывным работам при замене одного ВВ другим капитальные затраты обычно не

Таблица 3.4

Рекомендуемые области применения ВВ при взрывании на поверхности

Условия размещения взрыва ВВ	Коэффициент крепости взрывааемых пород по шкале проф. М. М. Протодаконова	
	<12	>12
Сухие скважины, шурфы, траншеи	Заводского изготовления	
	Гранулиты: М, С-6М, АС-4, АС-4В	Аммонит 6ЖВ
	Граммонит 79/21	Граммониты 50/50, 30/70
		Гранитол-7А
	Местного изготовления	
	Игданит	Акватол Т-20 (ифзанит Т-60, ГЛТ-20)
		Карбатол 15Т, ГЛ-10
		Акванал А-10
Сухие шпуры	Заводского изготовления	
	Гранулиты: М, АС-4, АС-4В	Аммонал М-10
		Аммонит 6ЖВ
	Местного изготовления	
	Игданит	Детонит М
		Гранулит АС-8В
		Скальный аммонит № 3
Обводненные скважины, шурфы, траншеи	Заводского изготовления	
	Гранулол	Гранулол
	Аммонит 6ЖВ в полиэтиленовых патронах	Граммониты 50/50, 30/70
	Гранитол-1	Алюмотол
		Аммонал скальный № 3 в полиэтиленовых патронах
	Местного изготовления	
	Акватол Т-20 (ифзанит Т-20)	Карбатол ГЛ-15Т
		Акватол Т-20 (ГЛТ-20)
		Акваналы: ГЛА-20, А-10
Обводненные шпуры	Заводского изготовления	
	Аммонит 6ЖВ в полиэтиленовых патронах	Детонит М
		Аммонал-200
		Аммонал скальный № 3 в полиэтиленовых патронах

меняются, так как при этом число бурильных машин остается постоянным.

Экономическую эффективность применения разных ВВ при равной степени дробления оценивают по формуле

$$\Sigma C_i = \min, \quad \Sigma C_i = C_v + C_b, \quad (3.2)$$

где C_v и C_b — затраты соответственно на взрывание и бурение, руб.

Затраты на бурение и взрывание составляют

$$C_6 = C_1/\gamma; \quad (3.3)$$

$$C_v = qC_2, \quad (3.4)$$

где C_1 — стоимость бурения 1 м, руб; γ — выход горной массы с 1 м бурения, м^3 ; C_2 — стоимость 1 кг ВВ, руб; q — удельный расход ВВ, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Для шнуровой отбойки

$$\Sigma C_1 = C_v + C_6 = q \left(\frac{C_1}{\frac{k_u P_0}{\eta \cdot 0.9 \Delta}} + C_2 \right) e, \quad (3.5)$$

где η — коэффициент использования шнура (КИШ); e — переводной коэффициент ВВ; P_0 — вместимость ВВ в 1 м шнура; Δ — плотность заряжения, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Как видно из формулы (3.5), выбор наиболее эффективного ВВ при равной степени дробления пород определяется их буримостью, стоимостью 1 кг ВВ и его плотностью.

Для более детальных расчетов необходимо подсчитывать затраты на вторичное дробление негабарита и погрузку породы экскаваторами, переработку минерального сырья до выхода готового продукта.

В условиях конкретного применения ВВ выбирают с учетом этих соображений, а также практического опыта горного предприятия и технологичности ВВ в соответствии с принятой схемой механизации взрывных работ.

Упаковка и расфасовка ВВ заводского изготовления зависят от свойств ВВ, их назначения, гарантируемых сроков сохранности свойств, условий хранения, перевозки и применения. Гранулированные ВВ выпускаются только в россыпном виде, порошкообразные — как в россыпном, так и в патронированном виде. ВВ высокой чувствительности к внешним воздействиям, а также предохранительные ВВ выпускают в патронированном виде.

Гранулированные и непатронированные порошкообразные ВВ упаковывают в 4-слойные бумажные битумированные мешки или мешки с полиэтиленовым покрытием.

Патронированные ВВ выпускаются по типоразмерам с определенными величинами диаметра патронов и их массы. Патроны упаковываются в пачки из парафинированной бумаги или пакеты из полиэтилена, по 8—12 патронов в пачке. Пачки или пакеты упаковывают в деревянные ящики, ящики из древесно-волоконистых плит, из гофрированного картона.

Контрольные вопросы

1. С учетом каких факторов осуществляется выбор типа ВВ?
2. Как оценивается экономическая эффективность применения разных ВВ?

3. Перечислите ВВ, допущенные к постоянному применению только для горных работ.

4. Назовите основные ВВ, допущенные к применению на подземных работах.

§ 7. Технологические характеристики ВВ.

Методы оценки технологических характеристик и испытание промышленных ВВ

К основным технологическим характеристикам промышленных ВВ относятся: плотность, пластичность, сыпучесть, слеживаемость, скопичность, водоустойчивость, расслаиваемость, стойкость нитроглицеринсодержащих ВВ еще экссудация и старение.

Плотность представляет собой отношение массы к занимаемому объему и выражается в г/см^3 , кг/дм^3 и т/м^3 . Она влияет на все характеристики ВВ. Для каждого ВВ существует оптимальная плотность, при которой достигается максимальный эффект при взрыве.

Повышение плотности ВВ позволяет значительно увеличить объем взрывной камеры, количество энергии и повысить эффективность дробления горных пород.

Различают действительную (истинную), гравиметрическую (фактическую), оптимальную, критическую и относительную плотность.

Действительная плотность ВВ — отношение массы ВВ к его реальному объему без учета воздушных включений между гранулами и кристаллами ВВ.

Гравиметрическая плотность ВВ — это плотность ВВ в зарядах (шпурах, скважинах и т. д.). В зависимости от объема промежутков, крупности гранул и формы кристаллов одна и та же ВВ может иметь различную гравиметрическую плотность.

Кристаллическая плотность ВВ — максимально допустимая плотность, при которой заряд ВВ определенного диаметра имеет устойчивую детонацию. Начиная с некоторого предельного диаметра, скорость детонации для данных условий остается постоянной, а ниже критической — становится неустойчивой и затухает.

В практике взрывных работ пользуются следующими понятиями: плотность ВВ — отношение массы ВВ к его объему; плотность патронов ВВ — отношение массы патронов к их объему; плотность заряжения — отношение массы заряда ВВ к объему всей взрывной камеры, включая пустоты. Каждое ВВ имеет свои оптимальные значения плотности, за пределами которых происходит ухудшение взрывчатых характеристик ВВ вплоть до полной потери детонационной способности.

Критическая плотность возрастает с увеличением диаметра заряда. Например, сильно уплотненная аммиачная селитра в аммонии ведет себя как инертное вещество и, поглощая энергию, делает невозможным распространение детонации по заряду.

Стойкостью ВВ называют способность ВВ сохранять свои

ые химические и физические свойства в течение определенного периода хранения.

Значают химическую и физическую стойкость.

Химическая стойкость зависит от природы ВВ, их чистоты, плотности, внешних условий (влажности и температуры окружающей среды, влияния солнечных лучей) и др.

ВВ на основе аммиачной селитры имеют достаточно высокую химическую стойкость, в связи с чем никаким специальным испытанием не подвергается. ВВ с добавками жидких нитроэфиров (детонит М, хранительные ВВ) имеют меньшую химическую стойкость, особенно если имеются хотя бы незначительные остатки кислот в нитроэфире.

Взрывчатые вещества, обладающие недостаточной химической стойкостью, под влиянием различных причин начинают разлагаться.

Физической стойкостью ВВ называют способность его сохранять физические свойства и структуру в течение определенного периода времени.

Она характеризуется механической прочностью, гигроскопичностью, слеживаемостью, расслаиваемостью, водоустойчивостью, стабильностью, эксудацией, летучестью и др.

Сыпучесть — способность ВВ свободно высыпаться из калиброванных отверстий, полностью заполнять определенные замкнутые объемы (накопительные полости, бункеры зарядных устройств). Сыпучесть имеет большое значение при механизированном зарядании, особенно востребована при скавжин в подземных условиях. Хорошей сыпучестью характеризуются гранулированные ВВ. Так как гранулированные ВВ мало пылят, пылью не образуют взрывоопасных смесей и имеют пониженную химическую чувствительность, их разрешается заряжать механизированным способом. Пониженной сыпучестью характеризуются порошковые ВВ. Эти ВВ теряют сыпучесть при содержании влаги 1,2—1,5% и выше, также при слеживании. Гранулированные ВВ теряют сыпучесть при увлажнении их до 6% и выше.

Слеживаемость — частичная или полная потеря сыпучести некоторыми порошкообразными ВВ, сопровождающаяся образованием сплошных комков различной прочности и крупности. Разрушение комков слежившихся ВВ требует приложения усилий различной мощности — от легких ударов до применения механического дробления. Слеживаемость аммиачно-селитренных ВВ происходит вследствие сцепления отдельных кристаллов аммиачной селитры в результате изменения их формы и структуры под воздействием температуры и влажности. На слеживаемость ВВ оказывают влияние их температура и влажность в момент упаковки на заводе. Усилению слеживаемости ВВ способствует повышенная гигроскопичность.

Гигроскопичность, или способность вещества самопроизвольно впитывать влагу из окружающей среды, проявляется в том случае, когда при данной температуре окружающего воздуха упругость паров, насыщенных взрывчатым веществом, ниже упругости водяных паров в окружающем воздухе. Кристаллическая аммиачная селитра имеет не-

большую упругость выделяемых паров, и поэтому аммиачно-селитренные ВВ имеют значительную гигроскопичность. Впитываемая влага ухудшает взрывчатые свойства ВВ. Скорость увлажнения аммиачной селитры и других ВВ зависит от температуры и влажности окружающего воздуха. Для уменьшения или ликвидации поглощения влаги взрывчатым веществом в процессе хранения для каждого ВВ при определенной температуре может быть найдена такая относительная влажность воздуха, при которой ВВ не увлажняется и не подсыхает.

Расслаиваемость — способность смесевых и россыпных ВВ под влиянием внешних причин или самопроизвольно разделяться на составные части или отдельные компоненты из-за неодинаковой плотности, формы, размеров, различной смачиваемости и удерживающей способности твердых компонентов. Наиболее заметен этот эффект в глубоких скважинах или больших емкостях. Так, в граммонитах возможно выпадение тротила на дно скважин, в игданитах и гранулитах — стекание дизельного масла с гранул, в граммонитах на чешуйчатом тротиле в обводненных скважинах происходит отделение чешуйчатого тротила из-за плохой его смачиваемости и возможны «пробки» в скважине, в порошкообразных динамомах — образование участков чистой селитры и прослойки древесной муки.

У водосодержащих ВВ, если объем раствора больше, чем объем межгранульного пространства твердой фазы, наблюдается постепенное оседание твердых фракций заряда в нижнюю часть скважины.

Текучесть — способность водосодержащих ВВ вытекать из емкостей и через рукава и шланги под действием ускорения свободного падения или избыточного давления. Это свойство определяет эффективность механизированного заряжания ВВ этих типов и существенно зависит от температуры ВВ, его продолжительности хранения и начальной консистенции.

Водоустойчивость — способность ВВ противостоять проникновению воды в массу заряда, растворению компонентов и устойчиво детонировать в окружении воды. Следует отдельно рассматривать это свойство для порошкообразных, гранулированных и водосодержащих ВВ. Водоустойчивость ВВ повышается при включении в их состав гидрофобных добавок.

Для порошкообразных ВВ водоустойчивость оценивается по величине давления столба воды, необходимого для ее проникновения внутрь заряда в течение определенного времени.

Испытаниями на водоустойчивость предусмотрена выдержка патронов ВВ на определенной глубине в течение определенного времени. Все порошкообразные ВВ имеют слабую водоустойчивость, особенно при повышенном гидростатическом давлении (в обводненной скважине при высоте столба воды 6—10 м; в шахтах, где из шпуров вытекает вода под давлением).

Для гранулированных ВВ — это способность гранул не растворяться в воде и детонировать в водонаполненном состоянии. Повышение водоустойчивости гранулированной аммиачной селитры

достигается покрытием гранул водоустойчивыми составами (например, вязкими горючими добавками типа мазута или плавящим тротилом). Однако при малейшем нарушении покрытия при транспортировании и зарядании происходят вымывание селитры и снижение детонационной способности заряда.

Для водосодержащих ВВ водоустойчивость определяется способностью к растворению или размыванию сплошной структуры заряда, образованию в нем водных промежутков. Большинство водосодержащих ВВ достаточно водоустойчивы при нахождении заряда в непроточной воде. Однако при зарядании обводненных скважин через слой воды водоустойчивость этих ВВ резко снижается, также как и при их нахождении в скважинах с проточной водой.

Пластичность — способность ВВ к неупругой деформации. Пластичные ВВ способны легко деформироваться под воздействием внешних нагрузок и сохранять придаваемую им форму. Пластичность ВВ позволяет достигать большей плотности заряда. Благодаря пластичности акванит при нажатии на него забойником заполняет весь объем заряжаемой части скважины с высокой плотностью.

В пластичных ВВ имеются твердые частицы ВВ или окислителя, жидкая фаза в виде жидких ВВ или инертных наполнителей и загуститель, придающий вязкость жидкой фазе. В качестве загустителей применяют коллоидный хлопок (в нитроглицериновых ВВ), крамал, натровую соль карбоксиметилцеллюлозы, гуар-гуар, гуаргам и т. п.

Гранулометрический состав ВВ — количественное содержание частиц различной крупности в массе ВВ. Взрывчатые вещества имеют различный состав как по крупности, так и по форме частиц. Промышленные ВВ изготавливают в виде кристаллического порошка, гранул или чешуек.

Экссудация — способность жидких компонентов мигрировать из состава ВВ под действием капиллярных сил. Этим отрицательным свойством обладают в основном ВВ, содержащие жидкие нитрофилы. В результате выделения из массы ВВ нитроглицерина или нитроглицоля ВВ становятся весьма опасны в обращении и изымаются из дальнейшего употребления.

Старение. Структура геля пластичных ВВ со временем изменяется, снижаются его вязкость и пластичность, удаляются воздушные пузырьки, в результате чего понижается чувствительность ВВ. Раминанием и повторным перемешиванием можно восстановить чувствительность пластичного постаревшего ВВ.

Пыление — способность сыпучих ВВ при операциях с ними измельчаться и выделять в атмосферу мелкодисперсные частицы. Наиболее пылящими являются порошкообразные ВВ, менее пылящими — гранулированные, особенно окисленные составы (игданит, гранулиты), а также гранулотол и алюмотол. Пыление гранулированных ВВ в основном зависит от прочности гранул селитры. У металлизированных ВВ источником пыления является алюминиевая пудра, у гримонита — мелкие фракции тротила.

У заряжаемых скважин запыленность воздуха не должна превышать допустимые концентрации: 1 мг/м^3 — для пыли тротила, 2 мг/м^3 — для алюминиевой пудры, $10/300 \text{ мг/м}^3$ — для солярового масла (числитель для паров, знаменатель — для капельно-жидкого аэрозоля). Пыление ВВ значительно возрастает при низкой влажности воздуха и в холодное время года. Для борьбы с пылением ВВ увлажняют до 4%, ограничивают скорость пневмотранспортирования по шлангам и трубам, соблюдают рациональные расстояния между торцами зарядного шланга и формируемого торца заряда, применяют схемы зарядания с вакуумированием транспортно-зарядной системы, используют индивидуальные средства защиты и установку тканевых фильтров над устьем заряжаемых шпуров и скважин.

Электризация ВВ — способность движущейся смеси из частиц ВВ, взвешенных в воздушном потоке, электризоваться (накапливать заряды статического электричества), что может привести к взрывоподобным вспышкам.

Чем выше электрическое сопротивление материала, тем он легче электризуется. Наиболее высокие диэлектрические свойства имеют гексоген, тротил, которые и наиболее склонны к электризации. Наименее электризуемы бестротиловые простейшие ВВ (гранулиты, игданиты). Смесевые ВВ особенно подвержены электризации, если в их составе содержатся тонкодисперсные компоненты, обладающие диэлектрическими свойствами (алюминиевая пудра, тротиловая мука). Опасность электризации таких составов увеличивается в связи с тем, что при их транспортировании по проводящим шлангам или металлическим трубам мелкие фракции диэлектриков покрывают тонким слоем внутреннюю поверхность шлангов и превращают их из проводников в диэлектрики, которые не обеспечивают стекания зарядов из смеси ВВ с воздухом.

На электризацию ВВ влияют относительная влажность воздуха, влагосодержание ВВ, его дисперсность, радиус закругления магистралей, скорость транспортирования.

При увлажнении транспортируемого ВВ до 4% на внутренней поверхности шланга образуется токопроводящая пленка, которая обеспечивает стекание электрических зарядов. Электризация потока происходит весьма незначительно при скорости до 18 м/с, а при скорости более 20 м/с электризация становится интенсивной и может привести к вспышкам.

Для уменьшения электризации радиусы закруглений магистралей должны быть меньше 0,5 м. Это одновременно уменьшает дробление гранул на поворотах магистралей.

С увеличением содержания в составе ВВ мелких гранул (мельче 1 мм) и особенно порошкообразных фракций степень электризации при прочих одинаковых параметрах пневмотранспортирования увеличивается. Поэтому пневмотранспортирование порошкообразных и мелко дисперсных ВВ не допускается.

Виды испытаний и проверка качества ВВ. Поскольку свойства ВВ

могут изменяться при транспортировании и хранении, при поступлении на склад и хранении их периодически следует испытывать для определения пригодности к дальнейшему хранению и безопасному использованию при взрывных работах.

Испытание ВВ — проверка по определенной методике на безотказность их действия и возможность дальнейшего хранения и применения.

Весь комплекс испытаний проводится на базисном складе. На расходных складах производят при этом только наружный осмотр. Взрывчатые вещества испытывают взрывники или лаборанты под руководством заведующего складом в следующие сроки:

ВВ, содержащие жидкие нитроэфир, а также все предохранительные ВВ, — в конце гарантийного срока и каждый месяц после его истечения;

другие ВВ — в конце гарантийного срока и не реже чем через каждые три месяца после его истечения;

средства инициирования — в конце гарантийного срока и не реже одного раза в год после его истечения.

Если ВВ и СИ поступают на склад непосредственно от заводов-изготовителей или с базисного на расходный склад в неповрежденной таре, то при наличии сертификатов его не испытывают. При обнаружении дефектов во время осмотра или испытания всю партию ВВ бракуют и составляют акт, который направляют заводу-изготовителю и Госгортехнадзору. Вопрос о дальнейшем использовании их решается комиссией с участием завода-изготовителя. ВВ и средства инициирования подвергают следующим испытаниям:

нитроэфирные ВВ — наружный осмотр тары и отобранных патронов, наличие экссудата, способность передачи детонации;

промышленные ВВ на основе аммиачной селитры — наружный осмотр тары и отобранных патронов, способность передачи детонации, содержание влаги;

пороха дымные — наружный осмотр тары и проверка наличия пыли, определение прочности порохового зерна;

электродетонаторы, капсули-детонаторы — наружный осмотр тары, внешний осмотр отобранных электродетонаторов и капсулей-детонаторов;

огнепроводный шнур — наружный осмотр тары, внешний осмотр тары отобранного ОШ, определение скорости, полноты и равномерности горения, водостойчивости;

детонирующий шнур — наружный осмотр тары, внешний осмотр отобранного ДШ, определение водостойчивости.

Испытания ВВ взрыванием должны производиться на расстоянии не менее 200 м от хранилищ склада на специально отведенном месте. Люди, занятые испытанием ВВ, на время взрывания должны удаляться на расстояние не менее 50 м от места взрывания.

Наружный осмотр тары является общим испытанием для всех ВВ. Наружному осмотру подвергают все ящики с ВВ для установления наличия повреждения тары и четких трафаретов, целости обвязки

и пломбировки. Ящики с дефектами отбирают в отдельную партию и составляют акт. В поврежденных ящиках проверяют целостность внутренней упаковки. При наличии дефектов в упаковке внутри ящиков проверяют соответствие фактической массы или количества содержимого ящика указанному в маркировке или в других документах. При несоответствии массы или количества составляют рекламационный акт, который направляют заводу-изготовителю и районной инспекции Госгортехнадзора.

Наружный осмотр патронов. Из поступившей на склад партии ВВ из разных ящиков отбирают пять пачек, которые распаковывают, и все патроны из них подвергают наружному осмотру. На каждом патроне должен стоять четкий штамп с указанием наименования ВВ, массы патрона, месяца и года изготовления, номера партии и индекса завода.

На патронах не должно быть следов подмочки, а также внешних признаков увлажнения взрывчатого вещества. Не допускаются высыпание ВВ с торцов патронов, затекание влагоизолирующего состава внутрь патрона ВВ, образование на торцах патрона пробок из влагоизолирующего вещества, а также углубление торцов патронов более чем на 7 мм. Патроны не должны иметь признаков слеживания и спекания. При разрезании бумажной оболочки ВВ не должно рассыпаться при легком нажатии руки.

При осмотре патронов нитроэфирных ВВ и ящиков для них необходимо проверить экссудацию. При этом не должно быть выделившейся жидкости ни в ящиках, ни в патронах.

При разворачивании бумажной оболочки патрона не должно быть следов жидкости и на внутренней стороне бумажной оболочки; допускается только наличие блестящей полоски на стыке внутреннего края бумажной оболочки патрона с налегающим на него следующим слоем бумаги. Ширина этой полоски не должна быть более 6 мм.

Наличие более широкой полоски, а также капель жидкости или расплывшихся больших пятен указывает на наличие экссудации.

Оттаивание замерзших ВВ, содержащих жидкие нитроэфиры, производится обычно целыми ящиками в отапливаемых складах при температуре воздуха в помещении не выше 30° С. При этом для контроля над оттаиванием необходимо вести запись времени поступления и выдачи каждой партии.

Выдача ВВ из вновь поступившей партии может производиться ранее чем через двое суток с момента поступления данной партии на отапливаемый склад.

Оттаивать ВВ, содержащие жидкие нитроэфиры, в специальных помещениях разрешается не только целыми ящиками, но и в раскупоренном виде.

Определение содержания влаги во взрывчатых веществах. Содержание влаги во взрывчатых веществах определяется по разности в массе до и после просушивания навески испытуемого ВВ. Для навески берут из пяти пачек по одному патрону, высыпают и

них ВВ и тщательно перемешивают. После этого набирают в стеклянные стаканчики с притертыми крышками две навески массой каждая около 10 г и взвешивают их на аналитических весах с точностью до 0,0002 г.

Навески аммиачно-селитренных ВВ в стаканчиках с открытыми крышками помещают в электрический сушильный шкаф и высушивают в течение 4–6 ч при температуре 60–70° С до постоянной массы в пределах третьего знака.

При высушивании навесок стаканчики должны быть открытыми, а во время взвешивания — плотно закрыты притертыми крышками. Перед каждым взвешиванием стаканчики с навесками ВВ с закрытыми крышками охлаждают до комнатной температуры в специальном сосуде (экскикаторе) с хлористым кальцием.

Содержание влаги вычисляется по формуле

$$P = \frac{G_1 - G_2}{G_3} 100\%, \quad (3.6)$$

где G_1 и G_2 — масса стаканчика с навеской ВВ соответственно до и после сушки, г; G_3 — масса навески ВВ без стаканчика до сушки, г.

Затем производят два параллельных определения и вычисляют среднюю величину, результат округляют до 0,01%.

Содержание влаги во всех ВВ должно соответствовать требованиям ГОСТа или ТУ на испытываемую продукцию.

Испытание дымного пороха проводят путем наружного осмотра гари и пороха, а также проверки прочности порохового зерна. Партия пороха должна иметь массу не менее 2 т. Порох должен быть упакован в герметические металлические короба, которые вставляются в деревянные футляры. Чистая масса дымного пороха в одном коробе должна быть не более 75 кг.

Для проведения испытаний из 5% коробов, но не менее чем из пяти, отбирают пробу. Из каждого короба отбирают по 300 г пороха. Зерна пороха должны иметь однородный (сизо-черный) цвет и не содержать посторонних примесей или комков слежавшихся зерен.

При нажатии рукой пороховое зерно не должно рассыпаться. При пересыпании пороха на белом листе не должно оставаться черных пятен. Содержание пыли в дымном порохе допускается не более 0,2%. Если пробы не соответствуют указанным требованиям, то партию ВВ бракуют.

Испытание электродетонаторов — проверка ЭД на соответствие требованиям правил безопасности и действующих стандартов.

Наружный осмотр ЭД с металлическими гильзами заключается в выявлении на их поверхности признаков окисления, загрязнения, трещин, вмятин или раковин.

Электродетонаторы бракуют при слабой обжимке гильзы, нарушении изоляции проводов, загрязнении и окислении зачищенных концов проводов. Сопротивление должно соответствовать величине,

указанной в паспорте. При получении отклонений сопротивлений от указанных в паспорте электродетонаторы к применению не допускаются.

Испытание капсюлей-детонаторов по Единым правилам безопасности при взрывных работах предусматривает только наружный осмотр. При наружном осмотре металлические гильзы не должны иметь трещины и раковины, а бумажные — отслаивания бумаги и дупляна, препятствующего введению огнепроводного шнура. Внутренняя поверхность гильз не должна иметь следов засорения.

Капсюли-детонаторы с дефектами подлежат уничтожению.

Испытание огнепроводного шнура. Наружным осмотром устанавливают возможные переломы, трещины в оболочке, разлохмачивание концов, следы замокания и т. п. При обнаружении указанных дефектов всю партию огнепроводного шнура бракуют.

Испытание огнепроводного шнура на скорость, полноту и равномерность горения проводят только после испытания на водостойкость. Концы кругов перед погружением в воду заделывают водостойковой мастикой и выдерживают под водой на глубине 1 м: ОША — в течение 1 ч, ОШДА и ОШП — в течение 4 ч.

Шнур, давший хотя бы одно затухание после замачивания, не пользуют только в сухих условиях. Время горения нормально горящего шнура (длиной 60 см) находится в пределах 60—70 с. При отклонении от этого времени, а также при затухании горения шнур бракуют.

Испытание детонирующего шнура. Наружный осмотр детонирующего шнура дает возможность установить нарушение целостности оболочки, переломы, утонения и утолщения. Если бухт с дефектами больше 10% числа проверенных, то всю партию бракуют.

Для испытания детонирующего шнура на безопасность взрывания берут три бухты, отрезают от каждой по пять отрезков длиной 1 м и последовательно присоединяют их к оставшимся длинным (45 м) кускам ДШ, служащим в качестве отдельных магистральных линий. Детонирующий шнур, давший при взрыве в трех схемах более одного отказа на магистралях или более двух отказов в соединениях, считают бракованным.

Если шнур предназначен для обводненных условий, то испытание проводят после замачивания его в воде на глубине 1 м. При применении в условиях повышенной влажности шнур выдерживают под водой в течение 1 ч, для работ в воде — в течение 4 ч. Отрезки шнура перед погружением в воду герметизируют в торцах изолирующей мастикой, длина отрезков 5 м. Затем их разрезают на пять равных частей и связывают морскими узлами последовательно в одну линию. При этом шнур должен детонировать полностью. Если же шнур испытаний на водонепроницаемость не выдержал, то его испытывают на передачу детонации без замачивания и при положительных результатах используют в сухих условиях.

Контрольные вопросы

1. Какие технологические свойства ВВ Вы знаете?
2. Что называется стойкостью ВВ?
3. Существует ли разница в оценке водостойчивости разных типов ВВ?
4. Какие свойства ВВ необходимо учитывать при механизации заряжания ВВ?
5. В какие сроки испытывают взрывчатые материалы?
6. Каким испытаниям подвергаются ВВ и средства взрывания?

§ 8. Механизация взрывных работ

Техника взрывных работ, независимо от применяемого способа взрывания, включает в себя выполнение важного процесса — заряжания, который в большинстве случаев сопровождается забойкой зарядных подостей, а в некоторых случаях их предварительным осушением.

Значительные трудоемкость и длительность подготовки и заряжания ВВ вручную, повышающиеся требования к санитарно-гигиеническим условиям и безопасности работ, а также низкое качество взрыва при ручном заряжании определяют необходимость механизации взрывных работ. С ростом объемов разработки скальных пород повышенной крепости, увеличением масштабов и концентрации взрывных работ резко возрастают убытки от простоев, связанных с остановкой технологического комплекса на время проведения взрывных работ.

Длительное пребывание ВВ и СИ в зарядных выработках приводит к снижению надежности и качества взрывов.

В этой связи возникла необходимость в совершенствовании техники и технологии взрывных работ. Решающее значение в этом имеет комплексная механизация всех процессов, связанных с производством взрывных работ, являющаяся основой для успешного решения других задач по повышению эффективности отбойки горной массы взрывом.

Механизация взрывных работ на горных предприятиях осуществляется на основе принципов независимости процессов заряжания и забойки от остальных технологических процессов — погрузки, транспортировки и т. д. Механизация взрывных работ может быть комплексной или частичной.

Комплексные схемы предусматривают применение комплекса машин и механизмов для механизации работ на всех основных участках подготовки к взрыву. Эти схемы экономически целесообразны при больших расходах ВВ.

На карьере имеются следующие основные участки механизации взрывных работ: склад ВМ; пункт подготовки исходных компонентов и готовых ВВ к загрузке зарядных машин; места оборудования для осушения скважин перед заряжением; места заряжания и забойки скважин.

Выбор схем комплексной механизации должен определяться технологическими и организационными предпосылками и учитывать все факторы, влияющие на выполнение работ.

Основными технологическими предпосылками при выборе схем комплексной механизации взрывных работ являются: высокая безопас-

ность работ; высокая производительность труда и минимальные объемы работ, выполняемых вручную; возможность использования для заряжания двух-трех типов ВВ; обеспечение одинаковых нагрузок на все машины и механизмы.

Механизация взрывных работ базируется на ВВ и оборудовании, исключающих образование взрывоопасных или токсичных концентраций пыли, воспламеняющихся от электростатических разрядов, испарение ВВ, вынос токсичной и взрывоопасной пыли из зарядных камер и заряжающих устройств.

Взрывчатые вещества, применяемые для механизированного заряжания, не должны содержать чувствительных компонентов — нитроэфиров, гексогена или тэна.

Этим требованиям в большей степени отвечают водосодержащие и россыпные ВВ. Применение водосодержащих ВВ позволяет сократить объем буровых работ. Безопасными в обращении при механизированном заряжании считаются гранулиты, игданиты и горячельющиеся ВВ.

Для заряжания россыпными гранулированными ВВ используют пневмотранспорт. Образовавшиеся при этом пыль и электрические заряды создают опасные условия для возникновения вспышки пылевого облака от искрового разряда. Поэтому ВВ необходимо увлажнять путем подачи в трубопровод воды и перемещать их со скоростью не более 20 м/с.

При подготовке и хранении ВВ следует исключить его загрязнение горючими веществами, кислотами и щелочами, породной мелочью, химикатами, так как это увеличивает их чувствительность к внешним воздействиям и повышает опасность их дальнейшего использования.

Механизированные комплексы по приготовлению ВВ должны исключить вредное воздействие на окружающую среду.

Для механизированного заряжания пригодны различные сыпучие и льющиеся ВВ, отличающиеся достаточной прочностью частиц и отсутствием склонности к пылению.

Такие ВВ, как игданит, граммониты 79/21, 50/50, гранулиты АС-8, АС-4; С; М; ифзанит, обеспечивают требуемую высокую эффективность действия взрывов и возможность широкого применения в разнообразных условиях, что в свою очередь является важнейшей предпосылкой для ускорения развития технического прогресса во взрывном деле.

На выбор схем оказывают влияние следующие факторы.

1. Тип взрывчатых веществ — гранулированные ВВ, простейшие ВВ типа игданит, водосодержащие ВВ.

2. Мощность предприятия — большой производственной мощности с объемом взрывных работ 10—50 тыс. т ВВ в год; средней производственной мощности с объемом взрывных работ 1—10 тыс. т ВВ в год; небольшой производственной мощности с объемом взрывных работ 200—1000 т ВВ в год. При расходе ВВ по карьеру или группе карьеров, расположенных в радиусе 12—15 км, свыше 3000 т в год наиболее целесообразны строительство стационарного смесительного пункта и

приготовлению гранулитов, граммонитов, акватолов, игданитов из отдельных компонентов, получаемых с заводов-поставщиков, и транспортирование приготовленных смесей в транспортно-зарядных машинах высокой грузоподъемности. При расходе ВВ от 1000 до 3000 т в год наиболее целесообразны приготовление из отдельных компонентов, получаемых с заводов-поставщиков, и перевозка в карьер игданитов, гранулитов, граммонитов или акватолов в универсальных зарядно-смесительных машинах СУЗН-5 или «Акватор». При расходе ВВ до 1000 т в год целесообразно получать готовые ВВ с заводов-поставщиков, загружая их в универсальные машины СУЗН-5 или транспортно-зарядные машины ТЗМ-1.

3. Условия доставки ВВ на предприятия — в мешкотаре в вагонах МПС; в мешкотаре в вагонах предприятия-получателя ВВ; в специальных контейнерах; в специализированных цистернах.

4. Стадия развития предприятия: эксплуатация действующего предприятия с построенными базисными складами ВМ; реконструкция базисных складов ВМ; проектирование базисных складов; создание и проектирование крупных межотраслевых комплексно-механизированных предприятий по ведению взрывных работ с механизированными базисными складами.

Окончательный выбор схемы комплексной механизации должен осуществляться на основе технико-экономического анализа.

При использовании простейших ВВ (игданитов) известно шесть основных схем комплексной механизации, применяемых на практике или рекомендуемых к использованию.

1. Первая схема предназначена для горных предприятий, размещенных в радиусе 100 км от завода — изготовителя аммиачной селитры.

Доставка селитры с завода осуществляется в россыпном виде автомобильным транспортом. Из автомашины селитра сжатым воздухом по шлангу подается на ленточный конвейер, с которого попадает в хранилище. По мере надобности селитра загружается погрузчиком в бадью мостового крана, который транспортирует ее в бункер с роторной дробилкой. Далее селитра ленточным конвейером подается в смесительную установку для приготовления игданита. Готовый игданит попадает в бункер-накопитель и по мере потребности загружается в зарядную машину для доставки на карьер и зарядания скважин.

2. При значительных расстояниях от завода — изготовителя аммиачной селитры до горного предприятия селитру в россыпном виде доставляют железнодорожными вагонами, из которых разгружают ковшовым погрузчиком или вакуумной установкой. При использовании саморазгружающихся вагонов — хопперов разгрузка осуществляется без привлечения дополнительных технических средств. Далее схема механизации осуществляется по цепочке первой схемы.

3. При доставке аммиачной селитры в мешках железнодорожными вагонами погрузчик с вакуумным захватом подает мешки на ленточный конвейер и с него на растариватель. Извлеченная из мешков селит-

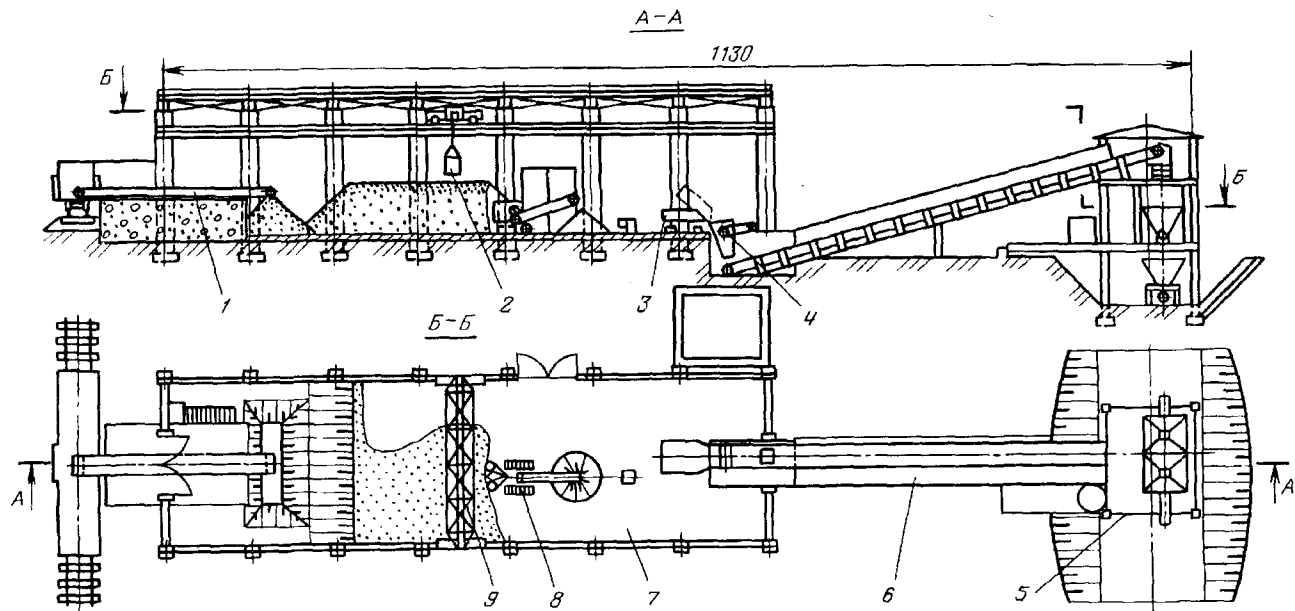


Рис. 3.7. Комплекс «Кривбасс»:

- 1 конвейер для подачи селитры на склад; 2 бадья для подачи селитры на дробилку; 3 опрокид; 4 дробилка; 5 бункерно-смесительное отделение;
6 галерея наклонного конвейера; 7 здание склада аммиачной селитры; 8 машина МВС-4 для погрузки селитры; 9 мостовой кран

ра попадает в хранилище. Дальнейшая технологическая цепочка аналогична первой схеме.

4. При доставке аммиачной селитры в мешках железнодорожными вагонами разгрузка осуществляется вручную на поддоны. Поддоны электропогрузчиком транспортируются в хранилище, откуда по мере необходимости тем же погрузчиком мешки доставляются к установке для растаривания, рыхления, просеивания и смешивания аммиачной селитры с дизельным топливом. Далее игданит конвейером подается на шнековый конвейер и загружается в бункер-наполнитель для загрузки в зарядную машину.

5. Аммиачная селитра, доставленная в железнодорожном вагоне, выгружается на конвейер, откуда подается (россыпная - непосредственно, а упакованная в мешки — через растариватель) в одну из секций склада. Секция представляет собой емкость с пневматическими диафрагмами для периодического рыхления селитры и выгрузки на общий конвейер. Этот конвейер доставляет селитру в смесительную установку с бункером-накопителем. Готовый игданит загружается в зарядную машину.

6. Россыпная аммиачная селитра самотеком выпускается из железнодорожного вагона по рукаву в аэробункер, откуда камерным насосом по трубопроводу подается в бункер-осадитель и далее в башню-хранилище. Для предотвращения слеживания селитра из башни-хранилища периодически через перегрузочный бункер с пневморазгрузителем поступает в камерный насос, который по трубопроводу возвращает ее в бункер-осадитель и далее в башню-хранилище. Срок хранения аммиачной селитры в башне-хранилище при периодическом ее перепуске не должен превышать 15 дней. По мере надобности селитра камерным насосом подается в смесительную установку. Готовый игданит из бункера-накопителя загружается в зарядную машину.

Общие принципы 1-й и 2-й схем реализованы в комплексе «Кривбасс» (рис. 3.7).

Если горное предприятие использует готовые ВВ, доставляемые в мешках железнодорожными вагонами, то могут быть применены следующие схемы комплексной механизации.

1. Мешки с ВВ на поддонах электропогрузчики доставляют в хранилище, откуда по мере надобности тем же погрузчиком подают на конвейер для транспортирования в растаривающую установку УРВ-2 (рис. 3.8) и далее в бункер-накопитель для загрузки в зарядную машину.

Производительность мешкорастаривающей установки УРВ-2 массой 400 кг составляет 20–25 т/ч.

Техническая характеристика комплекса «Кривбасс»

Вместимость склада аммиачной селитры, т	1000
Размеры склада, м	42×12×10
Установленная мощность электродвигателей, кВт	120
Производительность, т/смену	150
Численность обслуживающего персонала, чел.	5

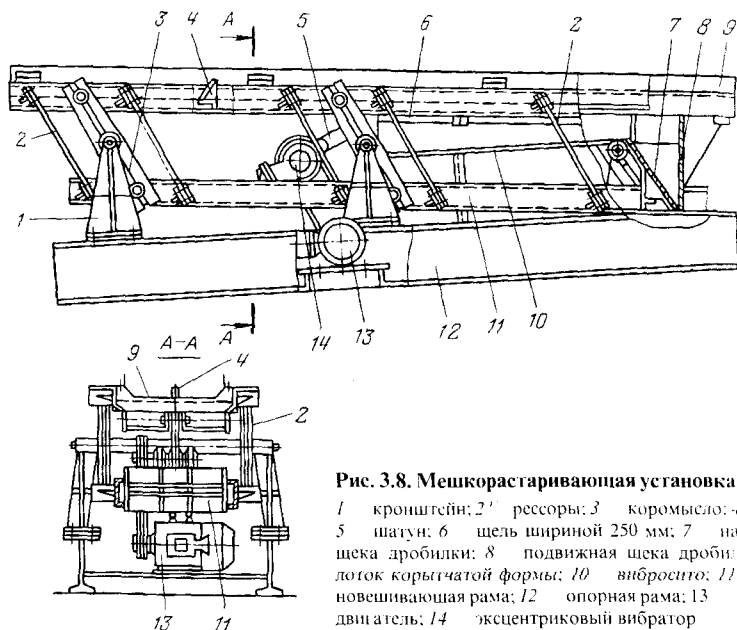


Рис. 3.8. Мешкорастаривающая установка

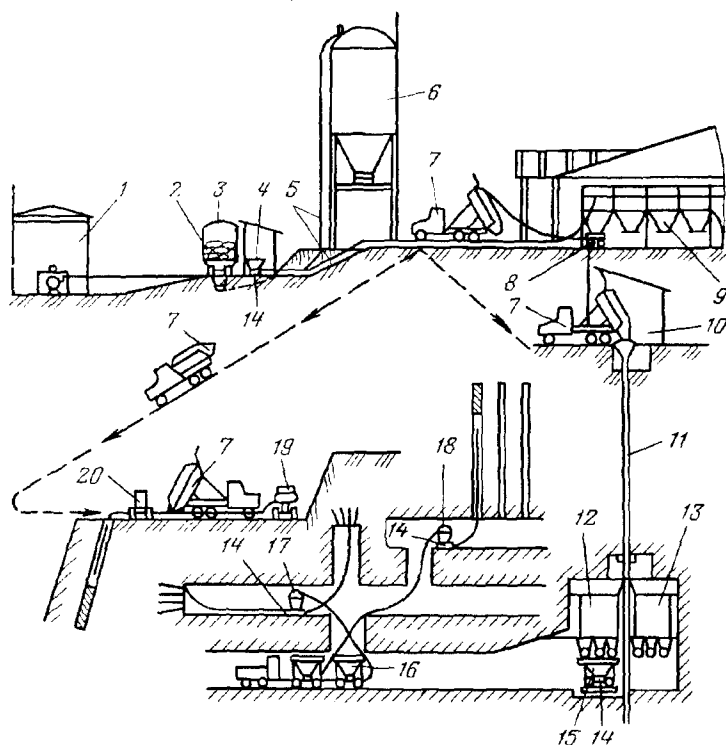
1 кронштейн; 2' рессоры; 3 коромысло; 4
5 шатун; 6 шель шириной 250 мм; 7 на-
вешивающая рама; 8 подвижная шель дробилки;
9 лоток корытчатой формы; 10 выбросит; 11
опорная рама; 12 эксцентриковый вибратор

2. Вторая схема используется при малых расходах ВВ. Она аналогична первой до момента подачи мешков из хранилища на конвейер. Конвейер с растаривающей головкой может быть использован для выгрузки ВВ из вагона в зарядную машину непосредственно в карьере или в зарядную машину и промежуточный склад ВВ вблизи карьера.

3. На Лениногорском полиметаллическом комбинате работает комплекс «Алтай» (рис. 3.9) со следующей технологической схемой: выгружаемые из железнодорожных вагонов мешки с гранулированным ВВ попадают в растариватель-пнеumoпогрузчик или вакуумный растариватель на стационарном пункте, гранулированное ВВ транспортируется сжатым воздухом по полиэтиленовому трубопроводу на расстояние до 400 м в бункер механизированного хранилища. ВВ из бункера попадает в пневмодозатор и далее в зарядную машину «Универсал».

Если горное предприятие использует готовое ВВ, доставляемое заводом-изготовителем в специальных емкостях, то возможны следующие варианты комплексной механизации.

1. Вагон-цистерна, разделенная на пять секций грузоподъемностью 12 т каждая, паркуется на базисном складе. Каждая секция имеет загрузочную и выпускную проемы, дозатор и управляемую пневмодозирующую систему для периодического рыхления ВВ и интенсификации выгрузки. Число вагонов-цистерн зависит от мощности предприятия, коэффициента обмена вагонов с заводом — изготовителем ВВ. Для Ловий Кривбасса при коэффициенте обмена, равном 13, потре-



3.9. Схема комплексной механизации «Алтай»:

1 - компрессорная станция; 2 - гранулированные ВВ в мешках или россыпью; 3 - железнодорожный вагон; 4 - растариватель-пневмопогрузчик; 5 - полиэтиленовые полупроводящие шланги; 6 - бунда для силосного хранения ВВ (200 т); 7 - автосамосвал «Универсал»; 8 - унифицированный самодозатор МПД; 9 - бункера-хранилища; 10 - приемный пункт перепускной скважины; 11 - скважина для перепуска ВВ в подземные хранилища ВВ; 12, 13 - подземные бункера ВВ; 14 - пневмодозаторы; 15 - зарядно-доставочная установка; 16 - состав зарядно-доставочных установок; 17 - пневмозарядчик; 18 - зарядчик скважин; 19 - автопистерна для приготовления ВВ различных составов; 20 - передвижной компрессор

до вагонов-цистерн составит 100—150 шт., при коэффициенте обмена, равном 24, — не более 80 шт. С базисного склада вагон-цистерна транспортируется на промежуточный склад вблизи карьера. Здесь ВВ по специальному желобу самотеком попадает в бункер зарядной машины.

2. Из вагона-контейнеровоза контейнеры выгружают краном в базисный склад. Контейнер оборудован пневмодиафрагмами и узлом разгрузки с дозатором зарядной машины. По мере необходимости контейнеры краном устанавливают на зарядные машины. Возможен вариант непосредственной перестановки контейнеров с вагона на зарядные машины.

Для нормальной работы по данной схеме применительно к условиям Кривбасса достаточно иметь обменный фонд в количестве 900 контейнеров.

При использовании горным предприятием водосодержащих ВВ в зависимости от метода водонаполнения возможны следующие схемы комплексной механизации.

1. ВВ в мешках электропогрузчиком выгружают на базисный склад. По мере потребления электропогрузчик подает мешки с ВВ на конвейер и далее в растаривающую установку. Растаренное ВВ загружают в емкость смесительно-зарядной машины. Другая емкость этой машины заполняется сухой аммиачной селитрой, а бак — заранее при отовле- ным горячим раствором аммиачной селитры. Смесь готовится у сква- жины. Готовым ифзанитом заполняется скважина.

2. Сухие акватольные смеси выгружают электропогрузчиком из ва- гона на базисный склад, откуда тот же погрузчик загружает мешки транспортную машину. На карьере содержимое мешков вручную пер- сыпается в смесительно-зарядную машину «Акватол», имеющую бак с водой, электронагреватель и насос для принудительной подачи аква- тола в скважину.

3. Схема аналогична предыдущей, но бак смесительно-зарядной машины заполняется специальной доставочной машиной горячим ра- твором аммиачной селитры, приготовленным в стационарной уста- новке.

4. Схема аналогична двум предыдущим, но при выгрузке сухого ВВ из зарядной машины в скважину в спускной лоток подается перегретый пар из специальной машины — генератора пара. Внедрение принци- пально новых ВВ (эмульсионных, со вспененным полистиролом и т. д.) конструкций зарядных машин требует разработки новых схем ком- плексной механизации взрывных работ.

Механизация взрывных работ в подземных условиях значительно сложнее, чем на карьерах. Это определяется, с одной стороны, стесне- ными условиями и, с другой — более сложной организацией работ в подземных условиях. Кроме того, работа зарядных устройств в подзем- ных условиях отличается большим многообразием, доставка ВВ с зарядного устройства к скважине идет по трубам значительной про- долженности.

Доставка ВВ к зарядной машине на горнодобывающих предприяти- ях в большинстве случаев выполняется со значительным числом пере- грузочных операций. Поэтому при механизации взрывных работ надо выбирать такие схемы, которые обеспечили бы максимальную степень механизации взрывных работ.

Применяют несколько схем комплексной механизации взрывных работ, при которых ВВ доставляется в забой: в мешкотаре и растарива- ется в забое; в специальных вагонах в растаренном виде, с вагонов выполняется зарядание скважин; в растаренном виде по трубам к месту зарядания; в специальных контейнерах в растаренном виде, затем пер- грузжается в бункер зарядной машины.

Одна из возможных схем рассмотрена на примере комплекса «Алтай» (см. рис. 3.9).

Конечным звеном цепочки технологического оборудования во вс-

схемах комплексной и частичной механизации взрывных работ являются зарядные машины и механизмы.

В зависимости от выполняемых операций зарядные машины и устройства можно классифицировать следующим образом: транспортно-зарядные машины для доставки и заряжания гранулированных и простейших ВВ на карьерах; зарядчики для заряжания шпуров и скважин сыпучими гранулированными ВВ; машины и механизмы для заряжания шпуров и скважин патронированными ВВ; смесительно-зарядные машины для транспортировки, приготовления и заряжания в скважины водосодержащих, эмульсионных ВВ и взрывчатых смесей со вспененным полистиролом.

В зависимости от принципа работы исполнительного органа зарядные устройства можно классифицировать следующим образом: толкающие, бросающие, эжекторные пистолетного типа, камерные и барабанные.

Доставочно-зарядные машины в зависимости от механизма выгрузки подразделяют на шнековые (СУЗН-5), с силовыми диафрагмами (МЗ-8, МЗ-12), с подачей ВВ сжатым воздухом (МЭС-1м).

Отраслевым стандартом предусмотрено создание двух типов зарядных машин для карьеров: для заряжания гранулированных и водосодержащих ВВ.

Характеристика зарядных машин для гранулированных (МЗ-1, МЗ-2, МЗ-3 и МЗ-4) и водосодержащих (МЗ-2В, МЗ-3В и МЗ-4В) ВВ приведена ниже.

Тип зарядной машины	МЗ-1	МЗ-2	МЗ-3	МЗ-4	МЗ-2В	МЗ-3В	МЗ-4В
Производительность, кг/мин	180	180	300	450	180	300	450
Грузоподъемность, т	3	5	10	25	5	60	25
Годовой расход ВВ на карьере, т	500	2000	>7000	7000	2000	7000	>7000

Зарядная машина МЗ-4 предназначена для заряжания скважин гранулированными ВВ заводского изготовления, граммонитами и игданитами, приготовляемыми при заряжании. На шасси автомобиля БелАЗ-540А установлены опрокидывающий бункер, транспортирующее устройство для подачи ВВ в скважину и пульт управления. Бункер разделен неподвижной продольной перегородкой на две части. Левая часть предназначена для размещения аммиачной селитры, правая — тротила. Отношение объемов левой части бункера к правой — 78:22. Сверху бункер оборудован загрузочными люками с сетками и крышками. Подъем бункера выполняется цилиндрами подъема автомобиля. Устройство для подачи ВВ в скважину крепится в нижней задней части бункера и состоит из неподвижного и подвижного шнеков. Подвижный шнек перемещается по направляющим рейкам в зону видимости шофера-оператора, неподвижный выдвигается сдвоенными гидравлическими цилиндрами. Для приготовления игданита на машине предусмотрена система, обеспечивающая подачу дизельного топлива в аммиачную

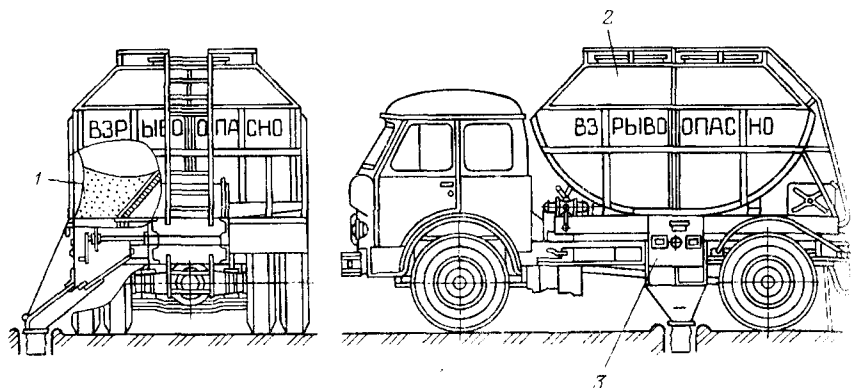


Рис. 3.10. Зарядная машина МЗ-8

селитру. Дизельное топливо подается насосом через форсунки непосредственно в неподвижный иннек. Машину обслуживают два человека.

Зарядные машины МЗ-8 и МЗ-12 отличаются простотой конструкции. Бункер машины МЗ-8 (рис. 3.10) установлен на автомобиле МАЗ-503. К бункеру 2 крепится дозатор 3. Внутри бункера закреплены пневмокамеры / таким образом, что плотно прилегают к днищу бункера и его стенкам. Материалом для пневмокамер служит высокопрочная ткань на полиамидной основе. ВВ из бункера под собственным весом попадает в дозатор, а из дозатора — в скважину. Под собственным весом из бункера выгружается только 30–35% ВВ. Для выгрузки остального ВВ пневмокамеры наполняют сжатым воздухом и с их помощью переменяют ВВ к дозатору. Для полной выгрузки ВВ требуется несколько циклов наполнения и выпуска сжатого воздуха.

Зарядная машина МЗ-12 отличается тем, что бункер для ВВ смонтирован на базе автомашины КраЗ-257, имеет удлиненную форму, разделен перегородкой на две части. Каждая часть оборудована дозатором и работает самостоятельно.

Машины МЗ-8 и МЗ-12 широко применяются на карьерах Кривобасса.

Достоинства машин МЗ-8 и МЗ-12: простота конструкции, высокая производительность и малое пылевыведение. Недостатки: неточность учета расхода ВВ, близкий подъезд машин к скважине и необходимость многократного заполнения пневмокамер сжатым воздухом.

Зарядная машина МЗ-1 предназначена для приготовления и пневматического заряжания скважин гранулированными, водосодержащими

Техническая характеристика зарядных машин

Тип зарядной машины	МЗ-8	МЗ-12
Вместимость бункера, м ³	8	12
Грузоподъемность, т.	7	11
Максимальное рабочее давление в пневмокамерах, кПа	300	300
Производительность по выгрузке ВВ, кг/мин	400	400

Техническая характеристика зарядных машин МЗ-1, «Универсал», «Зыряновск»

Тип зарядной машины	МЗ-1	«Универсал»	«Зыряновск»
Грузоподъемность, т	4	8	10
Управление дозатором	Автоматическое, ручное	Ручное, автоматическое	Ручное
Вместимость бункера для россыпных ВВ, м ³	4,5	2,5	11,0
Производительность дозатора, кг/мин	250	<400	—
Доза ВВ за ход поршня, кг	12	12	—
Расход сжатого воздуха, м ³ /мин, не более	8	25	—
Дальность транспортирования ВВ, м, не более	60	100	—
Диаметр зарядного планга, мм	67 75	67 75	—
Техническая производительность, кг/мин	300	<600	<500
Основные размеры, мм	6900× ×2730×3540	8600× ×640×3000	8157× ×2692×3782

жаними ВВ и гиданитом. Смонтирована на базе автомобиля МАЗ-500. Состоит из бункера вместимостью 3 м³, в нижней части которого установлен пневмодозатор МПД-2 с гидронасосом для баков воды и дизельного топлива вместимостью 0,8 м³. Производительность зарядки гранулированными ВВ равна 150—500 кг/мин, акватолом — 100—300 кг/мин.

Смесительно-зарядная установка «Акватол» применяется для водосовмещения сухих акватольных смесей непосредственно перед заряданием (рис. 3.11).

В установке «Акватол» использованы генератор электрического тока и электронагреватель, помещенный в водяном баке. Циркуляционный насос горячая вода подается в дозатор и через него в смеситель для смешивания с сухой акватольной смесью, загружаемой ковшом. Водосовмещенное ВВ насосом закачивается в скважину. Недостаток машины — ручная загрузка сухого акватолоа.

Транспортно-зарядная машина МЗ-3В (ТЗМ-1) состоит из автомобиля КраЗ-256Б, цистерны для раствора аммиачной селитры, двухсекционного бункера для сухих компонентов (гранулированного тротила и аммиачной селитры), шнеков для подачи сухих компонентов в мерно-смесительную камеру, пневматической и гидравлической системы. Подача раствора аммиачной селитры в мерно-смесительные камеры и готовой взрывчатой смеси в скважины производится сжатым воздухом.

Многообразие условий ведения взрывных работ в подземных выра-

Техническая характеристика машины МЗ-3В (ТЗМ-1)

Грузоподъемность, т	9
Производительность, кг/мин	300
Вместимость, м ³ :	
цистерны	5,5
бункера сухих компонентов	3,2
мерно-смесительной камеры	0,25
Длина зарядного планга, м	25
Основные размеры машины, мм	8100×2630×3270

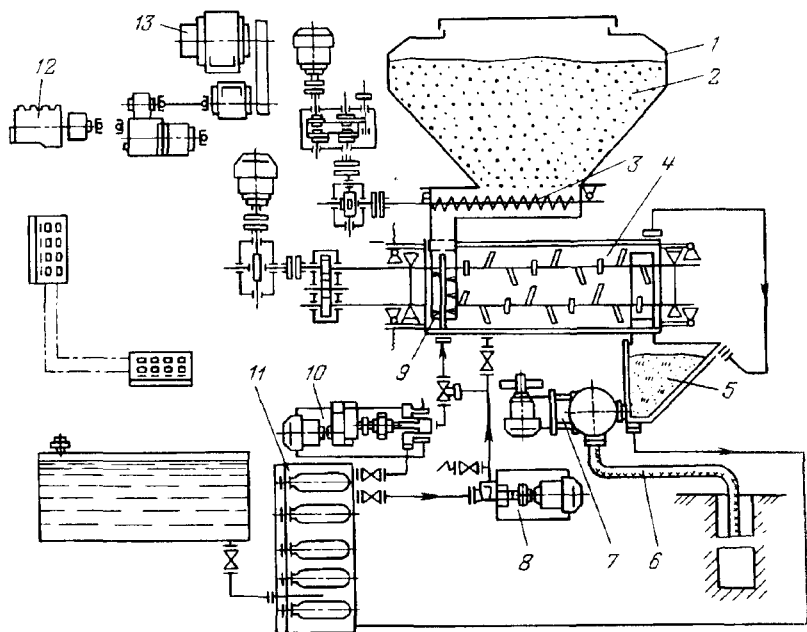


Рис. 3.11. Смесительно-зарядная установка «Акватол»:

1 — бункер; 2 — сухая смесь ВВ; 3 — шнековый питатель; 4 — лопастной смеситель; 5 — бункер-дозатор; 6 — зарядный шланг; 7 — плунжерно-диафрагменный насос; 8 — циркуляционный насос; 9 — распылитель горячей воды; 10 — насос-дозатор горячей воды; 11 — бак горячей воды; 12 — прибор отбора мощности автомобильного двигателя; 13 — электрогенератор для привода механизмов и нагрева воды

ботках обусловило необходимость создания зарядных устройств, различающихся по конструкции, принципу действия, вместимости и форме бункера для ВВ, способам управления и т. п. Механизация облегчает труд рабочих, в 2—5 раз повышает производительность, увеличивает плотность заряжания. 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 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 из токопроводящих или полупроводящих труб или шлангов с удельным сопротивлением не более 10^6 Ом·см. Все элементы заземляют.

Нитроэфиро- и гексогеносодержащие ВВ, как и боевики, заряжают только вручную. Причем при электрическом взрывании боевики уста-

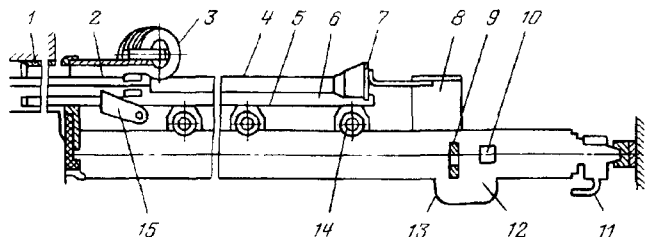


Рис. 3.12. Зарядчик ЗМК-1:

1 съемный кондуктор; 2 ДШ; 3 катушка для ДШ; 4 забойник; 5 лоток; 6 съемный клин; 7 толкатель; 8 каретка податчика; 9 внутренняя рейка; 10 поршень распорного устройства; 11 фиксатор; 12 кран распорного устройства; 13 кран податчика; 14 блок шестерен; 15 зашелка

навливают по окончании заряжания и удалении из забоя заряжающих устройств. Для уменьшения пыления и накопления статического электричества ВВ смачивают.

Для заряжания шпуров и скважин патронированными ВВ применяются механические зарядчики толкательного (рис. 3.12) и метательного типа, а для заряжания россыпными ВВ — различные пневматические зарядчики. Скорость подачи патронов толкающими зарядчиками ограничена 0,6 м/с, а метательными — 10 м/с.

Толкающий зарядчик МПЗН-1 позволяет повысить производительность труда в 3—4 раза при массовой отбойке руды глубокими вертикальными скважинами.

Достоинства зарядчиков толкающего типа: простота устройства, отсутствие пылеобразования при заряжании, возможность перехода от одного диаметра скважин к другому без существенного изменения устройства.

Недостатки этих зарядчиков: недостаточная плотность заряжания, потребность в дополнительных устройствах для продувки скважин, наличие холостого хода.

Зарядчик ПЗК (бросающий) применяют при заряжании скважин патронированными ВВ на горных предприятиях, за исключением рудников и шахт, опасных по газу или пыли. Применяется также зарядчик ПЗК, в котором колонка жесткой конструкции заменена гибкой зарядной колонкой, позволяющей заряжать скважины, пробуренные на расстоянии от почвы выработки 0,8—1,0 м. Зарядчики ПЗК предназначены для заряжания патронированными ВВ диаметром 32,

Техническая характеристика толкающих зарядчиков

Тип зарядчика	МПЗН-1	ЗЛ-2Б	ЗМК-1
Диаметр заряжаемых скважин, мм	80—150	80—200	<105
Глубина скважин, м, не более	50	40	50
Угол наклона, градус	—	Не ограничен	—
Рабочее давление сжатого воздуха, МПа	0,4—0,45	0,4—0,5	0,4—0,5
Скорость подачи штанг (забойников), м/с	0,5	0,6	0,6
Масса зарядчика (без штанг, забойников), кг	73	36,5	—

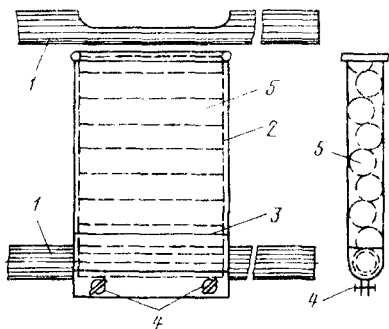
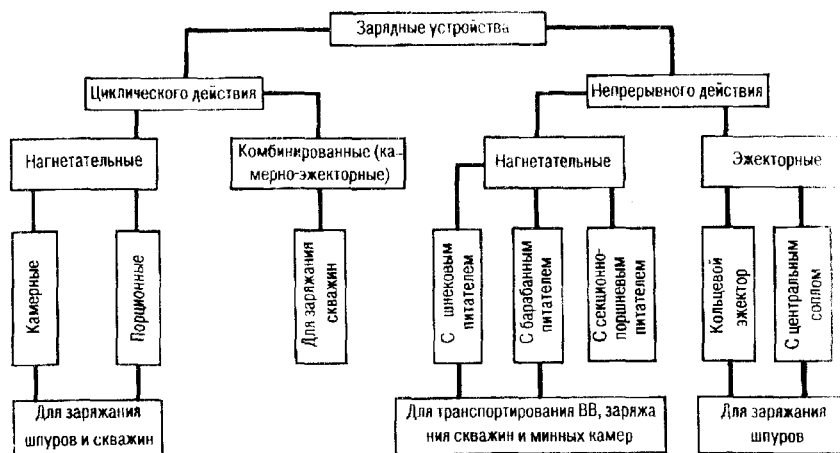


Рис. 3.13. Кассетный пневмозарядчик

Рис. 3.14. Классификация пневматических зарядных устройств



45, 55 и 70 мм и скважин диаметром 45—100 мм любых направлений глубины.

Уплотнение патронов в скважине происходит вследствие приобретенной во время движения по колонке кинетической энергии. При этом плотность может регулироваться в пределах $0,9—1,3 \text{ г/см}^3$. За один цикл может быть послано в скважину до 15 патронов массой по 400—800 г. В качестве гибкой колонки используют шланги полиэтиленовые, капроновые или из других эластичных пластиков.

Достоинства бросających зарядников: высокая производительность и плотность зарядки ВВ, простота устройства и маневренность в работе в стесненных условиях. Недостатки: обратный вынос пыли из монита, возможность образования пробок из ВВ.

На рис. 3.13 показан кассетный пневмозарядчик метательного типа. Он состоит из трубки 1 (с вырезом для захода патронов) и кассеты 2, в которую закладывают патроны ВВ 5. Кассета посредством зажима 3 и винтов 4 крепится к трубе. Один конец трубы вставляется в шпур, а другой соединяется со шлангом, подводящим

сжатый воздух. Периодически открывая клапан, сжатым воздухом подают патроны в шпур.

Для заряжания рассыпными ВВ применяют различные пневматические зарядчики (рис. 3.14).

В пневматических нагнетательных зарядчиках ВВ из емкостей с низким давлением (обычно атмосферным) с помощью питателей (дозирующих устройств) вводится в рабочий трубопровод, находящийся под давлением 0,4–0,7 МПа.

В эжекторных зарядчиках ВВ из загрузочной воронки подается в транспортную магистраль за счет разрежения, создаваемого струей сжатого воздуха, выходящей с большой скоростью из сопла.

В комбинированных зарядчиках подача смеси основана на принципе нагнетания в сочетании с эжекцией. Принцип эжекции во многих случаях используется и при загрузке гранулированными ВВ зарядных устройств.

Большинство зарядчиков заполняется гранулированными ВВ вручную, реже используются вспомогательные средства — бункеры-накопители, вагонетки с эжекторными устройствами и др.

В эжекторных зарядчиках (рис. 3.15) сжатый воздух поступает в эжектор 3. Увлекаемое из воронки 2 ВВ поступает по трубке 1 в шпур. Сжатый воздух подается к эжектору через клапан.

Эжекторные зарядчики имеют простую конструкцию, способствующую удобству эксплуатации при больших скоростях транспортирования ВВ. Поскольку они обладают низкой производительностью и малой дальностью транспортирования ВВ, а высокие скорости транспортирования способствуют большому пылению, их рекомендуется применять только для заряжания игданитом или гранулитом. Технические характеристики некоторых зарядчиков приведены ниже.

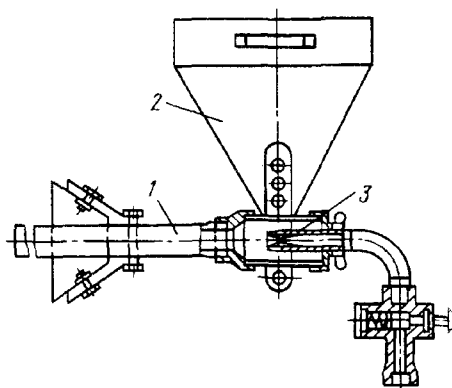
Зарядчик ЗЭП-Г предназначен для заряжания горизонтальных и слабонаклонных шпуров, ЗЭП-В — для заряжания вертикальных шпуров.

Камерный зарядчик ЗЭП-5 («Вахш-5»), предназначенный для заряжания гранулированными ВВ шпуров и скважин любого направления (рис. 3.16), может транспортировать ВВ по пневмомагистрали на расстояние до 60 м в горизонтальном и до 40 м в вертикальном направлениях. Зарядчик состоит из герметического металлического

Техническая характеристика эжекторных зарядчиков

Тип зарядчика	ЗЭП-Г («Курама-7М»)	ЗЭП-В («Курама-8»)
Диаметр шпуров, мм	34–60	34–50
Глубина шпуров, м	3	3
Вместимость бункера, м ³	7	9
Рабочее давление, МПа	0,5–0,6	0,5–0,7
Производительность, кг/мин, не более	18	12
Наружный диаметр зарядной трубки, мм	24	24
Основные размеры, мм	1500×400×300	1400×300×300
Масса зарядчика, кг	2,0–2,2	2,5

Рис. 3.15. Эжекторный пневмозарядчик



бункера 1, загрузочной воронки 2 с конусным затвором 3, краном включения 9, воздушных сопел 5, регулятора давления 6 и зарядного шланга с зарядной трубкой 4. Имеются кран 8 и шланг 7 для дополнительной подачи воздуха в зарядный шланг. По принципу действия к нему близки зарядчики ПЗЖ и «Катунь», оборудованные дистанционным управлением для заряжания скважин с расстояния до 75 м от забоя.

Для заряжания ВВ скважин широкое применение находят порционные зарядчики.

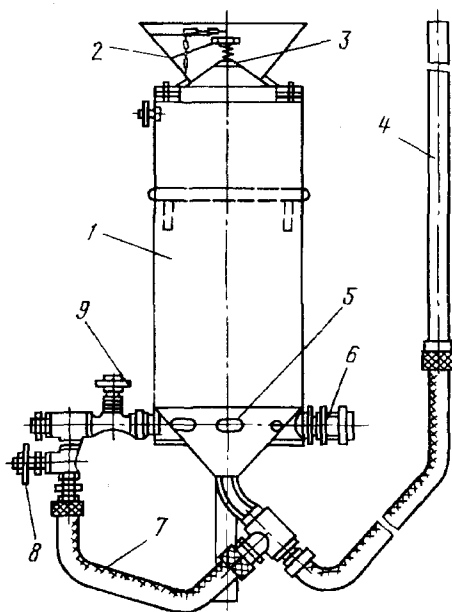


Рис. 3.16. Камерный зарядчик «Вахш-5»

Техническая характеристика камерных зарядчиков

Тип зарядчика	ЗКП-5	ПЗЖ	«Катунь»
Вместимость бункера, дм ³	20	25	38
Давление сжатого воздуха, кПа	350 400	200	400
Производительность, кг/мин	40 120	45	40 100
Глубина заряджания, м:			
шпуров	15	10	15
скважин	50	--	--
Диаметр, мм:			
шпуров	56	65	36 70
скважин	56--105	--	--
Плотность заряджания, г/см ³	1,15	1,15	1,15
Размеры, мм:			
высота	1000	350	960
диаметр	260	260	440
Масса зарядчика, кг	20	13	26

Техническая характеристика порционных пневмозарядчиков типа ЗП приведена ниже.

Зарядчики типа ЗП работают следующим образом. ВВ из бункера зарядчика через конусный затвор (рис. 3.17), находящийся при отсутствии воздуха в пневмоцилиндре в открытом положении, просыпается в дозатор и заполняет его. При включении сжатого воздуха поршень отжимает пружину и конусный затвор перекрывает дозатор. В это время открывается канал подачи воздуха через шток и дозатор, происходит аэрация порции ВВ, находящейся в дозаторе. Под действием сжатого воздуха эта порция ВВ выталкивается в зарядный трубопровод и далее в шпур; ВВ, вылетая из зарядной трубки, при ударе о забой уплотняется (до 1,2 г/см³).

Модели зарядчиков ЗП различаются вместимостью дозирующей камеры и конструкцией аэрирующих устройств.

Ранцевый порционный зарядчик РПЗ-0,6 нагнетательного типа (рис. 3.18, а) предназначен для заряджания шпуров любого направления гранулированными ВВ в проходческих и очистных забоях подземных горных выработок.

Зарядчик состоит из емкости 1 для ВВ, оборудованной клапаном 2 и переходником 3, пневмодозатора, устройства для смачивания ВВ и пневмокнопки.

Техническая характеристика порционных пневмозарядчиков

Тип зарядчика	ЗП-2	ЗП-5	ЗП-12	ЗП-25
Диаметр заряжаемых шпуров и скважин, мм	56	75--80	105	120--150
Производительность, кг/мин	20--50	50 70	120--150	130 170
Глубина шпуров и скважин, м	26	35	40	40
Вместимость приемного бункера, дм ³	40	40	60	60
Масса порции, кг	0,5--2	5	12	25
Дальность транспортирования, м	30	70	100	150
Высота, мм	900	1040	1200	1200
Ширина (диаметр приемного бункера), мм	570	570	570	570
Диаметр зарядного шланга, мм	25	32	38--50	38--60
Масса зарядчика, кг	17	19	30	38

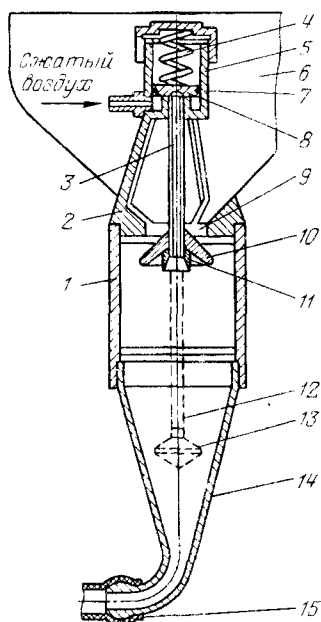


Рис. 3.17. Порционный зарядчик глина ЗП:

1 цилиндрическая часть дозирующей камеры; 2 стойка; 3 золотниковое отверстие; 4 пружина; 5 пневмоцилиндр; 6 бункер; 7 уплотнительное кольцо; 8 поршень; 9 отверстие запорного клапана; 10 запорный клапан; 11 гайка-разделитель; 12 удлинительная трубка; 13 аэрирующая насадка; 14 коническая часть дозирующей камеры; 15 зарядный шланг

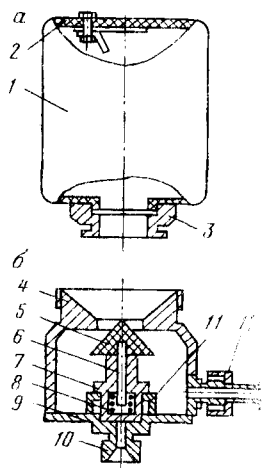


Рис. 3.18. Рамцевый зарядчик РПЗ-0,6

Некоторые технические данные зарядчика РПЗ-0,6 приведены ниже

Глубина шпуров, мм	До 5
Диаметр шпуров, мм	До 42
Угол наклона шпуров, градус	0—360
Плотность заряжания, г/см ³	1,2
Масса порции подаваемой в шпур ВВ, кг	0,5
Масса дозируемой жидкости, кг	0,025
Масса зарядчика в сборе (без ВВ), кг	5
Размеры емкости для ВВ, мм	300×600
Скорость пневмотранспортирования, м/с	15—20

Пневмодозатор (рис. 3.18, б) состоит из корпуса камеры 4, основания 9, пневмоцилиндра 7 с перфорированным стаканом 11, снабженного запорным клапаном 5 на штоке 6, пружины 8, штуцерами 10 и 12. Штуцеру 12 пневмодозатора подсоединяется зарядный шланг длиной менее 5 м, диаметром 18—20 мм, а к штуцеру 10 — устройство для увлажнения ВВ. Емкость для ВВ из полиэтилена соединяется с пневмодозатором через переходник. Донная часть снабжена клапаном.

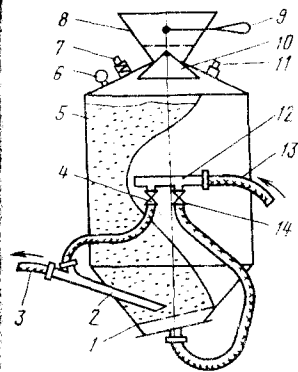


Рис. 3.19. Зарядно-доставочная установка ЗДУ

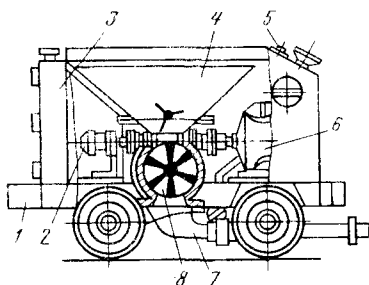


Рис. 3.20. Смесительно-зарядная установка УЗДМ-1:

1 — платформа шахтной вагонетки; 2 — насос; 3 — бак дизельного топлива; 4 — бункер; 5 — пульт управления; 6 — пневмодвигатель; 7 — разгрузочная камера; 8 — барабанный питатель.

Пневмозарядчик работает следующим образом. После подсоединения пневмодозатора через переходник к емкости в камеру засыпается порция ВВ. При нажатии кнопки сжатый воздух, проходя через устройство для увлажнения, поднимает шток, запирается загрузочное окно. Сжатый воздух, насыщенный водой, из перфорированного стакана пневмоцилиндра поступает в камеру, аэрирует ВВ и подает смесь по зарядному шлангу в шпур. После подачи порции ВВ кнопка отпускается и шток под воздействием пружины возвращается в исходное положение, открывается загрузочное окно и следующая порция ВВ из емкости засыпается в камеру дозатора, и цикл повторяется.

Зарядно-доставочная установка типа ЗДУ (рис. 3.19) предназначена для зарядки скважин глубиной до 60 м гранитами и гранулированными. Установка состоит из бункера 5, снабженного воронкой 8 с сеткой и герметически закрывающейся крышкой 10 при помощи рычага 9 по принципу обратного клапана. В нижней части бункера расположена камера направленной аэрации, состоящая из решетки 1 с отверстиями диаметром 0,8—1 мм, через которые из пневмомагистральной 13 по коллектору 12 подается сжатый воздух для образования взвеси ВВ перед нагнетательным патрубком 2 для зарядного шланга 3. Установка оборудована пультом управления, на котором смонтированы манометр 6, клапан предельного давления 7, кран 14 подачи сжатого воздуха в бункер, кран 4 продувки шлангов и кран 11 регулирования и сброса избыточного давления воздуха в бункере. Установка смонтирована на раме шахтной вагонетки. Длина доставки ВВ до 300 м по горизонтали и до 600 м по вертикали.

Серийно выпускаются установки ЗДУ-50, ЗДУ-100 и ЗДУ-150 с вместимостью бункера 250—500 л, производительностью, равной соответственно 50, 100 и 150 кг/мин, плотностью зарядания до 1,15 г/см³.

Барабанные и роторные зарядчики предназначены для доставки ВВ с откаточного горизонта в забой и зарядания скважин

на очистных и проходческих работах. Достоинствами этих зарядчиков являются непрерывность загрузки ВВ во время заряжания, более высокая по сравнению с камерными зарядчиками производительность и возможность регулирования концентраций ВВ в трубопроводе; недостатки — наличие вращающегося барабана (понижает безопасность зарядчика) и малый срок службы узла цилиндра — барабана. Серийно выпускаются зарядчики УЗС-1500, УЗС-6000, «Ульба-400С», смесительно-зарядная машина УЗДМ-1, ее модификации ЗМБС-1 и ЗМБС-2.

Зарядные установки УЗС-1500, УЗС-6000 и «Ульба-400С» на рельсовом ходу предназначены для пневматического транспортирования рассыпных гранулированных ВВ с откаточного горизонта в очистной блок, заряжания скважин глубиной до 50 м и минных камер.

Универсальная зарядно-доставочная машина УЗДМ-1 предназначена для приготовления игданита, его доставки с откаточного горизонта до буровой выработки, заряжания скважин и минных камер. Может быть использована для заряжания ВВ заводского изготовления. Средняя производительность — 8000 кг/ч при плотности заряжания 1,2 г/см³. Дальность транспортирования — 250 м. Основные узлы установки УЗДМ-1 (рис. 3.20): бункер с барабанным коническим питателем, емкость для жидкого компонента, гидрофорсунка, платформа на рельсовом ходу, пневмодвигатель, заземляющее устройство.

Барабан питателя при вращении передает дозы ВВ или сухого компонента из бункера в смесительную камеру. Сжатый воздух, поступающий в смесительную камеру, аэрирует падающее ВВ и выталкивает его в зарядный шланг. Здесь из гидрофорсунки впрыскивается вода или дизельное топливо.

Зарядная машина ЗМБС-2 барабанного типа со смесителем предназначена для механизированного приготовления водосодержащих ВВ, доставки их с откаточного горизонта до буровой выработки и заряжания скважин. Машина ЗМБС-2 может быть использована для водонасыщения гранулированных ВВ, приготовления игданита и заряжания этими ВВ скважин.

Машина состоит из передвижной транспортной тележки, двигателя, питателя, бункера для непрерывной загрузки сухой смеси компонентов

Техническая характеристика зарядных установок

Тип установки	УЗС-1500	УЗС-6000	«Ульба-400С»
Диаметр скважин, мм	50—150	60—150	70—250
Угол наклона заряжаемых скважин, градус	0—360	0—360	0—360
Плотность заряжания, г/см ³	1,1	1,2	1,2
Производительность, кг/ч	3000	6000	7200
Давление сжатого воздуха, кПа	150—200	500—600	200—700
Расход сжатого воздуха, м ³ /мин	1,5	10	15
Дальность транспортирования, м:			
по горизонтали	250	250	≤ 300
по вертикали	70	100	100
Масса зарядной установки, кг	100	550	710

акванита АРЗ или гранулированных ВВ, насоса-дозатора для подачи жидкого компонента, редуктора, пульта управления, сиденья для машиниста, воздухоподводящего рукава и зарядной трубки. Зарядная трубка с насадкой подается до забоя скважины, а затем отводится от него на расстояние 1,0—1,2 м. По команде взрывника у скважины машинист открывает последовательно краны продувки зарядного трубопровода, подачи воды и управления пневмодвигателем питателя. Сухая смесь из бункера питателя подается в разгрузочную камеру, в которую поступает сжатый воздух с распыленной водой, и транспортируется по зарядному трубопроводу в скважину. По заполнении скважины зарядная труба равномерно извлекается из скважины. Отработанный воздух отводится из скважины через уплотнитель с фильтром.

Параллельно с заряданием одной скважины в следующей устанавливается уплотнитель с фильтром и вводится вторая зарядная труба с насадкой. После зарядания первой скважины разделитель потока переключается на подачу ВВ во вторую скважину без прекращения работы машины, что обеспечивает непрерывность зарядания.

Из установок для механизированного зарядания шпуров волосодержащими 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.

Забойка способствует увеличению длительности действия продуктов детонации на зарядную полость, уменьшает разлет кусков породы, сужает границы опасной зоны.

Основными требованиями, предъявляемыми к забоечным материалам, являются: низкая стоимость, обеспечение эффективности взрыва, удобство в обращении и возможность механизации работ.

В настоящее время применяют забойку из глины, сыпучих материалов, бурового шлама, хвостов обогащения, а также из воды с желатинизаторами (при высоком уровне воды в скважинах). Длина забойки в скважинах доходит до 6 м.

Техническая характеристика машины ЗМБС-2

Диаметр скважин, мм	60—160
Глубина скважин, м, не более	50
Угол наклона к горизонту, градус	0—360
Плотность зарядания, г/см ³ :	
гранулированными ВВ	1,15
акванитом АРЗ	1,3—1,5
Средняя производительность, кг/ч	6000
Дальность транспортирования ВВ, м:	
по горизонтали	250
по вертикали	100
Вместимость открытого бункера, м ³	0,3
Мощность привода питателя, кВт	6,0
Основные размеры машины, мм	2000×1060×1100
Масса машины, кг	1000

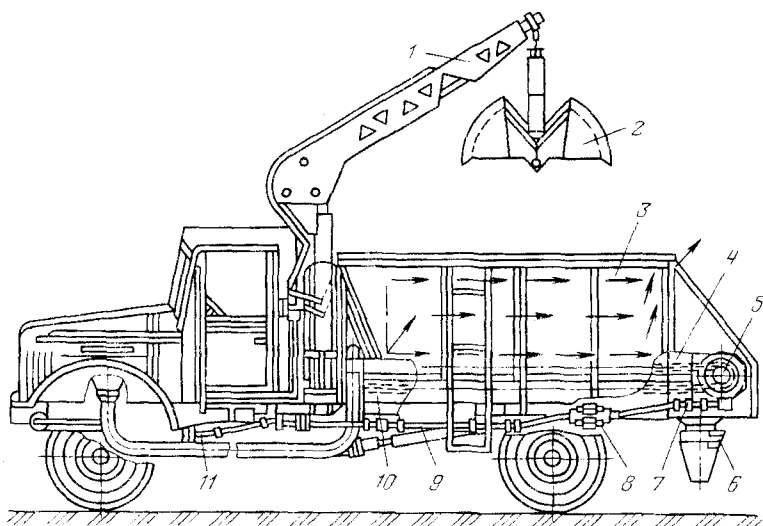


Рис. 3.21. Забoечная машина ЗС-1Б:

1 — подъемный гидокран; 2 — гидравлический грейфер; 3 — бункер; 4 — скребковый конвейер; 5 — червячный редуктор; 6 — разгрузочная воронка; 7 — фрикционная муфта; 8 — промежуточный редуктор; 9 — распределительный вал; 10 — амортизатор; 11 — коробка отбора мощности.

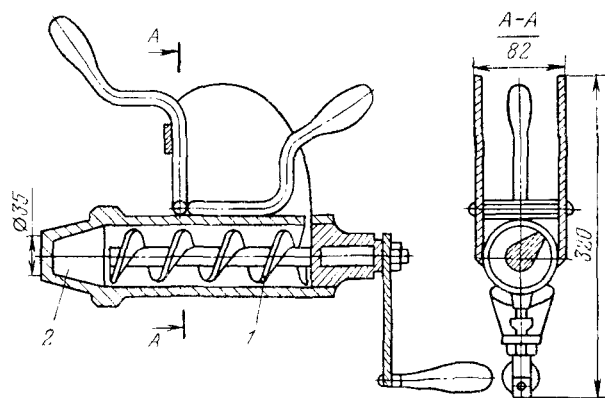
Для повышения эффективности взрывных работ созданы различные забoечные машины и агрегаты, основными из которых являются ЗС, СУЗН-1В, ЗС-1Б, ЗС-2.

Забoечная машина ЗС-1Б (рис. 3.21) смонтирована на базе автомобиля МАЗ-509П, в качестве рабочего органа использован скребковый конвейер. Производительность машины до 27 т/ч, вместимость бункера 5 м³. Забoечный материал в бункер загружается грейфером вместимостью 0,5 м³. Забoйка скважины диаметром более 100 мм выполняется за 1–2 мин.

Забoечная машина СУЗН-1В смонтирована на шасси автомобиля МАЗ-503Б и снабжена вибрационным конвейером в днище бункера, что дает возможность использовать забoечный материал крупностью до 30 мм, содержащий до 30% глины. Производительность до 15 т/ч, масса машины 7 т, вместимость бункера — 4,3 м³.

Забoечные машины ЗС-1М и ЗС-2М грузоподъемностью соответственно 5 и 11 т предназначены для транспортирования и механизированной подачи песка или другого забoечного материала с помощью конвейера в скважины. Базой этих машин являются соответственно автомобили МАЗ-5549 и КраЗ-256Б1. Выхлопными газами автомобиля обогреваются стенки бункеров, что предотвращает замерзание к ним забoечного материала при минусовых температурах. Производительность машин составляет 1700 кг/мин. Для забoйки шуров в шахтах используют глину, смесь глины и песка, песок, щебень, воду и другие материалы.

Рис. 3.22. Приспособление ПР-1 для изготовления пыжей из пластичных материалов



Для забойки можно применять также пыжи из глины или глинисто-песчаной смеси, а также воду в ампулах. Кроме этого, воду можно нагнетать в шпур и удерживать в нем специальными герметизаторами.

Для изготовления пыжей из пластических материалов (глина, песчано-глинистая смесь) применяют приспособления ПР-1 (рис. 3.22), формирующие эти пыжи с помощью вращающегося (вручную или от мотора) шнека 1 и выходного сопла 2 с диаметром, несколько меньшим диаметра шпура. Материал загружается через воронку. Принцип действия напоминает мясорубку, только имеется выходное сопло. Производительность ПР-1, обслуживаемого одним рабочим, составляет 30 пыжей в минуту.

Пневмозабойник поршневого действия конструкции ВНИИОМШ-Са (рис. 3.23) представляет собой цилиндрический сосуд 1, закрытый крышкой 4 с замком 3. Одной порции песка массой 11 кг достаточно для качественного заполнения шпура длиной 2 м. Количество воздуха регулируется краном 2.

Пневмозарядчик тяжелого типа, показанный на рис. 3.24, применяют для забойки скважин.

После загрузки песком или шлаком бункера 3 его горловина 5 закрывается крышкой 6 с винтом 7. При открытии вентиля 2 в трубку 8 поступает сжатый воздух из шланга 1. Песок просыпается в отверстия трубки 8, увлекается потоком и по шлангу 9 подается в шпур. Длина шланга 6—10 м. Давление регулируется краном 4.

На многих карьерах большинство взрывных скважин содержит в нижней части воду. На нижних горизонтах обводненность, как правило, увеличивается, и часто скважины до устья заполнены водой. Существенное значение имеют характер обводненности при наличии в скважине проточной воды. Так, если скважины заполнены непроточной водой или дебит воды в скважинах очень мал, то после осушения скважины перед ее заряданием можно разместить в ней заряд менее водоустойчивого ВВ, который длительное время (до нескольких суток) сохраняет детонационную способность. Скважины с проточной водой таки-

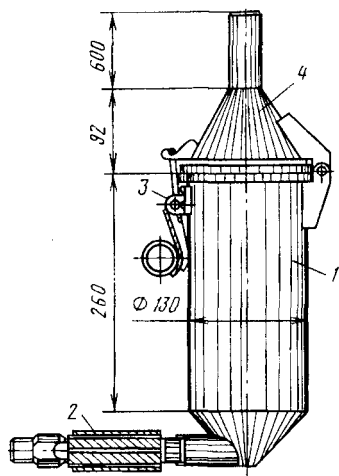


Рис. 3.23. Пневмозабойник конструкции ВНИИОМШСа

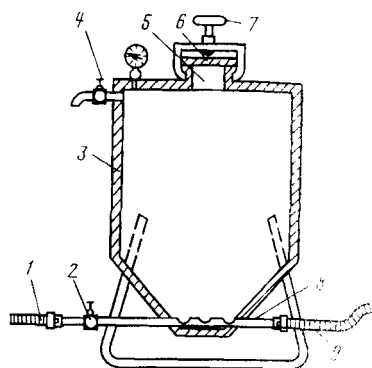


Рис. 3.24. Пневмозабойник тяжелой конструкции

ми ВВ заряжать нельзя, так как из состава ВВ вымывается аммиачная селитра с потерей им детонационной способности. Такие скважины следует заряжать только абсолютно водоустойчивыми ВВ (гранулы, алюмотол).

Скважины с проточной водой можно заряжать и неводоустойчивыми ВВ при размещении заряда в полиэтиленовых шлангах (рукавах).

Удаление воды из скважин осуществляют взрывом зарядов малой массы, откачкой насосами и сжатым воздухом (вытеснением эластичными манжетами и поршнем, надувными оболочками и пенообразованием и т. д.).

Одна из наиболее простых осушительных установок показана на рис. 3.25.

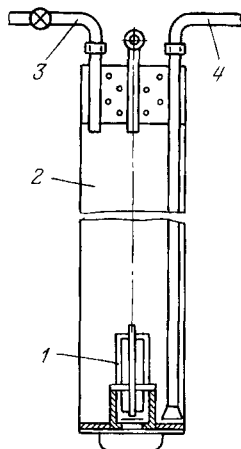
Для удаления воды из скважины устройство опускается на дно скважины. Трехходовой кран соединяет полость корпуса 2 с атмосферой. Через клапанную коробку 1 вода заполняет полость корпуса. Поворотом трехходового крана в корпус по шлангу 3 подается сжатый воздух, а по трубе и шлангу 4 вода вытесняется на поверхность. Для компрессора ВКС-5 с подачей воздуха 5 м³/мин обеспечивается работа трех погружных устройств.

Установка для осушения скважин УОС-250 монтируется на базе автомобиля ГАЗ-66-02, на котором расположен компрессор

Техническая характеристика осушительной установки

Вместимость внутренней полости, л.	35
Масса установки, кг.	15
Производительность, м ³ /ч.	6
Расход сжатого воздуха, м ³ /мин.	1,5
Длина установки, мм.	1500
Диаметр скважины, мм.	250

Рис. 3.25. Погружное устройство для осушения взрывных скважин



мый кузов, в нем установлены шланговый барабан с гидроприводом и гидроаппаратура привода центробежного насоса для откачки воды из скважины. Управление установкой для осушения скважин осуществляется одним шофером-оператором с пульта управления, расположенного в кабине автомобиля.

Скважины заряжают непосредственно после осушения во избежание наполнения их водой.

Машина МО-1 на раме автомобиля МАЗ-509А предназначена для удаления воды из взрывных скважин диаметром 160—200 мм и глубиной до 23 м с любой степенью обводненности смесью сжатого воздуха с пенообразующим веществом (сульфанолам). Машина позволяет осушать до 240 скважин в смену. Через шланг смесь сжатого воздуха с раствором сульфанола подают на дно скважины, где образуется пеновоздушный поршень, который под действием сжатого воздуха выталкивает воду из скважины.

Аналогичный принцип действия имеет машина конструкции НИИКМА, осушающая до 150 скважин в смену.

При зарядании скважин машины для осушения, зарядания и забойки работают одновременно на заряжаемом блоке. Это обеспечивает максимальную производительность зарядания с минимальной продолжительностью нахождения ВВ в воде.

На многих геологоразведочных и горных предприятиях небольшой мощности зарядочные, забоечные и осушающие машины пока не применяются, так как для эффективного их использования необходимо

Техническая характеристика установки УОС-250

Глубина осушения скважин, м.	25
Техническая производительность погружного насоса, $\text{дм}^3/\text{мин}$	300—350
Диаметр осушаемых скважин, мм, не менее.	190
Привод барабана и погружного насоса.	Гидравлический
Марка насоса гидравлического привода.	НШ50-2Л
Масса установки, кг, не более.	5300

комплексно механизировать погрузочно-разгрузочные и складские работы на базисных и расходных складах ВМ. Для предприятий, выполняющих взрывные работы в небольших объемах, принцип механизации может быть другим, так как при малой потребности ВВ на руднике (карьере) неэффективно иметь специализированные машины для зарядки скважин. Одним из решений для горных предприятий малой мощности является создание специализированных участков (управлений), обслуживающих группу рудников (карьеров).

Контрольные вопросы

1. На основе каких принципов осуществляется механизация взрывных работ на горных предприятиях?
2. Назовите основные участки подготовки к взрыву, на которых осуществляется механизация производственных процессов.
3. Какие предпосылки и факторы определяют выбор схемы комплексной механизации взрывных работ?
4. На использовании каких ВВ базируется механизация взрывных работ?
5. Кратко охарактеризуйте основные схемы комплексной механизации взрывных работ при использовании гидранитов, ВВ заводского изготовления и водонаполненных ВВ.
6. Какие зарядные машины используют на карьерах?
7. Какие зарядчики используют для зарядки патронированными и россыпными ВВ на подземных работах?
8. Какие материалы используются для забойки шпуров и скважин?
9. Каков принцип работы осушающей машины МО-1?

ГЛАВА 4. СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ИНИЦИИРОВАНИЯ

Взрывание зарядов ВВ в заданной последовательности и в определенный промежуток времени осуществляется средствами инициирования (СИ), передающими импульс заряду ВВ и тем самым вызывающими (возбуждающими) его детонацию.

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 простотой получения эффективного начального импульса с помощью инициирующих ВВ. Специальные технические устройства, служащие для создания начального импульса при инициировании взрывчатых веществ, называются средствами инициирования. Промышленные средства инициирования должны быть безопасны в обращении и безотказны в действии, обеспечивать необходимый импульс требуемой мощности, обладать достаточной водонепроницаемостью. К средствам инициирования, дающим детонационный начальный импульс, относятся капсули-детонаторы, электродетонаторы, детонирующие шнуры. В современной практике горного дела для возбуждения взрыва заряда инициирующих ВВ в средствах инициирования используют тепловой импульс от искры горящей пороховой

сердцевины специального огнепроводного шнура или электровоспламенителя. В перспективе для возбуждения взрыва заряда инициирующих ВВ может быть использован механический удар (сдвигающихся от взрыва соседнего заряда горной породы или специального бойка) и энергия ударной волны, проходящей по породе.

В соответствии с видом используемых средств инициирования на горных предприятиях применяют следующие способы взрывания: огневой, электроогневой, электрический и с помощью детонирующего шнура.

Название способа взрывания определяется тем видом средств инициирования, который непосредственно вызывает детонацию ВВ. При огневом способе взрывание осуществляется с помощью огнепроводного шнура, капсюля-детонатора и средств поджигания; при электроогневом — с помощью СИ огневого и электрического способов; при электрическом — с помощью электродетонаторов, проводов, источников тока и контрольно-измерительных приборов; при взрывании с помощью детонирующего шнура — с помощью СИ огневого или электрического способов, инициирующих ДШ, т. е. ДШ, КД или ЭД. Детонирующий шнур инициируют при помощи капсюля-детонатора или электродетонатора.

3. По величине интервала времени замедления между зарядами различают мгновенное, короткозамедленное и замедленное взрывание.

При мгновенном взрывании заряды детонируют практически одновременно. Взрывание зарядов ВВ осуществляется электрическим способом, при помощи детонирующего шнура или капсюля-детонатора. При этом способе порода дробится неравномерно, и практически нет возможности улучшить качество дробления, поскольку взрыв двух соседних зарядов происходит с интервалом 1—4 мс, при возрастании сейсмического эффекта взрыва.

4. При короткозамедленном взрывании группа зарядов ВВ взрывается в определенной последовательности с интервалом времени 25—250 мс при помощи детонаторов ЭДКЗ или ДШ совместно с набором замедлителей КЗДШ. Этот метод применяется при массовых взрывах как в подземных условиях, так и при открытых разработках.

5. При замедленном способе взрывания интервалы между отдельными взрывами зарядов ВВ составляют 0,5—10 с. Взрывание осуществляется при помощи ЭД замедленного действия.

Низкочувствительные (водосодержащие, гранулированные и др.) ВВ не детонируют от инициирующего воздействия капсюля-детонатора. Для их взрыва требуются более мощные инициаторы-боевики. Виды боевиков были рассмотрены выше.

§ 1. Огневое и электроогневое взрывание

Огневой способ взрывания зарядов применяют на открытых работах и при проведении горизонтальных и наклонных (с углом наклона до 30°) выработок в шахтах, не опасных по газу и пыли, при взрывании

шпуровых, скважинных, камерных и наружных зарядов, а также при инициировании сетей ДШ.

Сущность огневого взрывания заключается в том, что детонация заряда инициирующего ВВ капсюля-детонатора возбуждается искрами горящей сердцевинки отрезка огнепроводного шнура, капсюль-детонатор, в свою очередь, вызывает детонацию промежуточного детонатора (шашки) и основного заряда промышленного ВВ.

Перед началом взрывания осуществляют изготовление зажигательных и контрольных трубок, а также патронов-боевиков. Все эти операции выполняются взрывником.

Этот способ позволяет вести счет взрывающихся зарядов без специальных приборов.

При проведении горно-разведочных выработок в подземных условиях с использованием метода шпуровых зарядов допускается зажигание за один прием не более 16 шпуров, в случае применения зажигательных патронов число шпуров, зажигаемых за один прием, должно быть не более 10 на забой.

При ведении взрывных работ в вертикальных и наклонных выработках с углом падения более 30° применять огневой способ запрещается (разрешается электроогневой или другие). Электроогневое взрывание применяют при проходке вертикальных и наклонных восстающих выработок, а также при проведении горизонтальных и наклонных вниз выработок. При этом способе взрывания создается возможность своевременного отхода взрывников на безопасное расстояние.

При огневом и электроогневом взрывании необходимо вести счет взорвавшихся зарядов, подходить к месту взрыва разрешается не ранее чем через 15 мин. считая с момента последнего взрыва.

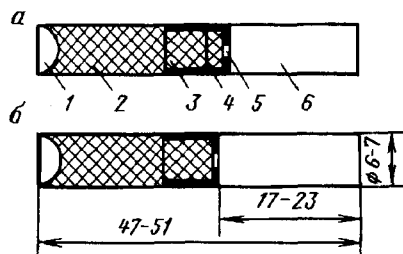
Описанные способы взрыва просты в применении, не требуют сложных расчетов, имеют низкую стоимость. Однако существует ряд недостатков: значительная опасность для взрывания, ограниченность числа взрываемых зарядов, нахождение взрывника при зажигании непосредственно у зарядов, невозможность проверки какими-либо приборами качества подготовки зарядов к взрыву, невозможность получения точных интервалов замедлений, образование большого количества ядовитых газов при сгорании огнепроводного шнура, невозможность получения короткозамедленного взрывания и проверки взрывной сети.

Средствами, с помощью которых осуществляется огневое взрывание, являются: капсюль-детонатор (КД), огнепроводный шнур (ОШ) и средства воспламенения огнепроводного шнура.

Капсюль-детонатор (рис. 4.1) представляет собой открытую с одного конца для ввода ОШ гильзу 6, в которой запрессован заряд вторичного инициирующего ВВ 2. Открытая часть гильзы называется чашечкой. Заряд первичного инициирующего ВВ (гремучая ртуть 3 и перхлорес и азид свинца) в капсюле-детонаторе запрессован в чашечку из металла (меди, алюминия), имеющую в середине отверстие 5 диаметром 2—2,5 мм, для усиления инициирующего действия доннышко капсюля-детонатора выполняют с кумулятивной выемкой 1.

Рис. 4.1. Капсюль-детонатор:

а — азидотетриловый; *б* — гремучертутно-тетриловый



Широко применяются в горной промышленности капсюли-детонаторы в бумажной гильзе КД8-Б и в металлической гильзе (стальной или биметаллической) КД8-С и КД-8ТС. Название их зависит от вида инициирующих ВВ, которыми снаряжены капсюли-детонаторы: азидотетриловый, гремучертутно-тетриловый, азидотэновый и т. д.

Характеристика капсюлей-детонаторов приведена в табл. 4.1.

Чашечки КД8-Б и КД8-С выполнены из латуни или стали. 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 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

Таблица 4.1

Характеристика КД

Тип КД	Название КД	Состав капсюля, г				Материал гильзы	Размер гильзы, мм	
		Первичное инициирующее ВВ		Вторичное инициирующее ВВ			длина	внешний диаметр
		гремучая ртуть	азид свинца	тентерес	тетрил			
КД-8Б	Азидотетриловый	—	0,1	0,1	1,0	Бумага	51	7,65
КД-8Б	Гремучертутно-тетриловый	0,5	—	—	1,0	«	51	7,65
КД-8С	Азидотетриловый	—	0,1	0,1	1,0	Сталь, биметалл	51	7,2
КД-8С	Гремучертутно-тетриловый	0,5	—	—	1,0	То же	51	7,2

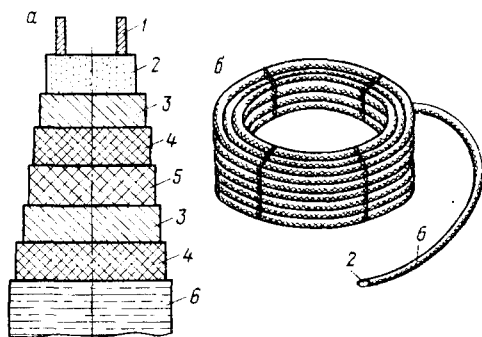


Рис. 4.2. Огнепроводный шнур:

а — продольное сечение; *б* — бухта шнура; 1 — направляющие нити; 2 — пороховая сердцевина; 3 — оплетка; 4 — слой смолы; 5 — слой асфальта; 6 — полихлорвиниловая или асфальтовая оболочка

типа, которые ставят в деревянный ящик с транспортным знаком в виде равностороннего треугольника с цифрой «10» внутри. На крышке коробов указывают завод-изготовитель, тип детонаторов, дату изготовления, номер партии и номер стандарта.

Огнепроводный шнур служит для передачи за заданный промежуток времени пучка искр от источника воспламенения к капсюлю-детонатору или пороховому заряду (при отбойке блочного камня).

Огнепроводный шнур (рис. 4.2) состоит из сердцевинны из слабопрессованного дымного пороха с пластифицирующими добавками, направляющей нити, проходящей сквозь сердцевину, и водонизолирующей оболочки. Диаметр ОШ — 5—6 мм.

Оболочка шнура состоит из нескольких оплеток льняных, джутовых, пеньковых или хлопчатобумажных нитей. Чтобы более надежно предохранить пороховую сердцевину, оплетку пропитывают различными веществами, не пропускающими влагу. Для подводных взрывов и взрывов в условиях повышенной влажности применяют шнур экстракоронный с полиэтиленовой оболочкой (ОШЭ), шнур с пластиковым покрытием (ОШП) и шнур асфальтированный (ОША).

В зависимости от скорости горения огнепроводный шнур изготовляется двух типов: нормально горящий (516—600 мм/мин) и медленно горящий (288—336 мм/мин). Заданная скорость выдерживается при влажности менее 1%; при большем увлажнении шнуры горят с затуханием или не горят совсем.

ОШ выпускают отрезками длиной 10 м, свернутыми в бухты, которые по 25 шт. укладывают в пачки, а пачки — в ящики. На ящиках указывается название шнура и его количество.

В качестве средств для поджигания ОШ используют зажигательные тлеющий фитиль, отрезок ОШ («затравку») или специальные зажигательные патроны.

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

Наружная оболочка ОШ, особенно асфальтированных, при температуре выше 28—30° С портится. Поэтому ОШ следует хранить при

более низкой температуре. В жарких условиях и под действием солнечных лучей держать его без упаковки продолжительное время нельзя. В подобных случаях шнур необходимо присыпать землей.

При низких температурах перед заготовкой ОШ для взрывных работ его необходимо вносить в теплое помещение за 1–2 ч до начала работы, чтобы предотвратить порчу наружной оболочки при разматывании кругов и разрезании.

При разматывании шнура не допускаются его перегибы, изломы, петли, узлы и повреждения оболочки.

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

Количество ОШ зависит от длины и числа зажигательных трубок, которые надо изготовить взрывнику за смену. Длина зажигательных трубок зависит от числа зарядов, взрываемых взрывником за одну серию, но в любом случае при взрывании на карьерах длина зажигательной трубки должна быть не менее 1 м и не более 10 м. Требуемая длина $L_{з.т}$ (м) зажигательной трубки может быть определена по формуле

$$L_{з.т} = (N_{ОШ} t_3 + T) v_{ОШ}, \quad (4.1)$$

где $N_{ОШ}$ — число отрезков ОШ, поджигаемых взрывником; $t_3 = 5 \div 10$ с — время зажигания одного отрезка ОШ; $v_{ОШ} = 1$ см/с — скорость горения ОШ; T — время отхода взрывника в безопасное место, с.

Время отхода взрывника в безопасное место зависит от расстояния, которое надо пройти взрывнику от места расположения зарядов до укрытия или границы опасной зоны. Скорость передвижения взрывника при этом принимается 1,5–1,5 м/с. По условиям безопасности, в любом случае, для расчета принимается $T \geq 60$ с.

По условиям безопасности независимо от числа взрываемых зарядов из шнура или скважины должен выступать отрезок ОШ длиной не менее 25 см. Для одиночного заряда длина зажигательной трубки в этом случае должна быть равна глубине расположения боевика плюс 25 см. Для расчета глубину расположения боевика при огневом взрывании принимают равной половине глубины шнура. При длине зажигательных трубок более 4 м производят их дублирование и на каждый заряд заготавливают по две зажигательные трубки.

Общий расход ОШ (м) на взрывание серии зарядов определяют по формуле

$$L_{ОШ} = N_{ОШ} L_{з.т} + L_{к} + 0.1 n_{к}, \quad (4.2)$$

где $L_{к}$ — длина контрольной трубки, м; $n_{к}$ — число кругов ОШ, расходуемых на изготовление зажигательных и контрольных трубок.

При подготовке к взрыву отрезок ОШ требуемой длины одним концом без вращения вставляется в дустье КД, образуя зажигательную или контрольную трубки (рис. 4.3). Зажигательные трубки применяются для передачи начального импульса заряду. Изготавливают их в отдель-

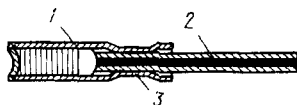


Рис. 4.3. Зажигательная трубка:

1 — капсюль-детонатор; 2 — огнепроводный шнур; 3 — место обжима

ном помещении склада ВМ на столах, обитых брезентом по войлоку или резиной толщиной 3 мм, и переносят в специальных сумках отдельно от ВВ.

При изготовлении зажигательных трубок нужно следить, чтобы в концах отрезка шнура не было отдельных нитей от оболочки и чтобы оболочка не была разлохмачена, так как это может закрыть пороховую сердцевину и помешать огню достичь капсюля.

Контрольная трубка используется для контроля за временем прогорания зажигательных трубок взрывником. Во избежание разлета металлических осколков для изготовления контрольных трубок применяют КД из бумажных гильз. При взрывании на открытой поверхности при значительном удалении зарядов один от другого используются контрольные трубки, а в подземных условиях — контрольный отрезок ОШ.

Применение контрольной трубки обязательно при поджигании пяти и более зажигательных трубок. Контрольная трубка должна быть короче зажигательных трубок не менее чем на 60 см. Разность в длине контрольной и зажигательной трубок зависит от времени отхода взрывника в укрытие или на безопасное расстояние. В любом случае длина контрольной трубки должна быть не менее 40 см. Каждая контрольная трубка должна иметь отличительный знак в виде привязанной белой и цветной тесьмы или ленточки.

Длина контрольной трубки (см)

$$L_k = L_{4.1} - T_{\text{ГОШ}} \quad (4.2)$$

Для зажигания огнепроводного шнура применяются тлеющий зажигательный фитиль и зажигательные патроны.

Тлеющий зажигательный фитиль — шнур с сердцевиной из льняной или хлопчатобумажных нитей, пропитанных концентрированным раствором калиевой селитры и помещенных в наружную нитяную оплетку. Диаметр фитиля — 7—8 мм. Скорость горения с льняной сердцевиной и хлопчатобумажной оплеткой равна 5—10 мм/мин, а с хлопчатобумажной сердцевиной и такой же оплеткой — 3—7 мм/мин.

Зажигательные патроны — бумажные парафинированные гильзы с открытым концом, на дне которых находятся упрочненные с помощью парафина и канифоли пороховые лепешки толщиной 2—3 мм. Диаметр зажигательных патронов 18—41 мм, длина 50—70 мм. Предназначаются для одновременного зажигания до 37 отрезков огнепроводного шнура. Число зажигаемых шнуров зависит от размеров патрона. В патрон вплотную к лепешке помещают пучок шнуров и плотно обвязывают шпагатом. Укороченный отрезок является зажигательным шнуром для воспламенения пороховой лепешки, от которой поджигают

Таблица 4.2

Характеристика зажигательных и электрозажигательных патронов

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

все шнуры, идущие к дегазаторам. Зажигательные патроны используют в большинстве случаев на подземных работах при проведении выработок.

Характеристика зажигательных и электрозажигательных патронов ЗП-Б приведена в табл. 4.2.

Поджигание небольшого количества отрезков шнура (до 6 шт.) допускается отдельным отрезком ОШ с надрезами для периодического получения открытого огня.

Средства электроогневого инициирования отличаются от средств огневого инициирования наличием устройства дистанционного поджигания шнура или электрозажигательного патрона. Осуществляется электроогневое инициирование с помощью электрозажигательных средств индивидуального или группового поджигания.

Электрозажигательные трубки ЭЗТ-2 (рис. 4.4, а) обеспечивают зажигание одного отрезка ОШ при работе в сухих и влажных забоях.

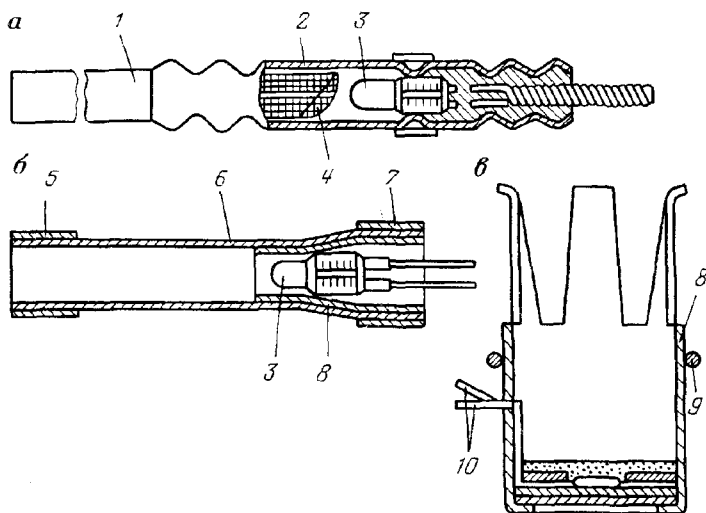


Рис. 4.4. Средства электровоспламенения огнепроводного шнура:

1 - отрезок ОШ; 2 - биметаллическая гильза; 3 - электровоспламенитель; 4 - зажигательный состав; 5 - стальная втулка; 6 - голая голая гильза; 7 - бумажная втулка; 8 - бумажная гильза; 9 - резиновое кольцо; 10 - выводные провода

Электрозажигатели огнепроводного шнура ЭЗ-ОШ (рис. 4.4, б) состоят из бумажной гильзы с электровоспламенителем. Электровоспламенитель представляет собой мостик накаливания, расположенный в воспламенительной головке, и введен в гильзу с помощью пластиковой пробки, обеспечивающей герметичность ввода. Ток к мостику подводится по проводам.

Поджигание шнура, введенного до упора с электровоспламенителем, производится пламенем головки, воспламеняющейся при протекании тока по мостику.

Безотказное срабатывание обеспечивается при последовательном соединении до 20 электрозажигателей постоянным током 1 А и переменным 2,5 А.

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

Электрозажигатель с введенным в него отрезком огнепроводного шнура называют электрозажигательной трубкой.

Электрозажигательные бумажные патроны ЭЗП-Б (рис. 4.4, в) обеспечивают зажигание концов пучка ОШ при групповом зажигании. Устройство их аналогично патрончикам обычного зажигания, только в пороховую лепешку вставлена электроспираль. Размеры ЭЗП-Б аналогичны размерам ЗП-Б (см. табл. 4.2).

При огневом и электроогневом взрывании патрон-боевик изготавливают путем ввода КД зажигательной трубки в патрон ВВ. Порядок изготовления патрона-боевика: патрон ВВ до ввода в него КД хорошо разминают, развертывают с торца бумажную оболочку, деревянным или алюминиевым стержнем делают в патроне углубление диаметром 8 мм, длиной 60—70 мм и в него на всю длину гильзы вводят КД зажигательной трубки. После ввода КД в патрон края оболочки собирают в складки вокруг ОШ и прочно завязывают шпагатом. Прессованные патроны ВВ для изготовления боевиков можно использовать только с гнездами заводского изготовления.

Контрольные вопросы

1. Какие средства огневого и электроогневого взрывания Вы знаете?
2. Как изготавливаются зажигательные и контрольные трубки?
3. В каких условиях запрещено огневое взрывание?
4. Какие меры безопасности надо соблюдать при огневом взрывании?
5. Как определяют длину контрольной трубки?

§ 2. Электрическое взрывание

Электрический способ взрывания является одним из основных и может применяться в любых условиях. Преимущества его по сравнению с огневым способом состоят в отсутствии ядовитых газов, а также возможности взрывания с любого расстояния одновременно серии зарядов, а также с замедлением. Поэтому при применении данного спосо-

ба обеспечиваются безопасность и возможность взрывания зарядов в любой последовательности. Электрическое взрывание используется также при взрывных работах в шахтах, опасных по газу и пыли. Однако этот способ взрывания имеет ряд недостатков, которые заключаются в сложности подготовки, монтажа и расчета электровзрывной сети, изоляции участков, необходимости проверки сопротивления сети соответствующими приборами, в опасности преждевременных взрывов от блуждающих токов и ликвидации зарядов, высокая стоимость.

Работы при электрическом способе взрывания выполняются в следующей последовательности: расчет взрывной сети, подбор и проверка электродетонаторов по сопротивлению, изготовление боевиков, заряджание, монтаж электровзрывной сети и ее проверка, подсоединение магистральных проводов к источнику тока и взрывание.

При применении электрического взрывания должны соблюдаться следующие условия: ток, проходящий через электродетонатор, должен быть не меньше гарантийного; токи, проходящие через различные электродетонаторы, — одинаковые или близкие по значению; электродетонаторы проверены на проводимость и подобраны по сопротивлениям; электрическая сеть рассчитана точно, смонтирована и проверена. Средства электрического взрывания при подготовке к взрыву собираются в электровзрывную сеть, состоящую из электродетонаторов с проводами, соединяющими их между собой, и источника тока или минной станции.

Провода взрывной сети (магистральные, соединительные, концевые, участковые, выводные) должны выдерживать напряжение переменного тока до 500 В или постоянного тока до 1200 В.

Напряжение к минной станции подводят с помощью проводов-статителей. Магистральные провода идут от главного рубильника минной станции до линии расположения зарядов. Согласно Единым правилам безопасности при взрывных работах площадь сечения магистральных проводов должна быть не менее $0,75 \text{ мм}^2$. Соединительные, концевые и участковые провода присоединяют к магистрали взрывной сети.

Места соединения проводов в электровзрывной сети называются сростками. Во влажных местах для изоляции сростков используют специальные контактные зажимы.

Для монтажа электровзрывных сетей применяют специально предназначенные для взрывных работ провода, а также изолированные установочные провода. Для прокладки магистралей кроме этого используют шахтные кабели. Провода, специально предназначенные для электровзрывания, — ЭВ, ЭП, ЭВЖ, ЭПЖ, ВМВ, ВМП, ВМВ Ж, ВМПЖ, используют и саперные провода — СПП-1, СПП-2, установочные провода ПР, АПР, АПВ, ПВ;

Провода ПР и ПВ — медные однопроволочные и многопроволочные в резиновой и полихлорвиниловой изоляции. Провода АПР и АПВ — одножильные и алюминиевые в резиновой (Р), полихлорвиниловой (В) изоляции.

Для электровзрывных сетей с напряжением до 1000 В применяют

Таблица 4.3

Характеристика проводов

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

провода ЭР и ЭВ, при более высоком напряжении — провода СПП-1, СПП-2, АПР и АПВ (табл. 4.3).

При изменении температуры сопротивление R (Ом) определяется по формуле

$$R = R_{20}[1 + \alpha(t - 20^\circ \text{C})], \quad (4.4)$$

где R_{20} — сопротивление провода при температуре +20°С, Ом; α — температурный коэффициент, который равен изменению сопротивления при нагревании проводника на 1°С, деленному на первоначальное сопротивление (приблизительно для меди и алюминия $\alpha = 0,004$, для стали $\alpha = 0,005$); t — температура воздуха во время определения сопротивления провода (кабеля), °С.

При выборе площади сечения проводов следует исходить из допустимого сопротивления сети и необходимости обеспечить достаточную механическую прочность сети. Поэтому площадь сечения проводов распределительной сети должна быть не менее 0,5 мм². В обводненных условиях предпочтительно используют провод с поливинилхлоридной или полиэтиленовой изоляцией.

Электродетонатор (ЭД) представляет собой капсуль-детонатор, соединенный в одно целое с электровоспламенителем, преобразующим электрическую энергию в тепловую и соответственно вызывающим вспышку воспламеняющегося состава.

Электродетонаторы различают: по типу находящегося в них заряда — инициирующего ВВ (гремучертутно-тетриловые и азидотетриловые); по конструктивному оформлению и по назначению (общего назначения, для сейсморазведки, обработки металлов, для торпедирования нефтяных скважин и др.); по условиям применения (непредохранительные и предохранительные — для шахт, опасных по взрыву газа или пыли); по величине заряда (обычные и повышенной мощности); по чувствительности к блуждающим токам (нормальной, пониженной и весьма низкой чувствительности или грозоупорные).

Разрабатываются ЭД пониженной чувствительности к механическим воздействиям, что достигается за счет применения только вторичных инициирующих ВВ.

ЭД повышенной мощности имеют в качестве вторичного иницииру-

ющего ВВ заряд гексогена массой 1,45 г. На гильзе предохранительных ЭД нанесен слой пламегасителя толщиной 0,1 мм. Диаметр гильзы электродетонаторов 7,2 мм, длина 50—70 мм, толщина гильзы 0,2—0,3 мм, а у предохранительных — 0,45—0,5 мм.

Перечисленные ЭД применяются при температуре не более 40° С. При более высоких температурах (230—250° С) используются термостойкие электродетонаторы.

ЭД нормальной чувствительности имеют безопасный ток 0,15—0,18 А, используются в условиях, где не появляются блуждающие токи. ЭД пониженной чувствительности имеют безопасный ток 0,9 А и предназначены для взрывания в условиях возможного действия блуждающих токов. Высоковольтные ЭД имеют минимальное напряжение срабатывания 10 кВ.

Для взрывных работ в горной промышленности применяют электровоспламенители с металлическими мостиками сопротивлением 0,5—5 Ом. Мостики электровоспламенителей изготавливаются из никромовой (сплав 80% никеля и 20% хрома) проволоки диаметром 24—54 мкм, длиной 0,5—5 мм.

Крепление мостика к проводным проводам может быть эластичным или жестким.

В гильзе ЭД электровоспламенитель укреплен путем обжимки гильзы по пластиковой пробочке, сквозь которую пропущены провода, что надежно предохраняет внутреннюю полость ЭД от попадания воды.

Электродетонаторы по характеру действия подразделяются на три группы: мгновенные, замедленные и короткозамедленные.

У электродетонаторов мгновенного действия электровоспламенитель находится непосредственно у чашечки капсуля-детонатора, который при включении тока взрывается практически мгновенно.

Принцип действия их следующий: электрический ток, поступающий по проводникам от источника тока к мостику накаливания, воспламеняет зажигательный состав, от пламени которого детонирует первичное инициирующее ВВ, возбуждая взрыв электродетонатора.

Серийно выпускаются следующие электродетонаторы: ЭД-8-Э (рис. 4.5), ЭД-8-Ж; ЭД-КЗ-ПМ; ЭД-1-8Т; ТЭД-2; ЭДВ-1; ЭДВ-2 (ВЭД).

В названиях типов ЭД буквы означают: Э, Ж — соответственно эластичный или жесткий способ крепления мостика накаливания; П и ПМ — соответственно предохранительные и предохранительные мощные; В — высоковольтные; Т — термостойкие.

Электродетонаторы замедленного действия (ЭД-ЗД) взрываются через строго определенный промежуток времени (0,5—10 с) после пропускания электрического тока через мостик накаливания (рис. 4.6). Замедляющее устройство представляет собой гильзу с особо медленно горящим составом, расположенную между воспламенительным составом и чашечкой капсуля-детонатора.

Промышленностью выпускаются электродетонаторы замедленного действия типа ЭД-ЗД с замедлением 0,5; 0,75; 1; 1,5; 2; 4; 6; 8 и 10 с.

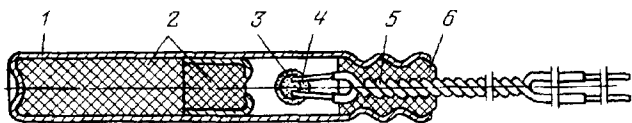


Рис. 4.5. Электродетонатор мгновенного действия ЭД-8-Э:

1 гильза; 2 заряд детонатора; 3 двухслойная воспламеняющая головка; 4 мостик; 5 выводные провода; 6 пластиковая пробка

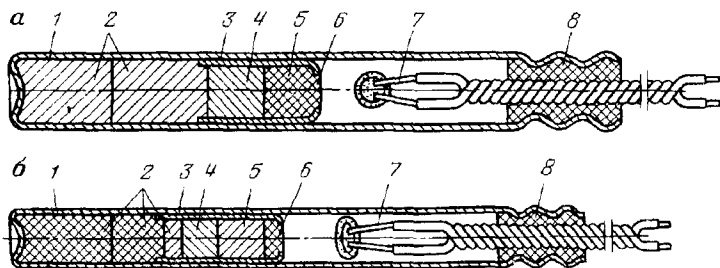


Рис. 4.6. Электродетонаторы:

а короткозамедленного действия ЭД-КЗ; б замедленного действия ЭД-ЗД; 1 гильза; 2 заряд; 3 коллачок; 4 азид свинца; 5 замедляющий состав; 6 шелковая сетка; 7 электрод; 8 пластиковая пробка

Электродетонаторы короткозамедленного действия (ЭД-КЗ) по конструкции и принципу действия аналогичны электродетонаторам замедленного действия. Они состоят из электровоспламенителя, замедлителя и детонатора, смонтированных в одной гильзе. Диаметр гильзы составляет 7,2—7,6 мм, длина 72—80 мм.

Необходимая величина замедления (до 1000 мс) достигается подбором состава замедлителей, высотой их столба. В качестве замедлителей применяют составы, сгорающие с образованием только твердых веществ. Для их изготовления применяют следующие смеси: свинцового сурика с кремнием; сурика с ферросилицием; сурика с ферросиликохромом; хромата сурика с ферросилицием и др.

Номинальное время срабатывания ЭД указано на дне гильзы или металлической бирке. Интервалы замедления короткозамедленных ЭД зависят от содержания кремния в составе замедляющего элемента. Табл. 4.4 приведены интервалы замедлений (мс) применяемых ЭД.

Электродетонаторы применяются при короткозамедленном взрывании, когда взрывы отдельных зарядов должны следовать один за другим в определенной последовательности через весьма малые промежутки времени. Данный метод широко используется на открытых и подземных разработках, а также при проведении горно-разведочных работ. Параметрами ЭД являются: сопротивление, токи (безопасный, длительный воспламеняющий, стомиллисекундный воспламеняющий, гарантийный), импульсы (воспламенения, номинальный, плавления мостика), время (передачи пламени, срабатывания).

Таблица 4.4

Интервалы замедлений ЭД

Тип ЭД	Число серий	Интервал замедлений, мс
ЭД-1-3Т	1—10	20—200 (через 20 мс)
	11—14	225—300 (через 25 мс)
	15—18	350—500 (через 50 мс)
	19—23	600—1000 (через 100 мс)
	24	1,5 с
ЭД-КЗ	1—6	25; 50; 75; 100; 150; 250
ЭД-ЗД	1—9	0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10 с
ЭД-ЗН	1—10	20—200 (через 20 мс)
	11—14	225—300 (через 25 мс)
	15—18	350—500 (через 50 мс)
	19—23	600—1000 (через 100 мс)
	24	1,5 с
ЭД-КЗ-П	1—5	25; 50; 75; 100; 125
ЭД-КЗ-ПМ	1—7	15; 30; 45; 60; 80; 100; 120

Сопротивление электродетонаторов складывается из электрического сопротивления мостика и выводных проводов в холодном состоянии. Данный параметр дает возможность судить об отсутствии неисправностей в электровоспламенителе.

Безопасный ток I_6 — максимальный (верхний предел) постоянный ток, который, протекая через электродетонатор без ограничений времени, не вызывает взрыва. Величина его дает возможность судить об устойчивости электродетонаторов к блуждающим токам.

Длительный воспламеняющий ток $I_{дл}$ — величина постоянного тока, который, проходя без ограничения времени через одиночный ЭД, вызывает его взрыв с заданной вероятностью.

Стомиллисекундный воспламеняющий ток I_{100} — нижний предел постоянного тока, который, протекая через одиночный электродетонатор в течение 100 мс, вызывает их взрыв.

Гарантийный ток $I_{гар}$ — минимальный ток, который, проходя через последовательно соединенные электродетонаторы, вызывает воспламенение всех ЭД. Гарантийная величина постоянного тока должна быть не менее двукратного значения стомиллисекундного тока, принимается равной 1 А.

В правилах безопасности указано, что при ведении взрывных работ с использованием переменного тока гарантийный ток должен быть не менее 2,5 А. При взрывании постоянным током в каждый электродетонатор должен поступать ток силой не менее 1 А при одновременном взрывании до 100 ЭД и не менее 1,3 А при взрывании до 300 ЭД.

Импульс воспламенения K_B — наименьшее значение импульса постоянного тока, при котором происходит взрыв электродетонатора,

$$K_B = I^2 t_B, \quad (4.5)$$

где I — ток, А; t_B — время воспламенения, с.

Чувствительность электродетонатора S — величина, обратная им-

пульсу воспламенения. Номинальный импульс воспламенения — такое его значение, которое становится практически постоянным в токе, примерно равном двукратному значению стомиллисекундного воспламеняющего тока. Импульс плавления мостика $K_{пл}$ — наибольшее значение импульса тока (постоянного), при котором происходит плавление (перегорание) мостика ЭД.

Время передачи пламени (ЭВ) θ — время от начала саморазвивающейся реакции в воспламенительном составе до выхода луча (факела) огня из головки ЭВ. Величину передачи используют при вычислении безопасного тока для безотказного взрывания последовательно соединенных групп.

Время срабатывания τ — время с момента включения тока до момента взрыва ЭД. Для ЭД мгновенного действия

$$\tau = t_v + \theta.$$

Для ЭД замедленного и короткозамедленного действия время воспламенения складывается из общего времени воспламенения, переноса пламени и горения зажигательного и замедлительного состава θ_3 , т. е.

$$\tau = t_3 + \theta + \theta_3.$$

Время горения зажигательного и замедляющего составов не зависит от величины воспламеняющего тока.

Перед монтажом электровзрывной сети одной из основных операций является проверка электродетонаторов. Эту работу выполняют на расходном складе в специально оборудованном помещении на предприятиях, которые в свою очередь не реже одного раза в три месяца проверяют в электрических мастерских.

Перед производством взрывных работ должна быть проверена исправность электровзрывной сети. Контрольно-измерительные приборы, выпускаемые промышленностью, рассчитаны на подачу при проверке в сеть безопасного тока (не более 50 мА).

По конструкции контрольно-измерительные приборы делятся на три группы: стрелочного, звукового и светового типов. Приборы первого и второго типов позволяют установить факт исправности электровзрывной сети и получить численное значение ее сопротивления. Световые приборы позволяют определить только проводимость сети, но не могут обнаружить короткое замыкание в ней.

Сопротивление электродетонаторов и их изоляции измеряют

Основные параметры выпускаемых ЭД с медными проводами

Сопротивление ЭД, Ом, с креплением мостика:

эластичным	2,0
жестким	1,6
Безопасный ток, А	0,18
Длительный воспламеняющий ток, А	0,3
Стомиллисекундный ток, А	0,37
Номинальные импульсы воспламенения, А ² ·мс	0,6
Минимальное время передачи, мс	0,6

трами М-57Д, ОКЭД-1, измерительными мостами Р-353 и Р-343, а для проверки взрывных линий используют омметр ОВЦ-3 и более совершенные приборы ВИС-1 и Ю-140. Измеренное сопротивление должно соответствовать величине, которая указана в паспорте.

Наиболее распространен прибор Р-353, предназначенный для измерения сопротивления проводов, электродетонаторов и электровзрывных сетей. Электрическая схема прибора выполнена по принципу одностороннего постоянного тока. Он смонтирован в водонепроницаемом металлическом корпусе с крышкой. Размеры прибора 160×140×85 мм; точником тока служит элемент МЦ-4К напряжением 1,2 В; масса 1,3 кг. Прибор имеет две шкалы измерений от 0,2 до 50 Ом для проверки сопротивлений ЭД и от 20 до 5000 Ом — для измерения сопротивления электровзрывных сетей. Погрешность измерения составляет ±5% от измеряемого сопротивления.

Омметр ОКЭД-1 предназначен для быстрой классификации и проверки сопротивлений ЭД.

Омметр ОВЦ-3 измеряет сопротивления ЭД и электровзрывных сетей. Прибор имеет два предела измерений: 1 — 50 и 10 — 500 Ом, исполнение — рудничное искробезопасное.

Испытатель взрывной цепи ИВЦ-2 смонтирован в пылевлагозащищенном корпусе и предназначен для проверки электродетонаторов, проводов взрывной цепи на проводимость тока, а также для измерения сопротивлений взрывной цепи. Пределы измерений прибора — 500 Ом. В качестве источника тока в приборе применяется малогабаритная батарея (размеры 100×70×45 мм, масса 0,4 кг). Принципиальная схема прибора ИВЦ-2 аналогична линейному мосту Р-353.

Пьезоэлектрический взрывной испытатель ВЮ-3 предназначен для проверки на проводимость тока ЭД и взрывной цепи при условии, что сопротивление последней не превышает 100 Ом. Прибор состоит из пьезоэлемента, на противоположных торцах которого при ударе возникает разность потенциалов около 100 В, ударного механизма, двух трансформаторов и неоновой лампочки с потенциалом зажигания 65 В. Он не позволяет обнаружить короткие замыкания взрывной цепи, так как и в том случае лампочка дает вспышку. Размеры прибора 121×96×30 мм, масса 0,54 кг.

Испытатели взрывной цепи типа ИВЦ предназначены для измерения сопротивления электродетонаторов и электровзрывных цепей. Это малогабаритный мостовой взрывобезопасный прибор с акустической индикацией проводимости электрической цепи и указателем сопротивления до 200 Ом. На корпусе испытателя имеются лимб со шкалой, кнопка для включения источника тока, телефон и линейный зажим. Ток питания мостика получается путем преобразования постоянного тока батарей в переменный ток звуковой частоты, осуществляемого с помощью полупроводникового триода.

Прибор работает следующим образом. К линейным зажимам подносится измеряемая цепь, прибор подносят к уху, после чего нажатием кнопки включают питание генератора. Не отнимая прибора от уха,

Таблица 4.5

Приборы контроля и измерения сопротивления или проводимости взрывной цепи

Наименование и тип прибора	Источник питания	Основные размеры, мм
Мост переносной постоянного тока Р-343	Два элемента 373	180×160×62
Испытатель взрывной светодиодный ВИС-1	Четыре аккумулятора Д-0,1	135×65×40
Метанометр с измерителем взрывной цепи ИМС-1	Три аккумулятора Д-0,55	200×105×70
Измерительный индикатор Ю-140	Фотоэлемент Ф45-С	90×60×30

вращают шкалу (диск) прибора до положения, при котором звук в телефонной капсуле будет минимальным. На шкале прибора против указателя находится величина измеренного сопротивления в цепи. Если при вращении лимба не наблюдается заметного изменения силы звука, то это свидетельствует о наличии обрыва в испытуемой цепи.

Малый омметр наиболее простой из контрольно-измерительных приборов. В нем используется магнитоэлектрическая система с непосредственным отсчетом сопротивления цепи в омах.

Кроме того, используются взрывной испытатель светодиодный ВИС-1 и фотоэлектрический индикатор Ю-140. Первый снабжен индикатором-светодиодом, который начинает светиться, если контролируемая сеть цела и ее сопротивление не превышает определенного значения; позволяет проверять сопротивление сети и отдельных ее элементов. У второго в качестве источника электроэнергии используется фотоэлемент (работающий при освещении), с которым последовательно включен микроамперметр. Отклонение стрелки микроамперметра указывает на целостность контролируемой электровзрывной сети.

При отклонениях от указанных в паспорте величин электродетонаторы бракуют. Пригодные к применению складывают в коробку, при этом концы выводных проводов замыкают накоротко и свертывают в буртик.

Характеристики приборов для определения сопротивления или проводимости в электровзрывной сети приведены в табл. 4.5.

Источниками тока при электрическом взрывании являются взрывные машинки, осветительные и силовые электрические линии, передвижные электрические станции.

Взрывные приборы, в которых источниками тока служат маломощные генераторы с ручным приводом — взрывные машинки, бывают двух типов: динамоэлектрические и конденсаторные (первые в настоящее время почти не применяются). В конденсаторных взрывных машинках используется конденсатор, заряжаемый в течение 10—20 с от маломощного первичного источника тока, вмонтированного в машинку, который затем весьма быстро (в течение 3—4 мс) разряжается в сеть.

При ведении взрывных работ на горных предприятиях широко при-

Масса, кг	Амплитудное значение тока в цепи, мА		Пределы измерений, Ом	Погрешность, %
	в нормальном режиме работы прибора	при любых возможных поврежденных элементах схемы, не более		
1,6	7	50	20 - 50 0,2 - 50,0	±5
0,3	5	50	320	±5
1,5	10	50	0 - 400	±5
0,2	0,3	0,3	0 - 10 000	±10

меняют конденсаторные взрывные машинки, которые по принципу питания делятся на индукторные, аккумуляторные и батарейные. Промышленностью выпускаются конденсаторные машинки следующих марок: КПМ-1, КПМ-2, КПМ-3, КВП-1/100М, ПИВ-100М, ВМК-500, СВМ-2. Машинка КПМ-1А используется для взрывания ЭД в шахтах, не опасных по газу и пыли; КПМ-2 — на открытых работах и в шахтах, не опасных по газу и пыли. Этой машинкой взрывают до 300 последовательно соединенных ЭД при общем сопротивлении взрывной сети до 1000 Ом. Напряжение в конденсаторе-накопителе достигает при этом 1500 В.

Конденсаторная взрывная машинка ВМК-500 (рис. 4.7) предназначена для взрывания ЭД с нихромовым мостиком накопления на открытых и подземных горных работах шахт, не опасных по газу и пыли, при температуре от -40 до 250° С и относительной влажности до 95%.

Машинкой ВМК-500 можно взрывать одновременно до 800 ЭД при последовательном соединении с сопротивлением во взрывной сети до 2100 Ом или две параллельные группы, в каждой из которых последовательно соединено по 50 ЭД. При этом сопротивление каждой группы должно быть не более 1300 Ом, а сопротивление всей взрывной сети не более 650 Ом.

Взрывные машинки перед их применением проверяют с помощью приборов на длительность импульса напряжения, а также на развиваемую

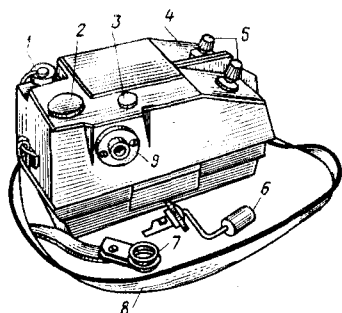


Рис. 4.7. Конденсаторная взрывная машинка ВМК-500:

1 — розетка штепсельного разъема; 2 — взрывная кнопка; 3 — окно светосигнального устройства; 4 — корпус; 5 — линейные зажимы; 6 — приводная рукоятка; 7 — заглушка гнезда приводной рукоятки; 8 — плечевой ремень; 9 — гнездо приводной рукоятки

Характеристика конденсаторных взрывных машинок

Тип прибора или машинки	КВП-1/100М ПИВ/100М ИВП-1/12 КПМ-1А КПМ-3 ВМК-500					
Максимальное число одновременно взрываваемых ЭД, соединенных последовательно	100	100	12	100	200	800
Номинальное сопротивление сети, Ом . . .	320	320	36	300	600	2100
Напряжение на конденсаторе, В	600—650	610—670	19	1500 1850	1600	3000
Источники тока	Элемент 373			Генератор переменного тока		

мые ими ток и импульсы тока. Осматривают внешнее состояние линейных зажимов корпуса, привода взрывного ключа и светосигнального устройства.

Взрывные машинки, не имеющие миллисекундного замыкателя, испытывают при помощи пульты-пробника. Машинки с миллисекундными замыкателями проверяют приборами контроля взрывного импульса ПКВИ-3, ПКВИ-3М. Прибор ИМВ-1М предназначен для проверки конденсаторных взрывных приборов и машинок любой мощности.

Осветительные и силовые линии могут быть использованы в качестве источника тока при производстве взрывных работ на карьерах там, где, как правило, имеется постоянное электроснабжение от мощных электростанций и подстанций. В целях безопасности для производства взрывных работ используют электролинии низкого (127 или 220В) напряжения.

Сетевые взрывные приборы КВП-200 и КВП-750 применяют для подачи тока в электровзрывную цепь от питающих сетей переменного и постоянного токов. Эти приборы получают энергию от осветительных или силовых сетей, электрических установок и могут быть следующих типов: с прямым включением тока, с включением тока в фиксированной точке синусоиды, выпрямительные, конденсаторные. Они применяются при взрывных работах в карьерах, рудниках и шахтах, не опасных по газу и пыли. В шахтах, опасных по газу и пыли, используют автономные приборы взрывания.

Передвижные электростанции обычно применяют при производстве массовых взрывов, когда мощность взрывных машинок недостаточна, а силовых линий от стационарных электростанций или подстанций на месте производства работ нет. Переносная минная станция ПМС-220 (рис. 4.8) предназначена для подачи тока во взрывную сеть от электрических сетей напряжением 200—220 В на карьерах и в шахтах, не опасных по газу и пыли.

Взрывные станции, как и все другие приборы, исключают возможность случайного замыкания взрывной сети. Стационарные станции смонтированы в запирающихся шкафах, могут работать от постоянного и переменного токов и состоят из двух рубильников, контрольных лампочек и контрольно-измерительных приборов.

Рис. 4.8. Электрическая схема взрывной станции ПМС-220

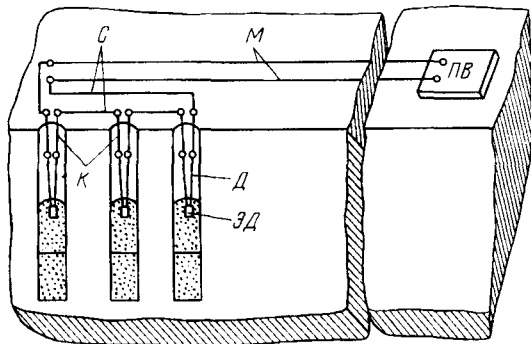
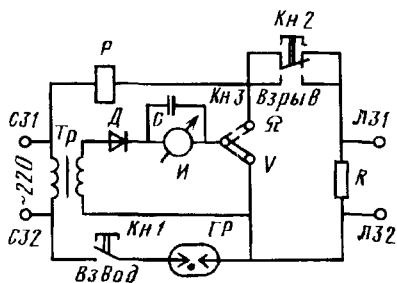


Рис. 4.9. Схема электровзрывной сети:

К — концевые провода; С, М — соответственно соединительные и магистральные провода; ЭД — детонаторные провода; ПВ — прибор взрыва (минная станция)

При работах с применением электрического взрыва группы ЭД соединяют между собой в электрическую цепь последовательно, параллельно или по смешанным схемам (последовательно-параллельно). Схема электровзрывной сети показана на рис. 4.9.

Последовательное соединение состоит в том, что концы детонаторных проводников соединяются между собой, а два крайних конца присоединяются к магистрали, идущей к источнику тока. При последовательном соединении через все ЭД проходит ток одинаковой силы

$$I = \frac{E}{rn + r_0 + R}, \quad (4.8)$$

где E — электродвижущая сила источника тока, В; r — сопротивление одного электродетонатора, Ом; n — число ЭД в цепи; r_0 — внутреннее сопротивление источника тока, Ом; R — сопротивление подводящих проводников, Ом.

Общее сопротивление электровзрывной сети

$$R_{\text{общ}} = R_m + R_c + R_y + NR_k + \sum_{i=1}^N R_{\text{ЭД}}, \quad (4.9)$$

где $R_m, R_c, R_y, R_k, R_{эд}$ — соответственно сопротивление магистральных проводов, соединительных, участковых, концевых и ЭД, Ом; N — число ЭД.

Сопротивление проводов

$$R = \rho / S, \quad (4.10)$$

где ρ — удельное сопротивление материала провода; l и S — соответственно длина и площадь сечения провода.

Безотказность при постоянном токе обеспечивается при условии

$$I = \frac{U}{R_{общ}} \geq I_T, \quad (4.11)$$

где I — ток, поступающий в ЭД, А; U — напряжение источника тока, В; I_T — гарантийный ток, А (при взрывании одного ЭД $I_T = 1$ А, от 2 до 100 ЭД — 1,15 А и более 100 ЭД — 1,25 А).

Параллельное соединение состоит в том, что каждый концевой провод ЭД подсоединяется к разным магистральным проводам. При этом способе соединения требуется значительно более мощный источник тока, чем при последовательном.

$$I = \frac{E}{r/n + r_0 + R}. \quad (4.12)$$

Общее сопротивление группы параллельно соединенных ЭД находится из выражения

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}, \quad (4.13)$$

где $R_1, R_2, \dots, R_n$ — сопротивление электродетонаторов, Ом.

Различают параллельно-ступенчатое соединение, когда электродетонаторы постепенно присоединяют к двум параллельным проводам на ступенях, и параллельно-пучковое соединение, когда электродетонаторы в виде пучков присоединяют к магистральным проводам. Общее сопротивление взрывной сети при таких соединениях определяется по формуле

$$R_{общ} = R_m + R_c + R_y + (R_{эд} + R_k) / N. \quad (4.14)$$

Ток, поступающий в каждый ЭД, $I = I_{общ} / N$, где $I_{общ} = E / R_{общ}$.

Параллельно-последовательный способ соединения состоит в том, что ЭД разделяют на группы, в каждой из которых имеются последовательные и параллельные соединения. При данном способе соединения следует выполнять следующие условия: в каждой группе должно быть одинаковое число ЭД; сопротивление во всех группах должно быть одинаковым. Общее сопротивление взрывной сети в этом случае состоит

$$R_{общ} = R_m + R_c + \frac{R_y + R_k + R_{эд}}{n} m, \quad (4.15)$$

где m — число последовательно соединенных групп ЭД; n — число параллельно соединенных ЭД в группе.

Ток в магистрали

$$I_{\text{общ}} = \frac{U}{R_m + R_c (R_{\Sigma} / n + R_{\Sigma}) m} \quad (4.16)$$

Последовательно-параллельный способ состоит в том, что ЭД в группах соединяются между собой последовательно, а группы их включаются в электровзрывную сеть параллельно. В этом случае ток составит

$$I = \frac{E}{n^2 / m + r_n + R} \quad (4.17)$$

Общее сопротивление взрывной сети

$$R_{\text{общ}} = R_m + \frac{R_c + R_{\Sigma} + n (R_{\Sigma\Delta} + R_{\Sigma})}{m} \quad (4.18)$$

Ток i , поступающий в каждую группу.

$$i = I / m. \quad (4.19)$$

Для взрыва всех электродетонаторов необходимы следующие условия:

при параллельно-последовательном соединении n электродетонаторов в группе

$$I \geq n I_{\Gamma}; \quad (4.20)$$

при последовательно-параллельном m групп

$$I \geq m I_{\Gamma}, \quad (4.21)$$

где I_{Γ} — гарантийный ток, обеспечивающий безотказное взрывание ЭД.

При данном способе возможно применение источника тока небольшой мощности, чем обеспечивается большая надежность взрывания. Данный способ нашел широкое применение. Некоторые комбинации описанных выше способов (например, в схемах с дублированием) показаны на рис. 4.10.

Пример 1. Требуется взорвать 50 зарядов в шпурах глубиной 2,5 м, находящихся на расстоянии 2 м один от другого. Необходимо подобрать электровзрывную сеть и источник тока, если среднее сопротивление ЭД $R_{\Sigma\Delta} = 3$ Ом.

Радиус опасной зоны $R_{\text{бсз}} = 200$ м.

Для магистральной линии выбираем провода марки ПР площадью сечения $1,5 \text{ мм}^2$, для остальных проводов $0,5 \text{ мм}^2$.

Длина магистральной линии

$$L_m = 2 R_{\text{бсз}} 1,1 = 2 \cdot 200 \cdot 1,1 = 440 \text{ м},$$

где 1,1 — коэффициент, учитывающий непрямолинейность прокладки магистрали соединительных проводов;

$$L_c = 2 \cdot 49 \cdot 1,1 = 108 \text{ м};$$

участковых проводов

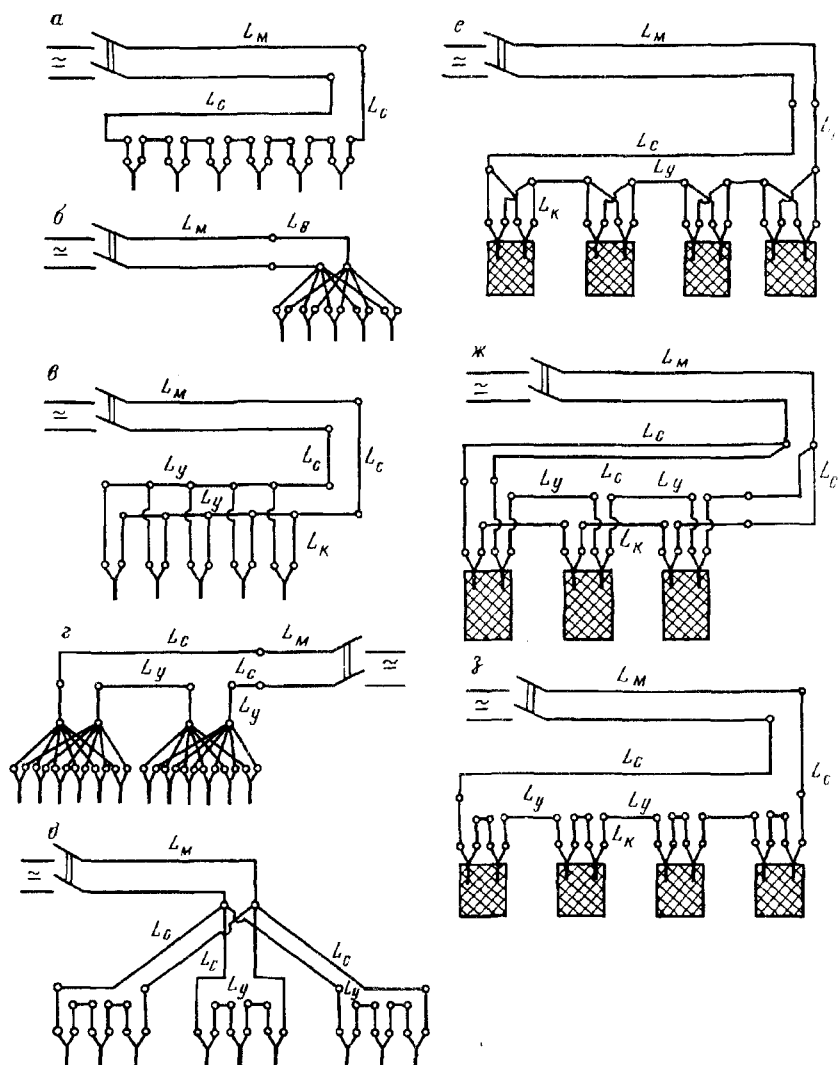


Рис. 4.10. Способы соединения электродетонаторов:

а) последовательный; б) параллельно-пучковой; в) параллельно-ступенчатый; г) параллельно-последовательный; д) последовательно-параллельный; е) парно-параллельный в боевиках дублированной сети; ж) двойная электровзрывная сеть; з) парно-последовательный в боевиках дублированной сети

$$L_y = 249 \cdot 1,1 = 108 \text{ м},$$

пары концевых проводов

$$L_K = 22,5 \cdot 1,1 = 5,5 \text{ м}.$$

Общее сопротивление электровзрывной сети при последовательном соединении

$$R_{\text{общ}} = 0,0175 \left(\frac{440}{1,5} + \frac{108}{0,5} + \frac{108}{0,5} + 50 \frac{5,5}{0,5} \right) + 50 \cdot 3 = 72 \text{ Ом.}$$

Требуется источник тока, обеспечивающий напряжение

$$U = I_1 R_{\text{общ}} = 1,15 \cdot 72 = 82,8 \text{ В.}$$

Пример 2. Рассчитать электровзрывную сеть. Число шпуров 50 шт. Сопротивление каждого ЭД с концевыми проводами 6 Ом. Расстояние до источника тока 200 м.

В качестве магистральных проводов используется медный двухжильный кабель с площадью сечения каждой жилы $2,5 \text{ мм}^2$, соединительный провод медный; площадью сечения 1 мм^2 и длиной 20 м. Напряжение источника постоянного тока 120 В.

Решение. Определим сопротивление проводов:
магистральных

$$R_m = \rho \frac{4l}{\pi d_{\text{пр}}^2} \cdot 1,1 = \rho \frac{L_m}{S_m} \cdot 1,1 = 0,0175 \frac{2 \cdot 200}{2,5} \cdot 1,1 = 3,08 \text{ Ом;}$$

соединительных

$$R_c = \rho \frac{L_c}{S_0} \cdot 1,1 = 0,0175 \frac{20}{1,0} \cdot 1,1 = 0,385 \text{ Ом;}$$

общее

$$R_{\text{пр}} = R_m + R_c = 3,08 + 0,385 \approx 3,5 \text{ Ом.}$$

При последовательном соединении общее сопротивление электровзрывной сети

$$R_{\text{общ}} = R_{\text{пр}} + NR_{\text{ЭД}} = 3,5 + 50 \cdot 6 = 303,5 \text{ Ом.}$$

$$\text{Ток } I = \frac{U}{R_{\text{общ}}} = \frac{120}{303,5} = 0,39 \text{ А.}$$

Величина тока в случае последовательного соединения ЭД недостаточна для безотказного взрывания.

При параллельном соединении

$$R_{\text{общ}} = R_{\text{пр}} + \frac{R_{\text{ЭД}}}{N} = 3,5 + \frac{6}{50} = 3,6 \text{ Ом.}$$

Общий ток в сети

$$I = \frac{U}{R_{\text{общ}}} = \frac{120}{3,6} = 33,5 \text{ А.}$$

Ток в каждом ЭД

$$i = \frac{I}{N} = \frac{33,5}{50} \approx 0,67 \text{ А,}$$

что тоже недостаточно.

Применим смешанное соединение. При смешанном соединении при условии соединения электродетонаторов в пять последовательных групп по 10 электродетонаторов в каждой сопротивление сети

$$R_{\text{общ}} = R_{\text{пр}} + \frac{mR_{\text{ЭД}}}{n} = 3,5 + \frac{30}{10} = 6,5 \text{ Ом.}$$

Ток в сети

$$I = \frac{U}{R_{\text{общ}}} = \frac{120}{6,5} = 18,5 \text{ А,}$$

а в электродетонаторе

$$i = \frac{I}{n} = \frac{18,5}{10} = 1,85 \text{ А} > I_{\text{цпр}}.$$

Такое соединение можно принять для взрывания.

Контрольные вопросы

1. В чем состоит принцип электровзрывания?
2. Назовите основные преимущества и недостатки электровзрывания.
3. Из каких элементов состоит электровзрывная сеть?
4. Какие виды проводов используют в электровзрывной сети?
5. По каким принципам различают электродетонаторы?
6. Какие замедления обеспечивают электродетонаторы ЭД-ЗД и ЭД-КЗ?
7. Назовите основные параметры ЭД.
8. Какие электроизмерительные приборы используют для контроля ЭД и электровзрывных сетей?
9. Какие источники тока используют при электрическом взрывании?
10. Какие виды конденсаторных взрывных машинок Вы знаете?
11. Назовите основные виды соединения ЭД в электровзрывную сеть.

§ 3. Взрывание с помощью детонирующего шнура

Взрывание при помощи детонирующего шнура применяется в том случае, когда необходимо обеспечить одновременный взрыв серии зарядов ВВ, а также при производстве массовых взрывов на карьерах при короткозамедленном взрывании.

При взрывании детонирующим шнуром детонация заряда ВВ возбуждается взрывом отрезка ДШ, непосредственно располагаемого в заряде. Иницирование отрезка ДШ, находящегося в заряде, осуществляется через взрывную сеть из ДШ или непосредственно от КД, присоединяемого к отрезку ДШ у устья скважины. Взрывание детонирующим шнуром иногда называют бескапсюльным взрыванием. Такое название обусловлено тем, что при взрывании детонирующим шнуром в заряде не размещают КД или ЭД.

Простота и безопасность производства взрывных работ, возможность одновременного взрывания большого числа зарядов любой конструкции в сухих и обводненных условиях, безопасность применения по отношению к блуждающим токам способствуют широкому применению этого способа взрывания.

Для взрывания детонирующим шнуром не требуется мощных источников тока, точных приборов, что позволяет применять этот способ взрывания в различных условиях. Детонирующий шнур используется для мгновенного и короткозамедленного взрывания зарядов, при взрывании зарядов с воздушными промежутками и с промежуточным детонатором.

При использовании соответствующих марок детонирующего шнура взрывание им возможно под водой, в агрессивных средах, при температуре окружающего воздуха от -50°C до $+22^{\circ}\text{C}$.

Однако невозможность проверить приборами правильность монтажа взрывной сети, недостаточная стойкость некоторых сортов ДШ в воде и в зарядах с нефтепродуктами, высокая стоимость, а также необходимость применения огневого или электрического взрывания для иницирования сети или отрезка ДШ являются недостатками этого способа.

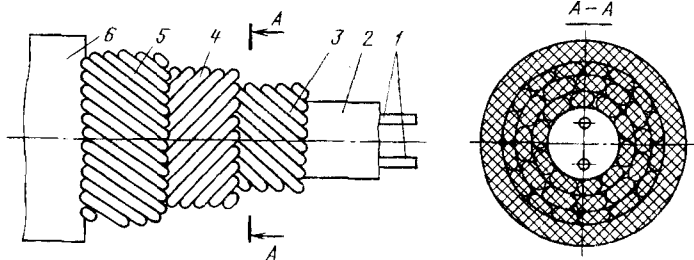


Рис. 4.11. Детонирующий шнур:

1 — направляющие нити; 2 — взрывчатая сердцевина шнура; 3, 4 и 5 — соответственно 1-я, 2-я и 3-я спиральные оплетки; 6 — внешняя изолирующая оболочка

Детонирующий шнур (ДШ) состоит из оболочки и сердцевины (рис. 4.11). Сердцевиной служит слабо спрессованное бризантное ВВ или смесь бризантного ВВ с инициирующим. Через сердцевину пропущены две направляющие хлопчатобумажные нити, которые способствуют распределению ВВ при изготовлении шнура. Оболочка состоит из трех слоев льняных или хлопчатобумажных нитей. Средняя и наружная оплетки покрыты изолирующим составом и лаком, которые предохраняют сердцевину от влаги и механических повреждений.

Наружная белая оболочка обычного детонирующего шнура имеет спиральные красные нити, а водостойчивый шнур покрыт красной полихлорвиниловой оболочкой. Шнуры имеют диаметр 4,8–6,1 мм и выпускаются отрезками длиной 50 м, свернутыми в бухты. Бухты заворачивают в бумагу, упаковывают в ящики и в таком виде отправляют потребителям.

В зависимости от марки ДШ детонация распространяется по его сердцевине со скоростью 2–8,5 км/с.

Раньше применяли гремучертуговые и гремучертугово-тетриловые детонирующие шнуры (ДШ). Сейчас изготавливают ДШ с тэновой или гексогеновой сердцевиной. Термостойкие шнуры выполняют с октогеном (ДШУ-150, ДШТ-165, ДШТ-200). Тэновые ДШ сравнительно безопасны — мало чувствительны к удару, не взрываются от огня.

Для взрывания в опасных по газу и 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.

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

Таблица 4.6

Характеристика детонирующих шнуров

Тип шнура	Диаметр, мм	Масса ВВ на 1 м шнура, г	Покрывание наружной оплетки	Допускаемая наружная температура, °С	Допустимая выдержка, мин
ДШ-А	4,8—5,8	12,0	Водоизолирующая мастика	-28 ÷ +50	12
ДШ-В	5,5—6,1	13,0	Полихлорвиниловый пластикат	35 ÷ +55	24
ДШЭ-6	3,7—4,7	6,0	Кабельный полиэтилен	50 ÷ +65	30
ДШЭ-12	4,5—5,5	12,0	То же	-50 ÷ +65	30

Увлажнение сердцевинны 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.

При температуре более 30° С гидроизоляция плавится, проникает в сердцевину и резко снижает чувствительность ВВ к детонации. Поэтому сети из детонирующих шнуров при температуре воздуха более 30° С должны прикрываться от действия солнечных лучей. При применении шнуров, имеющих пластиковую оболочку, эта необходимость отпадает. В условиях минусовых температур при монтаже взрывной сети шнур может ломаться.

Характеристика детонирующих шнуров приведена в табл. 4.6.

В стадии промышленных испытаний находятся так называемые детонационные ленты (ДЛ), состоящие из основания — ленты, покрытой слоем ВВ. ДЛ могут удлиняться (без нарушения сплошности), что повышает их надежность, и имеют меньшую стоимость по сравнению с ДШ.

Для проведения взрыва с помощью ДШ формируют взрывную сеть, которая в наиболее полном виде включает в себя магистральную линию (магистраль) ДШ с КД или ЭД в точке инициирования, отрезки ДШ, идущие к зарядам и присоединенные к магистрали, пиротехнические реле замедления, установленные в разрывах магистрали или отрезков ДШ, усилители инициирующего импульса на отрезках ДШ. В конкретных схемах отдельные элементы могут отсутствовать.

Отдельные отрезки ДШ соединяются между собой и с магистралью внакладку, внакрутку или морским узлом (рис. 4.12), что обеспечивает безотказную работу при правильной раскладке.

Наиболее простым является соединение внакладку, которое выполняют по длине не менее 100 мм и скрепляют шпагатом или лентой. Однако такое соединение в отдельных схемах взрывной сети обеспечивает передачу детонации только по ходу детонационной волны.

Морской узел передает детонацию независимо от направления хода волны, обеспечивает достаточную прочность соединения и большую надежность передачи детонации.

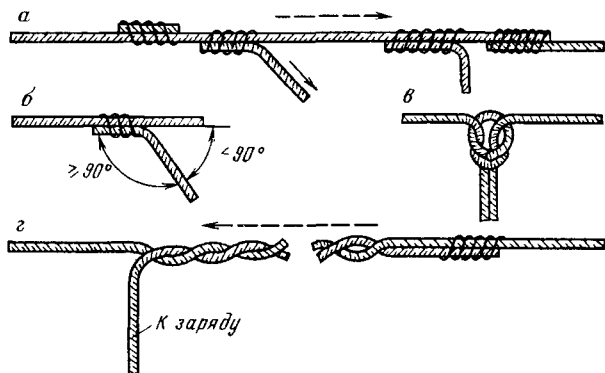


рис. 4.12. Способы соединения детонирующего шнура (стрелкой показан ход детонационной волны):

а — внакладку; б — морским узлом; в — внавивку и внакрутку

Соединение внакрутку наиболее прочно, а по надежности передачи детонации занимает промежуточное место между соединениями внакладку и морским узлом.

Капсюль-детонатор или электродетонатор присоединяют к ДШ на расстоянии 10—15 см от его начала и закрепляют с помощью тесьмы или изоляционной ленты.

Для исключения отказов зарядов магистрали ДШ дублируют, т. е. выполняют из двух и более нитей ДШ. При прекращении детонации 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 нити, в которой детонация распространяется по «кольцу».

Дублирование магистралей ДШ выполняется во всех случаях, когда глубина скважин превышает 10 м (котловых скважин более 6 м), а также при обводненных скважинах любой глубины. Если взрывание однорядное, то магистрали ДШ не дублируются.

При неплотном прилегании шнуров необходимо, чтобы скорость их детонации была одинаковой. В противном случае 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 разделять один от другого более чем на 50 мм, а в местах присоединения магистрали сводить их и плотно обвязывать.

Нарезка отрезков ДШ требуемой длины производится на гладкой доске острым ножом. Запрещается резать ДШ после введения его боевик или заряд ВВ.

При пересечении ниток ДШ между ними помещают прокладку из бруска или дерева толщиной не менее 10 см. При прокладке линий ДШ допускается образование витков и скруток на шнуре. Для соединения

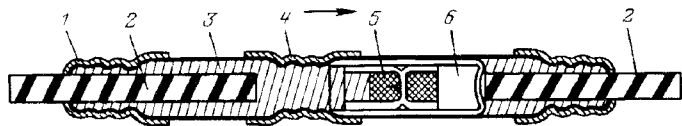


Рис. 4.13. Устройство пиротехнического реле (стрелкой показано направление детонации: 1 - наконечник; 2 - отрезки ДШ; 3 - бумажная трубка; 4 - втулка; 5 - замедлитель; 6 - капсюль-детонатор)

отрезков ДШ между собой используют различные пластмассовые приспособления.

Пиротехнические реле замедления типа КЗДШ (рис. 4.13) предназначены для осуществления короткозамедленного взрывания сетей из ДШ.

Пиротехнические реле представляют собой жесткую бумажную трубку, в которую вставлен замедляющий элемент, состоящий из капсюля-детонатора и пиротехнического замедлителя. Принцип действия реле заключается в следующем. Детонация от нити ДШ через свободное пространство трубки передается в виде снопа огня к замедляющему составу, который запрессован в металлическую гильзу. Продолжительность горения пиротехнического замедлителя указана на трубке. Пламя от замедлителя передается капсюлю-детонатору, который инициирует другой конец ДШ. КЗДШ выпускают с интервалами замедлений 10, 20, 35, 50, 75, 100, 125, 150, 175 и 200 мс.

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

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

Для правильной установки реле во взрывной сети на гильзе нанесены стрелка и цифры, которые указывают направление детонации и время замедления в миллисекундах. Для создания больших замедлений соединяют последовательно несколько замедлителей.

Шнуры нормальной мощности могут применяться для инициирования взрыва порошкообразных ВВ (особенно при наличии на ДШ узлов и промежуточных детонаторов). Маломощные ДШ применяют только для передачи детонации. С помощью мощных ДШ производят инициирование ВВ.

Узел ДШ служит для возбуждения детонации боевика или заряда ВВ. В зависимости от чувствительности ВВ и требуемой мощности начального импульса узел ДШ имеет различную конструкцию. Петлеобразный узел ДШ прост в изготовлении, но имеет недостаточную мощность (рис. 4.14, а). Усиленный петлеобразный узел ДШ состоит не менее чем из трех нитей. Длина узла должна быть не менее 15 см.

Спиральный узел ДШ имеет большую инициирующую способность по сравнению с петлеобразным и наиболее широко применяется (рис. 4.14, б).

Рис. 4.14. Конструкции детонационных узлов ДШ:

1 — отрезок ДШ; 2 — шпатель

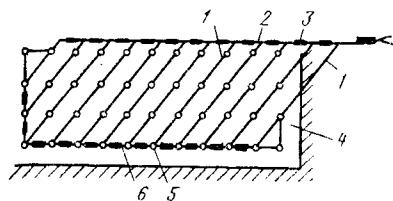
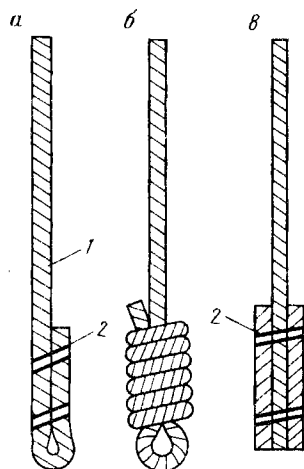


Рис. 4.15. Кольцевая схема инициирования детонирующим шнуром:

1 — отрезки ДШ; 2 — 1-я магистраль ДШ; 3 — КЗДШ; 4 — взрываемый блок; 5 — скважины; 6 — 2-я магистраль ДШ



Накладной узел ДШ прост в изготовлении, состоит не менее чем из трех нитей ДШ и используется для инициирования зарядов из низкочувствительных ВВ (рис. 4.14, а). Длина накладного узла должна быть не менее 20 см. Основными достоинствами его являются простота изменения его инициирующей мощности и возможность использования его вместо шашек-детонаторов. Накладной узел ДШ можно располагать в любой точке отрезка ДШ. Узел длиной 1 м с шестью-восемью нитками вызывает в скважинах детонацию всех промышленных ВВ, включая акваторы.

При взрывании детонирующим шнуром используют последовательную, параллельно-ступенчатую, пучковую и кольцевую схемы соединения взрывных сетей.

При последовательной схеме нет магистрали ДШ. Цепочка зарядов ВВ соединяется отрезками ДШ. Один отрезок подводит детонацию к заряду, второй — отводит детонацию к следующему заряду. Монтаж такой схемы наиболее прост, однако возможность группового отказа при отказе в одном заряде или отрезке ДШ ограничивает область ее применения — в основном для взрывания наружных и небольшого числа крупных зарядов из ВВ с нормальной чувствительностью.

При параллельно-ступенчатой схеме взрывную сеть из ДШ формируют из магистрали, пролегающей вдоль ряда скважин и отрезков ДШ, располагаемых в скважинах параллельно между собой и отходящих от магистрали в форме ступени. Такая схема получила широкое распространение на карьерах.

Пучковая схема взрывной сети применяется при взрывании негабарита. Отличительной ее особенностью является присоединение к магистрали нескольких отрезков ДШ в одном месте. Ее недостатком является повышенный расход ДШ, применяется редко. Кольцевая схема взрывной сети (рис. 4.15) состоит из замкнутой магистрали и

отрезков ДШ, соединяющих скважины. Она характеризуется повышенной надежностью. В этой схеме отрезки ДШ подсоединяют к магистрали морским узлом, что обеспечивает подрыв независимо от направления хода детонационной волны. В кольцевой схеме магистраль не дублируют. Замедление обеспечивается с помощью КЗДШ.

При частичном дублировании прокладывают один магистральный шнур, а в каждый заряд вводят два отрезка ДШ. При частичном дублировании допускается применение только кольцевой взрывной сети с присоединением отрезков ДШ к магистрали морским узлом.

При взрывании с помощью ДШ необходимо:

разрезать шнур на отрезки для изготовления патронов-боевиков;
изготовить патроны-боевики;

подать предупредительный сигнал, выполнить зарядание и забойку зарядов;

выполнить монтаж сети ДШ;

подать боевой сигнал, подсоединить к магистрали капсулы-детонаторы или электродетонаторы и выполнить взрыв;

после взрыва осмотреть взорванный забой;

при наличии отказов ликвидировать их и подать сигнал отбоя.

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

При взрывах зарядов в скважинах или камерах патрон-боевик изготавливается заранее на взрываемом блоке из нескольких патронов порошкообразного ВВ путем обвязывания их детонирующим шнуром (рис. 4.16).

Выбор конструкции боевика определяется условиями взрывания. При взрывании скважинных зарядов в сухих условиях применяют боевики с кольцевым расположением (рис. 4.16, а). Для взрывания шпуровых зарядов используют боевики с внутренним расположением ДШ (рис. 4.16, б), при зарядании в обводненных условиях, в оплывающих скважинах и т. д. — с боковым расположением ДШ (рис. 4.16, в).

В настоящее время для изготовления боевиков применяют в основном специальные прессованные шашки — промежуточные детонаторы из тротила, тетрила или смеси тротила с гексогеном (рис. 4.17).

При монтаже взрывной сети не допускается натягивание ДШ. Основную и дублирующую взрывные сети из ДШ взрывают одновременно от одного или нескольких детонаторов, присоединенных к магистральным шнурам в одном месте. Воспламенение зажигательных трубок или включение электровзрывной сети производят после подачи установленных сигналов. Для уменьшения вероятности отказов и снижения стоимости взрывания иногда применяют беспроводное управление взрыванием блоков скважин по радиосигналу.

Устройство «Гром» позволяет производить взрывание нескольких отдельных блоков или групп блоков скважин в карьере с безопасного расстояния. Устройство «Гром» состоит из командного и исполнительного блоков. Командный блок совместно с приемопередатчиком ра-

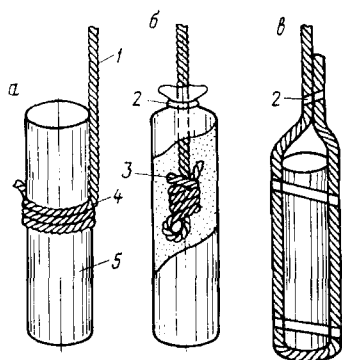


Рис. 4.16. Конструкции боевиков при взрывании детонирующим шнуром:

1 — отрезок ДШ; 2 — шпатель; 3 — узел ДШ; 4 — витки ДШ на патроне; 5 — патрон ВВ

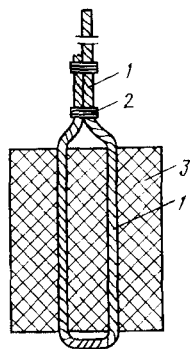


Рис. 4.17. Схемы взрывания с промежуточным детонатором:

1 — ДШ; 2 — шпатель; 3 — шашка-детонатор

диостанции устанавливается за пределами опасной зоны на борту карьера и обеспечивает передачу кодированных команд для проверки радиоканала и взрывания. Блок может устанавливаться в помещении или в специально оборудованном автомобиле. Число исполнительных блоков, работающих с одним командным, не ограничивается.

Исполнительный блок, оснащенный радиоприемником, устанавливается в карьере на расстоянии 100–150 м от взрывающегося блока под защитным кожухом, предохраняющим от кусков породы, разлетающихся при взрыве. Исполнительный блок осуществляет прием передаваемых команд и их реализацию путем подрыва электродетонатора, подключенного к взрывной сети взрывающегося блока.

Устройство обеспечивает импульс тока воспламенения детонаторов не менее $3 \text{ A}^2 \cdot \text{мс}$ при максимальном сопротивлении последовательной взрывной сети 100 Ом. Замедление взрывания может регулироваться в диапазоне от 0 до 29,8 с с интервалом 0,2 с.

Дальность управления при установке передающей штыревой антенны на высоте 3 м над поверхностью земли составляет 8 км в случае прямой видимости и 4–5 км при отсутствии прямой видимости.

Контрольные вопросы

1. В чем состоит сущность способа взрывания с помощью ДШ?
2. Какие достоинства и недостатки имеет способ взрывания детонирующим шнуром?
3. Какие схемы взрывных сетей используют при взрывании детонирующим шнуром?
4. Какие меры безопасности следует выполнять при взрывании детонирующим шнуром?
5. Какой величины должен быть промежуточный детонатор для взрывания водонаполненных ВВ?
6. Как изготовляют промежуточный детонатор при взрывании детонирующим шнуром?
7. Какие мероприятия осуществляют для снижения вероятности отказов при взрывании с помощью ДШ?

ГЛАВА 5. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО РАБОТЕ С ВЗРЫВЧАТЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Выполнение взрывных работ регламентируется Едиными правилами безопасности при взрывных работах.

Все горные предприятия, ведущие взрывные работы, обязаны иметь: разрешение на право производства взрывных работ, приобретение, хранение и перевозку ВМ; проекты (паспорта) буровзрывных работ; склады для хранения ВМ; специально оборудованный транспорт для перевозки ВМ; персонал для руководства взрывными работами; персонал для производства взрывных работ.

Разрешение на право производства взрывных работ организация или специализированное подрядное предприятие получают в органах Гостехнадзора или горнотехнической инспекции соответствующего министерства на основании заявления. В заявлении указываются: название предприятия, характер, методы и сроки проведения взрывных работ, сведения о руководителе взрывных работ, а также о складе ВМ.

Для приобретения ВМ предприятие подает заявление непосредственно контролирующей его организации Госгортехнадзора, в котором указывают: количество и виды необходимого ВМ, характер взрывных работ, описание склада для его хранения.

Предприятие получает через органы милиции разрешение на приобретение и перевозку ВМ, на основании заявления руководителя организации и свидетельства на право приобретения, полученного от органов Гостехнадзора. При выдаче свидетельства учитываются расход ВМ, вместимость склада и наличие разрешения на право его хранения.

На право хранения ВМ в складе организация получает разрешение милиции, предварительно направив заявление с копией акта комиссии о приемке склада или сейфа.

Основная проектная документация на производство буровзрывных работ — паспорт или проект БВР.

П а с п о р т Б В Р — технологический документ, содержащий основные сведения, необходимые для ведения буровзрывных работ. В паспорте буровзрывных работ при проведении выработок указывают следующие данные: наименование выработки; схему расположения шпуров в забое; площадь забоя; характеристику пород; тип ВВ и средства инициирования, способ взрывания и число серий замедления; расчетные показатели взрыва — коэффициент использования шпура (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 — число шпуров и зарядов, глубину каждого шпура, угол наклона шпура к плоскости забоя, массу каждого заряда, длину и материал забойки, очередность взрывания шпуров;

место укрытия взрывника и рабочих при взрыве; время проветривания забоя, меры безопасности.

Проект БВР — комплект документации и материалов, представленных в виде расчетов, схем, графиков и пояснительной записки, которые включают в себя расчеты основных параметров, показателей БВР и электровзрывной сети, мероприятия по организации работ, более детальные требования по мерам безопасности.

Паспорт БВР составляют на проведение горно-разведочных выработок, проводимых взрывами шпуровых зарядов, а также при дроблении негабарита.

Паспорт разрабатывают на основании опытных данных.

Паспорта и проекты могут быть как разовые на каждый взрыв, так и типовые при систематическом взрывании. Типовые паспорта и проекты составляют для участков работ с постоянно повторяющимися условиями, когда в течение длительного времени на данном территориальном объекте систематически выполняют однообразные буровзрывные работы одними и теми же подразделением и персоналом.

Типовые паспорта и проекты корректируют для каждого взрыва по фактическим данным. С изменением горнотехнических условий разрабатывают новый паспорт, а проект корректируют.

Паспорт или проект составляет руководитель буровзрывных или горных работ партии при участии геолога. Паспорт подписывают начальники участка буровзрывных работ и службы вентиляции. Утверждает паспорт главный инженер (технический руководитель) экспедиции (партии). Под расписку с ним знакомят инженерно-технических работников участка и персонал, выполняющий буровзрывные работы.

§ 1. Персонал для производства и руководства взрывными работами

Персонал для взрывных работ можно условно разделить на лиц, руководящих взрывными работами, и лиц, производящих взрывные работы и работы, связанные с хранением ВМ.

Руководство взрывными работами возлагается на специально выделенное приказом лицо либо на технического руководителя предприятия, а при подрядном способе — на руководителя взрывных работ подрядной организации или назначенное им лицо.

К руководству взрывными работами, согласно решению межведомственного совета по взрывному делу, допускаются горные инженеры и техники, а также специалисты взрывного дела, окончившие специальные учебные заведения или курсы, дающие право руководства взрывными работами, при наличии у них Единой книжки взрывника. Единую книжку взрывника можно получить после обучения по специальной программе, включающей в себя теоретическую подготовку и практические занятия с последующей сдачей экзамена квалификационной комиссии под председательством представителя местного органа Госгортехнадзора. Стажировка в течение месяца под

руководством взрывника в этом случае не проводится, а в Единой книжке взрывника делается запись о том, что стажировка не проводилась и прав на самостоятельное производство взрывных работ специалист не имеет.

Молодые специалисты — горные инженеры и техники, а также лица, окончившие специальные учебные заведения или курсы, дающие право руководить взрывными работами, — могут осуществлять руководство взрывными работами только при наличии у них Единой книжки взрывника, которая может быть получена либо в учебном заведении, либо на предприятии (организации) в порядке, изложенном выше.

Разработан перечень должностей инженерно-технических работников и мастеров — руководителей взрывных работ, которые должны иметь Единую книжку взрывника.

Повторную проверку знаний инженерно-технического персонала проводят через три года.

Основными исполнителями при производстве взрывных работ являются взрывники и мастера-взрывники, имеющие право на ведение взрывных работ, т. е. лица, сдавшие экзамены и получившие Единую книжку взрывника.

Право на производство взрывных работ получают лица не моложе 19 лет (для открытых работ) и 20 лет (для подземных работ) с образованием не ниже среднего и стажем не менее года на соответствующем предприятии, прошедшие обучение по утвержденной программе и сдавшие соответствующие экзамены.

Лица, получившие квалификацию взрывника, допускаются к самостоятельной работе после месячной стажировки под руководством опытного взрывника.

Мастер-взрывник также проходит обучение на специальных курсах при горных техникумах или учебно-курсовых комбинатах по программе, согласованной с Госгортехнадзором, и только после успешной сдачи квалификационных экзаменов получает Единую книжку мастера-взрывника.

Работать мастером-взрывником могут лица в возрасте не моложе 22 лет, которые имеют образование не ниже среднего, стаж подземных работ не менее двух лет.

В шахтах, опасных по газу или пыли, взрывные работы ведут только мастера-взрывники.

Взрывники могут получить право на ведение другого вида взрывных работ, если они пройдут дополнительное обучение по специальной программе и сдадут экзамен квалификационной комиссии. При этом в Единой книжке взрывника делается соответствующая запись.

В случае перерыва в работе по квалификации свыше года взрывники допускаются к самостоятельному ведению взрывных работ только после сдачи экзаменов квалификационной комиссии на общих основаниях и десятидневной стажировки.

Повторную проверку знаний взрывников проводят не реже одного раза в два года.

Работы по приему, хранению, выдаче и учету ВМ выполняют заведующие складами ВМ и раздатчики (кладовщики).

Заведующими складами работают люди, 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.

На передвижных складах ВМ обязанности заведующего складом могут возлагаться по совместительству на лицо охраны, шофера и других, прошедших подготовку по программе для заведующих складами ВМ.

Органы Госгортехнадзора имеют право изымать выданные разрешения на право производства взрывных работ, отбирать Единую книжку взрывника, требовать освобождения от работы лиц, не имеющих соответствующих документов на право производства или руководства взрывными работами.

Администрация имеет право за нарушения правил безопасности ведения взрывных работ отобрать талоны № 1 и 2 Единой книжки взрывника, а при повторных и грубых нарушениях правил безопасности лишить Единой книжки взрывника и тем самым лишить его права проведения взрывных работ в дальнейшем.

За грубое нарушение соответствующих инструкций, что привело или могло привести к тяжелому несчастному случаю, Единая книжка взрывника может быть отобрана даже при наличии всех талонов. Право отбирать Единую книжку взрывника имеют директор, главный инженер предприятия, представитель Госгортехнадзора, технический инспектор.

Контрольные вопросы

1. При каких условиях горное предприятие может вести взрывные работы?
2. Какие организации выдают разрешение на право производства взрывных работ, приобретение, хранение и перевозку ВМ?
3. Какая проектная документация считается основной при производстве БВР?
4. Кто относится к персоналу для взрывных работ?
5. Кто допускается к руководству взрывными работами?
6. Кто имеет право на производство взрывных работ?

§ 2. Хранение, учет и выдача взрывчатых материалов

Взрывчатые материалы должны храниться с соблюдением условий, предотвращающих порчу, самовозгорание и хищение, а также безопасность приема и выдачи.

Хранить ВМ разрешается только на специальных складах, в ящиках, сейфах или местах, устроенных и оборудованных в соответствии с требованиями Единых правил безопасности при взрывных работах. Тип хранилища, распределение ВМ по хранилищу устанавливается в зависимости от свойств ВВ.

ВМ следует хранить отдельно по сортам и размещать так, чтобы обеспечить удобство и безопасность при их получении и выдаче.

ВВ пониженной химической стойкости и большой мощности или детонаторы следует хранить в небольших, хорошо проветриваемых хранилищах при постоянной температуре.

Складом взрывчатых материалов называют одно или несколько хранилищ ВВ и СИ с подсобными сооружениями, расположенных на общей огражденной территории и устроенных так, чтобы взрыв в одном из них не мог вызвать детонацию ВМ в соседних хранилищах. Каждый склад ВМ должен иметь паспорт по форме, установленной Едиными правилами безопасности при взрывных работах.

Склады ВМ по устройству делятся на поверхностные, полууглубленные, углубленные и подземные. К поверхностным относятся склады, основания хранилищ которых расположены на поверхности земли; к полууглубленным — склады, у которых хранилища углублены в землю по карниз здания; к углубленным — если толщина грунта над хранилищем составляет менее 15 м; к подземным — если толщина грунта над хранилищем превышает 15 м.

По сроку службы склады делятся на постоянные (срок службы более трех лет), временные (срок службы до трех лет) и кратковременные (срок службы до года).

Склады ВМ по назначению могут быть базисными и расходными. Базисные склады служат для снабжения ВМ расходных складов. В них запрещается раздача ВМ взрывникам. На базисном складе имеются лаборатория и полигон для испытания ВМ. Расходные склады предназначены для раздачи ВМ взрывникам.

Общая вместимость базисного склада ВМ не ограничена. Установленная вместимость отдельных хранилищ базисного склада приведена в табл. 5.1.

Общая вместимость всех хранилищ постоянного расходного склада ВМ не должна превышать: ВВ — 120 т, электродетонаторов и капсюлей-детонаторов — 250 тыс. шт., детонирующего шнура — 100 тыс. м, огнепроводного шнура — вместимость не ограничивается.

Общая вместимость всех хранилищ кратковременного расходного склада ВМ не должна превышать: ВВ — 54 т, электродетонаторов и капсюлей-детонаторов — 75 тыс. шт., детонирующего шнура — 35 тыс. м, огнепроводного шнура — не ограничивается.

Предельная вместимость одного хранилища постоянных, временных и кратковременных расходных складов ВМ должна быть соответственно не более 60, 25 и 18 т.

Хранилища базисных складов могут быть только поверхностными.

Таблица 5.1

Вместимость отдельного хранилища базисного склада ВМ

Группа совместимости	Взрывчатые материалы	Масса	Вместимость, т, не более
В	Капсюли-детонаторы, электродетонаторы (кроме высоковольтных), пиротехническое реле типа КЗДШ	Брутто	120
С	Изделия, содержащие пороха	Нетто	120
	Огнепроводный шнур, средства зажигания ОШ и пороха, сигнальные и пороховые патроны	Брутто	Не ограничивается
	Взрывчатые вещества с содержанием жидких нитроэфиров более 15%, нефлематизированный тексотен, тн, тетрил	Нетто	60
Д	Детонирующий шнур, высоковольтные электродетонаторы	Брутто	120
	ВВ с содержанием жидких нитроэфиров не свыше 15%; тротил и сплавы его с другими нитросоединениями; флематизированный тексотен; ВВ, не содержащие жидких нитроэфиров; порошкообразные, рассыпные, патронированные, листовые, шнуровые, шланговые, а также пластичные и водосодержащие, изделия, содержащие ВВ без средств инициирования и метательных зарядов		240
	Рассыпные гранулированные ВВ, допущенные Гос-технадзором к механизированному растариванию и заряданию механизированным способом	Нетто	420
	Торпеды, прострелочные аппараты и другие изделия, содержащие ВВ и СИ	Брутто	120

Примечания. 1. Огнепроводный шнур, средства его зажигания и перека, сигнальные и пороховые патроны допускается хранить совместно с ВМ группы В и Д. 2. Детонирующий шнур и высоковольтные электродетонаторы допускается хранить с ВМ группы В. 3. При хранении в одном хранилище ВМ группы Д общая вместимость этого хранилища должна быть определена по более высоковольтной или наиболее опасной компоненте.

полууглубленными и углубленными, а хранилища расходных — также и подземными.

Территория постоянного наземного склада обносится оградой высотой не менее 2 м. 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 (рис. 5.1) 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, IV групп, резки ДШ и ОШ, караульные вышки, а также будки для сторожевых собак. На территории склада, а также вокруг на 50 м хвой-

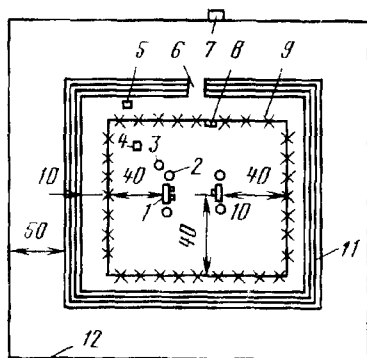


Рис. 5.1. Поверхностный склад ВМ:

1 хранилище ВВ; 2 молниеотвод; 3 хранилище ВМ; 4 склад для противопожарного инвентаря; 5 склад для тары; 6 ворота; 7 караульное помещение; 8 проходная будка; 9 ограда; 10 ширина прохода; 11 противопожарная канализация; 12 граница запретной зоны

ный лес вырубают, хворост, сухую траву убирают. Оставляют единственные деревья и производят их насаждение.

Постоянные склады должны иметь телефонную связь, освещение, сигнализацию, противопожарные средства, грозозащиту. Вход на склад разрешается по постоянным или разовым пропускам.

Расстояние между хранилищами склада принимается таким, чтобы при взрыве одного хранилища детонация не передавалась на другие.

Хранилища ВМ выполняют из негорюжих материалов так, чтобы температура воздуха в них не могла быть выше 30°C . Деревянные потолки штукатурят или покрывают негорюжим составом, устраивают чердачные помещения, которые не обязательны при железобетонных перекрытиях. Стены изнутри белят. Полы делают ровными, без щелей. Число входов в хранилище принимают из расчета, чтобы минимальное 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 три 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.

Для районов Крайнего Севера и приравненных к ним разрешается устройство складов ВМ облегченного типа (каркасно-обшивного) с пропиткой стен и потолков известково-соляным раствором.

Хранят ВМ I и IV групп и порох 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. До ширины полки ящики или мешки для полной их видимости укладывают в один ряд. Зазоры между ящиками или мешками с ВМ и перегородки

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 негорючих материалов с отверстием для циркуляции воздуха, закрытым металлическими сетками. От радиаторов ящики и мешки с ВВ удаляют не менее чем на 1 м.

Требования по устройству расходных складов те же, что и для базисных. Предельная вместимость отдельных хранилищ не должна превышать 60 т.

В расходных складах в некоторых случаях разрешается совместное хранение ВВ и детонаторов, если количество ВВ не превышает 3 т, а число детонаторов составляет не более 10 тыс. шт. Общая вместимость временного расходного склада: ВВ не более 75 т, детонаторов 100 тыс. шт., ДШ 50 тыс. м, вместимость хранилища не более 25 т.

Хранилища поверхностных и полунуглубленных временных складов ВМ могут быть дощатыми, глинобитными, земляными и т. п. Для временных складов разрешается использовать нежилые строения, сараи, землянки и прочие помещения. Топки печей должны быть замурованы кирпичом. Полы деревянные, бетонные, глинобитные, но без щелей. Стены и крыши могут быть деревянные, покрытые огнезащитным составом. Ограждение изготавливается из жердей и досок высотой не менее 2 м. Устройство водоемов, тамбуров необязательно, двери могут быть одинарными. Остальные требования такие же, как и для постоянных складов. Для производства работ временного характера устраиваются кратковременные склады ВМ. Кратковременное хранение ВМ разрешается в помещениях, железнодорожных вагонах, автомобилях, прицепах, повозках, палатках, шалашах, пещерах, а также на площадках у места производства взрывных работ.

Для кратковременных складов не обязательны устройство молниезащиты, освещения, сигнализации, телефонной связи, канавы вдоль ограды и очистка зоны вокруг склада от хвойных деревьев. Ограда высотой не менее 1,5 м. От ограды до ближайшей стены хранилища не менее 20 и до караульного помещения — не менее 15 м.

При кратковременном хранении ВМ в нежилых строениях, землянках и прочих помещениях количество ВМ не должно превышать: ВВ не более 3 т, детонаторов 10 000 шт. Детонаторы помещаются в ящики, обитые изнутри войлоком, и располагаются на расстоянии не менее 2 м от ВВ.

На работах передвижного характера (сейсморазведка, прострелочно-взрывные работы, расчистка трассы и т. п.) допускается хранение ВВ на время работы на специально оборудованных автомобилях, повозках и санях в количестве не более $2/3$ грузоподъемности этих транспортных средств.

Вместе с ВВ разрешается хранить 5000 шт. детонаторов и необходимое количество детонирующего и огнепроводного шнуров.

Передвижной склад ВМ должен представлять собой фургон из дюраля или теса, оббитого снаружки кровельной сталью и покрытого со всех сторон огнезащитным составом.

Автомобили, повозки, сани располагаются не ближе 200 м от места взрывных работ.

При хранении ВМ в шалашах, пещерах и прочих пунктах необходимо обеспечить защиту от атмосферных осадков и солнечных лучей. Взрывчатые материалы размещают на настиле в 20 см от земли.

Количество ВМ: ВВ до 3 т, детонаторов до 10 000 шт. и необходимое количество детонирующего и огнепроводного шнуров.

Для производства взрывов камерных зарядов, сейсморазведочных и других разовых работ разрешается кратковременное хранение ВВ до 60 сут.

Взрывчатые вещества помещаются на деревянном настиле в 20 см от земли под навесом или брезентовым покрытием. От места проведения взрывных работ площадка должна располагаться не ближе 300 м и в радиусе 100 м не должно быть горючих материалов. Средства инициирования располагаются в палатках или землянках не ближе 25 м от ВВ.

Подземные расходные склады предназначены для хранения и использования ВМ в шахте. Предельная вместимость такого склада должна быть не более 3-суточной потребности в ВВ и 10-суточной потребности в детонаторах.

Подземные склады состоят из специально оборудованных выработок — камер или ячеек, которые располагаются друг от друга на безопасных в отношении передачи детонации расстояниях, а также из подведенных выработок и вспомогательных камер. Последние предназначены для проверки электродетонаторов или изготовления зажигательных трубок, раздачи ВМ и размещения противопожарных средств.

Каждый склад должен иметь два выхода. Проветривание подземных складов осуществляется обособленной струей свежего воздуха в количестве, обеспечивающем четырехкратный часовой обмен воздуха во всех выработках склада. При этом исходящая из склада воздушная струя не должна направляться в выработки со свежей воздушной струей.

Предельная вместимость камеры в подземных складах камерного типа — 2 т ВВ, ячейки в складах ячейкового типа — 0,4 т ВВ или 15 000 ЭД (КД).

Допускается устройство в шахтах отдельных раздаточных камер для раздачи ВМ взрывникам и для приемки от них неизрасходованных ВМ при условии выполнения специальных требований.

При хранении ВВ с содержанием нитроэфиров более 15% склады ВМ не должны иметь отрицательной температуры, должны хорошо проветриваться, при этом исходящая струя не должна попадать в рабочие забой. Выработки склада следует крепить негорючей крепью.

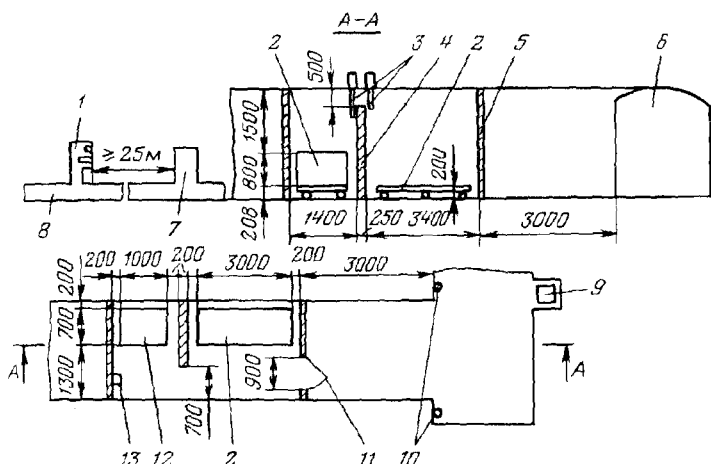


Рис. 5.2. Схема подземной участковой камеры хранения ВМ в разведочной выработке вместимостью до 400 кг ВВ:

1 — пункт хранения ВМ; 2 — стеллаж для хранения ВВ; 3 — анкеры; 4 и 5 — соответственно шлако-блочная и стальная перемычки; 6 — основная выработка; 7 — рабочий забой; 8 — откаточная вентиляционная выработка; 9 — ящик с песком; 10 — огнетушители; 11 — дверь; 12 — ящик для хранения СИ; 13 — узел связи (телефон)

Подступы к складу ВВ должны быть хорошо освещены (освещение электрическое во взрывобезопасном исполнении). Электропроводка в складах и подводящих выработках выполняется бронированным кабелем. При отсутствии стационарного освещения разрешается освещать выработки склада ручными аккумуляторами.

При проведении подземных горно-разведочных выработок хранилище временного склада ВМ можно устраивать в них.

Схема устройства камеры хранения ВМ в разведочной выработке показана на рис. 5.2.

Поступившие на базисные склады ВМ немедленно помещаются в хранилища и оприходуются на основании заводских и транспортных документов или наряда-накладной установленной формы.

На складах ведется постоянный учет ВМ по следующим формам документации:

книга учета прихода и расхода взрывчатых материалов;

книга учета выдачи и возврата взрывчатых материалов, предназначенная для расходных складов (эти книги ведутся заведующим складом, кладовщиком или раздатчиком);

для отпуска взрывчатых материалов с одного склада на другой служит наряд-накладная, выписываемый бухгалтерией организации, в ведении которой находится склад, отпустивший ВМ (бухгалтерия выдает также доверенность получателю для получения ВМ);

для отпуска взрывчатых материалов взрывникам служит наряд-путевка на производство взрывных работ.

Она подписывается начальником участка, цеха, на котором должны производиться взрывные работы (или лицом, его заменяющим, мастером участка, цеха), а также начальником взрывных работ организации (если таковой имеется). Хранятся наряд-путевки на складе в течение трех лет.

Книги учета прихода и расхода ВМ, учета выдачи и возврата ВМ должны быть пронумерованы, прошнурованы и скреплены печатью или пломбой контролирующей организации (Госгортехнадзора или горнотехнической инспекции ведомства).

В книге учета выдачи и возврата ВМ ежедневно подводят итог расхода ВМ, который переносят в книгу учета прихода и расхода. Учет по каждому наименованию взрывчатых материалов ведут раздельно. Записи в книге заносят только по тем ВМ, количество которых за сутки изменилось.

Во всех приходно-расходных документах не разрешается делать записи карандашом, не допускаются помарки и подчистки. Выдачу ВМ со склада производят в строгом соответствии с предъявляемыми наряд-накладными и наряд-путевками.

Бухгалтерия или учетно-контрольная группа организации ведет учет прихода и расхода ВМ на основании приходно-расходных документов, представляемых заведующим складом ВМ.

Проверка правильности учета, хранения и наличия ВМ на складах выполняется ежемесячно лицами, специально назначенными руководителем организации и не реже одного раза в квартал — представителем контролирующей организации органа Госгортехнадзора.

На складе ВМ должны быть образцы подписей лиц, имеющих право подписывать наряд-путевки и наряд-накладные на отпуск ВМ, а также образцы подписей лиц, имеющих право подтверждать фактический расход ВМ. Образцы подписей должны быть заверены руководителем организации.

Промышленные взрывчатые материалы следует применять строго по назначению.

Взрывчатые материалы на предприятиях и в организациях должны использоваться в соответствии с руководствами или инструкциями по применению ВМ.

На предприятиях и в организациях на все имеющиеся взрывчатые материалы должны быть руководства или инструкции по применению, разработанные организацией-изготовителем.

Кроме того, подготовка ВВ к использованию включает в себя и такие работы, как растаривание мешкотары с ВВ, производимое на специально построенных или передвижных установках (из последних широкое применение нашли комплексы МПР-30).

В случае применения ВВ при разрушении обводненных горных пород в подготовительный период изготавливают патроны в специальных гидроизоляционных оболочках.

Перед применением, в зависимости от состояния, порошкообразные ВВ оттаивают, измельчают, просеивают и засыпают в оболочки.

Эти операции с ВВ проводят в здании подготовки ВМ или на открытых площадках с навесом. Здание подготовки ВМ состоит из отдельных рабочих помещений для каждой из операций подготовки ВВ. Ежедневно и в начале каких-либо работ все помещения обмываются теплым щелочным или мыльным раствором.

Оттаивание замерзших нитроглицериновых ВВ осуществляют естественным путем в ящиках на поверхностных или подземных складах при температуре не ниже 10°C и не выше 30°C . Разрешается использовать сосуды-отогреватели, если суточный расход ВВ не превышает 50 кг. Одновременно в сосуде может быть не более 10 кг ВВ при температуре воды $35\text{--}40^{\circ}\text{C}$.

Промышленные ВВ можно просушивать несколькими способами — интенсивным проветриванием и непосредственным просушиванием на открытом воздухе (летом) и в специальных отапливаемых помещениях (осенью и зимой). Температура воздуха в помещениях для сушки не должна превышать 50°C . Используют только водяное отопление. Расстояние от столов сушки до радиатора должно быть не менее 1 м.

Кроме ручного способа измельчения применяют механические измельчители — барабаны, бегуны, вальцы. Просеивают ВВ на механических ситах.

Заполнение оболочек ВВ осуществляют вручную с помощью воронок и мерных совков. Все эти работы проводят в респираторах.

Электродетонаторы проверяют и сортируют по сопротивлениям, приготавливают зажигательные и контрольные трубки. Перед выдачей детонаторы маркируют цифрами или метками, по которым легко установить предприятие и фамилию взрывника, работающего с ним.

Контрольные вопросы

1. Что называется складом ВМ?
2. Какие виды складов ВМ Вы знаете?
3. Каким образом ВВ различных групп размещаются в хранилищах?
4. Из каких выработок состоят подземные склады?
5. По каким формам документации ведется учет ВМ на складах?

§ 3. Транспортировка и переноска ВМ к месту работы.

Уничтожение ВМ

Транспортировка ВМ осуществляется автомобильным, железнодорожным, водным, воздушным, гужевым и вьючным транспортом, а также ручной кладью.

ВМ с заводов и базисных складов необходимо перевозить к расходным складам в исправной заводской упаковке. Ящики должны иметь пломбы базисного склада.

Перевозка ВМ автомобильным транспортом осуществляется в соответствии с инструкцией о порядке перевозки опасных грузов автомобильным транспортом.

В соответствии с ГОСТ 19433—88 к классу I относятся:

взрывчатые вещества, т. е. твердые или жидкие вещества или смеси веществ, которые способны к химической реакции с выделением газа с такой интенсивностью, температурой и давлением, что это вызывает повреждение окружающих предметов, за исключением тех веществ, которые не допускаются к транспортированию (особо опасные, т. е. слишком чувствительные или легко подвергающиеся самовоспламенению);

изделия, содержащие одно или несколько ВВ с такими свойствами, что их случайное воспламенение и инициирование при транспортировании не приведет к разбрасыванию или проявлениям огня, дыма, тепла и звукового эффекта вне упаковки;

пиротехнические вещества или изделия, их содержащие, т. е. вещества или смеси веществ, предназначенные для производства внешних эффектов (огня, звука, газа или дыма, либо их комбинации) в результате детонирующих экзотермических реакций.

ВМ класса I подразделяются на пять подклассов:

1.1. (ВВМ) — вещества или изделия, способные взрываться всей массой. Взрыв массой — это такой взрыв, который одновременно охватывает весь груз.

1.2. (ВБР) — вещества или изделия, не взрывающиеся всей массой, но имеющие опасность разбрасывания и существенного повреждения окружающих предметов.

1.3. (ВВП) — вещества или изделия, выделяющие при горении большое тепловое излучение или разрушающиеся с незначительным эффектом взрыва или разбрасывания, или того и другого одновременно.

1.4. (ВВНО) — вещества и изделия, представляющие незначительную опасность взрыва во время перевозки (только в случае воспламенения или инициирования). Действие взрыва большей частью ограничивается самой упаковкой. Значительного разбрасывания элементов упаковки или изделия на существенные расстояния не наблюдается. Внешний огонь не вызывает мгновенного взрыва содержимого.

1.5. (ВВНЧ) — вещества, которые настолько нечувствительны, что при нормальных условиях транспортирования инициирование или переход от горения к детонации маловероятны.

При транспортировке необходимо проявлять максимальную осторожность, сам груз следует укладывать так, чтобы исключить его падение, соударение ящиков и удара о борта кузова машины.

ВМ, относящиеся к разным подклассам, но к одной группе совместимости согласно ГОСТ 19433—88 допускается транспортировать совместно. Группы совместимости опасных грузов, относящихся к I классу, следующие: В — изделия, содержащие инициирующие ВВ; С — метательные ВВ и другие нефлегматизированные ВВ или изделия, их содержащие; Д — детонирующие ВВ, дымный порох и изделия, их содержащие детонирующие ВВ без средств инициирования и метательных зарядов; изделия, содержащие детонирующие ВВ, средства инициирования и метательные заряды (кроме тех, которые содержат легковоспламеняющуюся жидкость) или без метательного заряда; пиротех-

нические вещества или изделия, содержащие пиротехнические вещества, а также изделия, содержащие как взрывчатые вещества, так и осветительные, зажигательные, слезоточивые или дымообразующие вещества (кроме водоактивируемых изделий или изделий, содержащих белый фосфор, фосфиды, легковоспламеняющиеся жидкости или гелий).

Каждая группа транспортируется отдельно.

В некоторых случаях допускается (с письменного разрешения главного инженера или руководителя взрывных работ) совместная перевозка средств инициирования и взрывчатых веществ к местам работы или с базисных на расходные склады ВМ в количествах, установленных соответствующими правилами. В этом случае детонаторы размещают в передней части кузова автомобиля в специальном, плотно закрываемом ящике с резиновыми, пенопластовыми или другими проложенными со всех сторон прокладками; ВВ помещают в задней части кузова и отделяют от ящиков со средствами инициирования.

При управлении автомобилем шофер обязан иметь при себе: удостоверение на право управления; талон технического паспорта; путевой или маршрутный лист.

Шоферы и охрана проходят специальный инструктаж о порядке перевозки, погрузки и выгрузки ВМ.

Перевозка ВМ автотранспортом осуществляется в сопровождении вооруженной охраны и специально выделенного ответственного лица, имеющего право на руководство (производство) взрывными работами, и заведующего складом ВМ.

Автомобили, предназначенные для транспортирования ВМ, должны иметь: два огнетушителя, цепи и другие приспособления против скольжения; оборудованные искрогасителями глушители; чистый, без щелей кузов; исправное электрооборудование; специальный опознавательный знак на кузове.

При перевозке на автотранспорте ящики укладывают плашмя, плотно один к другому, а мешки ставят вертикально в один ряд, а сверху покрывают брезентом.

На автомобилях, перевозящих ВМ, выставляют спереди и сзади отличительные знаки в виде красных флажков, а в ночное время отражательные знаки.

Скорость движения автотранспорта при хорошей видимости не должна превышать 60 км/ч, при плохой видимости — 20 км/ч. Между автомобилями устанавливается интервал в 50 м при движении и 300 м при остановке или при спуске и подъеме.

Перевозка ВМ в городских условиях разрешается в закрытых автомобилях с отличительной красной полосой шириной 15 см по диагонали на всех бортах.

При продолжительности перевозки более 12 ч должны быть сопровождающие (не менее двух человек). Остановка на отдых не ближе 200 м от дорог и жилых строений, за чертой города или другого населенного пункта.

Не разрешается приближаться ближе 300 м к пожарам и другим «факелам» нефтегазовых промыслов. Во время грозы необходимо останавливаться, рассредоточить транспортные средства на 50 м друг от друга и удалить людей на расстояние не менее чем 200 м.

При перевозке ВМ I и IV групп гужевым транспортом необходимо пользоваться рессорными повозками; при перевозке в санях ВМ I и IV должны размещаться на мягкой подстилке.

Перевозка ВМ во выюках производится в упаковке, обитой войлоком. Для ВМ II группы и огнепроводного шнура мягкая подстилка не обязательна.

При отсутствии проезжих дорог разрешается перевозка ВМ I и IV группы на прицепах трактором при условии исправности тары, а также буксировка трактором передвижной зарядной мастерской.

Доставка ВМ к месту работы разрешается без охраны, но под постоянным наблюдением взрывника с привлечением стажеров и производных или проинструктированных рабочих.

ВМ переносятся в заводской упаковке, сумках и кассетах, не включающих просыпание ВМ; ВВ и СИ должны находиться в раздельных сумках. Детонаторы и боевики переносятся только взрывниками.

При совместной переноске ВВ и СИ взрывник может переносить не более 12 кг ВВ, при раздельной переноске количество переносимого ВВ может быть увеличено до 20 кг. При переноске ВВ в заводской упаковке на расстояние не более 300 м с подъемом менее 0,02 норма может быть повышена до 40 кг.

Особая осторожность должна соблюдаться при переноске зажигательных трубок и электродетонаторов.

ВВ и СИ необходимо перевозить отдельным транспортом. Детонаторы, находящиеся в закрытых ящиках, размещают в передней части кузова.

Доставка ВМ в шахту разрешается в клетях и в баблях, а перевозка в шахте всеми видами рельсового транспорта и вручную.

При спуске ВМ нахождение посторонних людей в клетях, баблях и вагонетке не допускается.

Скорость движения в вертикальных или наклонных выработках не должна превышать 5 м/с.

При спуске ВМ в забой проходимого ствола шахты, шурфа и шпигеленки в них должны находиться только непосредственно взрывники.

При проходке шурфов, оборудованных ручными воротами и объектами, спуск и подъем ВМ выполняется с соблюдением следующих условий: спуск и подъем ВМ осуществляется со скоростью 1 м/с с помощью воротовщиков, подъемные устройства должны быть оборудованы тормозами и сигнализацией. Спуск и подъем ВВ и СИ производится отдельно. Доставку ВМ в вагонетках от ствола к складу поручают не менее двум взрывникам.

Взрывчатые материалы уничтожают в том случае, когда они признаны недоброкачественными, например, при опасном повреждении.

дальнейшего хранения, непригодности для взрывания, прекращении взрывных работ и невозможности передачи другому предприятию.

Уничтожение производят с ведома инспекции Госгортехнадзора. При уничтожении ВМ следует составлять акт, в котором приводят наименование и количество ВМ, завод-изготовитель, дату изготовления и прибытия на склад, дату уничтожения, причины и способ уничтожения, должности и фамилии лиц, принимающих участие в уничтожении ВМ. Руководит работами по уничтожению ВМ заведующий складом. Акт на уничтожение ВМ составляют в двух экземплярах, один из них хранят на складе, а другой передают в бухгалтерию предприятия. ВМ разрешается уничтожать взрыванием, сжиганием, потоплением и растворением в воде.

Взрыванием разрешается уничтожать детонаторы, ДШ и те ВВ, в полноте взрыва которых есть уверенность. Взрывание производится с применением электрического способа и в крайнем случае — огневого.

Патронированные ВВ уничтожают в пачках, детонаторы в любой упаковке зарывают в землю. Детонирующий шнур уничтожают в бухтах при помощи доброкачественных СИ.

Количество одновременно уничтожаемых ВМ должно устанавливаться в каждом отдельном случае, сообразуясь с обстановкой и возможностью соблюдения безопасных расстояний.

При пониженной детонационной способности ВВ для достижения полноты детонации их уничтожают в ямах, а боевики укладывают сверху на уничтожаемое ВВ. Яму закрывают щитами.

Шнур должен прокладываться к уничтожаемому ВМ с подветренной стороны. При прокладке его следует распрямлять и прикрывать землей.

Все ВМ уничтожают с помощью боевика, изготовленного из доброкачественного ВВ, масса которого зависит от детонационной способности уничтожаемых ВМ.

В случае отказа массу боевика увеличивают в 2—3 раза, а при электрическом взрывании вводят несколько боевиков и взрывание повторяется.

Сжиганием можно уничтожать только не поддающиеся взрыванию ВМ, за исключением детонаторов. Дымные и бездымные пороха сжигают насыпными полосами шириной и высотой соответственно не более 30 и 10 см. Полосы располагают одна от другой на расстоянии 5 м. Одновременно разрешается сжигать не более трех полос.

ВМ сжигают в сухую погоду на специально подготовленной площадке, огражденной со всех сторон противопожарной полосой шириной не менее 10 м. Уничтожение проводят не более чем по 10 кг на одном костре. Подходить к костру разрешается после полного сгорания ВМ; ДШ и ОШ сжигают в бухтах.

Запрещается сжигать ВМ в их таре. Перед сжиганием необходимо убедиться, что в патронах ВВ нет детонаторов.

Для поджигания костра с подветренной стороны прокладывается огнепроводный шнур или дорожка длиной не менее 5 м из легковоспламеняющегося материала (стружки, хвороста, бумаги и т. п.). После

поджигания ОШ или дорожки взрывник немедленно удаляется в укрытие.

После сжигания необходимо проверить, не остались ли на площадке ВМ: золу разрывают деревянными лопатками. Обнаруженные песчаные ревнии ВМ сжигают в установленном порядке повторно.

Растворением в воде разрешается уничтожать только неводоустойчивые аммиачно-селитренные ВВ и дымный порох, которые растворяют в бочках или других сосудах в холодной или теплой воде. На каждую 10 кг растворяемых ВВ приходится не менее 125 л воды. Раствор сливают в яму.

В естественных водоемах (озерах, прудах, реках и т. д.) уничтожать ВВ растворением запрещается, так как, кроме отравления воды, на дно водоемов оседает нерастворимый взрывчатый осадок. Нерастворимый осадок (гритил, динитронафталин) собирают и сжигают на костре.

Гранулированную аммиачную селитру при потере взрывчатых свойств можно использовать как удобрение в сельском хозяйстве.

Высвободившуюся тару очищают от остатков ВВ. Тара из-под ВВ, содержащих жидкие нитроэфир, осматривается на наличие экссудата и промывается щелочной водой. Тара со следами экссудата уничтожается.

Контрольные вопросы

1. Какими средствами осуществляется транспортировка ВМ?
2. Какие классы, подклассы и группы совместности ВВ при транспортировании Вы знаете?
3. Какие документы должен иметь шофер автомобиля, транспортирующего ВМ?
4. Какие способы уничтожения ВМ Вы знаете?
5. Какие ограничения существуют по уничтожению ВВ различными способами?

§ 4. Безопасные расстояния и основные правила безопасности при ведении взрывных работ

Для предохранения людей, техники, зданий и сооружений от повреждений при взрыве устанавливают безопасные расстояния, которые не должны быть меньше радиусов зоны опасных воздействий, поражающего и разрушительного действия взрыва. К таким воздействиям относятся сейсмические, разлет кусков породы, воздушная волна, непосредственное воздействие взрыва. Поэтому для зданий и сооружений определяют опасные зоны по сейсмическому действию; для предохранения людей, зданий и сооружений — по поражающему и разрушительному действию воздушной волны и разлета кусков породы. Безопасное расстояние для людей принимается максимальным из расчета безопасных расстояний по воздушной волне и разлету кусков породы. При хранении ВМ в хранилищах и в штабелях на поверхности или в камерах и ячейках в подземных условиях устанавливаются также безопасные расстояния, обеспечивающие невозможность перетачивания от одного заряда хранилища (камеры) к другому.

Расстояния, обеспечивающие невозможность передачи детонации от заряда к заряду, определяются по формуле

$$r_d = \sqrt[3]{k_{d1}^3 q_1 + k_{d2}^3 q_2 + \dots + k_{dn}^3 q_n} \sqrt[3]{D} \quad (5.1)$$

где r_d — безопасное расстояние, м; k_{di} — коэффициенты, зависящие от рода ВВ и условий взрыва; q_n — массы различных ВВ, составляющих заряд, кг; D — эффективный размер пассивного заряда — минимальный линейный его размер, принимаемый равным ширине заряда или удвоенной его высоте, м.

Безопасное расстояние для хранения ВВ от необвалованных хранилищ с детонаторами рассчитывают по формуле

$$r_d = 0,06 \sqrt{n_d} \quad (5.2)$$

где n_d — число детонаторов.

Безопасное расстояние между необвалованными хранилищами детонаторов

$$r_m = 0,1 \sqrt{r_d} \quad (5.3)$$

При строительстве складов и расположении хранилищ следует учитывать опасность для зданий, сооружений от действия воздушной ударной волны.

Безопасные расстояния рассчитываются по формулам:

$$r_b = k_b \sqrt{Q}; \quad r_b = k'_b \sqrt[3]{Q} \quad (5.4)$$

где r_b — безопасное расстояние, м; k_b и k'_b — коэффициенты пропорциональности.

При расчетах в основном применяется первая формула, вторая формула — при величинах зарядов Q более 10 т для открытых и более 20 т при углубленных зарядах. При расчете безопасных расстояний свойства ВВ не учитывают. Если защищаемый объект находится непосредственно за оградой, то безопасное расстояние уменьшают, но не более чем в 2 раза. Для сокращения расстояний между отдельными хранилищами возможно устройство защитных валов из сыпучих материалов (глины, песка и др.).

Значения коэффициентов k_b и k'_b принимаются в соответствии с требованиями Единых правил безопасности.

Опасная для человека зона действия воздушной волны наружного заряда массой $Q_{зар}$ определяется из формулы

$$R_b = 15 \sqrt[3]{Q_{зар}} \quad (5.5)$$

При использовании укрытий зона может быть уменьшена в 1,5 раза. Наблюдения за сейсмикой взрывов показали, что сооружения разрушаются лишь при превышении скорости колебаний некоторой допустимой величины v_n , характерной для данного типа сооружений.

Сейсмозрывные волны менее опасны для зданий и сооружений,

чем волны землетрясений, поскольку имеют более высокочастотный спектр колебаний.

Сейсмовзрывное воздействие влияет также на устойчивость подземных выработок, откосов и бортов карьеров.

Сейсмически безопасные расстояния от места взрыва до объекта при мгновенном взрывании сосредоточенных зарядов определяются по формулам:

$$r_c = k_c \alpha_c \sqrt[3]{Q} \text{ при } v_d = 10 \text{ см/с}; \quad (5.6)$$

$$r_c = k_c \alpha_c \left(\frac{10}{v_d} \right)^{2/3} \sqrt[3]{Q} \text{ при прочих значениях } v_d, \quad (5.7)$$

где k_c — коэффициент, зависящий от свойств грунта в основании охраняемых сооружений; α_c — коэффициент, зависящий от показателя действия взрыва; Q — полная масса заряда, кг.

Коэффициенты k_c и α_c для расчета сейсмобезопасных расстояний принимаются в соответствии с требованиями Единых правил безопасности при взрывных работах.

При взрывании посекционно групп зарядов ВВ в зависимости от времени замедления между очередями при расчете безопасных расстояний соблюдают следующие правила:

при времени замедления между взрывами 1 с и более расчет выполняется для очереди с максимальной массой одновременно взрываемых зарядов;

при короткозамедленном взрывании отдельных зарядов массой до 10 т с интервалом замедления между группами не менее 20 мс:

при однократном взрыве

$$r_c = 10 \sqrt[3]{Q/N}; \quad (5.8)$$

при многократных взрывах

$$r_c = 29 \sqrt[3]{Q/N}, \quad (5.9)$$

где N — число групп взрывания ($N \geq 2$) при условии, что заряды в группах по массе равны или отличаются от максимального не более чем на 20%.

Если заряды располагаются в воде, насыпных, почвенных и водонасыщенных грунтах, то рассчитанные сейсмобезопасные расстояния увеличиваются в 1,5—2 раза.

Безопасные расстояния, связанные с разлетом кусков породы (табл. 5.2), зависят от показателя действия взрыва заряда и величины линии наименьшего сопротивления (л.н.с.) по подошве. Приведенными в табл. 5.2 данными можно пользоваться только в случае взрывания одиночного заряда. При одновременном взрывании серии зарядов величину радиуса опасной зоны определяют расчетом.

Радиус опасной зоны при рыхлении определяется с условием пере-

Таблица 5.2

Радиусы опасных зон по разлету кусков породы, м

Д.н.с., м	Показатель действия взрыва								
	Для людей				Для механизмов				
	1,0	1,5	2,0	2,5 3,0	1,0	1,5	2,0	2,5 3,0	
1,5	200	300	350	400	100	150	250	300	
2	200	400	500	600	100	200	350	400	
4	300	500	500	800	150	250	500	550	
6	300	600	800	1000	150	300	550	650	
8	400	600	800	1000	200	300	600	700	
10	500	700	900	1000	250	400	600	700	
12	500	700	900	1200	250	400	700	800	
15	600	800	1000	1200	300	400	700	800	
20	700	800	1200	1500	350	400	800	1000	
25	800	1000	1500	1800	400	500	900	1000	
30	800	1000	1700	2000	400	500	1000	1200	

Примечание. При выполнении взрывов на косогорах с уклоном местности более 30° и при превышении места взрыва над окружающей местностью более 30 м и радиус опасной зоны по разлету кусков породы в сторону уклона косогора увеличивается в 1,5 раза.

расчета значения л.н.с. заряда рыхления W_p в условную л.н.с. заряда нормального выброса

$$W_n = \frac{5}{7} W_p. \quad (5.10)$$

По полученному значению условной л.н.с. в графе, относящейся к зарядам с показателем, равным единице (см. табл. 5.2), находят значение радиуса опасной зоны.

Таким образом, при выборе места расположения поверхностного склада определяют безопасное расстояние до ближайших строений с учетом действий: сейсмических, волн детонации, воздушных волн и разлета кусков. В качестве расчетного заряда выбирается хранилище с максимальной вместимостью ВВ. Безопасные расстояния рассчитывают для каждого заряда (хранилища, штабеля) в отдельности, при этом

Минимальные безопасные расстояния для людей, м

Метод наружных зарядов	300
Метод шпуровых зарядов	200
Метод котловых шпуровых зарядов	200*
Метод рукавов	200*
Метод скважинных зарядов	По проекту или паспорту, но не менее 200**
Метод котловых скважин и камерных зарядов	То же, но не менее 300
Корчевка пней	200
Дробление валунов в подкопах	400
Простреливание шпуров	50
Простреливание скважин	100
Взрывные работы на стройплощадке	По проекту

* При взрывании на косогорах в направлении вниз по склону радиус опасной зоны должен быть не менее 300 м.

** При взрывании скважинных зарядов с забойкой.

в качестве безопасного выбирается наибольшее из рассчитанных значений.

Граница опасной зоны при взрыве на поверхности отмечается основными знаками, а на время взрыва выставляются посты охраны опасной зоны.

В подземных выработках перед заряджанием посты охраны выставляются в местах подступов к забою.

Производство взрывных работ сопровождается звуковыми и в темное время суток звуковыми и световыми сигналами, хорошо слышимыми (а световые видимыми) на границах опасных зон и известными всем работающим на данном предприятии. При ведении взрывных работ вблизи населенных пунктов с сигналами должно быть ознакомлено и население путем установки специальных щитов с описанием сигналов и их назначения. В темное время суток и при недостаточном освещении запрещается вести взрывные работы без достаточно хорошего освещения рабочего места и опасной зоны. При тумане или дожде принимаются дополнительные меры по безопасности работ (усиленная охрана опасной зоны, дополнительная связь и др.).

Звуковые сигналы подаются взрывником, а при работе нескольких взрывников — старшим взрывником или руководителем взрывных работ. Подача сигналов голосом запрещается. Сигналы подаются в следующем порядке.

Первый сигнал — предупредительный (один продолжительный). Люди, не занятые заряджанием и взрыванием, удаляются за пределы опасной зоны, а у мест возможного входа в опасную зону выставляются посты охраны. После окончания работ по заряджанию производится монтаж взрывной сети, а при электрическом взрывании проверка ее исправности с безопасного места.

Второй сигнал — боевой (два продолжительных). По этому сигналу взрывники зажигают огнепроводные шнуры и удаляются в укрытия или за пределы опасной зоны; при электрическом взрывании включают ток в электровзрывную сеть из укрытия.

Третий сигнал — отбой (три коротких). Подается после осмотра места взрыва взрывником и лицом, ответственным за ведение взрывных работ в смене, и означает окончание взрывных работ.

Допуск рабочих к месту взрыва дается мастером-взрывником или взрывником и ответственным за ведение взрывных работ, если установлено, что отсутствуют невзорвавшиеся заряды и работа в месте взрыва безопасна.

Отказавшие (невзорвавшиеся) заряды должны быть ликвидированы мастером-взрывником немедленно. Если ликвидировать отказ не представляется возможным, то взрывник сообщает об этом руководителю взрывных работ или лицу сменного технического надзора, закрестив забой с отказом. Дальнейшая ликвидация отказа в этом случае производится по указанию и в присутствии лица технического надзора.

Если ликвидация отказа не может быть закончена в данной смене.

то разрешается продолжать эту работу взрывнику или мастеру-взрывнику следующей смены с отметкой об этом в его наряд-путевке. Допуск рабочих в забой в этом случае может быть дан начальником смены, в которой ликвидируется отказ. Во всех случаях, когда заряды не могут быть взорваны из-за неустраняемых нарушений взрывной сети и других причин технического характера, они рассматриваются как отказы. Каждый отказ после окончания смены записывается в специальный Журнал для записи отказов при взрывных работах и времени их ликвидации.

При ликвидации отказавшего наружного заряда разрешается руками осторожно снять часть забоечного материала, поместить на отказавший заряд новый боевик или зажигательную трубку, восстановить забойку и произвести взрывание в обычном порядке.

Ликвидацию отказавших шпуровых зарядов разрешается выполнять взрыванием зарядов во вспомогательных шпурах, пробуренных параллельно отказавшим на расстоянии не ближе 30 см — при методе шпуровых зарядов и 50 см — при методе когловых шпуров. Число вспомогательных шпуров и места их заложения намечаются работником технического надзора или мастером-взрывником. Для установления направления этих шпуров разрешается вынимать из отказавшего шпура забоечный материал на длину до 20 см от его устья.

Во всех случаях запрещается разбуривать оставшиеся части шпуров («стаканы») вне зависимости от наличия или отсутствия в них остатков ВВ.

Отказавшие скважинные заряды на открытых разработках ликвидируют повторным взрыванием, разборкой породы, обуриванием и взрыванием параллельных шпуровых или скважинных зарядов, вымыванием заряда из скважины. Конкретный метод ликвидации отказа выбирается в соответствии с действующими правилами безопасности.

Контрольные вопросы

1. Какие опасные действия взрыва Вы знаете?
2. Как рассчитываются безопасные расстояния по действию сейсмической и воздушной волны?
3. Какие звуковые сигналы подаются при ведении взрывных работ?
4. Назовите основные способы ликвидации отказов.

ГЛАВА 6. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА

§ 1. Классификация зарядов ВВ

Зарядом называется определенное количество взрывчатого вещества, подготовленного к взрыву. Заряды ВВ классифицируют по форме, конструкции, способу размещения во взрываемом массиве и характеру действия.

По способу размещения во взрываемом массиве различают наруж-

ные (накладные) заряды, располагаемые на или над поверхностью взрываемого объекта, и внутренние заряды, размещаемые во взрываемом объекте.

В общем объеме взрывных работ наружные заряды составляют меньше 1%.

В зависимости от полости (зарядной выработки), где формируется внутренний заряд, различают шуровые, скважинные, камерные, траншейные, котловые, водоемные, линейные заряды.

По форме и сочетанию внешних геометрических размеров различают сосредоточенные, удлиненные, плоские и фигурные заряды.

Сосредоточенный заряд имеет соотношение между наибольшим продольным и наименьшим поперечным размерами не более 5:1.

По характеру разрушения к сосредоточенным относят заряды, длина $l_{\text{зар}}$ которых меньше или равна $\frac{3}{4}$ радиуса зоны разрушения R_p ($l_{\text{зар}} \leq \frac{3}{4} R_p$). Заряды такой длины формируют сферическую зону разрушения. Заряды с длиной больше $\frac{1}{3} R_p$ формируют в центральной части цилиндрическую зону разрушения с радиусом R_p , величина которого неизменна при дальнейшем удлинении заряда. Такие заряды называют удлиненными.

При соотношении этих размеров более 5:1 заряд является удлиненным.

Плоским считают заряд ВВ, отношение ширины к высоте которого более 10:1.

Фигурные заряды могут иметь форму правильного геометрического тела или иметь сложную форму, представляющую собой сочетание нескольких геометрических тел.

По своей пространственной ориентации заряды (прежде всего удлиненные) делят на вертикальные, горизонтальные и наклонные.

Конструктивное выполнение зарядов может быть самым разнообразным.

Заряды по конструкции делятся на сплошные и рассредоточенные. Рассредоточенными считают заряд, отдельные части которого разделены промежутками из воды, породы, воздуха и прочих веществ, не принимающих участие в реакции взрывного разложения.

По характеру действия взрыва различают: заряд камуфлета (прострелочный), взрыв которого не проявляет видимого действия на поверхности (рис. 6.1, а); откольный заряд, при взрыве которого происходит отделение горной породы от массива и ее разрушение (рис. 6.1, б); заряд рыхления, вызывающий дробление массива, его вспучивание и перемещение, но без образования видимой воронки выброса (рис. 6.1, в); заряд выброса, вызывающий дробление и выброс раздробленной породы за пределы воронки взрыва (рис. 6.1, г).

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 (рис. 6.2) определяет ее глубина W и радиус r . Отношение $n = r / W = \operatorname{tg} \alpha$ называется показателем действия взрыва. В зави-

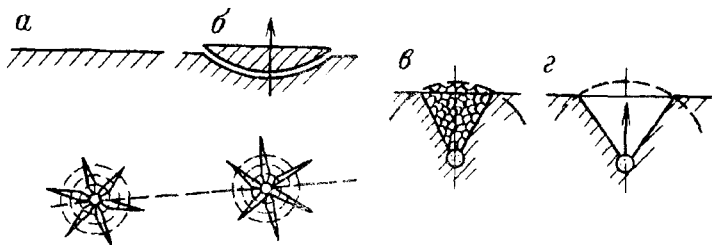


Рис. 6.1. Проявление действия взрыва заряда в зависимости от приближения к свободной поверхности

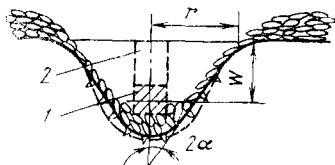


Рис. 6.2. Воронка выброса:

1 — заряд; 2 — яма

симости от его величины выделяют следующие разновидности зарядов и соответствующих им воронок выброса: нормальный выброс при $n = 1$; усиленный — при $n > 1$; уменьшенный — при $n < 1$. При $n < 0,75$ видимая воронка на поверхности не образуется, разрушенная порода за пределы воронки не выбрасывается и наружное действие проявляется в виде вспучивания. Такие заряды называют зарядами рыхления.

Изменение проявлений действия взрыва заряда на поверхности может быть достигнуто как путем изменения глубины заложения заряда постоянной величины, так и путем увеличения массы заряда при постоянной глубине заложения.

Контрольные вопросы

1. Что называют зарядами ВВ?
2. По каким признакам классифицируются заряды ВВ?
3. Каково соотношение внешних размеров для сосредоточенных, удлиненных и плоских зарядов?
4. Как делятся заряды по характеру действия?

§ 2. Действие взрыва заряда ВВ в воздухе

При взрыве заряда ВВ его масса превращается в раскаленные газы, находящиеся под огромным давлением. Это давление передается в окружающую среду в форме ударной волны, возникающей на границе раздела: заряд ВВ — среда.

При взрыве зарядов всех видов, кроме камуфлетных, на той или иной стадии развития взрыва происходит взаимодействие продуктов детонации с воздушной средой атмосферы.

Ударная воздушная волна (у.в.в.) представляет собой скачок уплотнения, распространяющегося со сверхзвуковой скоростью. Расширяю-

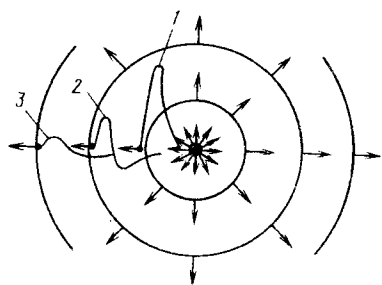


Рис. 6.3. Изменение профиля расхождения фронта заряда волны напряжений

ющиеся продукты взрыва сжимают окружающий воздух, причем в каждый момент времени сжатом оказывается лишь воздух, находящийся в определенном объеме. Поверхность, которая отделяет сжатый воздух от невозмущенного, представляет собой фронт ударной волны.

Распространяясь, ударная волна заставляет частицы воздуха колебаться вдоль линии прохождения волны, вызывая ряд сжатий и разрежений в этом направлении. Эта волна называется волной сжатия и расширения, или продольной волной.

Чем больше давление на фронте у.в.в., тем больше ее скорость. При своем движении (рис. 6.3) ударная волна 1 теряет полученную первоначально энергию вследствие необратимых тепловых потерь на нагрев воздуха, через который движется у.в.в. 2, а также за счет увеличения объема воздуха, вовлекаемого ею в движение по мере распространения. С удалением у.в.в. от места ее возникновения давление на фронте волны падает и на расстоянии около 100 радиусов заряда от центра взрыва скорость фронта волны приближается к скорости звука, т. е. она зарождается в звуковую волну 3, которая движется со скоростью 340 м/с при температуре воздуха 15° С.

Действие у.в.в. характеризуется максимальным p и избыточным Δp давлением, импульсом фазы сжатия I , временем действия фазы сжатия t , скоростью фронта волны D_y , температурой на фронте T_{ϕ} .

Теория ударных волн дает ряд соотношений между характеристиками на ее фронте:

избыточное давление на фронте у.в.в.

$$\Delta p = \frac{2\rho_0 D_y}{g(1+\nu)} \left(1 - \frac{c_0^2}{D_y^2} \right), \quad (6.1)$$

$$\text{или } \Delta p = \frac{7}{6} \rho_0 \left[\frac{D_y^2}{c_0^2} - 1 \right]; \quad (6.2)$$

скорость движения фронта у.в.в.

$$D_y = \left[\Delta p \left(\frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_{\text{в}}} \right) g \right]^{1/2}; \quad (6.3)$$

скорость движения сжатого слоя воздуха

$$u = \frac{2}{1+\nu} D_y \left(1 - \frac{c_0^2}{D_y^2} \right); \quad (6.4)$$

температура на фронте у.в.в.

$$T_\Phi = 288 \frac{(100 + \Delta p)(720 + \Delta p)}{6\Delta p + 720}, \quad (6.5)$$

где ρ_0 , ρ_0 , c_0 — соответственно плотность (г/см^3), давление (Па) и скорость звука (м/с) в невозмущенном воздухе; ρ_v — плотность воздуха на фронте у.в.в., кг/м^3 ; ν — показатель адиабаты.

В зависимости от расстояния максимальное и избыточное давление могут быть рассчитаны по формулам:

максимальное давление вблизи заряда

$$p = \sqrt[3]{Q}/r; \quad (6.6)$$

избыточное давление с увеличением расстояния от места взрыва

$$\Delta p = k \sqrt{Q/r^3}, \quad (6.7)$$

где Q — масса ВВ, кг; r — расстояние от заряда, м; k — коэффициент, зависящий от крепости пород (для крепких скальных пород и гранита $k = 1700 \div 2000$).

Акад. М. А. Садовский для расчета максимальной величины избыточного давления (Па) при взрыве над землей сферического заряда тротила предложил формулу

$$\Delta p = 7Q_T/r^3 + 2.7Q_T^{2/3}/r^2 + 0.84Q_T^{1/3}/r, \quad (6.8)$$

где Q_T — тротиловый эквивалент, кг; r — расстояние от места взрыва, м.

Проф. Г. И. Покровский преобразовал формулу (6.8) для взрыва в подземных выработках:

для случая с двусторонним распространением у.в.в. по выработке

$$\Delta p = \left[44 \frac{Q_T}{S_r} + 9.2 \left(\frac{Q_T}{S_r} \right)^{2/3} + 1.46 \left(\frac{Q_T}{S_r} \right)^{1/3} \right] \cdot 10^5; \quad (6.9)$$

для тупиковой выработки

$$\Delta p = \left[88 \frac{Q_T}{S_r} + 14.6 \left(\frac{Q_T}{S_r} \right)^{2/3} + 1.81 \left(\frac{Q_T}{S_r} \right)^{1/3} \right] \cdot 10^5, \quad (6.10)$$

где S — площадь поперечного сечения выработки, по которой распространяется у.в.в., м^2 .

Давление, производимое у.в.в. на преграду, зависит от угла падения волны на эту преграду. Действие ударной волны, подходящей к преграде под углом, большим 45° , в 2 раза превышает действие волны, скользящей вдоль преграды.

Время действия избыточного давления ударной волны равно примерно тысячным долям секунды. За это время многие разрушения в

преграде не успевают произойти, поэтому для оценки действия у.в.в. важен импульс взрыва

$$I = \int_0^{\tau_x} \Delta p dt . \quad (6.11)$$

Время τ_x растет по мере удаления рассматриваемой точки от эпицентра взрыва и в первом приближении пропорционально корню квадратному от расстояния R до эпицентра. Это объясняется разницей в скоростях распространения переднего и заднего фронтов волны (растягиванием волны). М. А. Садовский предложил определять τ из формулы

$$\tau = \sqrt[3]{Q} \sqrt{R} . \quad (6.12)$$

Эпюра ударной волны включает в себя области положительных и отрицательных давлений. Пространственную протяженность зоны положительных давлений принято называть длиной ударной волны. Она значительно меньше протяженности зоны разрежения.

Если давление у.в.в. в 2 раза превышает атмосферное, то оно смертельно для человека. Для разрушения оконных стекол достаточно превышение атмосферного давления у.в.в. на семь сотых, разрушение капитальных зданий происходит при 50%-ном превышении атмосферного давления.

В реальных условиях интенсивность воздушной ударной волны зависит от типа ВВ, конструкции и вида забойки, свойств взрываемых пород, конструкции заряда, параметров и схем его инициирования, взаимного расположения места взрыва и объекта воздействия, атмосферных условий и т. д. При взрывах на поверхности значительное влияние на параметры у.в.в. оказывают естественные преграды на пути волны.

Уменьшение температуры воздуха с высотой создает наиболее благоприятные условия для рассеивания воздушных волн от взрыва. При увеличении температуры воздуха с высотой на поверхности земли образуются зоны сильного звукового эффекта, примыкающие к участку с относительно слабым звуком.

При увеличении скорости ветра с высотой максимальный звуковой эффект наблюдается за участком взрыва, считая по направлению ветра. При уменьшении скорости ветра с высотой максимальный звуковой эффект будет перед участком взрыва, считая по направлению ветра.

В дождливую погоду или в дни с высокой влажностью воздушные ударные волны распространяются быстрее, чем в яркие солнечные дни.

Скорость истечения газов взрыва из устья скважины зависит от длины забойки. Так, при взрывании без забойки скорость истечения газов взрыва достигает 1000 м/с, а при взрывании скважин с забойкой длиной 1,1—5 м, расположенной на глубине 4 м от устья скважины, скорость истечения газов взрыва снижается в 4 раза.

Необходимо также учитывать направление инициирования и пра-

вильно выбирать массу заряда в серии, так как в некоторых случаях может наблюдаться наложение отдельных волн, в результате чего образуется новая, более сильная волна.

Хороший эффект по снижению интенсивности у.в.в. дает засыпка наружных зарядов. При высоте слоя засыпки, равном высоте заряда, давление в у.в.в. уменьшается на 30%, что позволяет уменьшить в 1,2 раза радиус опасной зоны или в 2 раза увеличить суммарную массу заряда.

При проведении взрывов на земной поверхности в стесненных условиях для ограничения разлета породы применяют укрытия. Применение металлических плиточных укрытий в 2—3 раза ослабляет действие у.в.в.

Ослабление у.в.в. в подземных выработках достигается путем сооружения вблизи места взрыва массивных перемычек из различных материалов (порода, дерево, бетон и др.). При взрыве в подземных выработках интенсивность у.в.в. снижается при наличии расширений, поворотов, сопряжений и различных препятствий. В сопряжениях и ответвлениях у.в.в. разделяется на несколько волн с меньшими параметрами. В сужениях волна усиливается.

Контрольные вопросы

1. На каком расстоянии ударная воздушная волна приобретает звуковую скорость?
2. Какие параметры характеризуют ударную воздушную волну?
3. От чего зависит интенсивность воздушной волны в подземных выработках?
4. Назовите основные мероприятия, обеспечивающие снижение интенсивности воздушной волны на поверхности.

§ 3. Действие взрыва в массиве горных пород

Разрушение горных пород взрывом является сложным и характеризуется целым рядом специфических особенностей, затрудняющих создание единой физической модели процесса: разнообразие свойств пород, естественная неоднородность среды, отличие механических констант породы в статике и динамике, высокая скорость деформации, высокие напряжения и др.

Несмотря на это, в многочисленных теоретических и экспериментальных исследованиях создана довольно стройная картина процесса разрушения пород взрывом.

Механизм разрушения горных пород энергией взрыва ВВ. в том числе и мерзлых пород, не одинаков и зависит от физико-механических свойств пород.

Проф. А. Н. Ханукаев по характеру сил разрушения и их роли в процессе разрушения делит горные породы на три группы:

- грунтовые массивы с акустической жесткостью $\lambda \leq 5 \cdot 10^5$ г/(см²·с);
- массивы средней прочности с акустической жесткостью $\lambda = (5 \div 15) \cdot 10^5$ г/(см²·с);

крепкие с акустической жесткостью $\lambda > 15 \cdot 10^5$ г/(см²·с).

Акустической жесткостью (волновым сопротивлением) называется произведение плотности горной породы на скорость продольных волн (ρC_p).

Породы с малой акустической жесткостью в основном разрушаются за счет давления газов взрыва, находящихся во взрывных камерах. Жесткие породы — за счет волн напряжений.

Характер разрушений при этом различен: волны напряжения вызывают радиальные и тангенциальные трещины; газы взрыва — сдвиги среды или разрушение ее в процессе движения.

Разрушение мерзлых пород взрывом в основном происходит от температуры и льдистости последних. Менее влажные мерзлые породы разрушаются в основном в результате удара и давления газообразных продуктов взрыва. Роль волн напряжений в этом случае проявляется незначительно. При более влажных породах, соответствующих полному заполнению пор пород льдом, разрушение при взрыве такого массива происходит под действием волн напряжений и давления газообразных продуктов взрыва, т. е. взрываемость мерзлых грунтов зависит от их льдистости, определяемой влажностью и температурой пород.

Грунтовые массивы (пески, супеси, некоторые глины и глинки) разрушаются в результате запаса кинетической энергии, приобретенной средой при расширении газообразных продуктов взрыва. Разрушения под действием волн напряжений в этих породах незначительны. Последовательность разрушения грунтового массива показана на рис. 6.4 и характеризуется следующим. При взрыве вокруг заряда образуется шаровая полость, заполненная газами взрыва. В неограниченном массиве действие взрыва заканчивается образованием полости некоторого предельного диаметра. Размеры полости зависят от свойств массива, массы и формы заряда, работоспособности и бризантности ВВ, плотности заряжения. Этот эффект используют для образования специальных полостей для хранения газообразного или жидкого топлива, котлов в скважинах и шпурах при простреливании для размещения увеличенной массы заряда, при проходке колодезь, шурфов и стволов в мягких породах.

Свободная поверхность при взрыве заряда ВВ в грунтовом массиве влияет на дальнейшее развитие взрыва. Полость взрыва начинает принимать грушевидную форму с большей осью, направленной по линии наименьшего сопротивления. Изменение формы полости объясняется различной сопротивляемостью перемещению участков массива. В верхней части полости расширение быстро прекращается, в то время как размеры верхней части полости увеличиваются, уменьшая толщину слоя грунта, поднимаемого над полостью. В момент, близкий к концу взрыва, оболочка прорывается в верхней части полости, и дальнейшее движение породы происходит в результате свободного полета отдельных частей. В процессе падения породы формируется открытая воронка. У краев воронки образуется гребень из разрушенной породы. Чаше

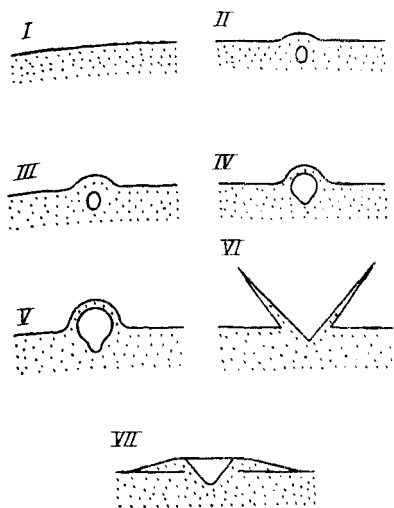


Рис. 6.4. Разрушение грунтового массива взрывом заряда ВВ:

I — VII — фазы образования воронки

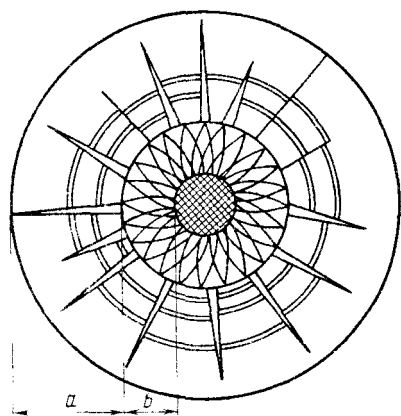


Рис. 6.5. Схема разрушений монолитной скальной породы вокруг заряда камуфлета (a — зона трещинообразования, b — зона измельчения)

ее сползает вниз, придавая воронке угол естественного откоса и уменьшая ее объем.

При зарядах усиленного выброса в воронку падает незначительная часть грунта. При зарядах нормального и уменьшенного выброса видимая глубина воронки всегда меньше глубины заложения заряда.

Поскольку для воронки нормального выброса объем разрушаемой породы приблизительно составляет W_1^3 , масса заряда нормального выброса

$$Q_n = q_n V \approx q_n W_1^3, \quad (6.13)$$

где q_n — удельный расход нормального выброса, кг/м^3 ; V — объем разрушаемой породы, м^3 ; W_1 — линия наименьшего сопротивления (расстояние до свободной поверхности, глубина заложения заряда), м.

В основу всех расчетов параметров БВР положен удельный расход ВВ, численно равный массе заряда, который необходим для разрушения единицы объема (массы) горной породы. Удельный расход ВВ зависит в основном от физико-механических свойств горных пород.

Скальные монолитные массивы. При описании процесса их разрушения взрывом учитывается, что скорость детонации ВВ значительно выше скорости распространения волн напряжений в породе. Поэтому поверхность породы воспринимает действие давления продуктов взрыва одновременно по всей площади его соприкосновения с массивом. На поверхности раздела «заряд — порода» детонационная волна переходит в ударную с весьма высокой амплитудой.

Экспериментально установлено, что в скальных горных породах 75—88% общего объема разрушений совершается под действием волновых процессов и 12—25% — под действием расширяющихся продуктов детонации.

Область распространения ударной волны ограничена объемом, радиус которого составляет 3—7 радиусов заряда.

В этом объеме порода быстро сжимается и смещается вслед за фронтом волны деформации.

Напряжение на фронте волны превышает модуль объемного сжатия среды, а сами нормальные напряжения соосны, благодаря чему порода вблизи заряда раздавливается и переходит в текучее состояние, образуя зону пластических деформаций с системой многочисленных пересекающихся трещин, изменяющих ее структуру (рис. 6.5). В этой зоне порода находится в состоянии неравномерного всестороннего сжатия. Зависимость напряжений в области ударных волн подчиняется примерно кубической зависимости.

По мере удаления от эпицентра передний фронт ударной волны выполаживается, и она переходит в волну сжатия, вызывающую неупругое возмущение среды. Параметры вещества на фронте волны сжатия меняются достаточно плавно. Скорость распространения возмущения равна скорости звука в данной среде, а время изменения состояния вещества всегда меньше времени возвращения его в состояние покоя. Затухание напряжений в этой зоне с расстоянием подчиняется квадратичной зависимости. Среда ведет себя неупруго с возникновением остаточных деформаций, ведущих к нарушению сплошности строения среды. Под действием прямой волны напряжений, распространяющейся от заряда, в среде в радиальном направлении возникают сжимающие напряжения, а в тангенциальных — растягивающие, которые и обеспечивают появление радиальных трещин. Кроме того, под действием высокого давления порода деформируется, и радиусы условно выделенных вокруг заряда сфер увеличиваются. В результате этого порода в радиальных направлениях будет испытывать растягивающие напряжения, которые и обеспечивают дополнительное развитие в массиве радиальных трещин.

После быстрого снижения давления газов в центре взрыва сильно сжатая порода смещается в сторону центра заряда и условный радиус выделенной сферы уменьшается. В результате этого в породе появляются кольцевые (откольные) трещины.

При дальнейшем удалении волны напряжений от заряда растягивающие тангенциальные напряжения уменьшаются и становятся меньше величины сопротивления породы растяжению. Зона распространения волны сжатия в скальных породах ограничена 120—150 радиусами заряда.

По мере дальнейшего выполаживания переднего фронта волны сжатия в среде наблюдается ее переход в сейсмическую волну, вызывающую упругое возмущение среды. Параметры состояния вещества на фронте практически не меняются. Скорость распространения сейсмической

Рис. 6.6. Схема образования у обнаженной поверхности отраженной волны растяжения:

1 — зеркальное отображение заряда (мнимый заряд); 2 — фронт падающей волны; 3 — заряд ВВ в породе; 4 — фронт отраженной волны

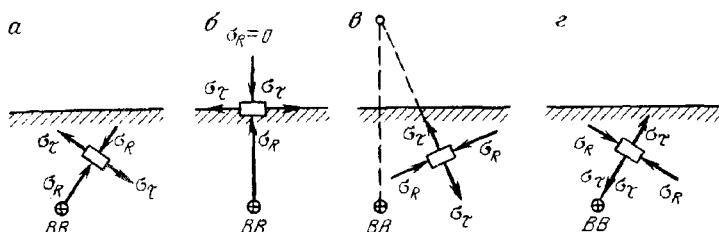
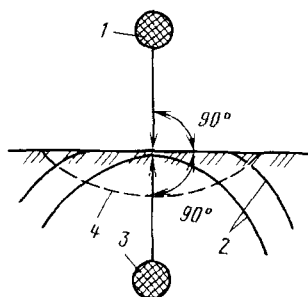


Рис. 6.7. Распределение главных напряжений при взрыве заряда ВВ в среде под действием:

а — прямой волны сжатия; б — волн сжатия и растяжения на границе раздела полупространства; в — отраженных волн растяжения; г — волн разрежения

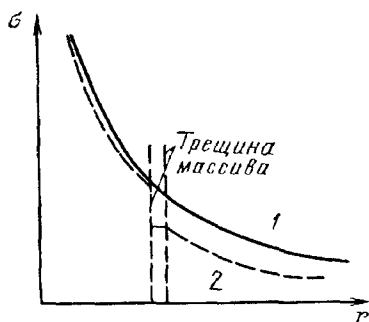
ческой волны равна скорости звука в данной среде, а время возвращения вещества в состояние покоя равно времени его выведения из этого состояния. Область распространения сейсмической волны определяется общей массой заряда. Предельные размеры сейсмически безопасных зон были рассмотрены в предыдущей главе. Затухание напряжений в сейсмической волне с расстоянием от заряда происходит по линейной зависимости. В сейсмическую волну трансформируется около 1% потенциальной энергии ВВ.

Для решения задач дробления горных пород взрывом представляют интерес первые две зоны.

При взрыве заряда вблизи обнаженной поверхности (рис. 6.6) волна напряжений у ее границы вызывает смещение частиц среды, не имеющих преграды, в сторону свободной поверхности, вовлекая в этот процесс все более отдаленные от поверхности участки породы. По массиву, таким образом, начинает распространяться отраженная волна растяжения, напряжения в которой по знаку противоположны напряжениям прямой волны.

Волна растяжения представляет отраженную от обнаженной поверхности волну сжатия и распространяется так, как если бы она была образована от взрыва мнимого заряда, величина которого одинакова с действительно взорвавшимся зарядом, а расположен мнимый заряд снаружи на расстоянии от обнаженной поверхности, равном л.н.с. взорванного заряда.

Рис. 6.8. Характер затухания энергии взрыва в монолитном (1) и трещиноватом (2) массиве



Поскольку порода обладает в 10—30 раз меньшим сопротивлением растягивающим нагрузкам по сравнению со сжимающими, у обнаженной поверхности происходит разрушение массива отраженной волной с образованием трещин и откольной воронки.

При достаточной массе заряда (его энергии) разрушения от поверхности, распространяющиеся в глубь массива, смыкаются с разрушениями, происшедшими вокруг заряда, и происходит разрушение всего объема породы внутри воронки.

Общее напряженное состояние, возникающее при взрыве одиночного заряда и вблизи свободной поверхности, показано на рис. 6.7, где σ_R и σ_t — соответственно нормальные и касательные напряжения.

Трещиноватые скальные массивы разрушаются как под воздействием газов взрыва, так и под действием волны напряжений, а разрушения распространяются как от заряда, так и от открытых поверхностей массива навстречу друг другу. Под действием высокого давления газов взрыва в месте зарядной камеры образуется полость, вокруг которой расположена зона разрушенной породы.

Сквозные трещины массива являются поверхностями раздела, которые препятствуют распространению волн напряжений и разрушений за пределами зоны, ограниченной этими трещинами. У плоскости каждой трещины происходит скачкообразное падение напряжений σ волны вследствие ее частичного отражения от трещины (рис. 6.8). За счет этого напряжения в трещиноватом массиве снижаются более интенсивно, чем в монолитном, а трещины от заряда распространяются на меньшее расстояние r . За пределами трещин порода разрушается в основном под действием механического соударения разрушенной вокруг заряда породы с остальным разрушаемым объемом. Поэтому в трещиноватом массиве породы под действием прямых и отраженных волн создается несколько очагов разрушения.

Экранирующее действие трещин увеличивается с увеличением их ширины, а также при заполнении трещин более вязкими материалами, которые оказывают амортизирующее влияние при ударе отдельных друг о друга.

В трещиноватом массиве выделяются характерные зоны дробления.

Рядом с зарядом порода разрушается на значительное число кусков от действия волн напряжений и давления газов взрыва. Эта зона называется зоной регулируемого дробления. Отдельности, слагающие остальную объем массива, разрушаются от динамического воздействия зоны регулируемого дробления. Разрушение отдельностей здесь носит вероятностный характер. Отдельности разрушаются, если в них имеются ослабления. Эта зона называется зоной малорегулируемого дробления. За ней следует зона, где массив разваливается на отдельности, — зона нерегулируемого дробления. Для получения необходимых результатов дробления необходимо увеличить зону регулируемого дробления, уменьшить зону малорегулируемого дробления и исключить зону нерегулируемого дробления.

Контрольные вопросы

1. На какие группы делятся породы по характеру сил разрушения и их роли в процессе разрушения?
2. Что называется акустической жесткостью пород?
3. Какова последовательность разрушения взрывом грунтовых массивов?
4. В каких зонах вокруг эпицентра взрыва распространяются ударные и сейсмические волны, а также волны сжатия?
5. Каков характер разрушения скальных пород в зонах прохождения различных волн напряжения от взрыва заряда?
6. Каковы особенности взрывного разрушения трещиноватых пород?
7. Что называют зоной регулируемого дробления?

§ 4. Одновременное действие группы зарядов ВВ в горной породе

На горных предприятиях основные работы по отделению части массива и его рыхлению выполняют взрыванием серии зарядов, расположенных в массиве по определенной сетке. При взрывании серии зарядов происходит взаимодействие взрывов смежных зарядов.

При одновременном взрыве смежных зарядов имеет место сложение сжимающих радиальных и растягивающих азимутальных напряжений. В плоскости расположения смежных зарядов (рис. 6.9, а) одноименные напряжения σ_1 совпадают по направлению и по знаку. Растягивающие напряжения σ_2 приводят к разрыву массива по линии расположения заряда без интенсивного дробления, особенно при малом коэффициенте сближения зарядов. С удалением от плоскости расположения зарядов одноименные напряжения от действия смежных зарядов не будут совпадать, поэтому суммарное напряжение будет уменьшаться. В породе, расположенной между линией зарядов и открытой поверхностью, в глубине массива (рис. 6.9, б) имеются зоны, где происходит взаимная компенсация напряжений от соседних зарядов. В этих зонах порода подвергается минимальному дроблению (зоны пониженных напряжений).

Повышение эффекта использования энергии взрыва серии зарядов может быть достигнуто при таком их расположении, когда полностью ликвидируются зоны пониженных напряжений. В простейшем случае

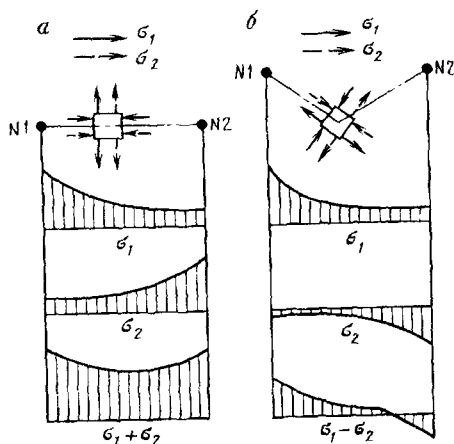


Рис. 6.9. Схема напряженного состояния различных участков массива при одновременном взрыве соседних зарядов

уменьшение объема этих зон достигается увеличением коэффициента сближения зарядов (отношения расстояния между зарядами к линии наименьшего сопротивления) $m > 1$. В результате перемещается зона пониженных напряжений от линии зарядов в область действия отраженной волны или даже за пределы массива породы. Наряду с этим увеличение расстояния между зарядами в некоторых породах может привести к снижению качества разрушения массива в подошве забоя.

Максимальный эффект может быть получен при полной ликвидации таких зон благодаря расположению зарядов по квадратной сетке и диагональному взрыванию.

Если уменьшить массу зарядов и расстояние между ними или применить ВВ с пониженной теплотой взрывания, то в результате перераспределения напряжений можно обеспечить интенсивное дробление и точный отрыв породы по линии расположения зарядов без образования заколов в массиве. Это учитывается расположением оконтуривающих шпуров при проведении выработок, а также при добыче блочного камня и так называемом контурном взрывании, при котором достигается точное оконтуривание выработки по проектному сечению. Контурное взрывание в выработках улучшает их устойчивость, сокращает отбойку излишка породы из законтурного пространства, затраты на ее погрузку, транспортировку, на крепление.

В наиболее общем виде можно выделить следующие случаи взаимодействия смежных зарядов при одновременном взрывании:

при расстоянии между зарядами, большем трех радиусов зоны радиального трещинообразования, наблюдается разрушение, как при действии одиночных зарядов;

при расстоянии между зарядами, меньшем трех радиусов зоны радиального трещинообразования, наблюдается взаимодействие двух зарядов;

при расстоянии между зарядами, меньшем 2,8 радиуса зоны радиального трещинообразования, трещины от обоих зарядов сомкнутся;

образуя одну полость, происходит отрыв блока пород от массива с незначительным ее дроблением вблизи зарядов.

При мгновенном взрывании не успевает образовываться дополнительная свободная поверхность, поэтому управление взрывом затруднено. Этот метод взрывания обычно применяют при однорядном взрывании зарядов. Мгновенные схемы взрывания серий зарядов характеризуются усилением сейсмического воздействия.

При многорядном взрывании дробление улучшается, так как заряды последующих рядов работают в менее нарушенном массиве. При многорядном взрывании широко применяют короткозамедленное взрывание (к.з.в.).

Короткозамедленным называется последовательное взрывание серий или отдельных зарядов с интервалами в тысячные доли секунды.

Эффект, получаемый при к.з.в., объясняется следующими факторами: интерференцией волн напряжений от соседних зарядов; образованием дополнительных обнаженных поверхностей; соударением разлетающихся масс кусков при взрыве соседних зарядов.

Физическая сущность взаимодействия соседних зарядов при к.з.в. включает в себя все перечисленные факторы, однако их проявление имеет место при разных интервалах замедления: при малых интервалах — интерференция волн, при средних — образование дополнительных обнаженных поверхностей, при больших — соударение кусков.

Интерференция ударных волн происходит при взрыве в том случае, когда направления смещения частиц от предыдущего и последующего взрывов совпали. При этом увеличиваются суммарные смещения, напряжения и разрушение массива. Взрыв последующего заряда должен производиться в момент прохождения через него волны растяжения (рис. 6.10) от взрыва предыдущего. Время замедления при этом можно подсчитать по формуле Г. И. Покровского

$$t = \frac{\sqrt{a^2 + 4W^2}}{v_y} \quad (6.14)$$

где a — расстояние между зарядами, м; W — сопротивление по подошве, м; v_y — скорость распространения волны напряжений, м/с.

Длительность упругих колебаний в массиве породы после взрыва в

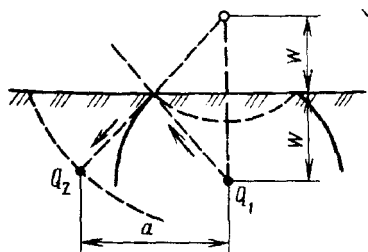


Рис. 6.10. Волновое взаимодействие зарядов Q_1 и Q_2 при к. з. в.

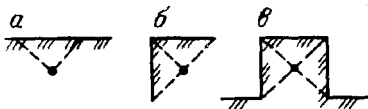


Рис. 6.11. Схема к определению влияния числа открытых поверхностей на объем разрушения:

$a, б, в$ — соответственно одна, две и три открытые поверхности

зоне разрушения не превышает 6 мс, в то время как применяемые на практике интервалы замедлений, обеспечивающие улучшение дробления породы, составляют 20—70 мс. При трещиноватых породах с увеличением от заряда амплитуда волн резко снижается, и их роль в разрушении оказывается несущественной.

Использование интерференции волн напряжений для увеличения интенсивности дробления пород требует очень точного подбора интервала (до 0,1 мс), а поскольку скорость волн напряжений, интенсивность трещиноватости меняются от скважины к скважине, использовать этот эффект в реальных условиях ведения взрывных работ весьма затруднительно.

Образование дополнительных обнаженных поверхностей взрывом предыдущей серии обеспечивает формирование в нем отраженных волн растяжения, увеличивающих эффект разрушения, ослабляет массив и облегчает его окончательное разрушение давлением газов.

С увеличением числа обнаженных поверхностей у взрываемого заряда объем разрушения увеличивается примерно пропорционально их числу (рис. 6.11).

С учетом увеличения объема разрыхленной породы и смещения ее в сторону открытых поверхностей необходимая ширина пространства для получения открытой поверхности должна быть в пределах $(1/20) \div (1/30) W$.

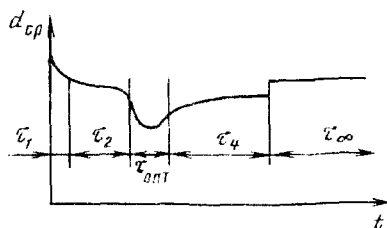
С учетом пробега волны напряжений от зарядов до поверхности и обратно, образования трещины до поверхности и раскрытия ее минимальное время замедления определяется следующим выражением:

$$\tau_{\text{опт}} = \frac{2W'}{v_p} + \frac{W}{v_{\text{тр}}} + \frac{\delta}{v_{\text{ш}}}, \quad (6.15)$$

где v_p — скорость звука в среде, м/с; $v_{\text{тр}}$ — скорость трещинообразования, обычно не превышает $(0.3—0.4) v_p$; $v_{\text{ш}} \leq 3 \div 10$ м/с — скорость раскрытия щели, м/с; δ — ширина щели, м.

Соударение кусков разрушенной взрывом породы обусловлено разными скоростями и направлениями их разлета. Столкновение обеспечивает дополнительное дробление при разности скоростей кусков более 15 м/с, особенно эффективное при пересечении направлений разлета под углом не менее 90° . Передний фронт разлетающихся при взрыве продуктов, испытывающий сопротивление только воздуха, перемещается со скоростью 15—40 м/с. Задний же фронт, испытывающий сопротивление впереди летящей массы, отстает и перемещается со скоростью порядка 3 м/с. Если взрыв следующих зарядов провести в момент образования открытой поверхности, то передний фронт взорванной горной массы этой серии догонит задний фронт горной массы предыдущей серии. Разница скоростей составляет 12—37 м/с. С увеличением ширины щели этот эффект уменьшается. Следовательно, для более полного использования фактора соударения необходимо определять соотношения взрывающих интервалов и схемы взрывания.

Рис. 6.12. Зависимость интенсивности дробления от интервала замедления



Проф. Н. Г. Петровым установлена зависимость оптимального интервала замедления (мс) от д.н.с. W и акустической жесткости $\gamma \gamma_p$ пород

$$\tau_{опт} = \frac{31,5}{\sqrt{\gamma \gamma_p}} W - 6 \sqrt{\gamma \gamma_p} + 9,6. \quad (6.16)$$

В практике для определения интервала замедления (мс) в зависимости от д.н.с. наиболее широко применяется формула Лангефорса

$$\tau = k W, \quad (6.17)$$

где k — эмпирический коэффициент.

На основе опытных данных эмпирический коэффициент k можно принимать равным: 3 — для весьма крепких пород типа перидотитов, гранитов; 4 — для крепких пород типа песчаников, железистых кварцитов; 5 — для пород средней крепости типа известняков, серпентинита, магнезита; 6 — для слабых и мягких пород типа мерделей, мелов, глинистых сланцев и углей.

Зависимость эффективности дробления $d_{др}$ от интервала замедления t показана на рис. 6.12.

При замедлении $t_1 \leq T$, где T — период колебаний массива при взрыве, может происходить интерференция волн напряжений. При удачном сочетании фаз колебаний суммарное напряжение может возрасти. Степень дробления при этом может улучшиться на 5–7%.

Интервал замедления от t_1 до t_2 характеризуется неинтенсивным увеличением степени дробления пород. Здесь наблюдаются случайное сложение волн напряжений и небольшое влияние вновь образующихся свободных поверхностей.

Интервал времени замедления $\tau_{опт}$, попадающий в отрезок от t_2 до t_4 , будет оптимальным по степени дробления. Здесь интенсивность дробления резко увеличивается. В этом случае проявляется эффект соударения кусков, а образовавшаяся свободная поверхность способствует отрыву следующих участков взрываемого массива и отражает волны напряжений. Благоприятным фактором является и давление газов от предыдущего взрыва в трещинах.

Интервал замедления τ_{∞} , больший t_4 , характерен тем, что действие газов и соударение породы уменьшаются и действие взрыва приближается к суммарному действию одиночных зарядов.

Разновидностью к.з.в. является взрывание с внутрискважинными

миллисекундными замедлениями отдельных частей зарядов в скважинах. При этом заряд в скважине разделяется на две-три части и боковые каждая часть инициируется отдельно своим боевиком так, что между частями заряда создаются интервалы замедления (10—20 мс). Таким приемом удастся увеличить число очередей взрывааемых зарядов и уменьшить время воздействия взрыва на массив, в результате чего достигаются лучшие результаты взрыва по дроблению и сейсмике.

Контрольные вопросы

1. Каковы особенности напряженного состояния горных пород при одновременном взрывании смежных зарядов?
2. Назовите основные пути уменьшения зон пониженных напряжений при одновременном взрывании смежных зарядов.
3. Как расстояние между смежными одновременно взрывающимися зарядами влияет на характер разрушения горных пород?
4. Какое взрывание называют короткозамедленным?
5. Какие факторы определяют эффективность дробления горных пород при короткозамедленном взрывании?
6. В каких случаях происходит интерференция ударных волн?
7. Какой фактор является определяющим для эффективности короткозамедленного взрывания?

§ 5. Действие взрыва в условиях бокового зажима

В геологоразведке используются преимущественно линейные цилиндрические заряды, прежде всего шпуровые.

При проведении подземных горных выработок шпуровые заряды работают на свободную поверхность, представляющую собой свободную полость с ограниченными поперечными размерами, т. е. заряды работают в условиях бокового зажима. Коэффициентом зажима называется отношение линии наименьшего сопротивления к максимальному поперечному размеру полости, на которую производится отбойка.

Та часть заряда, ударная волна от действия которой распространяется в направлении свободной поверхности и участвует в работе разрушения в этом направлении, называется активной. В остальных направлениях энергия взрыва преимущественно рассеивается. В дальнейшем, когда произойдет смещение породы в пределах контура воронки выброса, все газы из шпура устремятся в образовавшийся проем, ускоряя смещение призмы разрушения.

Активная часть заряда ВВ в отдельных шпурах колеблется от 4 до 36%, в среднем составляя 22%. При малых углах раствора воронки выброса преобладающими условиями при разрушении породы являются срезающие усилия τ_p при больших углах — разрывающие усилия σ_p . Поскольку сопротивление горных пород срезающим усилиям больше, чем разрывающим, то для достижения одинаковых результатов взрыва количество энергии заряда ВВ при меньших углах раствора воронки и равном значении л.н.с. (больших коэффициентах зажима) должно быть больше. Поэтому эффективность отбойки зависит от

новном от качества вруба; увеличение массы и числа зарядов в отбойных шпурах практически не влияет на величину подвигания забоя горной выработки.

В связи с этим правильный выбор конструкции вруба является основной задачей БВР при проведении подземных горных выработок.

Контрольные вопросы

1. Что называется коэффициентом зажима?
2. Каковы особенности действия заряда при взрывании на врубовую полость?
3. От чего в основном зависит эффективность взрывания шпуровых зарядов при проведении подземных горных выработок?

§ 6. Методы регулирования действия взрыва зарядов ВВ на горную породу

Качество дробления горной массы влияет на все последующие технологические процессы горного производства вплоть до дробильно-сортировочных фабрик.

Возможна степень дробления пород, при которой суммарные затраты на единицу продукции по всем технологическим процессам минимальны, т. е. $\Sigma C = C_{\min}$.

Степень дробления можно улучшить изменением расчетного расхода ВВ, линии наименьшего сопротивления, вида ВВ, конструкции зарядов, схем взрывания, конструкцией забойки и т. д.

Все методы регулирования степени дробления можно разделить в зависимости от диапазона их влияния на два класса (табл. 6.1).

Параметры класса I — диаметр заряда, величина сопротивления по подошве (с.п.п.), расстояние между зарядами, длина и масса заряда — взаимосвязаны между собой через расчетный удельный расход ВВ. Основными из них являются расчетный удельный расход ВВ и диаметр заряда, остальные параметры производные и зависят от величины расхода ВВ. Изменение одного из параметров влечет за собой изменение остальных, которые могут повлиять на результат взрыва.

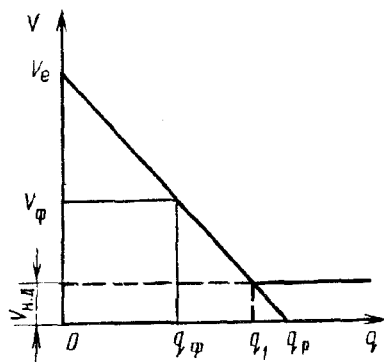
Изменяя параметры класса I, можно достигать желаемого дробления пород любой категории. Возможности регулирования дробления

Таблица 6.1
Влияние основных параметров взрывания на регулирование степени дробления

Класс	Параметры	Примерные пределы регулирования выхода негабарита, %
I	Расчетный удельный расход ВВ, диаметр заряда, размер и сетка расположения зарядов	$(1,0 \pm 0,1) K_{\text{пл}}^*$
II	Тип ВВ, конструкция зарядов и длина, число рядов, высота уступа, последовательность взрывания, схема и интервал замедления, качество забойки, направление инициирования и т.п.	$(0,1 \pm 0,01) K_{\text{пл}}$

* $K_{\text{пл}}$ — процент содержания крупных (негабаритных) отделинностей в массиве.

Рис. 6.13. График зависимости выхода крупных кусков от удельного расхода ВВ



параметрами класса II чаще находятся в пределах точности опыта (до 15%), поэтому их количественная оценка на современном этапе развития науки о взрыве затруднительна.

Рассмотрим физическую сущность регулирования дробления горных пород каждым параметром.

При увеличении удельного расхода ВВ степень дробления массива сначала увеличивается, а затем энергия взрыва в основном расходуется на придание большей скорости взрываеваемой массе. Следовательно, дальнейшее увеличение становится нецелесообразным.

Рассмотрим зависимость (рис. 6.13) выхода крупных кусков (негабарита) от удельного расхода ВВ. На оси ординат отмечен отрезок $V_{н.д.}$, соответствующий зоне нерегулируемого дробления. При массовом взрыве с удельным фактическим расходом выход негабарита, равный $V_{ф.}$, можно определить одним из указанных выше методов. Взрыв проводится в массиве с известной блочностью и содержанием отдельных кусков $V_{с.}$, равных по размеру негабаритным кускам. Соединив точки O , $V_{с.}$ и $q_{ф.}$, $V_{ф.}$, получим прямую, пересекающую ось абсцисс в точке q_p . Это расчетный расход ВВ, для данной функции условно обеспечивающий нулевой выход негабарита. Фактически при $q > q_1$, где q_1 соответствует точке $q_1 V_{н.д.}$, увеличение удельного расхода ВВ не улучшает дробления из-за наличия зоны нерегулируемого дробления.

С увеличением диаметра заряда процент выхода крупных фракций увеличивается. Для горных пород установлена линейная зависимость между линией наименьшего сопротивления и диаметром заряда, т. е. с увеличением диаметра заряда должна быть увеличена линия наименьшего сопротивления, а следовательно, больший процент отдельных, составляющих массив, попадает в зону нерегулируемого дробления. При малых диаметрах зарядов уменьшаются заколы в глубь массива и уменьшается относительный объем переизмельчения породы вокруг заряда.

Технико-экономическими расчетами определено, что в породах II категории трещиноватости диаметр заряда необходимо принимать большим. Так, для карьеров диаметр заряда равен 300–350 мм, для

подземных рудников — 150—190 мм. В породах III—IV категорий применяют диаметр зарядов 80—100 мм для рудников и 200—250 мм для карьеров. В крупноблочных породах V категории следует принимать диаметр заряда 60—80 мм для подземных рудников и 100—150 мм для карьеров.

С увеличением коэффициента сближения зарядов, равного отношению расстояния между зарядами a к линии наименьшего сопротивления W , от 0,6 до 1 при средних удельных расходах ВВ дробление пород улучшается из-за более полного заполнения скважины ВВ и уменьшения длины забойки. При однорядном взрывании применяют $m = 0,8 \div 1,0$. При диагональной схеме коммутации зарядов m можно увеличить до 4. При диагональной схеме взрывания a — расстояние между зарядами в диагональном ряду, W — расстояние между взрывающимися диагональными рядами.

При увеличении коэффициента крепости пород f с 6 до 16—18 затраты на бурение растут значительно быстрее, чем затраты на взрывание. При этом в породах ниже средней крепости взрывные работы составляют 70% общих расходов на отбойку, а в крепких преобладает стоимость буровых работ. Поэтому в породах ниже средней крепости ($f \leq 7$) основное внимание целесообразно уделять снижению расходов на взрывание (применение дешевых ВВ, некоторое снижение расходов ВВ). В крепких породах ($f > 14$) основное внимание надо уделять снижению стоимости буровых работ. В породах с $f = 7 \div 14$ относительные затраты на бурение и взрывание примерно одинаковы.

Замена в крепких породах дешевых ВВ на более мощные, но более дорогие может быть вполне оправдана, если в результате этого возможно большее снижение стоимости обуривания массива. При таком подходе стоимость отбойки будет снижаться наиболее интенсивно при сохранении хорошего качества взрыва.

Устья шпуров и скважин, оставшиеся свободными после размещения зарядов, заполняют, как правило, забоечным материалом. Забойка уменьшает потери энергии в процессе детонации заряда и обеспечивает более полное протекание реакции взрыва, уменьшая количество выделяемых при взрыве ядовитых газов; увеличивает длину эффективной части ударной волны, обеспечивая более интенсивное дробление породы; увеличивает длительность воздействия газов на стенки зарядной камеры, а также продолжительность вылета газов в атмосферу, снижая опасность воспламенения метановоздушной смеси в шахтах, опасных по газу или пыли; резко уменьшает силу воздушной ударной волны.

Длина забойки принимается равной $1,25 W$ в мелкоблочных; $1,0 W$ в среднеблочных и от $0,75 W$ до $0,5 W$ в крупноблочных породах.

Водяная забойка в виде ампул в полиэтиленовой оболочке вместо глиняной увеличивает коэффициент использования шпуров (к.и.ш.) на подземных работах с 0,8 до 1 и снижает существенно запыленность атмосферы выработки после взрыва.

Применение запирающих зарядов в забойке позволяет значительно уменьшить ее длину. Запирающие заряды размещают в забойке и взры-

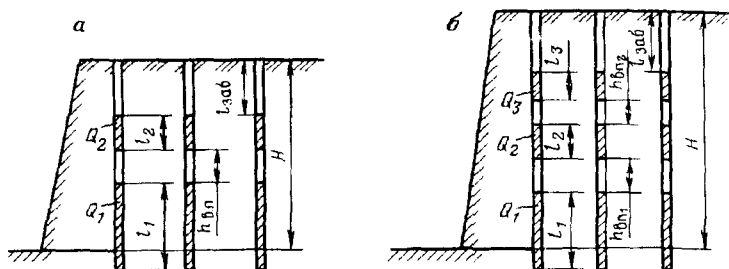


Рис. 6.14. Рассредоточение скважинных зарядов воздушными промежутками на две (а) и три (б) части

вают одновременно с основным зарядом. При взрыве в устье скважины создается давление, которое препятствует вылету газов взрыва.

Если расчетная масса заряда не обеспечивает заполнения скважины на длину, обеспечивающую минимальную требуемую длину забойки, то заряд рассредоточивают по длине скважины или шпура.

Удлиненные заряды можно разделить на сплошные, комбинированные и рассредоточенные. Взрывы сплошных зарядов характеризуются недостаточной эффективностью дробления пород на уровне забойки.

Комбинированные заряды образуются из участков разных типов ВВ. Более сильные ВВ располагают в наиболее трудновзрываемых участках (донных частях шпуров и скважин, на пересечениях с трудно-взрываемыми включениями).

В скважинах на карьерах целесообразно в обводненной ее части применять водоустойчивое ВВ, а в остальной части — неводоустойчивое ВВ.

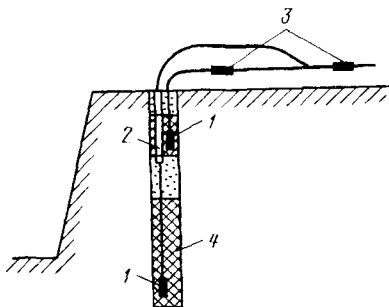
Рассредоточение заряда способствует улучшению дробления благодаря увеличению зоны регулируемого дробления. Рассредоточение скважинных зарядов воздушными промежутками (рис. 6.14) улучшает дробление. Воздушные промежутки изменяют характер действия взрыва и ограничивают переизмельчение породы вблизи заряда. В результате энергии, идущая на переизмельчение, уменьшается и большая ее доля используется на дробление в дальней зоне. Длина воздушных промежутков не должна превышать для слабых пород 0,3—0,4 длины заряда, средней крепости 0,2—0,3 и крепких 0,15—0,2.

Место инициирования зарядов определяет направление детонации заряда ВВ. Различают прямое (от устья шпура, скважины), обратное (от дна шпура, скважины) и многоточечное инициирование. Если скважинный заряд инициировать снизу, то проработка подовых уступа и степень дробления улучшаются. При инициировании сверху время действия взрыва на массив увеличивается. Обратное инициирование (от дна шпура, скважины) целесообразно применять при отношении $W/v_p > 1,6$, а прямое (от устья шпура, скважины) при $W/v_p \leq 1,6$, где v_p — скорость продольных волн, км/с; W — л.н.с., м.

Многоточечное инициирование характеризуется тем, что заряд

Рис. 6.15. Взрывание рассредоточенного заряда с внутрискважинным замедлением:

1 — детонаторы; 2 — предохранительная трубка для ДШ; 3 — КЗДШ; 4 — ВВ



инициируют одновременно в нескольких местах. При этом происходит встречное соударение детонационных волн, резко увеличивается давление в этом месте и, как следствие, улучшается дробление породы в целом. Такое инициирование можно применять при наличии специального маломощного ДШ (с небольшой навеской тона на 1 м шнура).

Для осуществления *внутрискважинного замедления* заряд в скважине разделяют на несколько частей, взрываемых с замедлением (рис. 6.15). Общее время действия взрыва на массив увеличивается, и дробление улучшается. Иницирование может быть снизу или сверху. Иницирование выполняется детонирующим шнуром таким образом, чтобы от него не взрывалась часть заряда, через которую он проходит. Эффективной является схема замедлений снизу. Для обеспечения большей безопасности целесообразно патрон-боевик располагать выше подошвы уступа.

Контрольные вопросы

1. Какие методы регулирования степени дробления пород взрывом Вы знаете?
2. На какие классы делятся методы регулирования степени дробления?
3. Как влияет на эффективность дробления удельный расход ВВ?
4. Почему выход крупных фракций увеличивается с ростом диаметра заряда?
5. Какие коэффициенты сближения зарядов оптимальны по качеству дробления?
6. Какая длина забойки рекомендуется для пород различной крепости?
7. Какие преимущества присущи рассредоточенным зарядам ВВ?

§ 7. Кумулятивное действие зарядов ВВ

Взрывы, действие которых одинаково во всех направлениях, называются взрывами общего действия. Они эффективны, если нужно выполнить равноценное во все стороны разрушение.

Заряды, обладающие повышенной разрушающей способностью в заданном направлении, называются зарядами направленного действия. Максимальной направленности достигают зарядами с кумулятивными выемками.

При взрыве заряда с кумулятивной выемкой (рис. 6.16) продукты детонации разлетаются вначале перпендикулярно к поверхности куму-

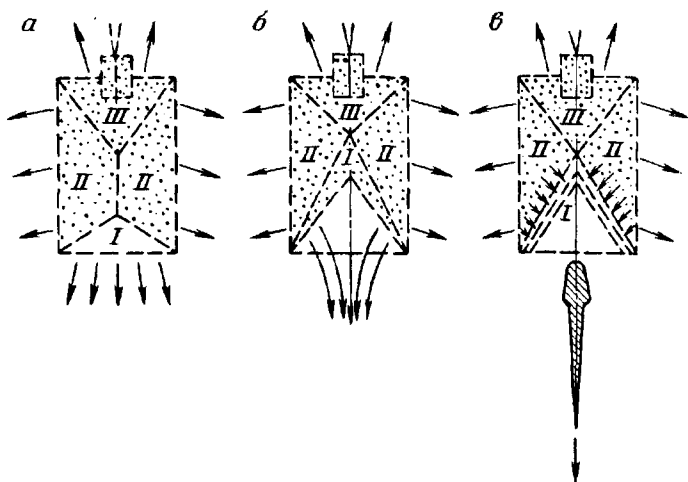


Рис. 6.16. Сравнительные схемы устройства и действия зарядов ВВ (стрелками показано направление движения продуктов взрыва):

а — с плоским торцом без выемки; *б* — с необлицованной кумулятивной выемкой; *в* — с облицованной кумулятивной выемкой; I, II, III — области заряда, на границах которых скорость движения продуктов взрыва равна нулю

кумулятивной выемки, а затем сталкиваются, уплотняются и приобретают большую скорость в направлении оси выемки. Этот поток называется кумулятивной струей. Скорость движения продуктов взрыва в нем значительно выше скорости детонации и достигает 10 000 м/с.

Место струи, в котором плотность, скорость и давление имеют максимальные значения, а диаметр становится минимальным, называется фокусом, а расстояние от фокуса до торца заряда — фокусным расстоянием кумулятивной струи.

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, сформированной из металлической облицовки кумулятивной выемки, легко пробивающей через прочные преграды.

В формировании кумулятивного потока участвует не весь заряд, а лишь его активная часть, прилегающая к кумулятивной выемке.

Эффективность кумуляции возрастает при увеличении мощности ВВ, в связи с чем заряды изготавливают из индивидуальных ВВ или прессованием. Большое значение имеют форма и размеры кумулятивной выемки. Наиболее распространены при разрушении пород заряды с полусферической выемкой, при пробитии отверстий — с конической.

В горном деле кумулятивный эффект используется для пробития отверстий при активации скважин и бурения шпуров. При проведении подземных горных выработок для контурного взрывания применяют

шпуровые заряды с продольной кумулятивной выемкой. Кумулятивные выемки выполняются на торцах капсулей-детонаторов и электродетонаторов. Наиболее широко заряды с кумулятивными выемками применяются для дробления негабаритов и ликвидации завесаний. Применение кумулятивных выемок, последовательно расположенных по длине скважинных зарядов, обеспечивает улучшение дробящего действия (особенно в донной части) за счет неравномерности взрывного нагружения и перекачки энергии в донную часть заряда.

Контрольные вопросы

1. Каков механизм действия кумулятивных зарядов?
2. Что называется фокусным расстоянием кумулятивной струи?
3. В каких случаях применяются кумулятивные заряды?

Раздел III. ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ В ГЕОЛОГОРАЗВЕДКЕ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

ГЛАВА 7. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ И РАСЧЕТА ЗАРЯДОВ ВВ

§ 1. Методы взрывных работ

Технология ведения взрывных работ на горных предприятиях определяется принятым методом взрывания, который включает в себя систему приемов и способов подготовки зарядных выработок для размещения в них зарядов ВВ с целью решения определенной технической задачи (дробление, перемещение, выброс, сброс и т. д.). В качестве зарядных камер используются шпуры, скважины, котлы, рукава, камеры, щели и траншеи.

В зависимости от целей взрывания, величины и формы зарядов ВВ на горных предприятиях при проведении горно-разведочных выработок и добыче полезных ископаемых применяются методы шпуровых, скважинных, сосредоточенных (камерных и малокамерных), котловых и накладных (наружных) зарядов.

Методом шпуровых зарядов называется совокупность технических приемов и способов по подготовке и производству выработок зарядов ВВ в шпурах, включая все операции (бурение, очистка шпуров, подготовку ВВ и боевиков, заряжание и забойку шпуров, монтаж взрывной сети и взрывание). Шпуровые заряды используют при проведении подземных геологоразведочных выработок, при разработке уступов высотой до 5 м, добыче кристаллического сырья, мраморных и гранитных блоков, проходке канав и траншей.

При проведении горно-разведочных выработок основными параметрами взрывной отбойки являются: число, глубина и диаметр шпуров, коэффициент использования шпуров и удельный расход ВВ.

Достоинствами метода шпуровых зарядов являются: обеспечение мелкого и равномерного дробления пород; возможность применения в любых горнотехнических условиях, а также разработки маломощных пластов сложного строения; слабое сейсмическое действие взрыва. К недостаткам метода относятся: большой объем бурения; малый объем взорванной горной массы на 1 м шпура; большой удельный расход ВВ; высокая трудоемкость заряжания. Из-за наличия этих недостатков шпуровой метод считается очень трудоемким и дорогим. Поэтому во возможности его стремятся заменить более производительным и безопасным методом (например, скважинных зарядов).

На открытых горных работах методом шпуровых зарядов производят рыхление скальных и мерзлых пород. Для этого в массивах с помощью

открытой поверхностью используют врубовые схемы короткозамедленного взрывания.

Совокупность технических приемов и способов по подготовке и производству взрывов зарядов в скважине, включая все вспомогательные операции от бурения до взрывания, называют методом скважинных зарядов.

Метод скважинных зарядов применяется при добыче полезных ископаемых, посадке потолочин, выемке целиков и проходке восстающих выработок, траншей и котлованов, в гидротехническом и транспортном строительстве. Метод скважинных зарядов по сравнению со шпуровым имеет ряд достоинств: высокая (в 3 раза и более) производительность труда забойного рабочего; сокращение объема трудоемких подготовительно-нарезных работ вследствие увеличения расстояния между выработками, из которых ведется отбойка; возможность выемки без закладки и крепления очистного пространства даже при невысокой устойчивости массива горных пород; использование комплексной механизации труда; высокая безопасность работ и хорошие условия труда (работчие при бурении находятся в специальных буровых выработках или буровых камерах).

К недостаткам скважинной отбойки относятся: невозможность применения при разработке маломощных залежей вследствие большого разубоживания руды; трудность применения при разработке системами с креплением очистного пространства; увеличение выхода крупных фракций и меньшая точность контуров отбойки по сравнению со шпуровым методом; увеличение расходов на вторичное взрывание; обрушение руды за контурами скважин, особенно при недостаточно устойчивой руде и большим (свыше 100 мм) диаметре скважины; высокое сейсмическое действие взрыва.

Для взрывания на карьерах с целью преодоления больших сопротивлений по подошве уступа применяют котловые заряды.

Полученное в конце шпура или скважины расширение называют котлом, а помещенный в него заряд ВВ — котловым зарядом.

При методе котловых зарядов отбойка производится сосредоточенными зарядами, помещаемыми в особые камеры (котлы), образуемые при бурении или последовательными взрываниями небольших зарядов на забое шпура или скважины (рис. 7.1).

Метод котловых зарядов — комплекс технических приемов и способов подготовки и взрывания зарядов, включающий в себя бурение, простреливание скважин, зарядание, монтаж сети, взрывание и осмотр места взрыва. Этот метод применяют в следующих случаях: а) при больших сопротивлениях по подошве уступа, когда расчетный заряд ВВ, необходимый для разрушения нижней части уступа, не может быть полностью размещен в скважине, а также когда линия с.п.п. настолько велика, что заряд, размещенный в нижней части скважины, не в состоянии ее преодолеть; б) при наличии трудно взрываемых пород в нижней части уступа; в) при обрушении высоких вскрышных уступов скальных пород.

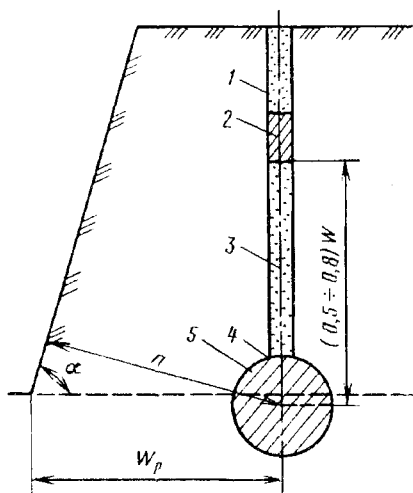


Рис. 7.1. Схема расположения котлового заряда на уступе:

1 — скважина; 2 — дополнительный заряд; 3 — забойка; 4 — котел; 5 — основной заряд

Взрывание небольших зарядов для образования котла называется простреливанием шпура или скважины. Масса прострелочного заряда зависит от физико-механических свойств и структурных особенностей массива, а по отношению к основному заряду находится в прямой пропорциональной зависимости от массы его котловой части, т. е.

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{к}} / (П_{\text{пр}} \Delta), \quad (7.1)$$

где $Q_{\text{к}}$ — масса котлового заряда, кг; Δ — плотность заряжания, кг/дм³; $П_{\text{пр}}$ — показатель простреливаемости, представляющий отношение объема образованного котла к массе прострелочного заряда (колеблется от 2 до 120 дм³/кг). Этот показатель находят опытным путем, либо принимают по справочникам.

Число простреливаний принимают с учетом требуемого объема котла, простреливаемости, крепости, трещиноватости и вязкости массива горных пород.

Объем котла, необходимый для размещения в нем заряда, определяется по формуле

$$V_{\text{к}} = Q'_{\text{пр}} П_{\text{пр}} Q_{\text{к}} / \Delta, \quad (7.2)$$

где $V_{\text{к}}$ — заданный объем котла, дм³; $Q'_{\text{пр}}$ — заряд камуфлета, кг.

Бурение скважин, подготовка и перевозка ВМ, изготовление босонжков, монтаж взрывной сети, взрывание зарядов и осмотр взрыва выполняются так же, как и при скважинном методе взрывания.

Образование котлов эффективно в пластичных мягких и средней крепости породах, где он приобретает круглую или грушеобразную форму. При простреливании скважины или шпура соблюдаются 15-минутные интервалы между взрывом и последующим заряжением. При

простреливании заряд ВВ обычно опускают на шпигате или ДШ. Следует обязательно применять забойку.

Для простреливания скважин обычно используют электрический способ взрывания: для взрывания одиночных скважин глубиной до 10 м — огневой.

Масса заряда определяется по формуле для расчета сосредоточенных зарядов.

Безопасное расстояние при простреливании шпуров составляет 50 м, а скважин — 200 м. Котловые заряды лучше заряжать пневмозарядниками, особенно в наклонных и горизонтальных скважинах. Л.н.с. для котловых зарядов принимают равным $H' = (0,6 \div 0,9) H$ (высота уступа), а расстояние между зарядами $(0,8 \div 1,4) H'$.

Параметры взрывной отбойки при методе котловых зарядов определяют, как и при методе скважинных зарядов, с уточнением на основе данных опытных взрывов.

Масса основного заряда располагается в котле, а остальная (10–20%) рассредоточивается по всей скважине.

Достоинствами котлового метода взрывания являются: резкое снижение расхода бурения, увеличение возможности преодоления больших с.п.п., уменьшение длины перебура.

К недостаткам относятся: высокая трудоемкость работ по образованию котлов, особенно при простреливании и чистке скважин; неравномерность дробления трудновзрываемых пород; нарушение режима работы при прострелочных работах. Метод котловых зарядов обладает низкой надежностью взрывания, поэтому на горных предприятиях применяется в исключительных случаях.

Отбойка уступов камерными зарядами на карьере мало распространена из-за большой трудоемкости проведения подготовительных выработок. Этот метод применяется в том случае, когда необходимо взрывать большие объемы горной массы как на вскрышных, так и добычных работах при высоте уступа более 12 м, а также при взрывах на сброс и выброс при создании плотин и насыпей. Сущность его заключается в том, что заряды располагают в специально пройденных горных выработках — зарядных камерах с целью разрушения массива горных пород взрыванием сосредоточенных зарядов большой мощности.

Для обеспечения максимального сосредоточения зарядов камере придают по возможности кубическую форму (рис. 7.2). При больших зарядах, порядка десятков тонн — крестообразную, кроме того, они могут быть параллелепипедальной и фигурной форм.

Метод камерных зарядов получил распространение при подземной разработке крепких и весьма крепких горных пород. Ведение взрывных работ данным способом представляет особую сложность, так как при этом приходится взрывать большие объемы ВВ, что требует очень точных расчетов параметров. Объем зарядной камеры определяется по формуле

$$V_k = QK_1 / \Delta \quad (7.3)$$

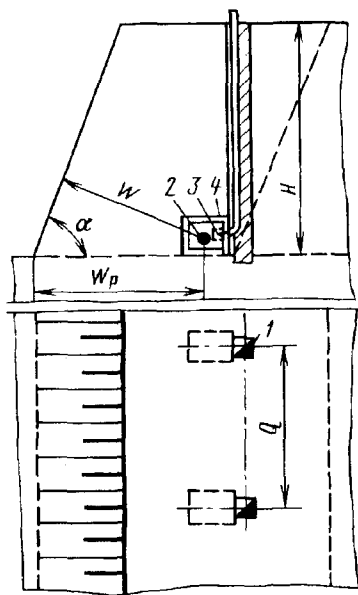


Рис. 7.2. Расположение камерных зарядов рыхления:

1 шурф; 2 заряд ВВ; 3 ЭД; 4 зарядная камера; H высота уступа; W л. н. с.; W_p л. с. п. п.

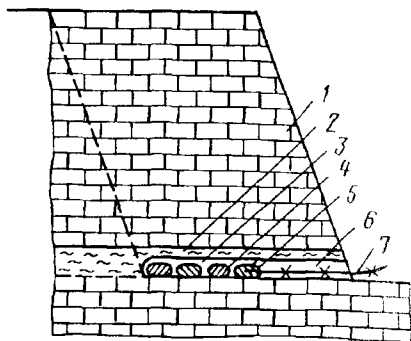


Рис. 7.3. Схема взрывания уступа методом малокамерных зарядов:

1 скальная порода (известняк); 2 пропласток мягкой породы (глина); 3 рукав; 4 наконечник ВВ; 5 боевик; 6 забойка; 7 detonировавший шнур

где V_k — объем зарядной камеры, m^3 ; $K_V = 1,1 \div 1,8$ — коэффициент, учитывающий увеличение объема камеры за счет объема, занимаемого крепью.

При расчете параметров взрыва определяют: л.н.с., массу заряда, объем и линейные размеры камеры, расстояние между центрами зарядов, глубину шурфов или штолен.

Л.н.с. принимают для камерных зарядов равной $(0,7 \div 0,9) H$, а расстояние между зарядами $(0,8 \div 1,4) H$ с учетом физико-механических свойств пород и структурных особенностей массива, или

$$a = mW^2, \quad (7.4)$$

где m — коэффициент сближения зарядов.

Масса камерного заряда на рыхление определяется по формуле

$$Q_{кз} = qW^3, \quad (7.5)$$

где q — удельный расход ВВ, $кг/м^3$.

При взрывных работах методом камерных зарядов осуществляют следующий комплекс технических приемов: проведение подготовительных выработок (штолен площадью сечения в свету $1,2 м^2$ и шурфов

1 м²) и зарядных камер, транспортировку ВМ, подготовку боевиков, зарядание и забойку зарядных камер, коммутацию взрывной сети, взрывание зарядов и осмотр места производства взрыва.

Зарядание осуществляют в следующей последовательности: подготовка ВВ для каждой выработки, спуск и укладка ВВ в зарядные камеры, изготовление патронов-боевиков, организация постов оцепления в радиусе опасной зоны, установка боевиков, забойка, монтаж взрывной сети.

При больших объемах взрывания применяют механизированное зарядание камер при помощи пневматического транспортирования порошкообразных или гранулированных ВВ по шлангам и трубам.

По окончании монтажа проверяют сопротивление всей сети. Взрывать камерные заряды разрешается только в светлое время суток. Осмотр места взрыва допускается не ранее чем через 15 мин после взрыва.

Метод камерных зарядов имеет следующие достоинства: отбойка больших объемов породы; меньшее число взрывов; возможность ведения взрывных работ при сложном рельефе местности; большие запасы подготовленной взорванной горной массы; повышенная производительность из-за применения зарядных комплексов. К недостаткам относятся: высокая трудоемкость проведения выработок и подготовительных работ; неравномерное дробление массива и значительный выход негабаритов; большой сейсмический эффект; высокая стоимость; трудность и опасность ликвидации отказов. Метод камерных зарядов применяется ограниченно. При ведении горных работ этот метод почти не применяется, но широко используется в гидротехническом и мелиоративном строительстве.

При выполнении работ по взрыванию небольших объемов горных пород в условиях, где трудно применять буровую технику, небольшие заряды размещают в рукавах, т. е. в горизонтальных или наклонных выработках небольшого (0,5×0,5 м) сечения и глубиной до 5 м (рис. 7.3).

Комплекс технических мероприятий при взрывании малокamerных зарядов включает в себя проходку выработок, зарядание и забойку рукавов, монтаж взрывной сети, взрывание и осмотр места взрыва.

Рукава, как правило, проходят вручную в мягких породах, в средних и крепких породах с применением взрывных работ путем простреливания шпуров.

Длину рукава принимают равной не более 5 м, а с.п.п. равной длине рукава: $W_p = (0,5 \div 0,85) H \leq 5$ м; расстояние между зарядами $a = (1,0 \div 1,4) W_p$.

Рукава заряжают ВВ в патронах или пакетах. Длина заряда не превышает $\frac{1}{3}$ длины рукава; остальную часть засыпают забойкой.

Метод малокамерных зарядов применяется ограниченно из-за низкой производительности взрывников, большой трудоемкости проходки рукавов и повышенной опасности ведения взрывных работ. На карьерах этот метод может быть использован при высоте уступа до 8 м.

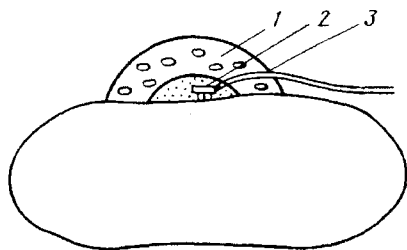


Рис. 7.4. Схема расположения накладного заряда на негабарите:

1 — забойный материал; 2 — заряд; 3 — детонирующая трубка

Накладным зарядом называют заряд ВВ, располагаемый на поверхности разрушаемого объекта (рис. 7.4).

Взрывание накладными зарядами применяют при разделке негабаритов, т. е. при вторичном дроблении. Негабарит дробят взрыванием накладного заряда ВВ с помощью детонирующего шнура или детонатора.

Комплекс мероприятий при взрывании накладных зарядов включает в себя: размещение зарядов на объекте, их забойку, монтаж взрывной сети, взрывание и осмотр.

Разрушение и дробление объекта происходят в основном под действием только ударных волн, поэтому наблюдаются большой звуковой эффект и сильная ударная воздушная волна. Опасная зона при взрывании составляет не менее 300 м.

Метод очень прост и не требует выполнения буровых работ. Массу накладного заряда ВВ можно определить по формуле Л. И. Барона

$$Q_n = \frac{q_n b c}{k_{ВВ} k_\gamma}, \quad (7.6)$$

где q_n — расчетный удельный расход ВВ, кг/м³; b и c — соответственно ширина и толщина куска, м; $k_{ВВ}$ — коэффициент, учитывающий тип ВВ (для аммонитов 1,0, для акваторов 1,4); $k_\gamma = 1,3$ — переводный линейный коэффициент, учитывающий, что величины b и c — максимальные измерения куска.

Заряжание осуществляется порошкообразными, гранулированными, пластичными или прессованными ВВ. При этом их располагают таким образом, чтобы ВВ и инициатор имели устойчивое положение.

Удельный расход ВВ при этом способе достигает 3 кг/м³ и выбирается при средней длине негабарита 0,5—0,6 м в зависимости от крепости пород:

f	< 4	5 — 9	10 — 14	15 — 20
q_n , кг/м ³	< 1,3	1,4 — 1,5	1,6 — 1,8	1,9 — 2,0

Разновидностью взрывания накладных зарядов являются кумулятивные заряды. Разрушение происходит вследствие торцевого удара и кумулятивного эффекта взрыва, зависящего от формы выемки и заряда, типа ВВ, толщины и материала облицовки. Для снаряжения зарядов

используются наиболее мощные вещества (гексоген, скальный аммонит, тротил).

Контрольные вопросы

1. Какие методы ведения взрывных работ применяются при проведении геологоразведочных выработок?
2. Для каких целей используют метод кумулятивных зарядов?
3. Какие недостатки присущи скважинной отбойке?
4. Что называется котловым зарядом?
5. В каких случаях применяют методы камерных и малокамерных зарядов?
6. Как определяется требуемая масса накладного заряда?

§ 2. Взрывание на выброс и рыхление при проходке геологоразведочных канав и траншей

В геологоразведке взрывчатые вещества применяют в процессе проходки канав и траншей для разрыхления горных пород или для разрушения и удаления (выброса) пород из выработки.

В соответствии с принятой технологией проходки разведочных канав машинные (как, впрочем, и ручной) способы отбойки применимы только в породах ниже средней крепости (до V категории по буримости). Поэтому в более крепких породах использование ВВ становится характерной особенностью проходческого процесса (предварительное взрывное рыхление плотных пород III—IV категорий по буримости повышает производительность проходческих работ). Взрывное разрыхление пород сочетают с машинной (скреперы, бульдозеры, экскаваторы) и ручной выемкой и удалением этих пород из проходимой выработки. Породы рыхлят при одной (верхней) обнаженной поверхности массива, как правило, зарядами ВВ, размещенными в наклонных шпурах или неглубоких скважинах.

В зависимости от размеров поперечного сечения канав I и крепости пород шпуры 2 располагают в один ряд по оси канавы или в два ряда (рис. 7.5).

Основным принципом расчета зарядов ВВ является положение о том, что разрушенный объем пропорционален массе заряда.

Имеется много формул для расчета зарядов, которые, сохраняя указанный принцип, отличаются лишь формой и рассчитываемыми величинами. В частности, большинство известных формул различаются только предположениями о формах воронки взрыва, принимаемых при

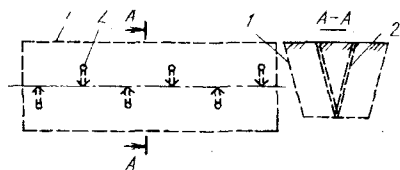


Рис. 7.5. Двухрядное расположение шпуров при проходке канав

расчете (конус, усеченный конус, пирамида и пр.), что приводит лишь к изменению величин коэффициентов.

Согласно закону подобия, разрушаемый объем для одиночного сосредоточенного заряда пропорционален W^3 , а для одиночного удлинненного заряда — W^2 .

Для сосредоточенных зарядов рыхления

$$Q = k W^3, \quad (7.7)$$

где k — расчетный коэффициент, кг/м³.

Для сосредоточенного заряда выброса

$$Q = q_n W^3 (0.4 + 0.6n^3), \quad (7.8)$$

где q_n — расчетный расход ВВ, кг/м³; n — показатель действия взрыва.

Формула (7.8) выведена М. М. Боресковым в прошлом веке.

Величина q_n численно дает удельный расход ВВ при $n = 1$. Погрешность формулы (7.8) не превышает $\pm 10 \div 15\%$.

Величина k в формуле колеблется в значительных пределах в зависимости от требуемой степени дробления.

Разрушение породы и ее удаление из выработки достигаются при взрывах усиленного выброса с показателем действия взрыва $n = 1.2 \div 2.5$. Расстояние между зарядами в ряду a (м) рассчитывают в зависимости от глубины их заложения $h_1 \approx W$. Так, при $h_1 < 1.5$ м $a = h_1 n$, при $h_1 \geq 1.5$ м $a = 0.5h_1 (n + 1)$.

Глубина эффективного взрывного рыхления является оптимальной для шпура (скважины) определенного диаметра, и если она меньше проектной глубины канавы H , то целесообразно последнюю проводить послойно. При этом число слоев $K_c = H / H_0$, а мощность каждого слоя $H_c = H / K_c$.

Метод удлиненных горизонтальных зарядов выброса применяется при образовании траншей с ровным дном и выдержанным сечением. Вначале проходится зарядная траншея шириной 0.2—1 м и глубиной, определяемой по формуле

$$h_{z1} = W + 0.5d_3, \quad (7.9)$$

где d_3 — диаметр удлиненного заряда, м; W — линия наименьшего сопротивления, м.

Масса заряда Q_z на 1 м выемки (кг) рассчитывается по формуле

$$Q_z = q_n W^2 (n^2 + 0.4n - 0.4). \quad (7.10)$$

Величина л.н.с.:

$$\text{в грунтах } W = (0.3 \div 0.6) H_B; \quad (7.11)$$

$$\text{в скальных породах } W = (0.7 \div 1.0) H_B, \quad (7.12)$$

где H_B — заданная глубина выемки, м.

Взрывы на выброс применяют при крутизне горных склонов свыше 30°, когда применение механизации и землеройной техники становится практически невозможным. Взрывы на сброс применяют также для

создания плотин и перемычек. Для скважинных зарядов используют вертикальные и наклонные скважины.

Масса заряда на сброс рассчитывается по формуле

$$Q_{сб} = Q_v \sqrt{\cos \alpha}, \quad (7.13)$$

где Q_v — масса заряда выброса при горизонтальной поверхности, кг;
 α — угол наклона взрываемого массива, градус.

Радиус отрыва R_n (м) в подгорную сторону равен ширине полки сброса

$$R_n = W \sqrt{1 + n^2}, \quad (7.14)$$

где $n = 1.0 \div 1.8$ — показатель действия взрыва.

Радиус отрыва в нагорную сторону

$$R_n = (1.8 \div 2.0) W. \quad (7.15)$$

Дальность развала L (м):

$$\text{для камерных и линейных зарядов } L = 5nW; \quad (7.16)$$

$$\text{для скважинных зарядов } L = 10 \sqrt{Hq}, \quad (7.17)$$

где H — высота обрушаемого уступа, м; q — удельный расход ВВ, кг/м³.

Интервал замедления между взрывами отдельных зарядов определяется в зависимости от глубины заложения зарядов и принятых средств взрывания в пределах 0,025—4 с. Чем больше глубина заложения зарядов, тем большим принимается интервал замедления.

Взрывы на выброс при проходке разведочных канав практиковались ранее в довольно больших масштабах. Этот способ хотя и характеризуется высокой производительностью работ (при относительно небольших затратах труда и времени выполняются значительные объемы канавных работ), однако ему присущи весьма существенные недостатки. К основным недостаткам относятся: большой объем выработки, достигаемый за счет ее ширины (при глубине 1,5 м ширина канавы в верхней части превышает 6 м), при недостаточной геологической информации: значительное загрязнение и изменение при взрыве структуры пород подошвы и бортов канавы; большие нарушения земной поверхности не только вследствие увеличенной ширины выработки, но и некомпактности образующихся за ее бортами породных отвалов, причем разлет кусков достигает многих десятков метров.

Проходка канав взрывом на выброс разрешается только в исключительных случаях — в труднодоступной (преимущественно гористой) местности, куда невозможно обеспечить доставку горных машин и при биологически малоценном почвенном покрове.

Контрольные вопросы

1. Для каких целей в геологической разведке применяют взрывание на выброс и рыхление?
2. Напишите основные расчетные формулы для определения массы сосредоточенных зарядов рыхления и выброса.

3. Как рассчитывается расстояние между зарядами?
 4. В каких случаях применяют постоиную проходку канав взрывами на выдер...
- рыхление?

§ 3. Взрывные работы при проведении подземных горных выработок

Горные выработки проводят в массиве с различными физико-механическими свойствами и структурными особенностями; они могут иметь различные направления, срок службы и назначение.

Выработки проводят сплошным или углубным забоями как в однородных, так и в неоднородных породах.

Проведение выработок включает в себя проходческие (бурение, заряджание и взрывание шпуров, погрузка породы и возведение крепи) и вспомогательные (транспортировка взорванной горной массы, проветривание, прокладка вентиляционных труб и электрических кабелей) операции.

Совокупность и взаимная увязка проходческих операций, повторяющихся в течение определенного промежутка времени, называется проходческим циклом.

Методы ведения буровзрывных работ при проведении выработок должны обеспечивать минимальные переборы и максимально возможное сохранение естественной прочности пород.

Подвигание забоя за цикл должно быть максимальным. Правильно выбранные параметры буровзрывных работ при проведении обеспечивают коэффициент использования шпура (k , и. ш.) в пределах 0,85—0,9 (в мягких породах до 1,0).

Качество дробления горной массы должно соответствовать технологическим параметрам погрузочных машин и транспортных средств. Развал горной массы после взрыва комплекта шпуров должен быть удобным для погрузки породы и крепления выработки.

Основные условия безопасности проведения подземных горных выработок — поддержание их устойчивости, точное выполнение проекта временного крепления и сохранение крепи в целости при проведении взрывных работ.

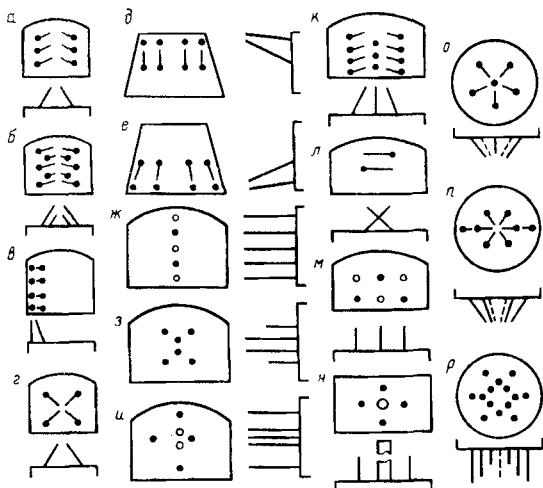
Взрывные работы разрешается вести только при наличии надежно возведенной крепи, соответствующей данным геологическим условиям. Отставание возведения временной крепи при производстве работ не должно превышать величины одной заходки, определенной проектом.

Шпуры в комплекте, пробуренные в забое выработок, по назначению делят на три группы: врубовые, вспомогательные и оконтуривающие.

Взрыв зарядов ВВ во врубовых шпурах создает дополнительную свободную поверхность. Бурят врубовые шпуры на 0,2—0,3 м глубже остальных. При проведении подземных горных выработок применяют

Рис. 7.6. Виды врубов для проходческих работ:

а вертикальный клиновой; *б* двойной клиновой; *в* боковой; *г* пирамидальный; *д* верхний; *е* нижний; *ж* шелевой; *з* «шагающий»; *и* спиральный; *к* клино-шелевой; *л* «ножницы»; *м* призматический; *н* вруб-скважина; *о* воронкообразный; *п* эллиптический; *р* тройной вертикальный (ступенчатый)



ся следующие схемы расположения врубовых шпуров (рис. 7.6). Классификация типов врубов приведена в табл. 7.1.

Отбойные шпур, взрывающиеся после врубовых, предназначены для дробления основного объема горной массы путем расширения полости, образованной врубовыми шпурами; оконтуривание (последнее) — для придания выработке проектных сечений и формы.

Расположение шпуров должно быть таким, чтобы исключить подрыв одного заряда взрывом другого. В большинстве случаев глубина

Таблица 7.1

Классификация типов врубов

Характеристика врубов	Отличительные признаки	Название врубов	Условия эффективности применения
Наклонные с расположением врубовых шпуров наклонно к плоскости забоя	Врубовая шель с одной стороны оконтурена врубовыми шпурами, а с другой — одной стенкой выработки; врубовые шпур наклонные	Верхний, нижний, боковой	Наличие ярко выраженной естественной плоскости, по которой может отрываться порода, напластование, кливаж, зеркало скольжения и др.
То же	Врубовая шель оконтурена врубовыми шпурами с двух или нескольких сторон; врубовые шпур наклонные	Клиновой (вертикальный, пирамидальный, воронкообразный)	Выработка площадью сечения 4 м ² независимо от геологических особенностей
Прямые, расположенные перпендикулярно к плоскости забоя	Врубовые шпур, перпендикулярные к плоскости забоя, сближены так, чтобы при взрыве разрушалась перегородка, отделяющая их один от другого	Призматический, шелевой, спиральный, призматический «шагающий» шпуром	Выработки любого сечения независимо от геологических особенностей

шпуров принимается равной 1,5—2,5 м. Подвигание забоя за один взрыв всегда меньше глубины шпуров.

На основе анализа достоинств и недостатков и практических данных установлены области применения различных врубов.

Клиновым вруб предназначен для проведения горизонтальных выработок площадью сечения не менее 4 м² и ширине более 1,8 м в трещиноватых породах.

При проведении стволов шахт применяются пирамидальный и воронкообразный врубы.

Прямые врубы (особенно призматический) широко используют в выработках малой площади сечения, в отдельных случаях при проведении выработок большой площади сечения, особенно в крепких и крупноблочных породах.

Основными параметрами буровзрывных работ при проведении горных выработок являются: удельный расход ВВ, глубина, число и диаметр шпуров, расстояние между ними, масса заряда в шпуре и расход ВВ на взрыв.

Параметры взрывания, расположение шпуров, число и глубина шпуров в комплекте определяются по паспорту буровзрывных работ. В паспорте указаны также геологические условия, физико-механические свойства пород и структурные особенности массива, сведения о взрывных работах в данном забое и мероприятия по технике безопасности.

Оконтуривающие шпуры бурят на расстоянии 10—15 см от проектного контура выработки и с некоторым наклоном от устья в направлении контура выработки. Концы шпура не должны заходить за пределы проектного контура сечения выработки.

Концы отбойных шпуров комплекта должны заканчиваться в одной плоскости, соответствующей заданному подвиганию забоя за одно взрывание.

Эффективность взрывных работ оценивается коэффициентом использования шпуров η , характеризующимся отношением подвигания забоя l_z за один цикл к глубине шпура $l_{ш}$. Для крепких пород ($f > 4$) $\eta = 0,8$, для пород средней крепости ($f = 3 \div 4$) $\eta = 0,9$ и слабых ($f < 3$) $\eta = 1,0$.

Средняя глубина комплекта шпуров (м)

$$l = \frac{0,75 T_{ц} k_n}{T_{см} \left(\frac{\varphi_1 N}{H_6 n_6} + \frac{S_{шп} \eta}{H_n n_n} + \frac{\varphi_2 \eta}{l_p H_{кр} n_{кр}} \right)}, \quad (7.18)$$

где $T_{ц}$ — продолжительность проходческого цикла (принимается кратной смене, т. е. один, два, три цикла в смену), ч; k_n — плановый коэффициент невыполнения существующих технических норм выработки; $T_{см}$ — продолжительность рабочей смены, ч; φ_1 — коэффициент совмещения во времени бурения шпуров с погрузкой породы (при отсутствии совмещения равен единице, при полном совмещении — нулю, в среднем составляет 0,3—0,6); N — число шпуров в забое; H_6 , H_n , $H_{кр}$ — соответ-

ствующие нормы выработки на бурение шпуров, погрузку породы и возведение крепи на одного рабочего в смену; $n_б, n_п, n_{кр}$ — соответственно число рабочих, занятых на бурении шпуров, погрузке породы и возведении крепи; $S_{пр}$ — площадь сечения выработки в проходке, м²; η — коэффициент использования шпура; φ_2 — коэффициент совмещения во времени крепления выработок с погрузкой породы (принимается аналогично коэффициенту φ_1); l_p — расстояние между рамами крепи, возводимой в забое, м.

Подвигание забоя за цикл

$$l_u = l\eta, \quad (7.19)$$

где l — длина шпура.

Длина наклонного шпура

$$L = l/\sin \alpha, \quad (7.20)$$

где α — угол наклона шпура к плоскости забоя, градус.

При определении глубины клинового или пирамидального вруба в зависимости от ширины выработки соблюдают условие

$$l_{вр} \leq l_{пр},$$

где $l_{пр}$ — предельная глубина шпуров клинового вруба (м), равная $(0,25 B \pm 0,05) \operatorname{tg} \alpha$ (B — минимальный размер выработки, м); знак минус принимается при клиновом и пирамидальном врубах, знак плюс при врубе «ножницы».

Величину l ориентировочно можно принимать по табл. 7.2.

Длина заряда в шпуре

$$l_{з.ф} = UL,$$

где U, L — соответственно коэффициент заполнения и длина шпура.

При диаметре заряда ВВ, равном 28—40 мм, $l_{з.ф}$ для пород V—VIII групп ($f = 2 \div 6$) составляет 0,6—0,7, а для пород X—XI групп ($f = 10 \div 20$) — 0,7—0,75 м. При диаметре, равном 45 мм, — соответственно 0,35—0,45 и 0,45—0,5 м (группы пород приведены по классификации СНиП).

Т а б л и ц а 7.2

Глубина врубов (м) в зависимости от коэффициента крепости пород и ширины выработки

Ширина выработки, м	Коэффициент крепости пород f						
	2-6	6-8	8-10	10-13	13-16	16-18	18-20
2,0	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7
2,5	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
3,0	2,1	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2
3,5	2,4	2,2	1,9	1,7	1,6	1,5	1,4
4,0	2,8	2,6	2,2	2,1	1,9	1,8	1,7
4,5	3,2	2,9	2,5	2,4	2,3	2,0	1,9
5,0	3,5	3,2	2,9	2,7	2,4	2,2	2,2

Таблица 7.3

Удельный расход ВВ, кг/м³

Группа пород и пород по классификации СНиП	Площадь сечения забоя, м ²		
	< 3	3 -	> -
IV	1.0	0.4	0.3
V	1.3	0.7	0.4
VI	2.3	1.3	0.9
VII XI	3.3	2.0	1.6

Общее число шпуров на забой (комплект шпуров) определяется по формуле

$$N = n_{отб} + n_{вр} = \frac{q(S_{пр} - nS_{вр})\eta}{Pn}, \quad (7.21)$$

где $n_{отб}$ и $n_{вр}$ — соответственно число отбойных и врубовых шпуров; q — удельный расход ВВ на 1 м³ отбиваемой породы, кг; $S_{пр}$ — площадь сечения выработки в проходке, м²; $S_{вр}$ — площадь забоя, окончиваемая врубными шпурами, м²; P — вместимость ВВ в 1 м шпура, кг; n — коэффициент, учитывающий тип применяемого вруба, равный 1/2, для пирамидального — 1/3.

Значение q принимают по табл. 7.3 с введением приведенных ниже значений поправочного коэффициента k , учитывающих удельный расход ВВ в зависимости от глубины шпуров $h_{шп}$:

$h_{шп}$, м	0.75	1.00	1.50	2.00	≥ 2.50
k	1.10	1.00	0.90	0.85	0.80

Удельный расход ВВ уточняется в процессе проведения выработки. Масса заряда отбойного шпура определяется вместимостью заряжаемой его части

$$Q_{отб} = Pl_{эф}. \quad (7.22)$$

Масса врубового шпура $Q_{вр}$ принимается на 20% больше, а окончивающего $Q_{ок}$ на 20% меньше массы ВВ, расходуемой на один отбойный шпур.

Общий расход ВВ Q (кг) на весь комплект шпуров составит:

$$Q = Q_{отб}n_{отб} + Q_{вр}n_{вр} + Q_{ок}n_{ок}. \quad (7.23)$$

При ведении очистных работ применяют скважинные заряды, так как взрывная отбойка, проводимая ими, более эффективна.

В зависимости от крепости пород и систем разработки условия взрывания зарядов в очистных забоях разнообразны.

Скважины располагают параллельно или веером, а отбиваемые слои в зависимости от горнотехнических условий и системы разработки могут быть горизонтальными, вертикальными или наклонными. Число зарядов, взрывааемых за один прием, и последовательность взрывания зависят от устойчивости кровли.

Контрольные вопросы

1. Что называется проходческим циклом?
2. Какие шпурсы входят в комплект при проведении подземной выработки?
3. В чем состоит назначение врубовых шпуров?
4. Какие типы врубов Вы знаете?
5. Что такое КИШ?
6. Как определяется общее число шпуров на забой?

§ 4. Взрывные работы при проходке шурфов и стволов

Буровзрывные работы при проходке шурфов применяются при пересечении выработкой пород, относимых к V и более высоким категориям буримости по ЕНВ, когда использование энергии взрыва для рыхления и отбойки этих пород становится неизбежным.

Взрывная отбойка пород осуществляется наиболее часто и является неотъемлемой частью технологической операции при проходке глубоких шурфов. При относительно небольших площадях поперечного сечения шурфов, а также в зависимости от свойств пересекаемых выработкой пород шпуровые комплекты состоят из шпуров глубиной 0,8–1,2 м, причем в комплектах иногда отсутствуют врубовые шпурсы. Наиболее часто используемые комплекты шпуров в выработках с небольшой площадью поперечного сечения показаны на рис. 7.7.

Количество шпуров в комплекте определяют по формуле

$$N = 1,27 q S \gamma d^2 \rho, \quad (7.24)$$

где q — удельный расход ВВ, кг/м^3 ; S — площадь поперечного сечения шурфа в проходке, м^2 ; $\gamma = 0,60 \div 0,85$ — коэффициент заполнения шпуров ВВ; d — диаметр патрона ВВ, м ; ρ — плотность ВВ в патронах, кг/м^3 .

Удельный расход аммонита 6ЖВ приведен ниже.

Коэффициент крепости

пород f	1,5	2–3	4–6	7–9	10–14	15–18
Удельный расход ВВ, кг/м^3	1,40	1,50	1,92	4,20	4,50	5,00

Расход ВВ Q (кг) на цикл может быть определен по формуле

$$Q = Shq, \quad (7.25)$$

где h — глубина отбойного шпура, м .

Шпурсы заряжают вручную, шпуровые заряды взрывают электри-

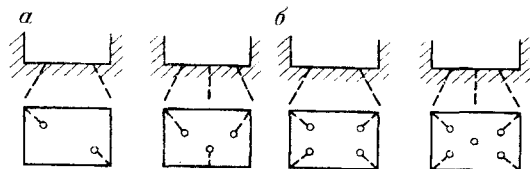


Рис. 7.7. Комплекты шпуров в породах II—III (а) и IV—V (б) категорий по буримости

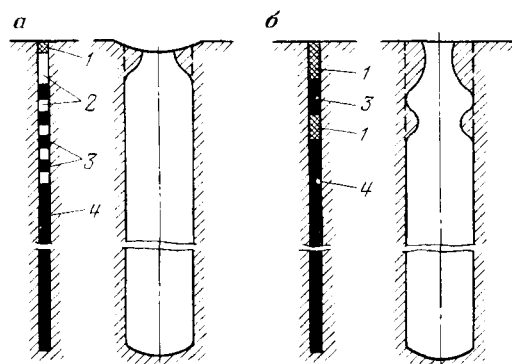


Рис. 7.8. Конструкция скважинных зарядов для проходки шурфов:

а — заряд с воздушными промежутками; *б* — с промежутками из забойного материала; 1 — забойная воздушная промежутки; 2 — промежуточный материал; 3 — заряды; 4 — донный заряд

ческим способом. После первых взрывов количество ВВ, расходуемое на один цикл, подлежит уточнению.

Взрывной способ проходки шурфов может быть применен в мягких легкосжимаемых породах — глинах, суглинках, супесях и лессах. При этом способе при взрыве удлиненного заряда, размещенного в скважине, в результате деформации пород образуется примерно цилиндрическая полость — шурф (рис. 7.8). Во влажных породах процесс образования горной выработки протекает более эффективно. При относительно правильной форме поперечного сечения, представляющей собой круг, диаметр выработки на различных ее участках не остается постоянным, однако в однородных породах отклонения его от среднего значения невелики (расположение инициаторов в донной части заряда обеспечивает большую стабильность диаметра выработки). В верхней части выработки, как правило, образуется воронка выброса (особенно в выработках диаметром более 1 м).

Диаметр скважинного заряда ВВ d_3 (м), необходимого для получения полости шурфа диаметром D_n (м), определяют по формуле

$$d_3 = D_n / \sqrt{H_{пр} \Delta}, \quad (7.26)$$

где $H_{пр}$ — показатель простреливаемости породы, $\text{дм}^3/\text{кг}$; Δ — плотность ВВ в заряде, $\text{кг}/\text{дм}^3$.

Формула (7.26) в основном пригодна для случая, когда используют аммонит 6ЖВ или аналогичные ему по работоспособности ВВ. Для других ВВ необходим пересчет величины заряда по работоспособности. Глубина заряда определяется глубиной шурфа. Для уменьшения размеров воронки в устьевой части полости верхняя часть заряда ВВ должна не доходить до поверхности земли на 1,5–2 м.

Взрывной способ характеризуется незначительными затратами времени, труда и средств на проходку выработок и наиболее целесообразен в тех случаях, когда шурфы используют в качестве вскрывающих выработок, а геологическую информацию получают при проходке рассеянок из этих шурфов.

Вследствие ограниченных поперечных размеров шурфов и стволов, проводимых при геологоразведке, взрывы зарядов осуществляются в условиях значительного зажима, что затрудняет работу зарядов по дроблению. В таких условиях возрастает роль врубовых шпуров, которые, как правило, нужно располагать в более слабых участках породы в забое.

Применяемые при проходке вертикальных нисходящих выработок типы врубов не столь разнообразны, как при проведении горизонтальных выработок. Разведочные шурфы имеют по сравнению со стволами небольшую площадь, поперечное сечение обычно прямоугольной формы. При площади поперечного сечения до 2 м^2 комплект шпуров складывается из врубовых и оконтуривающих, при больших площадях сечений добавляются отбойные.

Пирамидальный вруб состоит из четырех шпуров, образующих в пространстве перевернутую пирамиду и располагаемых в средней части забоя. Применяется в монолитных или слаботрешиноватых крепких и средней крепости породах при проходке стволов прямоугольной формы при горизонтальном и пологом напластованиях пород. Этот вруб является наиболее эффективным.

Клиновый вруб обычно располагают вдоль меньшей оси шурфа и применяют в крепких и средней крепости породах при крутом напластовании или трещиноватости. Если угол наклона трещин составляет $30-60^\circ$, то целесообразно применять клиновый вруб, направленный по простиранию пород.

Призматический вруб применяется при проходке шурфов малой площади сечения, когда из-за стесненных условий невозможно пробурить наклонные шпуры.

Щелевой и боковой врубы применяются в забоях с выраженной слоистостью, ориентированной трещиноватостью, включением участков более слабых пород, тектонических нарушений и т. п.

Типы врубов при проходке стволов шахт, в общем, применяются такие же, как и при проходке шурфов.

Конический вруб отличается от вышерассматриваемого пирамидального тем, что шпуры (более четырех) образуют в пространстве конус. Применяется в стволах круглого сечения в монолитных или с горизонтальным и пологим напластованиями пород различной крепости. Для уменьшения разлета породы в центре конуса пробуривают один-три вспомогательных шпура на $2/3$ средней глубины шпуров комплекта.

Бочкообразный вруб образует в пространстве цилиндр, ось которого совпадает с осью ствола. Применяется в стволах круглого сечения в крепких породах различного залегания.

В стволах прямоугольной формы отбойные шпуры пробуривают вертикальными рядами, а в стволах круглого сечения они располагаются по окружностям. Оконтуривающие шпуры пробуривают с наклоном к контуру ствола с тем, чтобы получить качественное оконтуривание.

Основные параметры комплекта шпуров при проходке вертикаль-

ных горных выработок рассчитываются по той же методике, что и при проведении горизонтальных выработок. Усредненные диаметры окружностей, по которым располагаются отбойные шпуров, определяются по формуле

$$D_o = D_{вр} + \frac{n}{m-1} (D_{пр} - D_{вр}), \quad (7.27)$$

где D_o — диаметр окружности, по которой располагаются отбойные шпуров; m ; n — порядковый номер окружности отбойных шпуров, начиная с первой, следующей за врубом; m — общее число окружностей шпуров, включая окружности врубовых и оконтуривающих шпуров; $D_{вр}$ — диаметр окружности врубовых шпуров, м; $D_{пр}$ — диаметр ствола в проходке, м.

Контрольные вопросы

1. Какова область применения взрывного способа проходки шурфов?
2. Какие комплекты шпуров используют при проходке шурфов небольшой площади поперечного сечения?
3. В чем состоит сущность взрывного способа проходки шурфов в мягких легкообламываемых породах?
4. Какие типы врубов применяются в геологоразведке при проведении стволов?
5. Как рассчитываются параметры комплекта шпуров при проходке стволов?

§ 5. Взрывные работы при проходке восстающих

Применение взрывных работ при проходке восстающих при разведке месторождений полезных ископаемых ограничено сложностью, трудоемкостью и высокой стоимостью. Проходка восстающих может вестись мешкошпуровым способом или секционным взрыванием скважинных зарядов.

Площадь поперечного сечения восстающих обычно находится в пределах 2—4 м², поэтому глубина шпуров составляет 1,2—1,7 м. В комплекте шпуров используют клиновые, пирамидальные, боковые и прямые призматические врубы, располагаемые с таким расчетом, чтобы отбойка породы производилась в направлении к рудоспускаемому отделению.

Наиболее перспективными являются прямые призматические врубы с незаряжаемой скважиной диаметром от 60 до 90 мм. Расход ВВ на 1 м выработки для таких врубов снижается в среднем на 12% по сравнению с клиновыми врубами.

Технология проходки восстающих взрыванием зарядов в глубоких скважинах предусматривает выбуривание в контурах восстающего на всю его глубину комплекта параллельных взрывных скважин, их заряджание и взрывание.

Существенным преимуществом этого способа проходки является выполнение технологических операций без присутствия людей в любой проходимой выработке.

Взрывание зарядов в скважинах производится в одну или две ступени.

дии. Соответственно различают одностадийную («безврубную») и двухстадийную проходку. Во втором случае в первую стадию взрывается одна или несколько врубовых скважин, а во вторую осуществляется взрывание зарядов в других скважинах с целью расширения вруба до контуров поперечного сечения восстающего.

В комплекте скважин при безврубной проходке предусматривается бурение одной скважины большого (по сравнению с другими) диаметра. Эта скважина не заряжается и на нее осуществляется отбойка породы при взрыве зарядов в других скважинах.

Отбойка породы осуществляется за один прием сразу на всю длину выработки или с разбивкой на участки, называемые секциями. В условиях геологоразведочных работ этот способ проходки используется редко. С учетом относительно небольших параметров технических восстающих из перечисленных разновидностей технологии проходческих работ в геологоразведке предпочтительна проходка выработки с двухстадийным посекционным взрыванием зарядов в скважинах. При этом отпадает необходимость в бурении скважин различных диаметров и появляется возможность корректировки и более качественного формирования выработки за счет соответствующих изменений массы и конструкций зарядов.

Расчетом были установлены следующие параметры отбойки породы при взрыве удлиненного заряда аммонита 6ЖВ диаметром 76 мм, расположенного перпендикулярно к поверхности забоя, с забойкой длиной 0,3 м.

Длина заряда, м	0,5	1,0	1,5
Масса заряда, кг	2,8	4,6	6,8
Глубина воронки, м	0,53	0,62	0,84
Радиус воронки, м	0,28	0,34	0,23

Эти расчетные данные позволяют судить о параметрах воронки разрушения породы при взрыве заряда в первой (врубной) скважине. В расчетах длина заряда принималась 0,5—1,5 м, наибольшие размеры воронки соответствовали заряду размером 1 м, которая и была принята в качестве оптимальной. Отбойка породы происходит при наличии вруба, образовавшегося при взрыве первого заряда.

Расстояние скважин a (м), взрываемых во вторую стадию, от скважины, взрывающей первой, рекомендуют определять по формуле

$$a = 1,93d \sqrt[3]{\frac{\rho_{ВВ}}{q_1 f_0 \gamma}} + d/2, \quad (7.28)$$

а глубину заряжаемой части этих скважин (с учетом нижней забойки)

$$H \approx 2a - d = L + e, \quad (7.29)$$

где d — диаметр скважины, мм; $\rho_{ВВ}$ — плотность ВВ, кг/м³; q_1 — удельный расход ВВ, кг/м³; f_0 — коэффициент структуры пород; $\gamma = 3,34 \div 20^*$

$\div 4,94$ — коэффициент зажима; e — коэффициент работоспособности ВВ; L, l — глубина соответственно заряда и нижней забойки, м.

С учетом коэффициента использования заряженной части скважины продвижение забоя восстающего за цикл определяется по формуле

$$H_{\text{ц}} = 3,37d \sqrt[3]{\frac{P_{\text{ВВ}}}{q_1 \gamma e}}.$$

Контрольные вопросы

1. Чем ограничена область применения взрывных работ при проходке восстающих в геологоразведке?
2. Какие врубы наиболее перспективны при проходке восстающих шпуровыми зарядами?
3. Опишите технологию проходки восстающего с двухстадийным посекционным взрыванием скважинных зарядов.

ГЛАВА 8. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ

§ 1. Особенности взрывания мерзлых пород

Рыхление мерзлых пород взрывным способом осуществляется как при открытых, так и при подземных разработках.

На открытой поверхности рыхление мерзлых грунтов осуществляется скважиной отбойкой (рис. 8.1).

Качество дробления мерзлых пород достигается с помощью внедрения эффективных типов ВВ, применения многорядного короткозамедленного взрывания, рациональных схем коммутации взрывной сети, выбора эффективных параметров взрывания.

При проведении подземных выработок площадью сечения $3-8 \text{ м}^2$ число шпуров на забой и их глубину определяют в зависимости от физико-механических свойств горных пород, способа бурения и организации работ. Как правило, бурят 7—12 шпуров на забой глубиной 1,2—1,5 м. Удельный расход ВВ составляет 1,2—1,8 кг/м^3 .

Эффективное дробление мерзлых пород обеспечивается при глубине шпуров не более 0,95 глубины промерзания пород.

При сооружении котлованов, каналов и траншей часто применяют

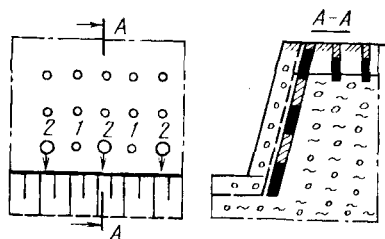


Рис. 8.1. Схема рыхления мерзлых пород на уступах скважины:

1 и 2 — соответственно мелкие и глубокие шпуровые

шелевзрывной способ рыхления мерзлых пород, сущность которого состоит в том, что при помощи баровой или дискофрезерной буровой машины нарезаются парные щели с расстоянием между ними 0,9—1,3 глубины щели.

При взрыве зарядов мерзлая порода дробится и смещается в сторону компенсационной щели. Щель, в свою очередь, создает дополнительную свободную поверхность, способствующую улучшению дробления пород.

При шелевом методе рыхления мерзлых пород определяют следующие параметры: толщину слоя мерзлого грунта H , м; глубину щели $h_{щ} = 0,9 H$, м; глубину заложения заряда h_z , м; ширину щели b , м; расстояние между щелями a , м. Величина $a/h_{щ} = m$ носит название коэффициента сближения щелей.

При взрывных работах рассчитывают основные параметры: удельный расход ВВ; массу сосредоточенного и линейного зарядов ВВ.

$$\text{Расстояние между щелями } a = (0,9 \div 1,3) h_{щ}. \quad (8.1)$$

$$\text{Общий расход ВВ } Q = q(V - V_{щ}). \quad (8.2)$$

где q — удельный расход ВВ, кг/м³; $V_{щ}$ — объем грунта в щелях, м³.

При скважинной уступной отбойке скважины бурят с некоторым перебором с целью увеличения величины преодолеваемой с. п. п. и качественной проработки подошвы уступа. Масса заряда для рыхления мерзлых пород скважинными зарядами

$$Q = qW_p a H. \quad (8.3)$$

Расчет параметров взрыва сводится к определению предельных с. п. п.

$$W_0 = 53 k_T d \sqrt{\frac{\Delta e}{\gamma}}, \quad (8.4)$$

где Δ — плотность заряда, г/см³; γ — плотность породы, г/см³; e — относительный коэффициент работоспособности ВВ; d — диаметр заряда, м; $k_T = 1 \div 1,2$ — коэффициент трещиноватости, зависящий от строения массива и трещиноватости.

Полученное значение уточняется по проверочной формуле

$$W = \sqrt{P/q}, \quad (8.5)$$

где P — вместимость ВВ в 1 м скважины, кг.

Расстояние между рядами скважин

$$b = (0,75 \div 1) W. \quad (8.6)$$

Расстояние между скважинами в ряду

$$a = m W, \quad (8.7)$$

где $m = 1 \div 2,5$ — коэффициент сближения скважин.

С целью эффективного и безопасного ведения взрывных работ составляют технический расчет и паспорт на производство взрывных

работ с учетом их особенностей и требований Единых правил безопасности при взрывных работах.

Контрольные вопросы

1. Каково оптимальное соотношение глубины шпуров и глубины промерзания?
2. В чем состоит сущность шелевзрывного метода рыхления мерзлых пород?
3. По какой формуле определяется предельная с. п. п. при скважинной устойчивой отбойке пород?

§ 2. Контурное взрывание

При проведении взрывных работ обычными способами наблюдается разрушение массива горных пород за пределами проектного контура выработки, вследствие чего образуются шероховатости, заколы и трещины, снижается устойчивость бортов, уступов, боковых стенок и кровли выработок. При проведении горных выработок фактические размеры превышают проектные.

Характер разрушения законтурного массива при обычном взрывании зарядов окоонтуривающих шпуров неодинаков в выработках различного поперечного сечения (рис. 8.2). Глубина распространения трещин h_T (см) пропорциональна отношению давления продуктов детонации в шпуре в момент взрыва p_n к пределу прочности пород на сжатие $\sigma_{сж}$, т. е.

$$h_T = k \frac{p_n}{\sigma_{сж}}, \quad (8.8)$$

где k — коэффициент пропорциональности.

Среднее значение коэффициента пропорциональности k равно 1,6. Глубина распространения зоны трещинообразования в песчаниках составляет 70—75 см, а в сланцах — 120—125 см. Это обстоятельство следует учитывать при определении расстояния между линиями расположения отбойных и окоонтуривающих шпуров, особенно при обычном способе взрывания.

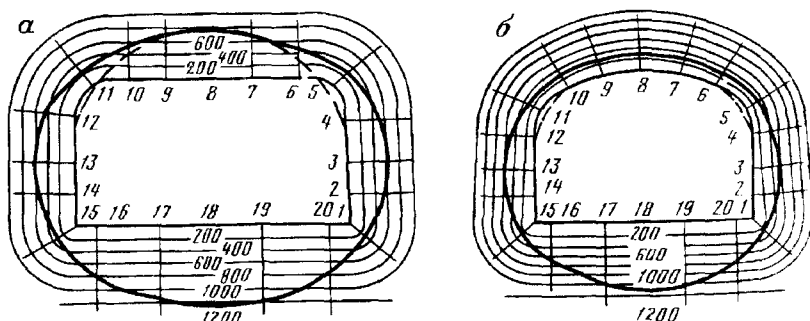


Рис. 8.2. Линии максимальных глубин трещинообразования, измеренные по реперам 1—20 в законтурном пространстве в выработках прямоугольной (а) и арочной (б) форм поперечного сечения

При проведении выработок с длительным сроком службы, когда необходимо получить контур выработки, близкий к проектному с возможно наименьшим нарушением законтурного массива, применяют способ контурного взрывания, при котором используется следующее или предварительное целеобразование.

При предварительном целеобразовании шпуров по контуру выработки взрывают в первую очередь для образования контурной щели. Взрывание зарядов в центральной части выработки происходит с экранированием энергии волн напряжений щелью, что значительно ослабляет действие взрыва на стенки и кровлю.

Предварительное целеобразование широко применяется при проведении выработок обычного сечения. Минимальное нарушение законтурного массива достигается следующими способами: взрыванием оконтуривающих шпуров рассредоточенными зарядами, взрыванием оконтуривающих шпуров силовыми зарядами малого диаметра, сближением оконтуривающих шпуров в грудновзрываемых крепких породах или применением специальных вкладышей в оконтуривающих шпурах со стороны стенок выработки. Заряды оконтуривающих шпуров взрывают после взрыва предконтурных зарядов.

Контурное взрывание с предварительным целеобразованием применяют при проведении выработок большой площади сечения, для чего по контуру выработки шпуров на расстоянии 20-40 см один от другого заряжают зарядами малого диаметра. Этот метод можно применять там, где допустимо оставание крепи от забоя. Первоочередное взрывание оконтуривающих шпуров часто приводит к разрушению крепи выработки.

Недостатки контурного взрывания: на 15-20% увеличивается число шпуров, возрастают затраты труда на зарядание оконтуривающих шпуров из-за сложности конструкции зарядов.

При применении последующего целеобразования (плавкое взрывание) одновременно взрываются сближенные заряды особой конструкции по контуру горной выработки. Конструкция зарядов должна обеспечивать максимально возможное ослабление действия взрыва в сторону охраняемого массива. Это достигается применением рассредоточенных зарядов, низкобрызгистых ВВ, патронов ВВ уменьшенного диаметра с продольной кумулятивной полостью, обращенной в сторону ядра выработки, и зарядов, у которых со стороны законтурного массива уложены продольные деревянные планки. Основными факторами, оказывающими влияние на качество оконтуривания выработки, являются: величина, диаметр и конструкция заряда, расстояние между оконтуривающими шпурами, т. е.

При взрыве вокруг каждого шпурового заряда образуется цилиндрическое поле напряжений. Через некоторый промежуток времени происходит взаимодействие полей напряжений соседних зарядов, вследствие этого повышается концентрация напряжений по линии размещения зарядов.

Волна сжатия от взрыва оконтуривающих шпуров, достигая откры-

той поверхности, образованной взрывом зарядов врубных и отбойных шпуров, отражается от нее. Отраженная волна, распространяясь в глубь массива, может привести к значительному разрушению законтурной части массива. В результате повышения концентрации напряжений по линии оконтуривающих зарядов образуется трещина, которая препятствует распространению отраженных волн в законтурное пространство.

Таким образом, разрушение законтурной части массива снижается, если к моменту подхода отраженной волны к контуру выработки по линии оконтуривающих зарядов уже образованы трещины. Это можно при условии

$$t_1 \leq t_n + t_0, \quad (8.9)$$

где t_0 и t_n — время движения соответственно прямой волны сжатия до открытой поверхности и отраженной от нее волны растяжения до линии зарядов, с.

Время образования трещины между двумя смежными полостями, образующимися при взрыве (с),

$$t_1 = a_k / (2v_r), \quad (8.10)$$

где a_k — расстояние между шпурами по контуру выработки, м; v_r — скорость развития трещин в данной породе, м/с.

С учетом этого

$$t_n + t_0 = 2W'_k / v_p, \quad (8.11)$$

где W'_k — л. п. с. для оконтуривающих шпуров.

Подставив значения t_n и t_0 , получим

$$\frac{a_k}{2v_1} \leq \frac{2W'_k}{v_p}, \text{ или } \frac{a_k}{W'_k} \leq \frac{4v_1}{v_p}, \quad (8.12)$$

где v_p — скорость распространения взрывной волны.

Величина $a_k / W'_k = m_k$ является относительным коэффициентом сближения оконтуривающих шпуров.

Следовательно, для получения щели между образовавшимися при взрыве полостями и минимальных нарушений массива за контуром выработки относительный коэффициент сближения оконтуривающих скважин должен удовлетворять условию

$$m \leq 4v_1 / v_p. \quad (8.13)$$

Скорость развития трещин, распространение продольных волн в массиве и коэффициент оконтуривающих зарядов зависят от трещиноватости пород. На границе зоны трещиноватости отражается часть волны сжатия, образованная взрывом оконтуривающих зарядов.

Поэтому расстояние между шпурами в оконтуривающем ряду следует принимать с поправкой на глубину трещинообразования от взрыва отбойных предконтурных зарядов последнего ряда.

Таблица 8.1

Рекомендуемые линии наименьших сопротивлений (л. н. с.) в породах различной трещиноватости

Порода	Расстояние между трещинами, м	Коэффициент относительной монолитности	Л. н. с. оконтуривающих шпуров, м
Относительно монолитная	$> 1,5$	1,0	0,5 0,6
Среднетрещиноватая	0,15 1,5	0,5	0,6 0,7
Сильнотрещиноватая	$< 0,15$	0,2	0,7 0,8

$$a_k \leq (0,8 + 1,0)(W_k - l_1), \quad (8.14)$$

где W_k — линия наименьшего сопротивления оконтуривающих зарядов, м.

Число оконтуривающих шпуров определяется по формуле

$$N_k \approx 1,05 \Pi / a_k + 1, \quad (8.15)$$

где Π — проектный периметр выработки, м.

Рациональная вместимость ВВ в 1 м оконтуривающих шпуров

$$P_k = [0,4 + k_m (0,63 - \frac{2,1}{f})] W_k, \quad (8.16)$$

где k_m — коэффициент относительной монолитности пород (табл. 8.1).

Масса заряда оконтуривающего шпура

$$Q_k = P_k l_k, \quad (8.17)$$

где l_k — длина оконтуривающего шпура, м.

Расстояние между устьем шпуров и контурной линией не должно превышать 10 см, при этом дно шпура должно точно выходить на проектный контур. Глубину оконтуривающих шпуров рекомендуется принимать на 20–30 см меньше глубины врубовых и отбойных шпуров.

Контурное взрывание при проведении капитальных выработок позволяет получить почти точное соответствие фактического и проектного контуров выработки, снизить шероховатость стенок и кровли, сократить объем по уборке излишней породы, уменьшить законтурное разрушение массива. При этом применяют электрическое короткозамедленное взрывание. Оконтуривающие шпуры взрывают одним замедлением.

Выравнивание криволинейных участков достигается бурением дополнительных незаряженных шпуров, располагаемых по контуру выработки между заряжаемыми.

Контрольные вопросы

1. От чего зависит глубина распространения наведенных взрывом трещин в законтурный массив?
2. Какие методы контурного взрывания Вы знаете?

3. Как определяется коэффициент сближения зарядов, обеспечивающий образование трещин между ними с минимальным нарушением массива за контуром?
4. Назовите основные преимущества контурного взрывания.

§ 3. Взрывные работы при строительстве горных и геологоразведочных предприятий

Взрывные работы широко применяют в жилищном строительстве геологоразведочных предприятий. В результате использования энергии взрыва ВВ создают траншеи, котлованы.

При ведении взрывных работ в скальных породах наиболее важно определить действие взрыва заряда в глубь массива.

Для сохранности устойчивости массива горных пород от разрушений в процессе взрывных работ в СНиПе предусмотрено сохранение на наиболее ответственных сооружениях защитного слоя мощностью 0,8 расчетной длины L , т. е. вышележащих зарядов, но не менее 1 м.

Взрывание перемычек из суглинка, моренного грунта (рис. 8.3) осуществляется в тех случаях, если скорость потока воды после взрыва обеспечивает интенсивный размыв перемычки, а также если взрывные работы предназначены для облегчения механизированных работ по разбору перемычек.

Скважины располагают по квадратной сетке. Параметры взрывания и величина заряда такие же, как и для скальных пелликов. В отдельных случаях перемычки разрушают камерными зарядами взрывами нарыхление.

При отсутствии механизации работ суглинистые насыпные перемычки разрушают зарядами выброса, помещенными в шурфы. Шурфы позволяют использовать заряды с высоким показателем действия взрыва. Показатель действия взрыва принимается равным 2,5 - 3. Взрывание, как правило, многорядное, короткозамедленное.

Поскольку разрушение перемычек взрывом осуществляется на застроенных территориях, особое внимание следует уделять условиям безопасности, связанным с сейсмичностью, силой ударной воздушной волны, гидравлическим ударом и разлетом осколков пород.

Посадка насыпи на болото. Взрывной метод посадки дорожных насыпей на болото используют при строительстве железных и

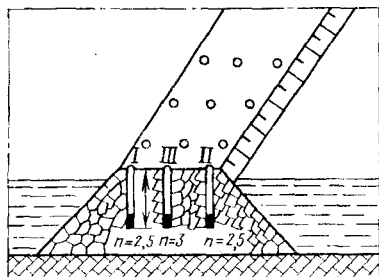


Рис. 8.3. Схема расположения зарядов при взрывании насыпных перемычек (η — коэффициент сближения зарядов)

автомобильных дорог. С помощью скважинных зарядов применяют способы продольных поперечных траншей.

Способ продольных траншей применяют при отсыпке насыпи для железнодорожного транспорта. При этом в первую очередь взрывают осевую траншею, а после ее засыпки — две боковые траншеи.

Ширина осевой траншеи $B_{ос} = 2Hn$ (H — глубина заложения зарядов, м; n — показатель действия взрыва), а боковой $B_{б} = 1,67 Hn$.

При взрывных работах по посадке насыпей на болото следует применять водоустойчивые ВВ или ВВ в патронах, покрытых водоизолирующим составом, а также водоустойчивые средства взрывания. Заряды, опускаемые в скважины, помещают в изолирующие гильзы.

Взрывание зданий и сооружений. Этот вид взрывания осуществляют для обеспечения безопасности обрушения остатков строений, дымовых труб, конструкций мостов из бетона, железобетона, кирпичной и бутовой кладки, а также металлических конструкций, буровых вышек и т. д.

Взрывные работы при строительстве необходимо выполнять строго в соответствии с проектом, к которому прилагаются рабочие чертежи и пояснительная записка.

Обрушения зданий и сооружений, отслуживших свой срок, осуществляются расположением и взрыванием зарядов ВВ по их периметру для сквозного подбоя стен зданий и сооружений, в результате чего они падают на свое основание. Высота развала при этом составляет $1/3$ высоты здания, а ширина развала не превышает $1/2$ высоты стены.

Перед началом работ в обрушаемом здании устанавливают местонахождение дымоходов и пустот в стенах. Все перегородки, перекрытия, стропила, крышу, дверные и оконные коробки по возможности разбирают и удаляют от места взрыва. Затем выполняют следующие мероприятия:

- 1) уточняют план здания с точным измерением стен, размеров дверных, оконных и других проемов, измерением колонн, сводов, опор, расположение дымоходов и т. д.;

- 2) определяют прочностные характеристики материала здания (кирпича, бетонной кладки, бетона, железобетона и др.);

- 3) изучают подземные коммуникации и другие объекты, находящиеся на расстоянии $1/2$ высоты стен.

При полном подбое шпуров необходимо располагать в два и более рядов в шахматном порядке и бурить их в простенках и стенах на одном уровне, но не ниже 0,5 м от поверхности земли. Глубина шпуров должна составлять $2/3$ толщины стен, а в углах стен — $2/3$ толщины стены, измеренной по биссектрисе угла здания.

Расстояние между шпурами в ряду при кладке на цементном растворе равно глубине шпура, а при известковом — $1,2$ его глубины. Расстояние между рядами шпуров принимают таким, чтобы каждый шпур находился на равном удалении от шпуров своего и соседнего рядов.

Заряды в углах стен располагают в шпурах, пробуренных один над другим. Крайние шпуры, граничащие с оконными, дверными проемами

Таблица 8.2

Удельный расход аммонита 6ЖВ при взрывании зданий, кг/м³

Толщина стены, м	Вид строительного материала			
	Кирпич на известковом растворе	Кирпич на цементном растворе	Бетон	Железобетон
0,45	1,70	1,90	2,00	2,2
0,50	1,50	1,70	1,80	2,0
0,60	1,30	1,40	1,50	1,7
0,70	1,10	1,20	1,40	1,4
0,75	1,00	1,00	1,10	1,2
0,80	0,85	0,85	0,92	1,1
0,90	0,77	0,83	0,90	1,0
1,0—1,2	0,68	0,77	0,85	0,9
1,3—1,5	0,60	0,70	0,77	0,77
1,6—1,7	0,55	0,60	0,70	0,7
1,8—1,9	0,43	0,47	0,51	0,6

и прочими пустотами, располагают от них на расстоянии не менее половины расстояния между шпурами в ряду.

Заряды в простенках располагают так же, как и в стенах, причем крайние шпуры пробуривают на расстоянии 0,5 глубины шпура от краев простенка. В простенках, где по ширине необходимо заложить только один шпур, для увеличения величин подбоя над первым шпуром располагают второй на расстоянии, соответствующем величине, указанной выше. В простенках, ширина которых меньше их толщины, шпуры бурят со стороны проема.

Масса заряда (кг) для обрушения здания

$$Q = qL, \quad (8.18)$$

где q — удельный расход ВВ, зависящий от свойств ВВ, толщины стены, крепости, а также материала кладки, принимается по данным, приведенным в табл. 8.2; L — глубина шпура, м.

Заряд при этом не должен занимать больше половины шпура, остальную часть шпура заполняют забоечным материалом.

Диаметр шпура d (дм) зависит от массы заряда, глубины шпура, плотности заряжания и определяется по формуле

$$d = \sqrt{\frac{8Q}{\pi L \Delta}}, \quad (8.19)$$

где Q — масса заряда в шпуре, кг; L — глубина шпура, дм; Δ — плотность заряжания, кг/дм³.

Заряжание осуществляется патронированными ВВ. Допускается изготовление боевиков, а также патронирование ВВ в обособленном помещении обрушаемого здания при естественном свете или при электроосвещении.

В качестве забойки применяют песок, отходы обогащательных фабрик, другие виды щебня.

Заряды взрывают с помощью электродетонаторов или детониру-

Таблица 8.3

Удельный расход аммонита 6ЖВ при взрывании колонн, кг/м³

Диаметр колонны, м	Вид строительного материала			
	Кирпич на известковом растворе	Кирпич на цементном растворе	Бетон	Железобетон
2,0—2,5	2,13	2,34	2,55	2,76
2,7—3,0	1,91	2,13	2,50	2,51
3,2—4,0	1,70	1,87	2,04	2,21
4,2—5,0	1,49	1,66	1,79	2,00

шего шнура. При электрическом взрывании зарядов вся электропроводка в здании должна быть обесточена к моменту начала заряжания. Взрывная сеть дублируется. При валке зданий и сооружений огневое взрывание запрещается.

Шпуры, располагаемые в вертикальном ряду, бурят такой же глубины.

Если здания имеют своды и колонны, то необходимо наряду с подсечкой стен на том же уровне производить подсечку колонн и опор сводов. Колонны толщиной менее 1,5 м подрывают двумя рядами шпуров, пробуриваемых с одной стороны колонны. Массу заряда определяют по данным, приведенным в табл. 8.3, и формуле

$$Q = 1,25 qL. \quad (8.20)$$

При обрушении фабрично-заводских труб, башен, колонн и т. п. в стесненных условиях, когда следует придерживаться строго определенного направления, одним рядом шпуров делают сквозной подбой со стороны направления валки на $2/3—3/4$ периметра и подкол по остальной части периметра стены выше уровня подбоя на 0,7—1 м. Расположение и расчет зарядов при валке подобных объектов производят по тому же принципу, что и при обрушении зданий.

Если фабрично-заводские трубы, башни и т. п. примыкают к зданиям, не подлежащим разрушению, и имеют с ними жесткую связь, то предварительно производят вертикальную отсечку взрыванием зарядов, расположенных один над другим в один ряд в плоскости отсечки.

Для предохранения от разрушения и сотрясения подземных сооружений и коммуникаций (газопровода, водопровода, канализации и т. д.) на месте предполагаемого падения основной массы обрушаемого сооружения выкладывают амортизатор. Он представляет собой две насыпи из песка или щебня высотой 1 м, идущие параллельно подземному сооружению на расстоянии 1,2 м от его внешних сторон, по верху насыпей кладут деревянные балки, которые затем перекрывают поперек деревянными или металлическими балками.

Если вблизи обрушаемого взрывом сооружения проходит воздушная линия электропередачи и другие коммунальные сети, которым угрожает разрушение, то к моменту взрыва их необходимо убрать.

При взрывных работах по обрушению в населенных местах обязательно применяют меры защиты от разлетающихся осколков, при этом

используют локализаторы (деревянные щиты, мешки с землей или песком, фашины и металлические сетки). С наружной стороны здания должны быть установлены щиты толщиной не менее 50 мм. Щиты обязательно должны перекрывать не менее чем на 50 см сферу дробления стены. В нижней части они должны отстоять от стен здания не меньше чем на 0,5 м и касаться стен только верхней частью. Оконные и дверные проемы обрушаемого здания закрывают деревянными щитами. Застекленные просветы зданий, расположенные в непосредственной близости от взрываемого объекта и обращенные к нему, закрывают деревянными щитами или удаляют стекла на время взрыва; здания вблизи расположенных зданий должны быть заблаговременно предупреждены о взрыве, а при определенных условиях на момент взрыва должны покинуть помещения.

После окончания заряжания подают первый сигнал, по которому весь персонал покидает обрушаемое здание и удаляется за пределы опасной зоны. Охрана занимает свои места и останавливает движение по прилегающим улицам. Руководитель взрывных работ должен лично убедиться в отсутствии людей в опасной зоне. После второго сигнала руководитель работ подсоединяет концы магистрали к рубильнику или взрывной машине. По третьему сигналу включается ток.

Люди допускаются в разрушенное здание только с разрешения руководителя взрывных работ после личного осмотра им места взрыва. При разборке обрушенного взрывом здания обязательно должен присутствовать дежурный взрывник.

Взрывные работы по проходке котлованов под столбы и опоры. При строительстве горных промышленных и геологоразведочных сооружений применяют фундаменты из камуфлетных свай, если грунты характеризуются слабой несущей способностью. Основным показателем получения камуфлетных свай является простреливаемость пород $\Pi_{пр}$.

При $\Pi_{пр} \geq 100 \text{ дм}^3/\text{кг}$ пята для свай получают путем прострела пробуренной скважины и введением в нее железобетонной сваи. При этом масса заряда

$$Q = \frac{R^3}{0,24\Pi_{пр}}, \quad (8.21)$$

где Q — масса заряда, кг; R — проектный радиус основания сваи, дм.

Расчетная масса заряда уточняется по результатам экспериментальных взрывов.

При проходке котлованов выполняют операции в следующей последовательности: пробуривают скважину, диаметр которой на 30—50 мм больше диаметра сваи и равен 300—500 мм; опускают в скважину трубу длиной 1,5—2,0 м, затем заряд ВВ (на шпагате); засыпают буровую мелочь в зазор между стенками скважин и зарядом; присоединяют провод от электродетонатора к магистрали; удаляют рабочих в безопасную зону; производят взрыв. Взрывным способом сооружаются также ямы для установки телеграфных столбов и опор ЛЭП.

Контрольные вопросы

1. В каких случаях применяют взрывание перемычек из суглинка и моренного грунта?
2. Для чего используют взрывной метод посадки насыпей на болото?
3. Какие мероприятия осуществляют перед началом работ по взрыванию зданий и сооружений?
4. Какой показатель является основным при расчете массы заряда для получения камуфлетной свай?

ГЛАВА 9. ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ В СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

§ 1. Сейсмические волны и упругие параметры горных пород

Сейсмическая разведка основана на изучении особенностей распространения механических колебаний в горных породах. Источником возбуждения механических колебаний в горных породах может быть взрыв ВВ в породе, в воздухе или невзрывные источники — удар, вибрация. Механические колебания приводят к деформациям среды. Если деформации в среде носят характер упругих, т. е. тело после приложения нагрузки мгновенно восстанавливает свое прежнее состояние и форму, то мы имеем дело с упругими волнами. Распространяясь в горных породах в различных направлениях, упругие волны отражаются и преломляются на границах сред с различными упругими свойствами, а также рассеиваются и поглощаются средой. Отраженные и преломленные волны регистрируются специальной высокочувствительной аппаратурой на земной поверхности, в подземных выработках, в скважинах. Время прихода и интенсивность отраженных и преломленных волн зависят от глубины границ, на которых они образовались, скорости распространения упругих колебаний в горных породах и других факторов.

При взрыве заряда ВВ в среде вокруг него образуются зоны разрушения (измельчения, трещинообразования и остаточных деформаций) и зона сотрясения (упругих деформаций). Выводы теории упругих волн применимы только к зоне упругих деформаций и не могут быть использованы для зоны разрушения и остаточных деформаций.

Продольная и поперечная сейсмические волны. Теория упругих волн, основываясь на законе Гука, устанавливающем линейную связь между деформациями и напряжениями, дает фундаментальные соотношения, определяющие условия динамического равновесия абсолютно упругой среды. Это выражается уравнением, определяющим смещения, происходящие в любой заданный момент в некоторой области упругой среды, так называемое волновое уравнение, или уравнением Ляме. Это дифференциальное уравнение в общем виде имеет сложный вид. Главным выводом из его решения при некоторых дополнительных условиях является то, что получается два частных уравнения: в первом находятся члены, определяющие только деформации первого рода (расширения и сжатия), а во втором — только деформации второго рода (сдвиг). Следовательно, в упругой среде независи-

мо распространяются упругие колебания двух типов — в виде передачи деформации первого рода, названной продольной сейсмической волной, и в виде передачи деформаций второго рода, названной поперечной сейсмической волной. Так как деформации первого рода приводят к изменению элементарных объемов вещества, продольную волну иногда называют волной дилатансии или волной сжатия (расширения). Под дилатансией обычно понимается предел изменения элементарного объема, вызванного деформацией по отношению к его первоначальной величине.

Продольная волна, обозначаемая индексом P (Prima), на сейсмограммах регистрируется первой, и поперечная S (Secunda), распространяются по всему объему упругой среды и называются объемными волнами.

Скорости распространения волн связаны с упругими константами среды

$$v_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}; \quad v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}, \quad (9.1)$$

где ρ — плотность среды; λ — упругая константа Ляме, равная

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}; \quad (9.2)$$

μ — модуль сдвига, выражаемый через другие упругие константы как

$$\mu = \frac{E}{2(1 + \nu)}, \quad (9.3)$$

где E — модуль упругости; ν — коэффициент Пуассона, определяемый как отношение относительного поперечного сжатия элементарного объема среды к его относительному продольному растяжению.

Упругие модули связаны между собой выражением

$$E = 2\mu(1 + \nu). \quad (9.4)$$

Из соотношения $v_p/v_s = \sqrt{\frac{\lambda}{\mu} + 2} > \sqrt{2}$ следует, что продольные волны всегда распространяются с большей скоростью, чем поперечные. Из выражения $\sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$ явствует, что в средах, где $\mu = 0$ (в невязких жидкостях, газах и т. д.) $v_s = 0$. Следовательно, в этих средах поперечные волны не распространяются. Подставив выражения (9.2) и (9.3) в (9.1), получим выражения скорости продольных и поперечных волн через E и ν :

$$v_p = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1 - \nu}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}}; \quad v_s = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1}{2(1 + \nu)}}. \quad (9.5)$$

У горных пород ($1,5 \text{ г/см}^3 \leq \rho < 131 \text{ г/см}^3$) незначительно изменяются модуль Юнга E и коэффициент Пуассона ν .

Коэффициент Пуассона для осадочных пород $\nu = 0,18 \pm 0,50$, для

Таблица 9.1

Скорости распространения продольных волн для различных пород

Порода	v_p , м/с		v_s/v_p	
Рыхлая поверхностная порода	100	500	0,56	0,59
Гравий, галька	100	600	0,28	0,67
Влажный песок	600	1800	0,10	0,33
Глина	900	2800	0,10	0,20
Вода	1430	1680		
Лед	3100	4200	0,43	0,50
Песчаник	1800	4000	0,33	0,59
Известняк	2100	6100	0,29	0,63
Мел	1800	3700	0,37	0,45
Сланец	2800	4300	0,17	0,37
Гравий	4600	5800	0,46	0,65
Метаморфические породы	3000	7000	0,50	0,59

кристаллических пород $v = 0,19 \div 0,38$; модуль сдвига составляет примерно половину модуля Юнга.

Значения v_p и v_s/v_p для некоторых пород приведены в табл. 9.1.

Контрольные вопросы

1. Какие типы сейсмических волн Вы знаете?
2. Какие параметры горных пород влияют на распространение продольных и поперечных волн?
3. В каких средах и почему не распространяются поперечные волны?

§ 2. Поверхностные сейсмические волны

На границе однородной упругой среды (земной поверхности) и воздуха распространяется волна, траектории движения частиц в которой представляют эллипсы. Отношение горизонтальной и вертикальной осей эллипса близко к 0,7. Такие волны называются волнами Релея, они распространяются со скоростью $v_R \approx 0,9v_s$, где v_s — скорость поперечной волны в нижнем полупространстве (земной поверхности). Такие волны быстро затухают с глубиной, их амплитуда уменьшается примерно по экспоненциальному закону. Волны Релея, образующиеся при землетрясениях и имеющие значительные амплитуды, представляют опасность для зданий и сооружений. Они детально изучаются сейсмологией. В сейсморазведке волны Релея относятся к помехам, они мешают регистрировать полезные отраженные или преломленные волны, так как их интенсивность может во много раз превышать интенсивность полезных волн.

Еще одним типом поверхностных волн являются волны Лява. Они образуются тогда, когда на упругом полупространстве лежит тонкий слой, имеющий другую скорость v_{1s} . Волны Лява представляют суммарные колебания, образованные сложением смещений поперечной

волны, многократно отразившейся от верхней и нижней границ тонкого пласта. Скорость волн Лява зависит от частоты колебаний и изменяется от $0,9v_S$ для высоких частот до $0,9v_{LS}$ для низких частот.

§ 3. Характеристики сейсмических волн

Представим взрыв сферического заряда радиусом R с центром O в безграничной среде. Источником образования упругих волн будет сужающаяся зона разрушения. Поле смещений (сжатия и расширения) показано на рис. 9.1. От источника распространяется возмущение, имеющее сферическую симметрию, которое можно назвать сферической волной. Все пространство, окружающее источник, для фиксируемого времени t и δt разделяется на три области:

I — внутренняя сфера радиусом $r_{\text{в}} = v_p(t - \delta t)$, где возмущения уже прекратились;

II — сферический слой с внутренним радиусом $r_{\text{в}}$ и толщиной $\delta r = v_p \delta t$, в котором существуют возмущения;

III — наружная область радиусом $r_{\text{н}} = v_p t$, где возмущений еще не произошло.

Таким образом, в момент времени $tS \pm \delta t$ возмущения происходят в пределах сферического слоя

$$r_{\text{н}} = v_p t \geq r \geq v_p(t - \delta t) = r_{\text{вн}}.$$

Поверхность, ограничивающая снаружи этот слой, называется передним фронтом, или просто фронтом волны. Поверхность, ограничивающая этот слой изнутри, называется задним фронтом, или тылом волны. Оба эти фронта распространяются с одинаковой скоростью v_p . Линия, ортогональная фронту волны, называется лучом; в нашем случае это будут радиальные прямые, исходящие из центра источника. Распределение смещений среды вдоль луча для фиксированного времени имеет вид, показанный на рис. 9.2, а. В слое δR_p (рис. 9.2, б) происходит чередование положительных и отрица-

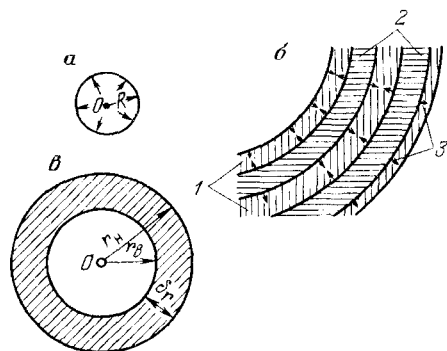


Рис. 9.1. Поле смещений от сферического источника продольной волны:

а — сферический источник; б — распределение зон сжатия (1), растяжения (2) и нулевых смещений (3); в — фронт и тыл волны.

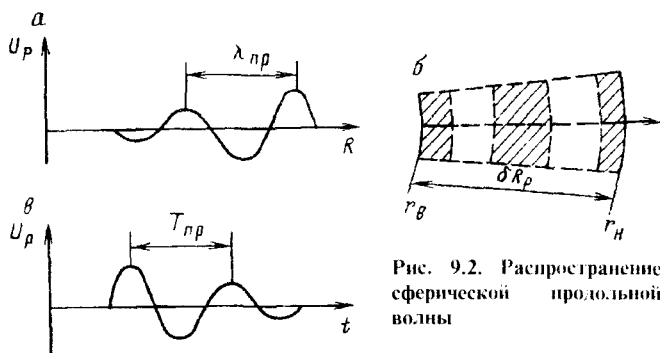


Рис. 9.2. Распространение сферической продольной волны

тельных смещений. С течением времени форма колебаний мало меняется, но амплитуда смещений уменьшается. График смещений частиц среды, находящихся на расстоянии $R = R_1$ от источника, показаны на рис. 9.2. а.

Расстояние между горбами или впадинами в пространственной волне называется видимой, или преобладающей длиной волны λ_{np} ; по времени расстояние между экстремумами — видимым, или преобладающим периодом колебаний T_{np} . Эти величины связаны зависимостью

$$T_{np} = \lambda_{np} / v_p. \quad (9.6)$$

В этом случае можно выделить преобладающую частоту $f_{np} = 1 / T_{np}$ и круговую частоту $\omega_{np} = 2\pi f_{np}$. За период T_{np} горб или впадина перемещается на отрезок, равный длине волны. Скорость перемещения горбов или впадин называется фазовой скоростью $v_f = \lambda_{np} / T_{np}$. В идеальной упругой среде $v_f = v_p$. Но в реальной поглощающей среде фазовая скорость отличается от скорости перемещения фронта волны — огибающей записи волны. Скорость перемещения огибающей записи волны называется групповой скоростью. Фазовая скорость зависит от видимой частоты колебаний.

Подобно гармоническим электромагнитным колебаниям можно ввести волновое (преобладающее) число k_{np} , представляющее собой действительное число, равное числу длин волн, укладывающихся на отрезке 2π метров.

$$k_{np} = 2\pi / \lambda_{np} = \omega / v_p. \quad (9.7)$$

Из соотношений (9.6) и (9.7) следует

$$\lambda_{np} = v_p T_{np} = \frac{v_p}{f_{np}} = 2\pi \frac{v_p}{\omega_{np}} = k_{np}. \quad (9.8)$$

Смещения в упругой среде при распространении продольной сферической волны по направлению r определяются выражением

$$u_{\text{п}} = \frac{A_0}{r^2} F\left(t - \frac{r}{v_p}\right) - \frac{A_0}{r} F'\left(t - \frac{r}{v_p}\right), \quad (9.9)$$

где A_0 — амплитуда продольной волны в точке O ; $F\left(t - \frac{r}{v_p}\right)$ — функция, называемая интенсивностью источника.

Отсюда видно, что смещение части определяется двумя слагаемыми. Вклад этих слагаемых зависит от расстояния. Первый член играет определяющую роль при значительном удалении от источника, второй — вблизи источника.

При условии $1/r \ll 1/r^2$ можно определить расстояние, когда смещение частиц в основном определяется членом с множителем $1/r$. В ближней же зоне смещение частиц пропорционально $1/r^2$. Выражение (9.9) показывает, что величина смещения (амплитуда) убывает с расстоянием. Это можно связать и с геометрическим расхождением сферической волны, когда плотность потока энергии уменьшается пропорционально r^2 , а так как амплитуда смещения равна корню квадратному из энергии, то амплитуда смещений сферической волны будет уменьшаться пропорционально только r .

В реальных породах часть энергии сейсмической волны необратимо переходит в другие виды энергии, например, в тепловую. В общем случае говорят о поглощении сейсмической волны. В дальней зоне на расстоянии r с учетом геометрического расхождения и поглощения амплитуду смещений сферической продольной волны можно выразить:

$$A_r = A_0 e^{-\alpha r} / r, \quad (9.10)$$

где A_0 — амплитуда смещений вблизи источника; α — амплитудный коэффициент поглощения, который зависит от упругих свойств пород, м^{-1} .

Поглощение можно отнести к участку пути, равному длине волны. Такой параметр называется **декрементом поглощения**

$$\delta = \alpha \lambda = \alpha v_p T, \quad (9.11)$$

где λ — длина волны; T — видимый период волны; v_p — скорость распространения волны.

Коэффициенты поглощения α_p и α_s существенно зависят от частоты колебаний ($\alpha \sim f$). α_p и α_s имеют минимальные значения в скальных, глинистых, а максимальные в рыхлых породах; при этом $\alpha_s > \alpha_p$.

Для магматических, метаморфических пород $\alpha_p = 10^{-5} \div 10^{-4} \text{ м}^{-1}$; для скальных, осадочных — $10^{-4} \div 10^{-3}$; для песчано-глинистых — $10^{-3} \div 10^{-1}$; для рыхлых — $1 \div 10^2 \text{ м}^{-1}$.

В некоторых случаях вместо α используется величина β — коэффициент затухания амплитуд, отражающий большее ослабление энергии сейсмической волны при отражениях и преломлениях на границах разных сред.

Сферическая поперечная волна характеризуется, как и про-

Рис. 9.3. Сферическая поперечная волна

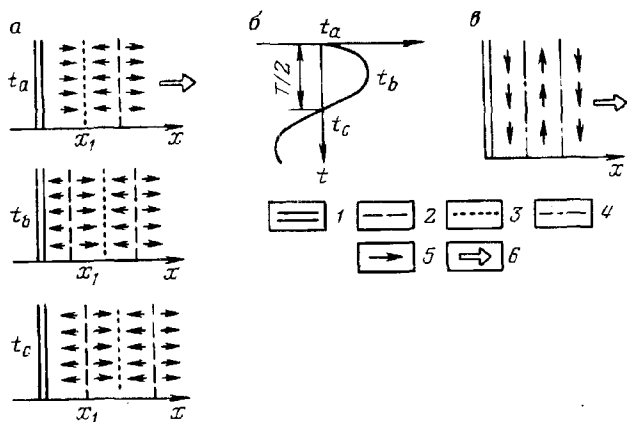
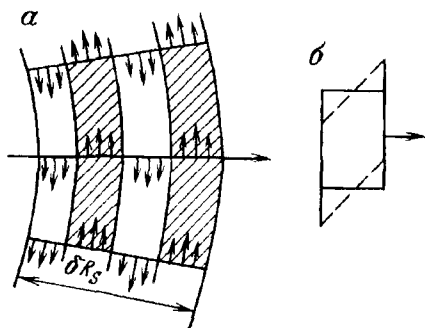


Рис. 9.4. Схема смещения частиц среды при распространении плоской продольной и плоской поперечной волн в направлении оси x :

a — продольная волна в моменты времени $t_a, t_b = t_a + T/4; t_c = t_a + T/2$ (T — период); b — смещение частиц плоскости $x = x_1$ в направлении оси x ; a — поперечная волна; 1 — излучатель; 2, 3, 4 — линии нулевого смещения частиц в данный момент времени; 5 — направление смещения частиц; 6 — направление распространения волны

дольная, преобладающей длиной волны, большим периодом колебаний, волновым числом и т. п. Главные отличия от продольной волны заключаются в характере деформации упругой среды и другой скорости распространения. Поперечная волна существует в слое $\delta R_S = v_S \delta t$. Смещения в ней перпендикулярны к направлению распространения и различаются по величине в соседних точках вдоль луча (рис. 9.3, a). Характер сдвиговых деформаций в поперечной волне подобен представленному на рис. 9.3, b .

На достаточно больших расстояниях от источника сферическая волна в пределах ограниченного участка может рассматриваться как плоская. Под плоской волной будет пониматься возмущение, поверхности равных фаз которого представляют собой плоскости, перпендикулярные к направлению распространения волны (рис. 9.4). По-

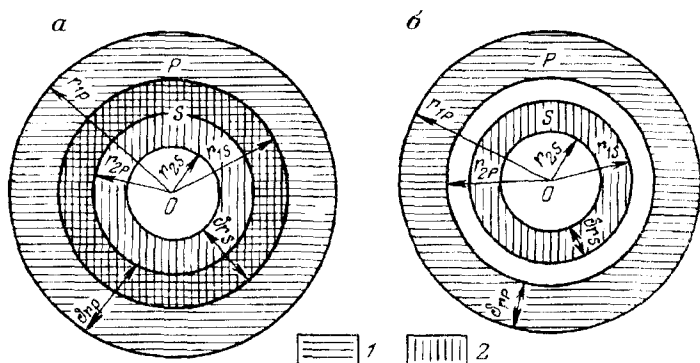


Рис. 9.5. Области существования продольной и поперечной волн от точечного источника: а — частичное разделение волн; б — полное разделение волн: 1 — область существования продольной волны; 2 — область существования поперечной волны

нятие плоской волны является абстракцией, но широко используется в теории распространения упругих колебаний. Однако надо представлять, что в плоской волне расхождение фронта отсутствует, и амплитуда смещений не зависит от расстояния до источника.

Выше было показано, что скорость распространения продольных P волн больше скорости поперечных S волн. Эти волны возникают одновременно, с течением времени происходит пространственное разделение этих волн. Радиусы фронта r_1 и тыла r_2 волн в некоторый момент времени t определяются соотношениями:

$$r_{1P} = v_P t; r_{2P} = v_P(t - \delta t) = r_{1P} - \delta r_P; \quad (9.12)$$

$$r_{1S} = v_S t; r_{2S} = v_S(v_S - \delta t)r_{1S} - \delta r_S.$$

Когда выполняется условие

$$r_{1S} > r_{2P} \text{ или } t < \frac{\delta r_P}{v_P - v_S}, \quad (9.13)$$

то в некотором сферическом слое, заключенном между сферами с радиусами r_{1S} и r_{2P} , продольная волна налагается на поперечную (рис. 9.5, а).

$$\text{В момент времени } t = \frac{\delta r_P}{v_P - v_S} = \frac{\delta t}{v_S/v_P} \quad (9.14)$$

происходит пространственное разделение волн. При дальнейшем возрастании времени, когда

$$t > \frac{\delta r_P}{v_P - v_S}, \quad (9.15)$$

области существования продольной и поперечной волн все более отделяются друг от друга (рис. 9.5, б).

1. Что такое фронт сейсмической волны и как распространяется волна?
2. Чем характеризуется затухание сейсмической волны?
3. При каких условиях происходит разделение продольной и поперечной волн?

§ 4. Отраженные и преломленные сейсмические волны

Неоднородность массива горных пород существенно влияет на распространение упругих колебаний. На поверхностях раздела разных сред происходят явления отражения, преломления, дифракции волн, возникновения поверхностных волн и т. п. Волновая картина зависит от распределения упругих и плотностных свойств, геометрии среды и т. п.

Рассмотрим случай отражения и преломления плоской продольной волны, падающей на плоскую поверхность раздела. В таком рассмотрении используется метод геометрической сейсмики, которая изучает законы распространения сейсмических волн на основе представлений о сейсмических лучах как направлениях, по которым происходит перенос энергии волны. Геометрическая сейсмика аналогична геометрической оптике, где есть понятие световых лучей, и имеет общие с ней законы.

Рассмотрим две упругие среды, разделенные плоской поверхностью (рис. 9.6, а). Верхняя среда имеет упругие параметры λ_1, μ_1 (параметры Ляме) и плотность ρ_1 , следовательно, характеризуются скоростями продольных v_{1p} и поперечных v_{1s} волн; нижняя — соответственно λ_2, μ_2, ρ_2 (v_{2p}, v_{2s}). Плоская продольная волна P падает на поверхность под углом α по нормали к плоскости. При падении волны на поверхность раздела каждая точка этой поверхности в соответствии с принципом Гюйгенса рассматривается как точечный источник вторичных волн. Генерируемые колебания распространяются в верхней среде — это отраженные волны — и в нижней среде — проходящие волны. Отраженные и проходящие волны меняются по времени так же, как и падающая волна, с тем же периодом колебаний T . Падающая на поверхность раздела продольная волна возбуждает четыре типа вторичных волн:

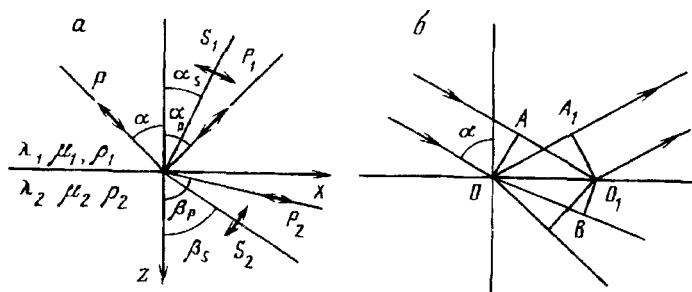


Рис. 9.6. Отражение и преломление плоской продольной волны, падающей на плоскую поверхность раздела

в первой среде — продольную P_1 и поперечную S_1 отраженные волны, во второй среде — продольную P_2 и поперечную S_2 проходящие волны. Рассмотрим две точки O и O_1 на поверхности раздела сред (рис. 9.6, а). В точке O фронт падающей волны OA приходит в точку O_1 позже, чем в точку O , на промежуток времени Δt . За это время волна проходит отрезок $OA_1 = \Delta t v_{p1}$. Примем $\Delta t = T$, тогда отрезок OA_1 равен длине продольной волны в первой среде

$$Tv_{p1} = \lambda_{p1}. \quad (9.16)$$

Отрезок OO_1 характеризует расстояние между точками с одинаковыми фазами вдоль направления, совпадающего с поверхностью раздела, а не в направлении распространения колебаний. В этом случае вводится понятие кажущейся длины волны λ_k . С истинной длиной волны эта волна связана соотношением

$$\lambda_k = \lambda / \sin \alpha. \quad (9.17)$$

За время $\Delta t = T$ от точки O отразится волна и пройдет расстояние, равное отрезку OA . Так как период колебаний в падающей и вторичных волнах одинаков, то отрезок OA_1 равен длине отраженной продольной волны λ_{p1} . Проходящая продольная волна, распространяющаяся во второй среде за это же время $\Delta t = T$, проходит расстояние $OB = Tv_{p2} = \lambda_{p2}$. Такую же картину можно представить и для отраженной и проходящей поперечных волн. На рис. 9.6, б показана проходящая поперечная волна с фронтом BO_1 . Для преломленных поперечных волн

$$\lambda_{s1} = Tv_{s1}; \quad \lambda_{s2} = Tv_{s2}.$$

Все волны имеют одинаковую кажущуюся длину вдоль направления, совпадающего с поверхностью раздела. На основании выражения (9.17) можно написать следующее равенство:

$$\frac{\lambda_p}{\sin \alpha} = \frac{\lambda_{p1}}{\sin \alpha_p} = \frac{\lambda_{s1}}{\sin \alpha_s} = \frac{\lambda_{p2}}{\sin \beta_p} = \frac{\lambda_{s2}}{\sin \beta_s}. \quad (9.18)$$

Период T для всех волн одинаков. Так как $\lambda = Tv$, уравнение (9.18) можем переписать в виде

$$\frac{v_{p1}}{\sin \alpha} = \frac{v_{p1}}{\sin \alpha_p} = \frac{v_{s1}}{\sin \alpha_s} = \frac{v_{p2}}{\sin \beta_p} = \frac{v_{s2}}{\sin \beta_s}. \quad (9.19)$$

Выражение (9.19) представляет собой обобщенный закон отражения и преломления, так называемый закон Снеллиуса.

Таким образом, при падении на границу плоской волны образуются вторичные волны различных типов — продольные и поперечные. Вторичные волны того же типа, что и падающая волна, называются *моготипными*, а волны, тип которых отличается от типа падающей волны, называются *обменными*. Для однотипной волны согласно закону Снеллиуса угол падения α равен углу отражения α_p , т. е. $\alpha = \alpha_p$.

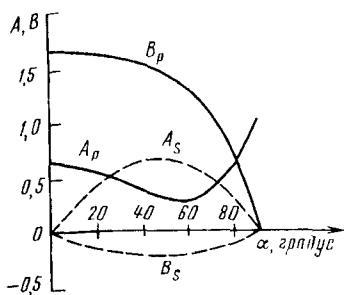


Рис. 9.7. Коэффициенты отражения и прохождения для плоской продольной волны при разных углах падения

Амплитуда вторичной волны при отражении и прохождении во вторую среду изменяется. Отношение амплитуд отраженной продольной a_p и поперечной волн a_s к амплитуде падающей волны a_0 называется коэффициентами отражения A_p и A_s :

$$A_p = \frac{a_p}{a_0} \text{ и } A_s = \frac{a_s}{a_0}. \quad (9.20)$$

Отношение амплитуд прошедшей в другую среду продольной b_p и поперечной b_s волн к амплитуде падающей волны a_0 называется коэффициентами прохождения B_p и B_s :

$$B_p = \frac{b_p}{a_0} \text{ и } B_s = \frac{b_s}{a_0}. \quad (9.21)$$

Отношения A_p , A_s и B_p и B_s зависят от волновых сопротивлений или акустических жесткостей среды. Волновое сопротивление представляет собой произведение плотности среды ρ на скорости распространения продольной v_p или поперечной v_s волны, т. е. $z = \rho v_p$ и $z = \rho v_s$.

Пример изменения коэффициентов отражения и прохождения для плоской волны, падающей из среды с большим волновым сопротивлением, на среду с меньшей акустической жесткостью при разных углах падения показан на рис. 9.7.

Из выражения (9.19) следует, что при $v_{p2} > v_{p1}$ угол прохождения всегда больше угла падения продольной волны, т. е. $\beta_p > \alpha$. При определенном значении α угол $\beta_p = 90^\circ$ и $\sin \beta_p = 1$. Такой угол α равен углу i_p и называется углом внутреннего отражения (или критическим углом). Из уравнения (9.19) следует:

$$\sin i_p = v_{p1} / v_{p2}. \quad (9.22)$$

Аналогичное явление наблюдается в случае проходящей поперечной волны при условии $v_{s2} > v_{p1}$ и угле $\alpha = i_s$. Тогда

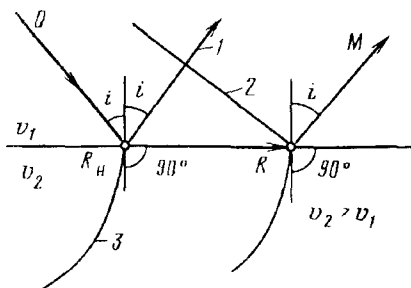


Рис. 9.8. Образование головной (преломленной) волны:

1 — начальный луч головной волны; 2 и 3 — фронт соответственно головной и проходящей волны

$$\sin i_S = v_{p1} / v_{S2}.$$

(9.23)

Проходящая волна при условии $\alpha > i_p$ представляет собой плоскую волну, распространяющуюся параллельно поверхности раздела. При таких углах коэффициенты прохождения и отражения становятся комплексными числами: это означает, что происходит фазовый сдвиг.

Частным, но важным представляется случай, когда волна падает на поверхность раздела по нормали, т. е. под углом $\alpha = 0$. Амплитудные коэффициенты для отраженной и проходящей поперечных волн в этом случае равны нулю $a_S = b_S = 0$, т. е. на поверхности раздела поперечных волн не образуется.

Коэффициенты отражения и прохождения в этом случае равны:

$$A_p = \frac{\rho_2 v_{p2} - \rho_1 v_{p1}}{\rho_2 v_{p2} + \rho_1 v_{p1}};$$

$$B_p = \frac{2\rho_1 v_{p1}}{\rho_1 v_{p2} + \rho_2 v_{p1}}.$$

(9.24)

Границы, на которых коэффициенты отражения составляют 0,2–0,5 и более, называются сплошными отражающими границами. При небольших различиях волновых сопротивлений на границах возникают отраженные волны небольшой амплитуды и такие границы называются слабыми.

Коэффициент отражения положительный при $\rho_2 v_2 > \rho_1 v_1$ и отрицательный при $\rho_2 v_2 < \rho_1 v_1$. Когда коэффициент отражения положительный, знак смещения при отражении не изменяется, т. е. если граница достигла зона сжатия, то и отразится также зона сжатия. Если отражение происходит со стороны, на которой коэффициент отражения отрицательный, то вместо зоны сжатия отразится зона расширения, т. е. колебание будет в обратной фазе.

При падении сейсмической волны под критическим углом луч проходящей волны, как было сказано выше, скользит вдоль границы, т. е. распространяется вдоль нее с постоянной кажущейся скоростью, которая называется граничной скоростью v_1 . На рис. 9.8 точка падения критического луча обозначена R_n . За критической точкой кажущаяся скорость фронта падающей волны меньше кажущейся скорости фронта проходящей волны. При этом $\alpha > i$, $v_1 = \frac{v_1}{\sin \alpha} < v_2$. При увеличении угла

скорость стремится к v_1 . Вследствие разных значений за критической точкой кажущихся скоростей фронтов падающей и проходящей волн произойдет их разрыв. Фронт проходящей волны, обогнав фронт падающей волны, в соответствии с принципом Гюйгенса возбуждит во второй среде вторичную волну и будет наклонен к ней под углом i . Волна, распространяющаяся по пути $OR_n RM$, называется головной (или предомненной) волной. На участке OR_n скорость волны v_1 , на $R_n R$ — на RM — v_2 . Эта головная продольная волна обозначается как $P_{гп}$.

Падение сейсмической волны на какую-либо сейсмическую неоднород-

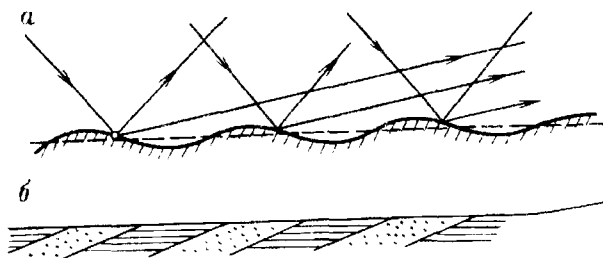


Рис. 9.9. Отражение волн от шероховатых границ:

а — геометрическая шероховатость, б — физическая шероховатость.

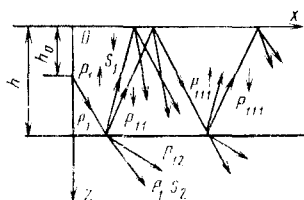


Рис. 9.10. Распространение волн в слоистой среде

родность приводит к возникновению дифракции волн, т. е. появляются дифрагированные волны. Например, при падении на изолированную неоднородность вторичная волна отражается (рассеивается) по всевозможным направлениям. Если размер неоднородности меньше видимой длины падающей волны, то поле смещений дифрагированной волны на большом расстоянии рассматривается как поле точечного источника. Если размеры неоднородности близки к длине падающей волны, то распределение смещений сложно зависит от геометрии препятствия.

Геометрически неровные (шероховатые) поверхности раздела упругих свойств или поверхности, вдоль которых быстро и часто меняется волновое сопротивление (рис. 9.9), приводят к образованию не зеркально-отраженных волн различных порядков.

В слоистых средах распространение сейсмических волн имеет весьма сложный характер. Рассмотрим случай, когда на упругом полупространстве залегает слой определенной мощности. Свойства слоя определяются показателями v_{p1} , v_{s1} и ρ_1 , свойства полупространства — v_{p2} , v_{s2} , ρ_2 . Источник продольных волн поместим внутри слоя h на глубине h_0 в точке O (рис. 9.10). Видно, что внутри слоя имеется большое число волн. При падении каждой волны на свободную границу происходит разделение ее на две волны, возвращающиеся внутрь пласта. При падении на границу слоя и полупространства образуется каждый раз четыре волны, две из которых отраженные возвращаются в слой, а две проходящие распространяются в полупространство. Проходящие при определенных условиях вызывают появление головных волн в слое. Индексы у волн p и s показывают, к каким типам (головным, преломленно-отраженным, отраженно-преломленным, коническим) они относятся.

1. При каких условиях происходят отражение и преломление сейсмических волн?
2. Что такое акустическая жесткость среды и как она влияет на отражение сейсмических волн?
3. Что такое головная волна?

§ 5. Скорости сейсмических волн в различных породах

Скорости распространения продольной и поперечной сейсмических волн зависят от минерального состава, пористости, давления, температуры и других факторов. Диапазон изменения скоростей этих волн в основных разновидностях пород показан на рис. 9.11. На скорость сейсмической волны особо влияют вещественный состав и характер структурных связей пород. Основные горные породы имеют более высокие скорости распространения волн, чем кислые. Интрузивные породы характеризуются также большими скоростями, чем эффузивные. На рис. 9.12 показаны примеры влияния петрографического состава и пористости пород на значения скорости распространения продольной волны. Экспериментально установлена также зависимость плотности пород от скорости продольных волн в виде $\rho = 0,23v_p^{0,25}$, что используется для приближенной оценки плотности пород по результатам определения скорости продольных волн, например с помощью акустического каротажа. На скорость распространения существенную роль оказывают также степень и особенности заполнителя пор и трещин. При увеличении влажности скорость v_p возрастает до определенного предела, после чего она несколько снижается. Так как поперечные волны не распространяются в жидкой среде, изменение влажности пород никакого влияния практически не оказывает на скорость волн v_s . В то же время образование льда в поровом пространстве породы оказывает существенное влияние на v_p и v_s . С увеличением содержания льда скорость v_s возрастает больше, чем v_p . Экспериментально установлена зависимость скорости продольных и поперечных волн от давления в соответствии с глубиной залегания пород в виде

$$v = \alpha p^\beta, \quad (9.25)$$

где p — давление, α и β — численные коэффициенты, которые для различных пород имеют разное значение (в среднем $\alpha = 1$, $\beta = 1/6$).

Так как реальная горная порода отличается от идеальной упругой модели, то для волн характерно их поглощение. Если волна не плоская, то амплитуда ее изменяется в связи с расхождением фронта волны пропорционально $1/R_1$, где R_1 — расстояние от источника возмущения. В неоднородной среде изменение амплитуды вызывается рассеиванием энергии на неоднородностях. Коэффициент поглощения плоской волны в однородной среде определяется из выражения

$$A_x = A_0 e^{\alpha x},$$

Породы	$v_p, \text{м/с}$							$v_s, \text{м/с}$						
	100	200	500	1000	2000	5000	8000	100	200	500	1000	2000	5000	
Почвенный слой	—————							—————						
Пески чистые различной зернистости	—————				—————				—————					
Пески с примесью глинистого материала (до 5%)		—————		—————					—————					
Супеси		—————		—————					—————					
Суглинки		—————		—————					—————					
Глины				—————	—————						—————			
Галечники чистые (промытые)			—————							—————				
Скальные породы					—————	—————						—————	—————	
Скальные трещиноватые породы					—————	—————				—————	—————			
Насыпные грунты		—————			—————				—————					
Лед пресноводный (температура от -1 до -25 °C)					—————						—————			

Рис. 9.11. Скорости распространения упругих волн в различных горных породах

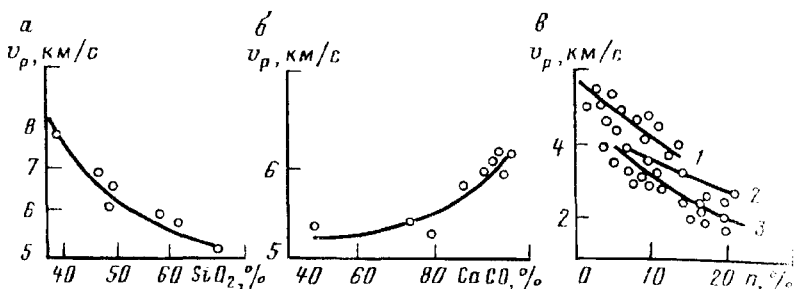


Рис. 9.12. Изменение скорости распространения продольных волн в зависимости от содержания SiO_2 (а), CaCO_3 (б) и пористости (в) различных (1–3) пород

где A_0 — амплитуда волны в некоторой фиксированной точке; A_x — амплитуда волны на расстоянии x от этой точки; α — коэффициент поглощения.

§ 6. Годографы сейсмических волн

Сейсмические наблюдения выполняются на некоторой поверхности, чаще на земной поверхности. По результатам этих наблюдений определяют времена прихода сейсмических волн в различных точках поверхности. Зависимость времени прихода волны от координат точек наблюдений называется **поверхностным годографом** сейсмической волны. Поверхностный годограф сейсмической волны рассматривается как поле времен этой волны на поверхности наблюдений. Кроме поверхностных годографов, в сейсмической разведке используются и **линейные годографы**, определяющие поле времен сейсмических волн на линии (профиле) наблюдений.

Годографом в общем случае называется поле времен сейсмической волны на плоскости наблюдений.

Свойства годографов зависят от типа волны, динамических характеристик среды, геометрии сейсмических границ, системы наблюдений и т. п. Поля времен при обработке данных иногда преобразуются во временные сейсмические разрезы. Как было показано выше, существует огромное количество типов сейсмических волн. Из этого разнообразия годографов волн наибольшее значение имеют годографы монотипных отраженных, дифрагированных и головных (преломленных) волн.

Линейный годограф называется **продольно линейным**, когда источник возбуждения волн и сейсмоприемники расположены на одной прямой линии (по профилю); если это не соблюдается, то будем иметь дело с **непродольным линейным** годографом.

Если рассматривается годограф с закрепленным положением источника, которое совмещается с началом координат, то такой годограф называется **годографом с общей точкой возбуждения** (годограф ОТВ). Можно иметь точку приема (место регистрации волн)

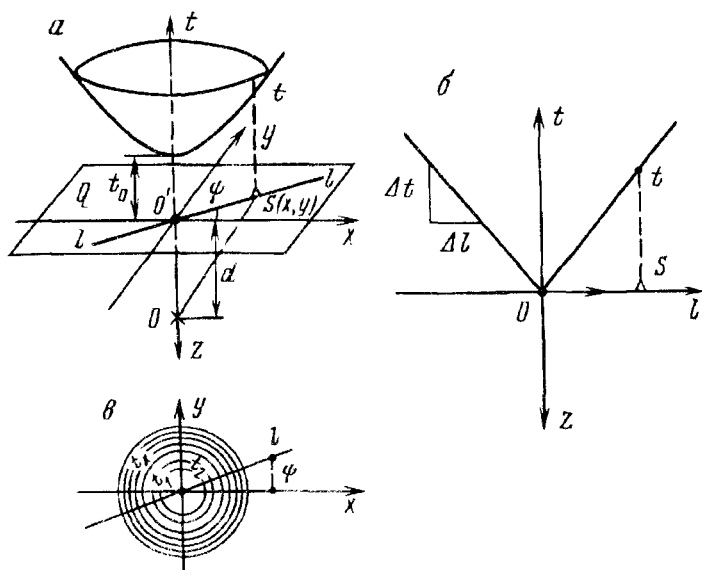


Рис. 9.13. Поверхностный (а), линейный (б) голографы и поверхностные изохроны (в) прямой волны

совмещенную с началом координат, при этом менять положение источников на профиле. В этом случае будем иметь голограф с общей точкой приема (голограф ОТП). Голографы ОТВ и ОТП аналитически выражаются одними и теми же уравнениями, так как при перемене местами источника и приемника время прихода волны не изменяется.

Широко в сейсморазведке применяются голографы от общей глубинной точки отражения (голографы ОГТ). В этом случае источники и приемники симметрично находятся по разные стороны от общего центра (начала координат). Если имеется горизонтальное залегание отражающей границы, то голограф ОГТ определяет время пробега от одной и той же точки отражения, находящейся на этой границе.

Рассмотрим голограф прямой волны. Из точечного источника O в однородной среде под поверхностью Q на некоторой глубине d (рис. 9.13, а) во всех направлениях по прямолинейным лучам распространяется прямая волна. Одним из лучей будет OS . Проекцию источника на поверхность Q совместим с началом координат. Обозначим: O' — начало координат, точка $S(x, y)$ — пересечение луча с плоскостью Q и OS — путь, пройденный лучом.

Уравнение поверхностного голографа прямой волны имеет вид

$$t = \frac{OS}{v} = \frac{1}{v} \sqrt{x^2 + y^2 + d^2} \quad (9.26)$$

Уравнение (9.26) гиперboloида вращения в каноническом виде имеет вид

$$\frac{t^2}{(d/v)^2} - \frac{x^2}{d^2} - \frac{y^2}{d^2} = 1. \quad (9.27)$$

Минимум годографа находится в точке $x = y = 0$ и $t_{\min} = d/v$. Поверхностный годограф можно задать семейством линий одинакового времени (изохоры) — $t_1, t_2, \dots, t_k$, проектируя на плоскость наблюдений его сечения горизонтальными плоскостями $t(x, y) = \text{const}$.

Для получения продольного линейного годографа прямой волны по произвольному профилю l заменим координаты x и y точек на этом профиле одной координатой

$$x = l \cos \varphi, y = l \sin \varphi, \quad (9.28)$$

где φ — угол профиля l с осью x .

С учетом уравнения (9.28) выражение (9.27) преобразуется в вид

$$\frac{t^2}{(d/v)^2} - \frac{l^2}{d^2} = 1. \quad (9.29)$$

Это гипербола, у которой минимум соответствует точке $l = 0, t_0 = d/v$. Кажущаяся скорость прямой волны по профилю (с учетом того, что градиент времени равен $v = dt/dx = 1/v_k$)

$$v_k = 1 / \frac{dt}{dl} = v \sqrt{1 + \left(\frac{d}{l}\right)^2}. \quad (9.30)$$

Отсюда следует, что при $l = 0, v_k = \infty$, а при $l \rightarrow \infty, v_k \rightarrow v$.

Если источник возбуждения размещен на поверхности, т. е. $d = 0$, то получается уравнение продольного линейного годографа прямой волны

$$t = \pm l/v. \quad (9.31)$$

В этом случае продольный линейный годограф прямой волны представляет собой два луча, выходящих из начала координат. Наклон лучей определяется скоростью среды, т. е.

$$\gamma = \Delta t / \Delta l = 1/v_k = 1/v.$$

Рассмотрим годограф отраженной волны. Допустим, что волна отражается от плоской однородной границы. Представим, что отражающая плоскость R составляет угол φ с плоскостью наблюдений Q , источник возмущения на поверхности в точке O в начале координат (рис. 9.14, а). Оси координат расположены: z — вертикально вниз, x, y — по границе, l — вверх. Отраженная волна рассматривается как луч, распространяющийся из «мнимого» источника Q^* , помещенного в точке зеркального отражения относительно плоскости R действительного источника. Мнимый источник Q^* помещается на перпенди-

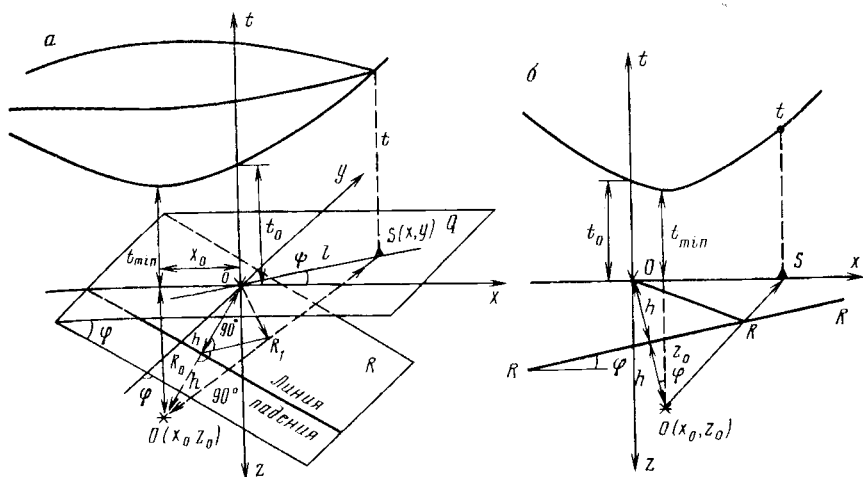


Рис. 9.14. Голограф отраженной волны

куляр к границе на расстоянии $2h$ от точки O , где h — расстояние от источника до плоскости по нормали. Координаты такого источника

$$\lambda_0 = 2h \sin \varphi; z_0 = 2h \cos \varphi. \quad (9.32)$$

Путь волны от точек O до точек R_1 и $S(x, y)$ равен лучу прямой волны из мнимого источника O^* . Так как треугольники OR_1R_0 и $O^*R_1R_0$ равны, то $OR_1 = O^*R_1$ и $OR_1 + R_1S = O^*S$. С поправкой, что $O^*S = \sqrt{(x - x_0)^2 + y^2 + z_0^2}$, выражение (9.26) будет иметь вид

$$t = \frac{1}{v} \sqrt{(x - x_0)^2 + y^2 + z_0^2}, \quad (9.33)$$

что представляет уравнение поверхностного голографа отраженной волны.

В каноническом виде выражение (9.33) приобретает вид

$$\frac{t^2}{(z_0/v)^2} = \frac{(x - x_0)^2}{z_0^2} - \frac{y^2}{z_0^2} = 1.$$

Поверхностный голограф отраженной волны представляет собой гиперboloид вращения (рис. 9.14, б), у которого минимум в точке с координатами $x_0, y = 0$, $t_{\min} = z_0/v$. В точке приема ($x = 0, y = 0$) падающий и отраженный лучи нормальны к границе, т. е. они совпадают. Путь пробега отраженной волны в эту точку равен $2h$ и называется эхо-глубиной. Время пробега волны вдоль нормального луча

$$t = 2h/v. \quad (9.34)$$

Подобно уравнению годографа прямой волны уравнение продольного линейного годографа отраженной волны будет иметь вид

$$t = \frac{1}{v} \sqrt{l^2 - 4hl \sin \varphi \cos \psi + 4h^2}. \quad (9.35)$$

Обозначив $\sin \varphi \cos \psi = \sin \varphi_k$, выражение (9.35) можно переписать в виде

$$t = \frac{1}{v} \sqrt{l^2 - 4hl \sin \varphi_k + 4h^2}, \quad (9.36)$$

где φ_k — кажущийся угол падения отражающей поверхности.

Истинный угол падения отражающей поверхности φ можно определить, если выполнить наблюдения вкrest простирания отражающей поверхности или провести площадное наблюдение на двух взаимно перпендикулярных профилях. Если профиль проложен вкrest простирания отражающей поверхности ($\psi = 0$), то $l = x$ и уравнение продольного годографа отраженной волны примет вид гиперболы

$$\frac{t^2}{(t_c/v)^2} - \frac{(x-x_0)^2}{z_0^2} = 1. \quad (9.37)$$

Если отражающая граница горизонтальна ($\varphi = 0$), то $x_0 = 0$, $z_0 = 2h$ и уравнение годографа запишется так:

$$\frac{t^2}{(2h/v)^2} - \frac{x^2}{(2h)^2} = 1. \quad (9.38)$$

Кажущаяся скорость распространения фронта отраженной волны вдоль профиля x равна

$$v_k = 1 / \frac{dt}{dx} = v \sqrt{1 + \left(\frac{z_0}{x - x_0} \right)^2}. \quad (9.39)$$

В точке $x = x_0$ $v_k \rightarrow \infty$, в точке $x = \infty$ $v_k = v$.

Если отражающая граница имеет криволинейный характер (например, синклиналь, дуга, парабола и т. д.), то не существует простого аналитического выражения для годографа отраженной волны. Формы годографов для таких поверхностей показаны на рис. 9.15. Пути пробега волны в различные точки профиля определяются графически и по ним с учетом постоянной скорости в среде рассчитываются времена прихода волны. На годографе видно пересечение ветвей. Это значит, что в одну и ту же точку профиля приходят волны, отразившиеся от разных участков отражающей поверхности. Точки типа a и b называются точками возврата, а точка c — узлом.

Эффективная скорость. Если имеется горизонтально-слоистая среда, например, состоящая из двух слоев мощностью h_1 и h_2 соответственно со скоростями распространения волн v_1 и v_2 (рис. 9.16), то падающий и отраженный лучи преломляются на промежуточной границе RR_1 в соответствии с законом Снеллиуса. Пути падающей и

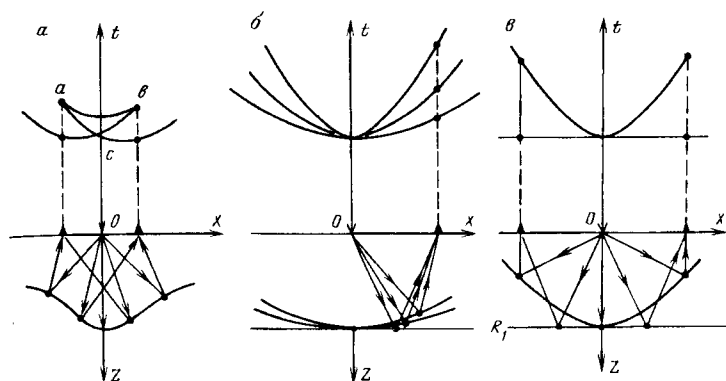


Рис. 9.15. Годографы отраженных волн от криволинейных границ:

a — синклинали; *б* — дуга окружности; *в* — парабола

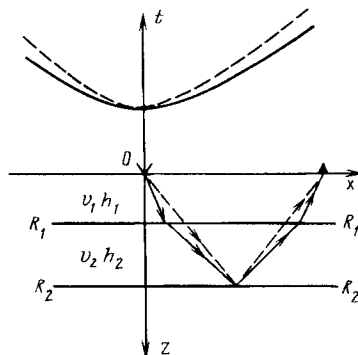


Рис. 9.16. Распространение лучей в горизонтально-слоистой среде

отраженной волн равны, и уравнение годографа в параметрической форме можно записать

$$x = 2(h_1 \operatorname{tg} \alpha_1 + h_2 \operatorname{tg} \alpha_2);$$

$$t = 2 \left(\frac{h_1}{v_1 \cos \alpha_1} + \frac{h_2}{v_2 \cos \alpha_2} \right). \quad (9.40)$$

Преобразованное выражение (9.40) может быть представлено в виде бесконечного ряда. С достаточной для практики точностью можно ограничиться двумя членами ряда:

$$t = t_0 + \frac{1}{2} \frac{x^2}{\sum_{i=1}^2 2h_i v_i} ; \quad t_0 = 2 \sum_{i=1}^2 \frac{h_i}{v_i}. \quad (9.41)$$

Уравнение параболы (9.41) имеет минимум в $x = 0$ и $t = t_0$. Годограф, полученный с учетом слоистости, представлен сплошной кривой.

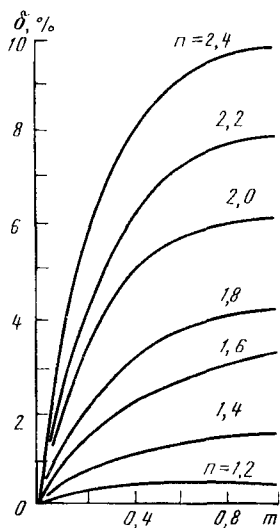


Рис. 9.17. Графики зависимости величины

$$\delta = \frac{v_{\text{эф}} - v_{\text{ср}}}{v_{\text{ср}}} \text{ от } m$$

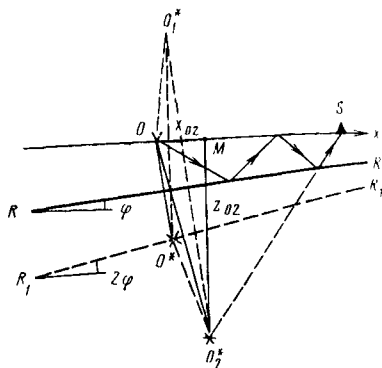


Рис. 9.18. Схема лучей двукратно отраженной волны

а в случае однородной среды он имел бы вид, представленный пунктирной кривой.

В соответствии с выражением (9.41) и с учетом того, что $t_0 = 2h/v$, получим эффективную скорость:

$$v_{\text{эф}} = \sqrt{\frac{x^2}{t - t_0}} \quad (9.42)$$

Различие между эффективной и средней скоростью характеризуется величиной

$$\delta = \frac{v_{\text{эф}} - v_{\text{ср}}}{v_{\text{ср}}}, \quad (9.43)$$

где $v_{\text{ср}} = \frac{h_1 + h_2}{h_1/v_1 + h_2/v_2}$ — средняя скорость распространения волны.

Зависимость δ от отношений $v_2/v_1 = n$ и $h_2/h_1 = m$ показана на рис. 9.17. Отсюда видно, что эффективная скорость всегда больше средней скорости.

Так как при $x = 0$ времена t_0 у обоих голографов совпадают, то выполняется условие

$$t_0 = \frac{2(h_1 + h_2)}{v_{\text{ср}}} = \frac{2H_{\text{эф}}}{v_{\text{эф}}}. \quad (9.44)$$

Так как $v_{\text{эф}} > v_{\text{ср}}$, то $H_{\text{эф}} > (h_1 + h_2)$.

Величина $H_{\text{эф}}$ называется эффективной глубиной.

Голограф многократно отраженных волн можно получить путем обобщения случая двукратно отраженных волн на

рис. 9.18 показана схема лучей двукратно отраженной волны. Первое отражение на границе RR_1 , затем волна отражается от границы «земля—воздух», далее повторно от той же границы RR_1 . Мнимый источник в точке O^* при однократном отражении помещен в точку зеркального отражения относительно границы RR_1 действительного источника в точке O . При отражении от границы «земля—воздух» мнимый источник помещается в точку зеркального отражения относительно этой границы мнимого источника в точке O , при повторном отражении от границы RR_1 — в точку O_2^* зеркального отражения мнимого источника в точке O_1^* относительно границы RR_1 . Лучи двукратно отраженной волны можно заменить одним лучом волны, приходящим в точку $S(x)$ из мнимого источника в точке O_2^* . Если координаты этого источника $O_2^*(x_{02}, z_{02})$, то уравнение годографа двукратно отраженной волны запишется в виде

$$t_2 = \frac{1}{v} \sqrt{(x - x_{02})^2 + z_{02}^2}. \quad (9.45)$$

Вычислим координаты x_{02} и z_{02} . Соединим точки O_1^* и O_2^* с началом координат и O_1^* и O_2^* — между собой. Опустим из точки O^* перпендикуляр на прямую OO_2^* . Треугольник $OO^*O_2^*$ — равнобедренный; углы при вершинах O и O_2^* равны φ , основание $OO_2^* = 4h \cos \varphi$. Из треугольника OO_2^*M , где O_2^*M — перпендикуляр к профилю x , получим:

$$\begin{aligned} x_{02} &= 4h \cos \varphi \sin 2\varphi; \\ z_{02} &= 4h \cos \varphi \cos 2\varphi. \end{aligned} \quad (9.46)$$

Если выражение (9.46) подставим в (9.45), то получим

$$t_2 = \frac{1}{v} \sqrt{x^2 - 4h_2 \sin \varphi_2 + 4h_2^2}, \quad (9.47)$$

где $h_2 = 2h \cos \varphi$; $\varphi_2 = 2\varphi$.

Годограф двукратно отраженной волны совпадает с гиперболическим годографом однократно отраженной волны от фиктивной границы, залегающей на глубине $h_2 = 2h \cos \varphi$ под углом $\varphi_2 = 2\varphi$ при том же значении скорости v в покрывающей среде.

Если волна отразится n раз от границы RR_1 , то параметры фиктивной границы определяются как:

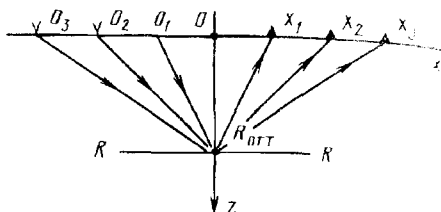
$$h_n = h \frac{\sin n\varphi}{\sin \varphi}; \quad \varphi_n = n\varphi. \quad (9.48)$$

Уравнение годографа n -кратной отраженной волны тогда будет выражаться уравнением:

$$t_n = \frac{1}{v} \sqrt{x^2 - 4h_n \frac{\sin^2 n\varphi}{\sin \varphi} + 4h_n^2 \frac{\sin^2 n\varphi}{\sin^2 \varphi}}. \quad (9.49)$$

Есть некоторые особенности получения годографа общей глубин-

Рис. 9.19. Схема лучей при получении годографа ОГТ



ной точки отражения (годографа ОГТ). Схема лучей при получении такого годографа показана на рис. 9.19. Годограф определяет время отраженной волны в точках приема x_1 , x_2 и x_3 , расположенных по отношению к источникам O_1 , O_2 и O_3 так, как если бы отражающая граница залегала горизонтально и общая точка отражения $R_{огт}$ расположена на этой границе.

Контрольные вопросы

1. Что такое годограф сейсмической волны?
2. Как строится годограф отраженной волны?
3. Что такое эффективная скорость сеймоволны?

§ 7. Сейсмические наблюдения

Продольные линейные годографы получают при сейсмических наблюдениях на продольных профилях, когда источники и приемники расположены на одной прямой, непродольные линейные годографы — на непродольных профилях, когда источники смещены, к примеру, по перпендикуляру, относительно профиля наблюдений. Профили могут быть секущими и связующими. Секущие профили располагают вкось предполагаемого простирания изучаемых структур. Результаты наблюдений по этим профилям дают информацию о геологических структурах и используются для построения структурных карт или схем по отдаленным сейсмическим горизонтам. Связующие профили располагаются перпендикулярно к секущим (по простиранию пород) и необходимы для увязки данных на разведочных профилях. Система наблюдений при изучении отраженных волн характеризуется длиной базы приема, величиной взрывного интервала и кратностью системы.

Длина базы приема L — это участок профиля (рис. 9.20), где производится регистрация записей колебаний сеймоволн из одного источника — пункта взрыва (ПВ). Длина базы кратна длине расстановки приемников, которая определяется числом n регистрирующих каналов сейсмической станции и расстояниями Δx между соседними сейсмоприемниками.

Расстояние между соседними взрывными пунктами называется взрывным интервалом. Величина взрывного интервала обычно принимается постоянной или кратной длине базы приема. Отношение длины базы приема к удвоенной величине взрывного интервала $N = L / 2\Delta x$

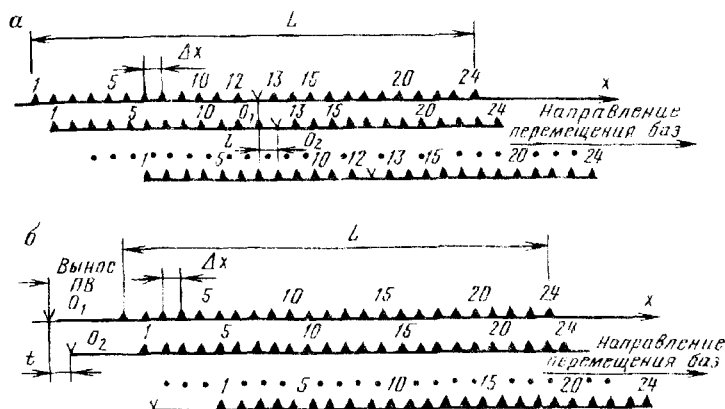


Рис. 9.20. Центральная и фланговая системы сейсмических наблюдений (цифры соответствуют числу перестановок сейсмоприемников):

а — центральная; б — фланговая

называется кратностью сейсмических наблюдений. При регистрации отраженных волн применяются многократные системы наблюдений. При регистрации преломленных волн используются однократные или двукратные системы наблюдений. При многократных системах наблюдений длина базы приема, следовательно, и длина получаемого сейсмического годографа во много раз превышает величину интервала. При выполнении сейсмических наблюдений пункт взрыва и базу приема L последовательно переменяют по профилю каждый раз на величину взрывного интервала Δx . После перемещения часть базы приема оказывается в пределах прежнего ее положения. Перекрытие тем больше, чем больше отношение $L / \Delta x$. Производится несколько перестановок до того, как расстановка сейсмоприемников окажется за пределами своего первоначального положения. При 12-кратной системе делается 24 перестановки, при однократной — только две. Кратность системы наблюдений зависит от метода сейсморазведки. При центральной системе пункты взрыва всегда расположены в центре базы приема (рис. 9.20, а), при фланговой — по концам базы приема или вынесены за ее пределы (рис. 9.20, б). При сейсмических наблюдениях иногда производят их увязку по взаимным точкам. Взаимные точки — это точки регистрации колебаний, у которых поменяли местами пункты взрыва и приема, например, первая запись относится к 1-й точке приема и пункту взрыва O_2 , а взаимная запись — к точке приема O_2 и пункту взрыва O_1 . Обычно считается в соответствии с принципом взаимности в сейсморазведке, что при регистрации однофазных волн во взаимных точках время их прихода и форма колебаний не изменяются. Практически же времена прихода волн равны, а форма колебаний обычно изменяется.

При регистрации и изучении преломленных волн обычно применяются фланговые системы с выносными пунктами взрыва.

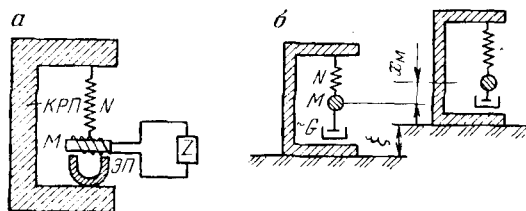


Рис. 9.21. Схема устройства (а) и действия сейсмоприемника (б)

Сейсмические колебания регистрируются сейсморегилирующим каналом, представляющим собой сейсмоприемник, сейсмический усилитель и записывающее устройство. Воспроизведение с магнитной ленты сейсмических колебаний и изображение их в видимой форме на бумажной ленте или фотобумаге осуществляются сейсм. воспроизводящим каналом, который состоит из считывающего устройства (магнитная головка), усилителя воспроизведения колебаний и устройства для наглядного представления записей сейсмических колебаний. Записи в видимой форме на бумаге представляют собой сейсмоленту.

Сейсмоприемники могут регистрировать вертикальные движения сферы (вертикальные сейсмоприемники) или горизонтальные движения (горизонтальные сейсмоприемники). Вертикальные сейсмоприемники применяют при регистрации продольных сейсмических волн, а горизонтальные — поперечных сейсмоволн. Схематично устройство сейсмоприемников показано на рис. 9.21. Корпус сейсмоприемника устанавливается на поверхности земли. К корпусу на пружине N подвешен груз (инертная масса) M . Для успокоения колебаний этой массы применяют различные способы, например, помещают в вязкую жидкость G . Электромеханический преобразователь $ЭП$ присоединен таким образом, что перемещения корпуса $КРП$ и инертной массы M на x_M создают на его электрических полюсах некоторую электродвижущую силу E . Разнообразные типы электромеханических преобразователей определяются применением разных физических явлений: электромагнитной индукцией, электростатической индукцией, магнитострикцией, пьезоэлектрическим эффектом и т. п. Индукционные электромеханические преобразователи устроены таким образом, что при перемещении инертной массы относительно корпуса изменяется величина магнитного потока, проходящего через витки катушки, являющейся частью преобразователя. Магнитное поле создается постоянными магнитами, соединенными с корпусом прибора или с его инертной массой. Электродинамический преобразователь представляет собой катушку, которая может перемещаться в постоянном магнитном поле. При перемещении катушки в ее витках, движущихся в магнитном поле, появляется электродвижущая сила. К электрическим полюсам преобразователя присоединено некоторое электрическое сопротивление z .

Необходимо учитывать, что, если корпус сейсмоприемника сместился, например, на величину ξ , то масса M в силу инерции отстанет от

движения корпуса и смещается на величину x_m , а пружина растягивается на величину $x = x_m - \xi$.

Сейсмоприемники характеризуются собственной частотой колебаний, коэффициентом затухания, частотной и фазовой характеристиками.

Сейсмоприемники должны обладать достаточно высокой разрешающей способностью, большой чувствительностью, постоянными фильтрующими свойствами, обеспечивающими пропускание основных частот полезных сигналов, и ослаблять низкочастотные колебания, которые связаны в основном с поверхностными волнами. Необходимо, чтобы при регистрации слабых колебаний почвы был получен достаточно большой электрический сигнал. Один из типов электродинамических сейсмоприемников показан на рис. 9.22. Постоянный магнит с полюсным наконечником 4, дно 6 и корпус 5 прибора образуют магнит-

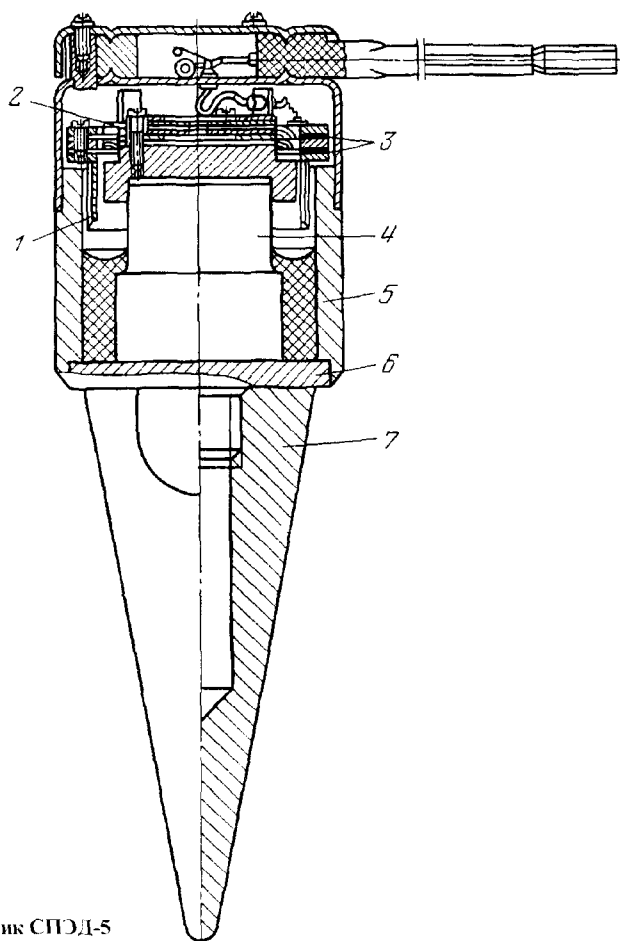


Рис. 9.22. Сейсмоприемник СПД-5

ную цепь. Магнит укреплен в корпусе. В кольцевом зазоре переменной катушка с обмоткой 1, подвешенной на двух пружинах 3. Рабочая длина пружин изменяется перемещением регулирующих шайб 2, что позволяет менять частоту собственных колебаний на несколько порядков. Внешней стороны ко дну прибора крепится шток 7 в виде полого цилиндра. Такого рода сейсмоприемники (СПЭД-5, СПЭД-56, «Светлячок») имеют небольшие размеры (диаметр 35–46 мм, высота 66–70 мм, масса 0,25–0,6 кг) и удобны при группировании.

Широко применяются следующие типы приборов: СП-16М, СП-41, 1, НС-3, СВМ, ВНИМИ-1, ВНИМИ-2, ВЭГИК, ВИБ-А, ВБП-3. Выбор типа прибора зависит от целей и условий его применения.

С сейсмоприемника электрические колебания, соответствующие сейсмическим колебаниям, поступают на электрические усилители, которые в десятки, а то и сотни тысяч раз усиливают поступающие слабые электрические напряжения. Усилители выполняют также и такую функцию, как частотная фильтрация сейсмических колебаний, когда необходимо погасить интенсивные низкочастотные волны, например, волны-помехи, поверхностные волны. Иногда помехами могут оказаться микросейсмы, высокочастотные сейсмические колебания, вызываемые ветром, морским прибоем, реверберацией и др.

Магнитная запись сейсмических колебаний осуществляется с помощью магнитного регистратора, запись колебаний на бумаге осуществляется с помощью плёночных или электростатических осциллографов. Могут применяться электротермический, электрохимический и другие способы записи колебаний.

Широкое применение находят полевые сейсмические станции «Поиск-1-24-МОВ-ОВ», «Поиск-1-48-МОВ-ОВ», «Поиск-1-24-КЖМВ», которые имеют 24 или 48 сейсморегистрирующих каналов, осуществляющих одновременную запись на магнитную ленту сейсмических колебаний, зарегистрированных сейсмоприемниками в 24 или 48 точках профиля наблюдений. Сейсмостанции работают с взрывной машинкой СВМ, обеспечивающей регистрацию на одной из дорожек магнитной ленты импульса и момента взрыва, необходимого для отсчета времени прихода волн. Большое значение придается обработке полевых лент.

Контрольные вопросы

1. Чем характеризуется система сейсмических наблюдений?
2. Что такое сейсмоприемник и каков его принцип работы?
3. Как проводится запись сейсмических колебаний?
4. Какие типы сейсмических станций Вы знаете?

§ 8. Методы сейморазведки

Для изучения геологических структур в основном используют отраженные и преломленные (головные) продольные сейсмические волны. В меньшей мере применяют исследования с помощью поперечных, Love-волн, рефрагированных, а также поверхностных волн.

Основным методом сейсморазведки является метод отраженных волн (МОВ) (рис. 9.23). При помощи МОВ проводятся наблюдения на небольших расстояниях от источника, в области, где регистрируются преимущественно волны, отраженные от различных границ, под углом падения, близким к нормальному. МОВ обладает высокой разрешающей способностью и позволяет изучать строение отражающих границ, расположенных близко одна к другой; он наиболее эффективно применим при углах падения границ от $3-15^\circ$ до $40-50^\circ$. В системе МОВ имеется ряд технических средств, способов обработки и интерпретаций наблюдений.

Наиболее известны метод общей глубинной точки (МОГТ) и метод регулируемого направленного приема (МРНП). При МОГТ производится суммирование колебаний, отразившихся от ограниченных областей отражающих границ при различных положениях пунктов взрывов и приема.

В МРНП производится суммирование колебаний отраженных или дифрагированных волн, образованных ограниченными областями границ или геологическими неоднородностями при одном взрыве с учетом направления выхода волн на линию наблюдений.

При наблюдениях вдали от источника на поверхности земли регистрируется волна, которая вследствие эффекта преломления большую часть своего пути прошла внутри одного из пластов (рис. 9.24). К числу таких волн относятся головные, рефрагированные и подкранные отраженные волны.

Все эти волны относятся к преломленным, имеют некоторые сходные кинематические и динамические свойства. На исследовании этих волн основан метод преломленных волн (МПВ). Этот метод применяется при решении широкого круга геологических задач. Иногда целесообразно применять методы МОВ и МПВ совместно, а также с другими геологическими и геофизическими методами.

Когда источник и место наблюдения находятся по разные стороны от геологического объекта, для исследований могут быть использованы проходящие волны и метод проходящих волн. Этот метод может быть применим в шахтах, штольнях, скважинах и т. п. Одним из видов этого метода является сейсмокаротаж. Если наблюдения в дополнение к МОВ и МПВ на земле проводить внутри геологической среды, то можно изучить как проходящие (прямые), так и все вторичные волны. Такой способ называется вертикальным сейсмическим профилированием (ВСП).

Тип волн определяет также определенный метод сейсморазведки. Наиболее часто применяется метод продольных волн, так как взрыв преимущественно возбуждает продольные волны.

Если угол падения проходящей волны на проходящей границе возрастает, то возникают обменные волны, которые используются для решения геологических задач. Это составляет суть метода обменных волн.

Применяя специальные средства возбуждения, можно получать ин-

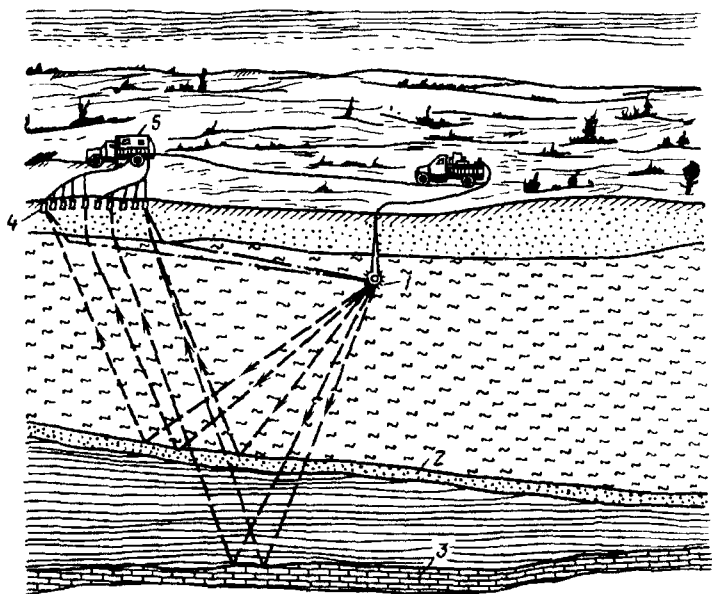


Рис. 9.23. Схема сейсморазведочных работ по методу отраженных волн (пунктиром обозначен ход сейсмических лучей в толще пород при отражении):

1 — пункт взрыва в неглубокой скважине; 2 — верхний отражающий слой; 3 — нижний отражающий слой; 4 — группа сейсмоприемников; 5 — сейсморазведочная станция

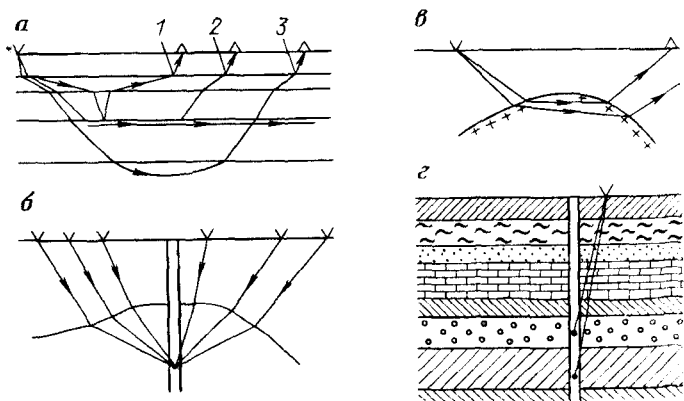


Рис. 9.24. Пути волн, используемых в методах преломленных и проходящих волн:

а — подзвучная отраженная (1), головная (2) и преломленные (3) волны; б — проходящая волна при изучении формы границы; в — проходящие волны при наблюдениях на поверхности; 7 — сейсмостанция

тенсивные поперечные волны, которые при падении на границы внутри среды образуют вторичные монопольные волны. При взрыве зарядов ВВ можно получать также поперечные волны, если взрывать заряд в скважине, которая и создает соответствующие сдвиговые искажения. Исследования этих волн лежат в основе метода поперечных волн.

Раздельные изучения профильных и поперечных волн, определение их скоростей, т. е. v_p и v_s , позволяют получить более полное представление о физико-геологических особенностях изучаемой среды.

Метод сейсморазведки можно различать также и по применяемым частотам колебаний. В зависимости от преобладающей частоты колебаний различают сейсморазведку с частотой меньше 30 Гц — низкочастотную, частотой 30—80 Гц — среднечастотную, частотой более 80 Гц — высокочастотную. Низкочастотная сейсморазведка применяется при изучении больших глубин земной коры. В отношении объекта исследования она имеет много общего с сейсмологией. Высокочастотная сейсмика позволяет значительно повысить разрешающую способность сейсморазведки, но области ее применения ограничены, так как высокочастотные колебания сильно поглощаются в геологических средах, особенно в рыхлых породах, а также с углублением.

При глубинном сейсмическом зондировании (ГСЗ) регистрируют волны, проникающие на десятки километров в глубь земной коры. Здесь изучаются данные о глубинном строении крупных структурных элементов земной коры, например, поверхность кристаллического фундамента ($v_f = 6$ км/с), граница между «гранитным» и «базальтовым» слоями ($v_f = 7$ км/с), поверхность Мохоровичича, разделяющая земную кору и жидкорасплавленное ядро Земли ($v_f = 8$ км/с). В основном используются преломленные (рефрагированные) и обменные волны.

Региональные сейсморазведочные работы применяются для определения глубины залегания поверхности фундамента и мощности осадочной толщи, покрывающей фундамент, выявления крупных структурных осложнений в осадочных породах. Они проводятся по отдельным протяженным профилям — до нескольких сотен километров, пересекающим геологические регионы.

Высокочастотную сейсмику иногда называют сейсмоакустикой. Схему комплекса сейсмоакустических исследований можно представить в виде классификации сейсмоакустических методов, показанной на рис. 9.25.

В зависимости от характера решаемых геологических задач и плотности сейсмических наблюдений сейсморазведочные работы подразделяются на глубинные сейсмические зондирования, региональные, поисковые и детальные работы.

Поисковые сейсморазведочные работы проводятся на участках, представляющих интерес по результатам региональных сейсморазведочных работ. Эти работы проводятся с целью обнаружения структурных форм, благоприятных для скопления месторождений полезных ископаемых (например, нефти и газа). Здесь выявляются зоны антиклинальных перегибов слоев, выклинивания горизонтов, зон

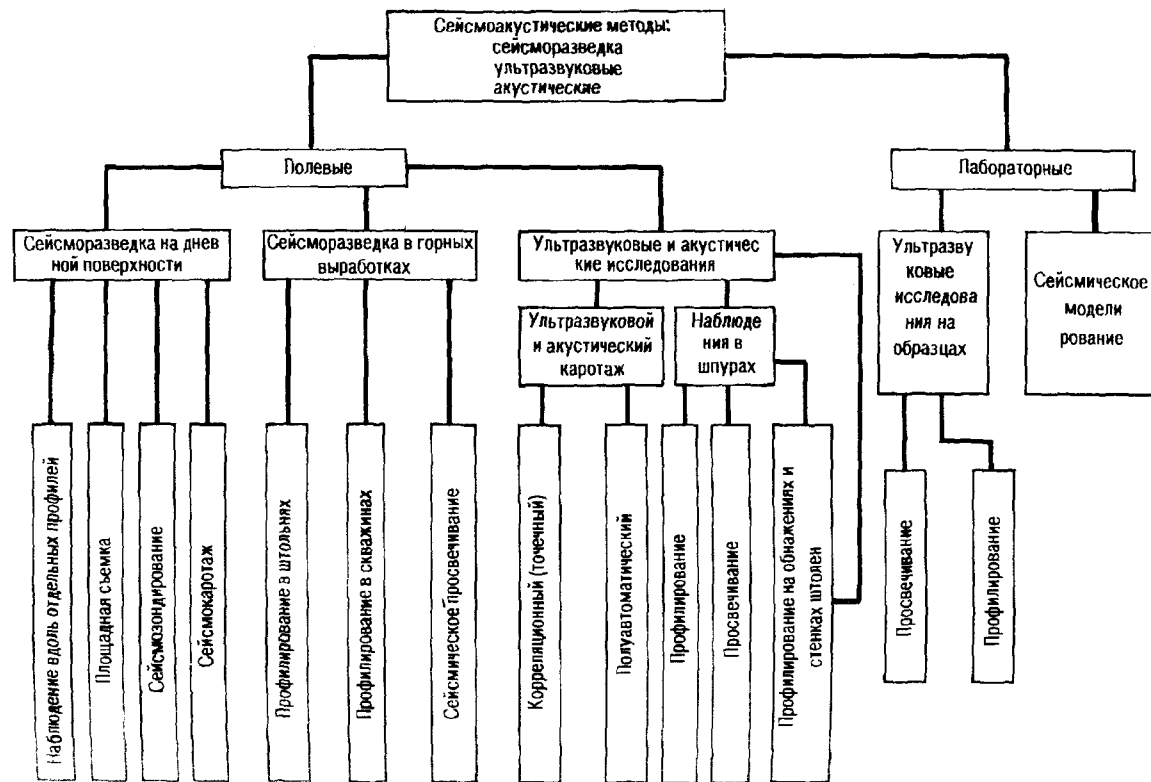


Рис. 9.25. Классификация сейсмоакустических методов исследований

стратиграфических и литологических несогласий и т. п. Поисковые сейсморазведочные работы выполняются в виде площадных наблюдений по схеме разведочных профилей.

Детальные сейсморазведочные работы используются для изучения локальных структур, выявленных при поисковых работах. Здесь требуется густая сеть профилей.

Для региональных сейсморазведочных работ обычно применяется комплексирование МОВ и МПВ. Для поисковых и детальных сейсморазведочных работ в основном применяют МОВ.

Контрольные вопросы

1. В чем суть метода отраженных волн?
2. Что такое глубинное сейсмическое зондирование?
3. Как выполняются поисковые сейсморазведочные работы?

§ 9. Взрывные и невзрывные источники возбуждения сейсмических колебаний

Для возбуждения сейсмических колебаний могут быть применены взрывные и невзрывные способы.

Взрыв заряда может рассматриваться как сферический излучатель упругих волн. Сферическим излучателем сейсмических волн считается зона радиусом r_2 , откуда распространяется чистая упругая волна. В этой зоне происходит разрушение в пределах радиуса r_1 и в зоне $r_2—r_1$ наблюдаются остаточные деформации. Эту зону можно выразить как эквивалентную полость сферического излучателя с радиусом R_s , т. е. $R_s \approx r_2$. Считая, что при взрыве выполняется принцип подобия, можно определить R_s как

$$R_s = k_s Q^{1/3}, \quad (9.50)$$

где k_s — постоянная, называемая коэффициентом радиуса очага.

Частота собственных колебаний очага

$$f_0 = \frac{v_s}{\pi R_s} = g Q^{-1/3}, \quad (9.51)$$

где $g_0 = \frac{v_s}{\pi R_s}$ — постоянная, называемая частотным коэффициентом очага ($\text{Гц} \cdot \text{кг}^{1/3}$).

Если примем $Q = 1 \text{ кг}$, то g будет определять положение максимума спектра колебаний, возбуждаемого при взрыве в данном очаге заряда. Например, при взрыве в водонасыщенных песчано-глинистых породах на глубинах 15—30 м частотный коэффициент $g \approx 30 \div 40 \text{ Гц} \cdot \text{кг}^{1/3}$, при взрывах на больших глубинах или в крепких породах он возрастает до $100 \text{ Гц} \cdot \text{кг}^{1/3}$ и более.

Выражение (9.51) показывает, что с увеличением массы уменьшается частота собственных колебаний, возбуждаемых взрывом.

Форма возбуждаемых при взрыве колебаний зависит не только от коэффициента g , но и от отношения $h = v_s / v_p$, определяющей быстроту затухания собственных колебаний очага. По мере уменьшения этого отношения длительность колебаний возрастает.

Амплитуда a регистрируемых колебаний в некоторой точке может быть связана с массой заряда Q соотношением

$$a = kQ^n,$$

(9.52)

где k — постоянная величина; n — показатель, зависящий от массы заряда, состава пород, типа волн (при малых массах заряда $n = 1 \div 1.5$, при больших массах зарядов n уменьшается до $0.2 \div 0.5$).

В связи с этим для увеличения амплитуды регистрируемых колебаний необходимо постепенно увеличивать заряд ВВ. В некоторых случаях применение больших зарядов нецелесообразно, а лучше применять группирование взрывов.

Форма заряда может оказать существенное влияние. Удлиненные заряды, скважинные заряды обладают меньшей эффективностью, так как в этом случае создаются сильные помехи.

Масса зарядов ВВ изменяется от 0,1—0,4 кг до 10—20 кг при использовании МОВ, а при изменении МПВ от 0,1—0,2 кг при изучении зоны малых скоростей до сотен килограммов при исследовании глубоких горизонтов земной коры.

В некоторых случаях применяется совместный взрыв нескольких одиночных зарядов одновременно или с небольшим регулируемым запаздыванием. Групповые взрывы способствуют улучшению качества записи полезных волн.

Максимальный эффект получают при взрыве заряда под зоной малых скоростей, представляющей рыхлые выветренные породы, которые сильно рассеивают и поглощают энергию сейсмических волн. Хорошие условия для получения интенсивных сейсмических волн создаются при взрыве заряда ВВ в пластичных и обводненных песчано-глинистых породах, а также при размещении заряда ВВ в скважине, забойка которой представлена водой или глинистым раствором.

Параметры расположения зарядов ВВ определяют опытным путем по результатам анализа экспериментальных сейсмических записей. Наиболее интенсивные волны возбуждаются в случае размещения заряда в среде с небольшим отношением v_s / v_p . При выборе глубины размещения заряда ВВ следует учесть, что очень часто регистрируются волны-спутники, которые представляют собой частично многократно отраженные волны, возникающие из-за промежуточного отражения прямой волны от подошвы зоны малых скоростей или от поверхности раздела «земля—воздух» и далее падающую вниз и отражающуюся от более глубоких границ раздела разных сред. Волны-спутники осложняют интерпретацию данных сейсморазведочных работ. Поэтому глубин-

ну размещения заряда целесообразно выбирать таковой, чтобы основная волна и ее волна-спутник складывались по фазе и формировали усиленный импульс. Такие условия обеспечиваются при помещении заряда под подошву зоны малых скоростей на четверть видимой длины волны. В этом случае волна-спутник запаздывает на четверть видимого периода относительно времени прихода основной волны и это формирует усиленный импульс.

Масса заряда ВВ выбирается минимальной, но такой, чтобы при максимально допустимом усилении сигналов сейсмической аппаратурой полезные волны можно было обнаружить и использовать для получения сейсмогеологических результатов.

Сейсмические волны можно возбудить и взрывом заряда ВВ в воздухе. В воздухе при взрыве возникает ударная волна, которая на некотором расстоянии от заряда переходит в звуковую волну. Если заряд удален на большее расстояние, то образование упругой волны в земле происходит по обычным законам преломления и отражения. Так как волновое сопротивление воздуха почти в 1000 раз меньше волнового сопротивления земли, то и амплитуда смещений в земле будет в 1000 раз меньше амплитуд колебаний частиц воздуха при распространении звуковой волны около границы «земля—воздух». Следовательно, незначительная доля энергии взрыва используется для образования сейсмических колебаний. Также взрывы можно применять при исследовании малых глубин. Интенсивные воздушные звуковые и поверхностные волны не позволяют регистрировать полезные сигналы волн из мест взрыва. Кроме того, взрывание в воздухе требует особых мер безопасности.

В последнее время находят более широкое применение поверхностные взрывы взрывчатых газовых смесей. В качестве такой газовой смеси используются пропан и кислород. Взрывчатая смесь поступает в массивную металлическую камеру диаметром 1 — 1,5 м и взрывается от электровоспламенителя. Масса камеры около 10 т, она остается практически неподвижной при взрыве (или детонации) смеси. Импульс при взрыве смеси передается грунту. Все устройство смонтировано на шасси самодвижущейся установки. После взрыва устройство перемещается на следующую точку, и взрывные воздействия осуществляются последовательно. Возникающие колебания суммируются с помощью специального накопителя. Источник возбуждения синхронизируется с регистратором.

Взрыв заряда ВВ в земле может быть источником и поперечных волн при использовании специально направленных взрывов, создающих асимметричное поле напряжений в среде взрывами на границах искусственных неоднородностей (траншей, камуфлетов, зон разрушения и т. п.).

При взрывах в воде упругая волна возникает под действием ударной волны, распространяющейся от заряда с уменьшающимся давлением на ее фронте по мере ее движения. Продукты взрыва в этом случае образуют газовый пузырь, который под действием давления газов взрыва

создает радиальное течение жидкости. Расширение газового пузыря приводит к уменьшению давления газов на его поверхности до значения, равного гидростатическому. Скорость течения жидкости в этот момент наибольшая, и по инерции пузырь продолжает расширяться до некоторого максимального значения. Давление воды на поверхности пузыря при этом превышает, иногда значительно, внутреннее давление газов. В связи с этим начнется сжатие пузыря. Такие процессы происходят неоднократно, и газовый пузырь совершает пульсации, которые создают повторные удары, которые приводят к возникновению довольно сильных повторных упругих волн в воде. С течением времени этот пузырь всплывает, газы прорываются в атмосферу, и пульсации прекращаются. Промежутки времени между двумя последовательными ударами зависят от массы заряда ВВ и глубины погружения заряда.

При морской сейсморазведке там, где запрещен взрыв твердых ВВ, применяется взрыв газовых смесей, или магнитострикционные, электронскровые, пневматические излучатели, которые создают электрогидравлический удар.

В качестве взрывчатых смесей в основном используют смесь пропана-кислорода, водорода-кислорода и т. п. Ударная волна, возникающая при взрыве газовых смесей, на несколько порядков слабее, чем при взрыве твердых ВВ.

Невзрывные способы возбуждения относятся к слабым источникам возбуждения сейсмических колебаний, поэтому при их использовании нужна чувствительная регистрирующая и обрабатывающая сейсмоаппаратура. Такие источники применяются, например, при ведении сейсморазведочных работ на акваториях морей, там, где предъявляются повышенные требования с целью охраны ихтиофауны.

Для возбуждения сейсмических волн применяют и другие различные способы. Применяют электрогидравлический эффект, удары падающих грузов, вибраторы механического или электромеханического действия и т. п. Такого вида способы возбуждения сейсмических колебаний имеют меньшую мощность по сравнению с взрывом.

Электронскровой излучатель основан на разряде энергии, накапливаемой батареей высоковольтных конденсаторов. Электроразряд создается между электродами, помещенными в воду.

Пневматический излучатель представляет собой специальную буксируемую судном камеру, в которую подается по шлангам сжатый воздух. По электрическому сигналу от сейсмостанции на судне в камере резко открывается выхлопное отверстие и происходит «пневмовыстрел».

Сейсмические колебания можно возбудить с помощью сбрасывания груза массой до 3 т с высоты 3—4 м устройством, смонтированным на автомашине. Последовательные удары по разным площадкам производятся через 10—12 с.

Упругие колебания могут возбуждаться специальным вибратором, излучающим в течение промежутка времени около 10—20 синусоидальных колебаний. Энергия падающей волны тем больше, чем больше

длительность вибрации. Картина приема отображенных сигналов получается сложной, будут наблюдаться наложения волн от разных горизонтов. Для обнаружения интересующих отражений разрабатывается и применяется специальный корреляционный анализ записей колебаний почвы.

Невзрывные источники дают сейсмический эффект небольшой мощности. Наиболее мощные из них могут дать такой эффект, как взрыв 50–100 т твердого ВВ в скважине. Для того чтобы получить необходимый сейсмический эффект при изучении геологического разреза в одной точке, производят несколько десятков возбуждений, не изменяя положения сейсморегистров на профиле. Полученные при разных воздействиях на одной и той же точке профиля сейсмические записи складывают, что дает такой же эффект, как и увеличение массы взрываемого в скважине ВВ.

Контрольные вопросы

1. От чего зависит форма возбуждаемых при взрыве колебаний?
2. Какие невзрывные источники возбуждения сейсмоколебаний Вы знаете? Каков принцип их действия?
3. Каковы особенности действия взрыва и распространения волны в жидкости?

§ 10. Организация полевых сейсморазведочных и буровзрывных работ

Для проведения сейсморазведочных работ организуется сейсмическая партия (отряд). В ее состав входит персонал, необходимый для выполнения всего цикла работ. Направление работ определяется техническим проектом, учитывающим задачи работ, особенности изучаемого района и т. д. Проект должен содержать геолого-техническое обоснование проектируемых исследований, выбор методики полевых работ, аппаратуры и обработки полевых материалов. В нем предусматривается также проведение в необходимых объемах всех вспомогательных работ — топографических, буровых, взрывных, горных и т. п. В проекте приводятся необходимые расчеты длин профилей, систем наблюдений, числа пунктов взрыва, массы зарядов ВВ, глубин скважин, объем бурения с учетом категории пород по буримости и т. п. По каждому виду работ определяется их объем, трудозатраты. Предусматриваются объекты и организационно-технические мероприятия, необходимые для проектируемых работ (склад ВМ, подсобные помещения, снабжение, техника безопасности и др.).

Деятельность геологической партии подразделяется на несколько основных периодов: организационный, полевой, камеральный.

Для выполнения различных работ могут создаваться бригады (отряды): топографическая, буровая, сейсмическая, взрывная, камеральная. Работа должна проводиться в определенной взаимосвязи.

Взрывные скважины бурят на местности в точках, определяемых

системой наблюдений. Диаметр скважин определяется величиной применяемых зарядов, обычно это 88—150 мм, иногда 200 мм.

Для обеспечения устойчивости скважин при повторных взрывах стенку укрепляют различными средствами (промывают глинистым раствором, обсаживают верхнюю часть скважины).

Бурение осуществляют самоходными буровыми агрегатами. Чаще всего применяются шнековые станки. При других способах бурения используется продувка или промывка скважин для удаления буровой мастики.

Взрывные работы выполняются бригадой во главе со старшим взрывником. Взрывные работы выполняются в полном соответствии с Едиными правилами безопасности при взрывных работах.

Иногда взрывные пункты оборудуются на специальных автомашинах, на которых имеется цистерна для воды, необходимой для затопки скважины перед взрывом, специальные ящики для перевозки ВВ и т.п., принадлежности для взрывания и связи, вспомогательное оборудование.

Для взрывания применяются только электрическое инициирование, индукторные или конденсаторные взрывные машинки, специально предназначенные для сейсмических работ. В этих приборах имеется омметр для проверки целостности взрывной цепи, само взрывное устройство, приспособление для передачи отметки момента взрыва на телефонной линии или по радио, которые присоединены к специальным клеммам.

Для обеспечения одновременности взрыва ряда зарядов, если это требуется по техническому проекту, чаще всего используется соединительный детонирующий шнур, который инициируется электродетонатором.

Взрывные работы ведутся только лицами, имеющими право на производство взрывных работ.

Контрольные вопросы

1. Что определяется техническим проектом на сейсморазведку?
2. Как работает геологическая партия?
3. Какие способы взрывания применяются при проведении сейсмонаблюдений и почему?

ГЛАВА 10. УПЛОТНЕНИЕ СЖИМАЕМЫХ ГОРНЫХ ПОРОД ДЕЙСТВИЕМ ВЗРЫВА

§ 1. Расчет зон уплотнения при взрыве заряда

Сжимаемые (несвязные) породы являются по меньшей мере двухфазной системой. При взрыве заряда в сжимаемых породах во всех направлениях от него со звуковой скоростью распространяется взрывная волна, т. е. область больших давлений.

Во время прохождения взрывной волны все компоненты массива несвязных пород подвергаются большому давлению, вследствие чего массив уплотняется, т. е. нарушаются связи между отдельными кусками. После прохождения взрывной волны в массиве происходит волнообразное изменение напряжений, способствующее перераспределению напряжений и деформаций.

Поскольку массивы сжимаемых (несвязных) пород обладают упругопластичными свойствами, то под действием взрывной волны вокруг заряда будет образовываться начальная полость определенного объема, которая постепенно будет расширяться. При распределении взрывной волны в массиве высокому давлению будет подвергаться значительный его объем, а зарядная камера при этом будет расширяться за счет уплотнения.

Другой особенностью действия взрыва в сжимаемых породах является отражение взрывной волны от заполнителей пустот, находящихся между отдельностями, вследствие чего происходит растрескивание цементационного материала, а роль прямой волны в нарушении связей будет незначительна, т. е. роль прямых волн в разрушении массива несвязных пород меньше, чем при разрушении скального массива горных пород, скорость распространения которых составляет несколько тысяч метров в секунду, в несвязных породах 400--800 м/с.

При взрывном разрушении несвязных пород имеет место одновременное воздействие продуктов взрыва, волн сжатия и растяжения, а также поперечных волн. На первой стадии разрушения основную роль играют продукты взрыва, их действие в основном определяется разрушением несвязных пород вблизи заряда.

Метод уплотнения водонасыщенных малосвязанных пород взрывами зарядов ВВ является весьма эффективным средством увеличения прочности оснований сооружений, а также уменьшения их деформируемости при действии статических и динамических нагрузок. Особенностью метода взрыва является использование весьма мощного, доступно и сравнительно дешевого источника динамических воздействий.

При взрывном уплотнении пород основное изменение структуры породы происходит в зоне действия преимущественно ударных волн. Параметрами взрывных волн являются максимальное давление, скорость распространения, время действия и импульс взрывной волны. Импульс взрывной волны определяется по формуле

$$\dot{I} = \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt, \quad (10.1)$$

где $p(t)$ — изменение во времени давления взрывной волны.

Параметры ударных волн определяются по следующим зависимостям, полученным экспериментальным путем:

$$p_{\max} = 53.3 \left(\sqrt{Q/R} \right)^{1.13}; \quad (10.2)$$

Таблица 10.1

Радиусы зон сжатия и разрушения в разных породах

Показатель	Породы слабые-распавшиеся	Песок плотный	Глина	Скальные
K_c	0,6	0,5	0,5	0,2
K_p	0,85	0,63	0,6	0,5
R_c	11,4	9,5	9,5	3,8
R_p	16,15	17,97	11,4	9,5

$$I = 0,0059 \sqrt[3]{Q} (\sqrt[3]{Q/R})^{0,89},$$

где p_{max} — максимальное значение давления взрывной волны; K_c — коэффициент сжатия; Q — масса заряда, кг; R — расстояние от центра заряда, м; I — интенсивность волны, МПа·с.

В несвязных породах в отличие от идеальной жидкости скорость распространения волны сжатия при больших напряжениях меньше скорости звука. По мере удаления волны сжатия пластические деформации сменяются деформациями упругоэластичными, а затем и упругими. Зона действия взрыва при этом разделена на ближнюю, среднюю и дальнюю, а первая, в свою очередь, на области сжатия и разрушения. Размеры зон сжатия и разрушения для сосредоточенного тротилового заряда определяются по формулам:

$$\bar{R}_c = 19K_c; \bar{R}_p = 19K_p, \quad (10.10)$$

где $\bar{R}_c = R_c/R_z$ — относительный радиус зоны сжатия; R_c — радиус зоны сжатия; R_z — радиус заряда; $\bar{R}_p$ — относительный радиус зоны разрушения; K_c, K_p — эмпирические коэффициенты (табл. 10.1).

Контрольные вопросы

1. Какими особенностями характеризуется действие взрыва в несвязных породах?
2. На какие зоны делит область действия взрыва в несвязных породах?
3. Какие соотношения определяют размеры зон сжатия и разрушения?

§ 2. Проведение выработок и полостей в грунтах и скальных породах взрывным методом

Проведение выработок в пластичных породах осуществляется с помощью камуфлетных взрывов. Этот способ сооружения отличается высокой эффективностью и производительностью. Уплотнение пород происходит за счет пластического течения и необратимых деформаций, в результате которых в толще пластичных пород, окружающих камуфлетный заряд ВВ, образуется полость сферондальной или эллипсоидальной формы.

Ударная волна, возникающая при взрыве и приводящая к образованию камуфлетной полости, является в первую очередь результатом

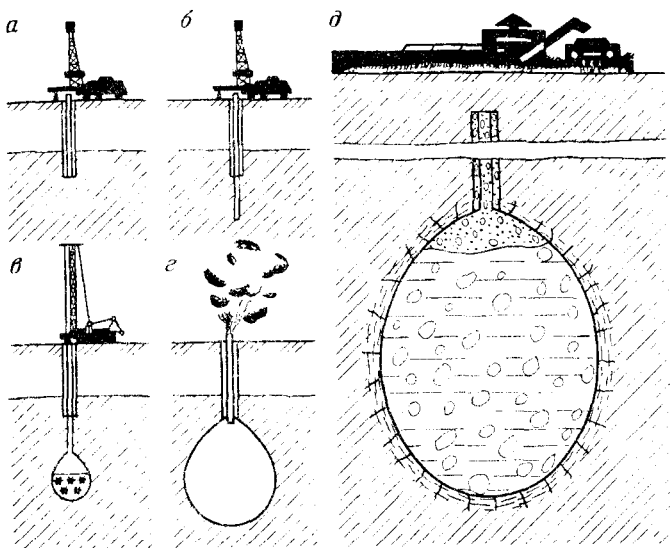


Рис. 10.1. Технологическая схема сооружения подземного резервуара камуфлетным взрывом через скважину:

а и б бурение скважины соответственно начальным и конечным диаметром; *в* образование прострелочного котла; *г* основной взрыв; *д* подземный резервуар, заполненный токсичными веществами

дачи энергии газообразных продуктов взрыва среде, окружающей заряд ВВ.

В табл. 10.2 приведены результаты экспериментальных работ по сооружению выработок взрывами удлиненных зарядов.

При взрывах сосредоточенных зарядов, расположенных на небольших глубинах, происходят выброс части породы и уплотнение породы в донной части воронки выброса. Причем с увеличением заглубления повышается интенсивность уплотнения породы. Максимальное уплотнение достигается при взрыве камуфлетных зарядов ВВ. Такие взрывы широко применяются в горной промышленности для сооружения подземных резервуаров. На рис. 10.1 показана технологическая схема сооружения подземного резервуара взрывом. В породах проходят шурф или скважину. Для защиты от водоносных горизонтов шурф или скважину крепят или цементируют. Затем шурф (скважину) углубляют до отметки заложения заряда ВВ, на забой незакрепленной части шурфа (скважины) опускают заряд ВВ, а скважину (шурф) заполняют гидрозабойкой. В момент взрыва продукты детонации оказывают ударную нагрузку на стенки зарядной камеры. Распирение продуктов взрыва сопровождается образованием сферической полости, сообщаемой с поверхностью земли через закрепленный шурф (скважину).

Таким образом, наиболее трудоемкая часть строительства — земляные работы (разработка, транспортирование грунта и размещение отвалов) — выпадает, что в значительной степени сокращает трудоем-

Таблица 10.2

Экспериментальные данные по сооружению выработок удлиненными зарядами

Радиус заряда, м	Глубина скважины, м	Расход ВВ на 1 м скважины, кг	Размеры выработок после взрыва			Отношение радиусов выработки к заряду	Размеры воронки, м		Подсыпка выработки, м	Грунт
			Глубина, м	Средний диаметр, м	Расход ВВ на скважину, кг		Верхний диаметр	Глубина		
0,132	53,2	60,1	20	3,2	3000	13,2	7,2	6,0	33,2	Разнородный
0,7	30,0	25,3	13,0	2,5	958	12,5	5,8	4,0	17,0	Глина
0,06	27,8	10,07	15,0	1,5	280	12,5	4,1	3,41	12,8	»
0,075	25,0	12,0	6,0	2,5	300	16,6	5,5	3,8	19,0	»
0,1	25,0	25,0	15,0	2,5	625	12,5	5,7	4,0	10,0	»
0,1	19,5	28,0	16,5	2,25	452	11,2	4,0	3,1	3,0	Вязкая глина
0,075	17,0	18,2	14,0	1,84	258	12,3	3,2	2,35	3,0	То же
0,075	30,0	15,2	25,0	2,5	456	16,6	3,8	3,25	5,0	»
0,075	30,0	15,2	25,0	2,3	456	15,3	4,0	2,8	5,0	»
0,05	20,0	7,00	18,0	2,0	140	20,0	4,0	3,15	2,0	Суглинок
0,05	20,0	7,0	18,0	1,8	140	18,0	3,8	2,75	2,0	»
0,04	20,0	4,50	17,0	1,7	90	21,2	3,2	2,75	3,0	»
0,12	40,0	40,0	32,0	3,0	1600	12,5	6,7	4,3	8,0	»
0,12	30,0	40,0	25,0	3,15	1200	13,2	7,0	4,5	5,0	»

кость и время строительства, его стоимость. Освоенная глубина заложения таких резервуаров не превышает 60 м, объем единичной выработки-емкости до 200 м³ (диаметр до 7 м).

Камуфлетный метод проведения подземных выработок применяется в мягких породах. При этом методе из припортальной части тоннеля, пройденной обычным способом, по продольной оси выработки бурят центральную скважину диаметром 100—140 мм, длиной 25—70 м. Скважину заряжают удлиненным зарядом, а часть ее устья заполняют плотным забоечным материалом (цементный раствор, бетон с добавками, ускоряющими схватывание). Для обеспечения устойчивой детонации по всей длине снаряда прокладывают детонирующий шнур.

При взрыве заряда в скважине почти вся энергия взрыва расходуется на создание камуфлетной полости. За счет уплотнения грунта взрывом образуется цилиндрическая выработка, диаметр которой превышает диаметр скважины не более чем в 10 раз. Диаметр D камуфлетной выработки зависит от типа ВВ, массы заряда Q и свойств грунта (пластичности, влажности, гранулометрического состава и др.). Диаметр скважины определяют по формуле

$$D = 2r = 2k_{\text{сж}} \sqrt{Q}, \quad (10.5)$$

где r — радиус выработки, м; $k_{\text{сж}}$ — коэффициент податливости грунта сжатию взрывом удлиненного заряда (при взрывании тротила в плотной сухой глине $k_{\text{сж}} = 0,235$, в супеси — 0,280, во влажных лессовидных суглинках — 0,360).

Взрывные работы должны производиться в соответствии с разработанными проектной организацией рабочими чертежами на буровзрывные работы, согласованными с заинтересованными организациями, и проектом производства работ, в которых должны содержаться указания по обеспечению безопасности работы. Подготовительные и взрывные работы по образованию котлованов производятся в соответствии с графиком работ. В графиках следует предусматривать возможно меньший промежуток времени между производством взрывов по образованию котлованов и установкой опор.

Взрывной способ образования котлованов целесообразнее применять в легкоуплотняемых связных грунтах (глинах, суглинках и супесях). Работы выполняют в следующей последовательности: в пределах контуров котлованов устраивают прямки; по оси котлованов пробуривают шпур; производят зарядание и взрывание зарядов в шпурах.

В зимнее время прямки образуют на всю глубину промерзания грунта. При талом грунте прямки делают на глубину 0,5—0,7 м. Прямки необходимы для уменьшения разрушения поверхности грунта вокруг котлована и уменьшения осыпей рыхлого грунта внутрь шпура во время бурения и зарядания, а также внутрь котлована после взрыва. При наличии плотного дернового покрова прямки в летнее время не устраивают.

Шпур диаметром 50—70 мм бурят строго вертикально по оси

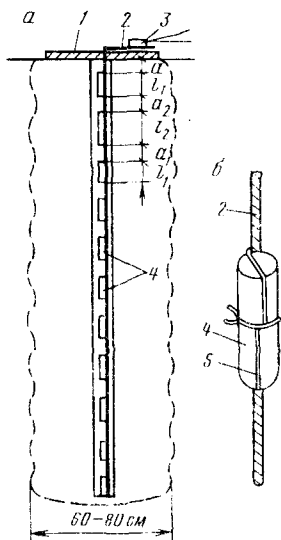


Рис. 10.2. Схема размещения патронов ВВ в шнуре ($a_1 = 100 \pm 150$ мм; $a_2 = 75 \pm 100$ мм; $l_1 = 150$ мм; $l_2 = 220 \pm 250$ мм);

а — разрез заряженного шнура; б — прикрепление патрона ВВ к ДШ (патрон прикрепляют в трех точках); 1 — деревянная перекладина; 2 — ДШ; 3 — электрический провод; 4 — патрон ВВ; 5 — шпатель.

котлована глубиной, на 5—10% превышающей заданную глубину котлована. Перед заряданием шнура должны быть проверены на глубину забойником, имеющим диаметр на 10—20 мм больше диаметра заряда. При сужении шнура, которое может стать препятствием для свободного опусканию заряда ВВ, шнур расширяют взрывом нитки ДШ.

В качестве ВВ применяют патронированный аммонит. Заряды ВВ шнуров заключается в размещении в них рассредоточенных зарядов из 12—14 патронов аммонита, прикрепленных плотно к нитке ДШ и шпагату (рис. 10.2).

Заряд-гирзанду опускают в шнур на шпагате, а затем концы нитки ДШ привязывают к деревянной перекладине, размещаемой над устьем шнура. Нижний патрон заряда должен находиться у дна шнура, а верхний — на расстоянии 100—150 мм от устья шнура. Забойку шнура делают.

Размеры патронов, а также расстояние между ними в зависимости от различных грунтов и условий работ приведены ниже.

Грунт.....	Глина	Суглинок	Песчаный грунт
Размеры патронов (кроме второго* сверху), мм:			
диаметр	35	35	35
длина	150	150	150
Масса патронов (кроме второго* сверху), г.....	150	150	150
Расстояния между патронами, мм:			
на нулевых местах и в выемках.....	50	75	100
на насыпях.....	125	150	175

* Второй сверху патрон делают длиной 220—250 мм и массой 220—250 г.

Приведенные значения расчетных параметров должны уточняться.

конкретных грунтовых условиях на основе данных пробных взрывов. Причем изменять общую массу зарядов следует путем изменения расстояния между патронами ВВ.

Взрыв заряда ВВ производят при помощи электродетонатора, предварительно прикрепленного к концу отрезка ДШ, выведенного на поверхность. В результате взрыва образуется полость диаметром 60–80 см.

Для образования полости диаметром больше 60 см (практически до 3 м) по оси котлованов бурят скважины, диаметр которых может быть определен по формуле

$$d = (0,06 \div 0,08)D, \quad (10.6)$$

где D — необходимый диаметр полости, м.

В формуле (10.6) большую цифру принимают для плотных грунтов, а меньшую для более мягких.

Массу заряда (кг) рассчитывают по формуле

$$Q = 7,85d^2 L \Delta, \quad (10.7)$$

где d — диаметр скважины, дм; $L = H + 2D$ — длина скважины, м; H — проектная глубина котлована, м; Δ — плотность заряжения ВВ, кг/дм³.

Поскольку скважину заряжают на всю длину, для предотвращения образования воронки в устьевой части скважины применяют накладной заряд, который взрывают дополнительными отрезками ДШ одновременно с инициированием основного (скважинного) заряда.

Радиус R_n и высоту H_n накладного заряда (см) определяют по формулам:

$$R_n = 1,25R_{п}, \quad (10.8)$$

$$H_n = (1,1 \div 1,4)d_z, \quad (10.9)$$

где R_n — проектируемый радиус полости, см; d_z — диаметр заряда в скважине, см.

Указанные выше параметры взрывных работ следует уточнять опытным путем.

При взрывных работах при разработке котлованов в скальных породах котлованы должны быть вскрыты по всему проектному поперечному профилю до обнажения скальных пород.

В зависимости от крепости и трещиноватости скальных пород и размеров котлована определяют методы и параметры взрывных работ. Как правило, применяют метод шнуровых зарядов.

При проходке котлованов в скальных породах средней и выше средней крепости применяют постоянную их разработку с обязательным бурением врубовых шнуров.

Глубину отбойных шнуров при врубах с наклонным расположением шнуров (пирамидальный, клиновидный и т. п.) рекомендуется принимать не больше минимального размера стороны котлована.

Фундаменты из камуфлетных свай применяют при строительстве

гражданских зданий и промышленных сооружений, если грунты имеют слабую несущую способность. Основной физической характеристикой является показатель простреливаемости горных пород $\Pi_{\text{пр}}$.

При $\Pi_{\text{пр}} \geq 100$ дм³/кг объем полости для пяты сваи получают путем прострела пробуренной скважины с последующим заполнением полученного котла бетоном и введением в него железобетонной сваи.

Для получения котла требуемых размеров массу заряда ВВ определяют по формуле

$$Q = \frac{R}{0.24\Pi_{\text{пр}}}, \quad (10.10)$$

где Q — масса заряда, кг; R — проектный радиус основания сваи, см; $\Pi_{\text{пр}}$ — показатель простреливаемости, дм³/кг.

Минимальная глубина заложения камуфлетного заряда $h_{\text{мин}}$, при которой действие взрыва на поверхности земли не проявляется, определяется по формуле

$$h_{\text{мин}} = \sqrt[3]{\frac{Q}{0.2k_{\text{в}}}}, \quad (10.11)$$

где $k_{\text{в}}$ — коэффициент сопротивления грунта выбросу взрывом глин и суглинков средней плотности $k_{\text{в}} = 1,3$ кг/м³).

Рассчитанные массы зарядов уточняются по результатам экспериментальных взрывов. Для этого после первых же взрывов измеряют фактический диаметр котла $D_{\text{к}}$ методом заполнения его бетоном. Расчет производят по формуле

$$D_{\text{к}} = 1,2 \sqrt[3]{V}, \quad (10.12)$$

где V — объем бетона, вошедшего в котел, м³.

На основании экспериментальных данных составляют таблицу, по которой в зависимости от расхода бетона определяют оптимальный диаметр камуфлета.

После проходки в скважину помещают заряды, уложенные в специальную тару (деревянные или металлические ящики) со съёмными крышками. Проводники (обычно от двух электродетонаторов) выводятся на поверхность в металлических трубках, которые предохраняют их от повреждения при заливке скважины бетоном. Затем погружают сваи.

При подготовке к взрыву необходимо: пробурить скважину, диаметр которой на 30—50 мм больше диаметра сваи и равен 300—500 мм; в скважину опустить обсадную трубу длиной 1,5—2,0 м (кондуктор), укрепленной на ее верхнем конце веревкой.

Так как прострелку скважины производят, как правило, патронами ВВ, расчетный диаметр заряда округляют до целого числа патронов. При диаметре патрона 0,32 дм два патрона соответствуют заряду диаметром 0,4 дм, три патрона — 0,55 дм, четыре патрона — 0,64 дм, пять патронов — 0,71 дм.

1. В чем состоит сущность технологии сооружения подземных резервуаров взрывом?
2. Какова последовательность работ по образованию взрывом котлованов в легко уплотненных связных грунтах?
3. Назовите основную физическую характеристику, определяющую взрывное образование камуфлетных полостей.
4. Какими параметрами определяется минимальная глубина заложения камуфлетного заряда?

§ 3. Взрывные работы при уплотнении и рыхлении грунтов, посадке насыпей

Важным направлением в строительстве является использование взрывов при уплотнении грунтов. По расположению заряда ВВ относительно уплотняемого объема породы могут быть выделены глубинные, поверхностные и подводные способы уплотнения взрывом.

При уплотнении грунтов глубинными и взрывами заряды погружают в массив на глубину, исключающую выброс грунта при взрыве. При поверхностных взрывах используются накладные заряды, взрывающиеся на поверхности грунта. При уплотнении грунтов подводными взрывами заряды ВВ опускают в воду и взрывают над поверхностью грунта.

Глубинные взрывы проводятся при строительстве ГЭС в намывных под воду мелкозернистых песчаных грунтах. Так, при строительстве Горьковской ГЭС был выполнен взрыв заряда массой 5 кг при мощности рыхлых песков 6,5 м и глубине грунтовых вод 0,6 м. Заряд погружали на глубину 4,9 м. Средняя осадка поверхности в радиусе 8 м достигла 38 см. Второй взрыв такого заряда вызвал меньшую усадку (8 см). Радиус распространения осадки после двух взрывов превышал 30 м.

Значительный эффект глубинных взрывов получен в намывных грунтах хвостохранилищ многих ГОКов.

Поверхностные взрывы впервые были осуществлены в районе строительства Волжской ГЭС.

При взрыве зарядов массой 20 и 40 кг были достигнуты осадки на незначительную глубину — 5 см.

При взрыве зарядов массой 20 кг на участке намыва основания пойменных плотин Горьковской ГЭС образовалась воронка диаметром 2,5 м и глубиной 0,5 м, которая сразу же заплывала разжиженным грунтом. В результате двух последовательных взрывов в одном месте средняя осадка в радиусе 5 м достигла 10 см, а радиус распространения осадки не превышал 15 м.

Первый подводный взрыв для уплотнения несвязного грунта произведен в 1964 г. в районе г. Новороссийска.

Заряд тротила массой 20 кг был взорван в море над поверхностью песчано-гравелистых отложений. Глубина воды в этом месте достигала 18 м, а высота подвески заряда над грунтом — 2,5 м, что обеспечивало отсутствие воронки выброса грунта при взрыве и камуфлетность

взрыва заряда в воде. Заряд подвешивался к поплавку. В результате взрыва была получена осадка поверхности дна моря, уменьшающаяся по мере удаления от места взрыва.

Взрывной метод посадки дорожных насыпей на болото и на торфяники при строительстве железных и автомобильных дорог.

Применяют способы продольных и поперечных траншей, а также поперечных методов скважинных зарядов.

Способ продольных траншей применяют при устройстве дорог с помощью железнодорожного транспорта. При этом вначале в торфяном сооружают осевую траншею, а после ее засыпки две боковые траншеи.

Ширина осевой траншеи (м) определяется по формуле

$$D_{oc} = 2h_3 n, \quad (10.13)$$

где n — показатель действия взрыва; h_3 — глубина заложения заряда.

Ширину боковой траншеи (м) рассчитывают по формуле

$$D_6 = 1.67h_3 n. \quad (10.14)$$

При взрывных работах по посадке насыпей на болото следует применять водоустойчивые ВВ или ВВ в патронах, покрытых водоустойчивым составом, а также водоустойчивые средства инициирования.

Заряды, опускаемые в скважины, помещают в изолирующие гильзы.

При производстве строительных работ (проходка траншей, котлованов, канав и т. д.) в зимних условиях требуется рыхлить мерзлую землю глубиной 1,5 м и более.

Взрывание мерзлых грунтов имеет свои особенности: наличие многого поледистающего слоя, отсутствие естественной трещиноватости и необходимость немедленной уборки во избежание повторного оседания.

Способ и метод взрывных работ при рыхлении мерзлых грунтов выбирают с учетом промерзания грунта, рельефа местности, качества взрыва и расстояния до охраняемых объектов. Используют методы шпуровой и скважинной отбойки.

Взрывание шпуровыми зарядами применяют при глубине промерзания до 1 м, скважинными — более 1 м.

Скважины и шпуров бурят станками БТС-60, БТС-150, БТС-60 и др.

Параметры взрывания рассчитывают в следующей последовательности: составляют принципиальную схему размещения зарядов, определяя длину линии с.п.п., глубину и диаметр шпуров, удельный расход ВВ, расстояние между шпурами в ряду и между рядами.

Линию сопротивления по подошве и глубину шпуров (скважин) принимают

$$H = l = (0.7 \div 0.9) H_{mc},$$

где l — глубина шпуров или скважин, м; H_{mc} — мощность мерзлого слоя, м.

Массу зарядов ВВ рассчитывают по формуле

$$Q = qH^3, \quad (10.16)$$

где q — удельный расход ВВ, кг/м³.

Контрольные вопросы

1. По какому признаку разделяют способы уплотнения грунтов взрывом?
2. Назовите известные Вам способы посадки насыпей при строительстве дорог.
3. Какие особенности характерны для ведения взрывных работ в мерзлых грунтах?
4. В какой последовательности рассчитывают параметры взрывания мерзлых грунтов?

Раздел IV. ПРОСТРЕЛОЧНО-ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ В СКВАЖИНАХ И ЯДЕРНЫЕ ВЗРЫВЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ГЛАВА 11. ПРОСТРЕЛОЧНО-ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ В СКВАЖИНАХ

В геологоразведке при бурении и эксплуатации скважин для разведки и разработки месторождений полезных ископаемых (газа, нефти, угля, воды и др.) широко применяются прострелочно-взрывные работы. Осуществляются эти работы во всех случаях, когда механические являются трудоемкими и сложными.

Прострелочно-взрывные работы в скважинах имеют большое значение для правильной оценки продуктивности разведочных скважин, а также достижения максимальной отдачи или приемистости продуктивных пластов, сокращения сроков бурения, опробования и освоения, следовательно, подсчета запасов на месторождениях нефти и газа. С помощью прострела и взрыва осуществляются такие операции, как боковой отбор образцов горных пород, проб жидкостей и газов в скважинах.

Прострелочно-взрывные работы классифицируются следующим образом с учетом вида операций и технических средств:

- перфорация стенок скважин стреляющими аппаратами — кумулятивными, пулевыми и снаряжными (торпедными) перфораторами для вскрытия и повышения отдачи или приемистости пластов;

- разрыв пластов с помощью скважинных аппаратов — поровых генераторов давления — и торпедирование скважин в целях повышения отдачи или приемистости пластов;

- каротаж пластов с простреливанием канала для отбора проб жидкостей и газа;

- отбор образцов пород стреляющими грунтоносами для изучения геологического разреза скважин;

- торпедирование бурильного и эксплуатационного инструмента с помощью торпед фугасного и направленного действия при ликвидации различных аварий и ликвидации скважин;

- простреливание колонн бурильных или насосно-компрессорных труб перфораторами для восстановления циркуляции жидкости в скважине;

- разделительный тампонаж в скважинах с помощью взрывных порохов.

При изменении и совершенствовании техники и технологии разведки и разработки месторождений нефти, газа, угля, воды технические средства и материалы для прострелочно-взрывных работ, методы

технология их применения также постоянно совершенствуются и обновляются. Так, для ликвидации аварий в скважинах разработаны торпеды фугасного и кумулятивного действия, заменившие ранее применявшиеся торпеды кустарного изготовления. Созданы современные пороховые генераторы давления, которые в ряде случаев позволяют заменить дорогостоящий и сложный метод гидроразрыва пластов, а для разделительного тампонажа в скважинах разработаны взрывные пакеры, заменяющие трудоемкие операции по установке цементных мостов.

Благодаря прострелочно-взрывным работам в большинстве случаев удается успешно ликвидировать различные аварии, связанные с прихватом бурового инструмента и колонн труб, с оставлением посторонних предметов на забое и в стволе скважины. Для прострелочно-взрывных работ характерны высокие эффективность и производительность работ при сравнительно низких стоимости и трудоемкости всех операций.

§ 1. Использование взрывов при бурении скважин и ликвидации аварий

При бурении глубоких скважин вращательным способом отбирают образцы (керны) горных пород специальными колонковыми долотами.

Данный способ трудоемкий и дорогостоящий, керн бывает нарушенным, вследствие чего трудно определить глубины, с которых получены образцы. Поэтому для уточнения геологического разреза часто производят боковой отбор образцов горных пород стреляющими грунтоносами (керноотборниками).

Вскрытие пластов осуществляют в два этапа. Сначала бурят скважины и после крепления скважины обсадной колонной выполняют перфорацию. В разведочных скважинах все чаще ограничиваются только первым этапом — вскрытием пластов при бурении с последующими испытаниями его трубными испытателями или боковыми опробователями пластов.

На втором этапе пласты вскрывают в основном стреляющими перфораторами, а также гидropескоструйными перфораторами. Поэтому этот этап представляет собой одну из самых ответственных операций в комплексе работ по заканчиванию скважины.

Обязательным условием использования взрыва при ликвидации аварий является правильный выбор величины заряда.

При ликвидации прихватов труб в скважинах применяют следующие методы: отвинчивание колонны выше места прихвата с помощью взрыва, «встряхивание» прихваченной колонны, обрыв труб выше зоны прихвата и комбинированные способы, включающие в себя применение взрывных методов.

Отвинчивание колонны с использованием взрыва основано на кратковременном ослаблении резьбовых соединений

при взрыве. Применение взрыва позволяет высвободить часть прихваченной бурильной колонны или весь инструмент путем отвинчивания его с помощью взрыва на разных глубинах.

После выполнения подготовительных операций в скважину на заданную глубину спускают торпеду ТДШ из детонирующего шнура и взрывают.

При высвобождении колонны труб «встряхиванием» используют так же, как и при отвинчивании колонны, торпеду ТДШ. При взрыве заряда, перекрывающего всю длину прихвата, образуется ударная волна, распространяющаяся в затрубную среду и в зону пласта, которая вызывает движение материала, образовавшего прихват, от стенок труб или долота, вследствие чего происходит ослабление их сцепления с затрубной средой.

Метод «встряхивания» часто позволяет высвободить весь инструмент, полностью ликвидировав прихват.

Для обрыва прихваченных труб в скважинах применяют торпеды с фугасным зарядом и торпеды с кольцевым кумулятивным зарядом.

Работу по обрыву труб при помощи фугасных торпед начинают с промывки скважины, после чего определяют место прихвата и назначают глубину торпедирования. Затем в заданном интервале устанавливают опущенную в скважину торпеду и взрывают. Подняв после взрыва кабель, приступают к извлечению колонны труб.

При обрыве насосно-компрессорных труб устанавливают кумулятивный заряд против резьбового соединения труб, поскольку гладкий внутренний проход насосно-компрессорных труб позволяет спустить кумулятивный труборез с минимальным зазором, обеспечивая тем самым благоприятные условия для работы кольцевого кумулятивного заряда. Для обрыва компрессорных труб применяют кумулятивные труборезы ТКГ-45-500, ТКГ-55-500.

Обрыв обсадных колонн относится к числу аварийных. Применяют этот метод для извлечения обсадных труб при ликвидации скважин с целью использования труб на других объектах. Для обрыва колонн применяют кумулятивные торпеды (труборезы), которые дают возможность производить обрыв обсадной колонны с небольшой деформацией. Применение взрывных методов ликвидации аварий должно быть подкреплено квалифицированным выбором заряда и знанием волновой картины действия взрыва на трубу.

Рассмотрим процесс, происходящий при взрыве цилиндрического заряда, находящегося по центру трубы в скважине, заполненной буровым раствором. При взрыве заряда с его поверхности к стенкам трубы уходит ударная волна, и за счет расширения продуктов взрыва из зоны расположения заряда начинает вытесняться буровой раствор, а ударная волна, достигнув стенок трубы, передает часть энергии трубе, вызывая ее расширение, частично отражается, а частично проходит сквозь стенки труб в затрубный раствор. Образовавшаяся ударная волна, двигаясь навстречу расширяющимся продуктам взрыва, взаимодействует с ними.

вым пузырем, тем самым препятствует его расширению. Другая часть ударной волны, прошедшая трубу, продолжает двигаться к стенкам скважины. Достигнув их, она частично уходит в породу, а частично, отразившись от породы, движется обратно, навстречу деформирующейся трубе. При встрече отраженной ударной волны со стенками трубы деформация последней замедляется. Чем ближе стенки скважины к трубе и лучше отражающая способность породы, тем интенсивнее отраженная волна будет препятствовать деформации трубы в скважине.

На результат действия взрыва влияет не только размер заряда, но и диаметр трубы, толщина ее стенки и материал, из которого она изготовлена, а также положение заряда относительно стенок трубы. На эффект взрыва также оказывают влияние плотность и вязкость бурового раствора и гидростатическое давление в зоне действия взрыва. При оценке степени действия взрыва в скважине необходимо учитывать все перечисленные факторы.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются прострелочно-взрывные работы?
2. Для каких целей используется взрыв в процессе бурения скважин?
3. Какие взрывные методы применяют для ликвидации прихватов труб в скважинах?
4. Назовите параметры, влияющие на эффективность действия взрыва при ликвидации аварий.

§ 2. Использование ВВ и порохов при испытании, освоении и эксплуатации скважин

Из большого перечня взрывчатых веществ в геофизике применяют те, которые отвечают специфическим требованиям к прострелочно-взрывным работам в скважинах. Так, пороха используются для изготовления зарядов пулевых и снарядных перфораторов, грунтоносов, пороховых генераторов давления, предназначенных для разрыва пласта, а также при термо-газохимической обработке пласта.

Для глубоких высокотемпературных скважин разработан ряд термостойких порохов. В стреляющих грунтоносах и пулевых перфораторах при температуре в скважине до 100° С применяются преимущественно заряды из штатного пороха. Разработаны также термостойкие пороха, имеющие порог термостабильности до 250° С. В производственных условиях в стреляющих грунтоносах применяют пороховые заряды переменной массы, величина которых обусловливается гидростатическим давлением в скважине и твердостью отбиваемой породы.

Бризантные ВВ применяются для изготовления зарядов кумулятивных перфораторов и торпед. Имеющиеся ВВ используются для изготовления средств инициирования. Применяются очень редко также пиротехнические составы. Самостоятельное значение имеют термостойкие пороха, используемые в грунтоносах и перфораторах, применяемых в высокотемпературных скважинах.

Чистый гексоген используется в детонаторах и детонирующих шну-

рах, а флегматизированный — для изготовления кумулятивных зарядов, кумулятивных перфораторов, зарядов кумулятивных осевых торпед (ТКО), кольцевых грубрезов и шанек торпед ТШТ. Его сплав с тротилом ТГ-50/50 используются в зарядах торпед ТКО и в торпедах большой мощности ТШБ.

Для выполнения прострелочно-взрывных работ на больших глубинах требуются высокотермостойкие ВВ и СИ. При высоких температурах и давлениях применяемые при прострелочно-взрывных работах ВВ должны иметь высокую удельную мощность и способность к детонации, а СИ — высокую инициирующую способность. В отдельную группу следует выделить термостойкие взрывчатые вещества (ТВВ), заряды которых способны выдержать высокие температуры, действующие в скважинах. Заряды октогена в зависимости от размеров, формы и условий использования применяются при температурах 150—200° С.

Другим термостойким ВВ, нашедшим применение при геофизических работах, является ГНДС. Это взрывчатое вещество по своим взрывчатым характеристикам несколько более сильное, чем тротил, но значительно слабее гексогена. Заряды из ГНДС применяются при температурах до 200° С в торпедах ШТШ и ТКО. ГНДС используются также для снаряжения детонирующего шнура. Наиболее термостойким ВВ, применяемым в геофизике, является НТФА. По своим взрывчатым характеристикам оно близко к тротилу, а изготовленные из него заряды применяются при температурах до 250° С. Из НТФА изготавливают заряды кумулятивных перфораторов и торпед, детонирующие шнуры, используемые в средствах инициирования.

При прострелочно-взрывных работах в скважинах заряды ВВ должны заметно изменять свои взрывчатые характеристики.

По своим взрывчатым характеристикам специальные термостойкие составы и вещества являются мощными бризантными ВВ. Однако из-за малой взрываемости, объема газообразных продуктов взрыва и чувствительности к взрывному импульсу у них ниже, чем у гексогена и октогена. Критические диаметры распространения детонации ТВВ не превышают 4 мм, скорости детонации 6500—7500 м/с. Пиротехнические составы применяются для изготовления пиротехнических средств — осветительных, зажигательных, сигнальных, маскирующих и др.

Контрольные вопросы

1. Какие ВВ и пороха применяют в геофизике?
2. Назовите термостойкие ВВ, используемые при прострелочно-взрывных работах.
3. Для каких целей применяют пиротехнические составы?

§ 3. Разделение пластов. Взрывные пакеры

Эффективным способом, применяемым для увеличения отдачи и проницаемости пласта, является разделение или разрыв пласта действием пороховых газов, который основан на генерировании непосред-

венно в скважине высокого давления, необходимого для задавливания в пласт определенной порции газожидкостной смеси через каналы перфорации или трещины с целью создания в данных условиях сети несмыкающихся трещин в горной породе.

Разделение пласта происходит, когда давление, создаваемое в скважине, равно полному горному давлению p или несколько выше его.

Хороший разрыв пласта порохowymi газами осуществляется при давлениях, даже несколько меньших горного давления (но не ниже 0,85р).

Число и размер образуемых трещин зависят от соотношения между давлением, под которым задавливается жидкость, и горным давлением, от физико-механических свойств пласта, а также от количества и свойств жидкости, задавливаемой в пласт.

Устройство для разделения пласта должно отвечать следующим требованиям:

поддерживать давление в течение определенного времени, достаточного для создания сети трещин в пласте, существенно увеличивающих его проницаемость в прискважинной зоне;

выделять такое количество газов, при котором обеспечивается задавливание в пласт необходимой порции жидкости в данных горнотехнических условиях.

Пороховой генератор давления АСГ105К удовлетворяет этим требованиям (рис. 11.1). Основной его частью являются камеры сгорания, в которых размещены пороховые заряды.

В качестве основного заряда используют цилиндрические шашки из высококалорийного пороха. Пороховыми генераторами давления можно осуществлять задавливание жидкости в трещины пласта для его разрыва двумя способами: без ограничения зоны действия генератора в скважине и с ограничением этой зоны. Пороховые заряды и воспламенители производят в заводских условиях.

Генератор АСГ105К предназначен для работы в скважинах, обсаженных трубами с внутренним диаметром не менее 126 мм при гидростатическом давлении до 35 МПа и температуре до 100° С. Генератор спускают в скважину на трехжильном бронированном кабеле.

Выбор скважин для разделения пласта осуществляется с учетом со-

Техническая характеристика генератора АСГ105К

Наружный диаметр аппарата, мм	105
Длина аппарата с перфоратором типа ПК (на десять кумулятивных зарядов), мм	5000
Число камер сгорания	1—3
Общая масса комплекта заряда из семи пороховых шашек (на одну камеру), кг	3,5
Диаметр пороховой шашки, мм	26
Размер пороховой шашки, мм	26×600
Масса воспламенителя, г	70
Рабочее давление в камере сгорания, МПа	0,5—1,2
Продолжительность горения заряда, с	0,1—0,5
Предельная глубина применения, км	3,5

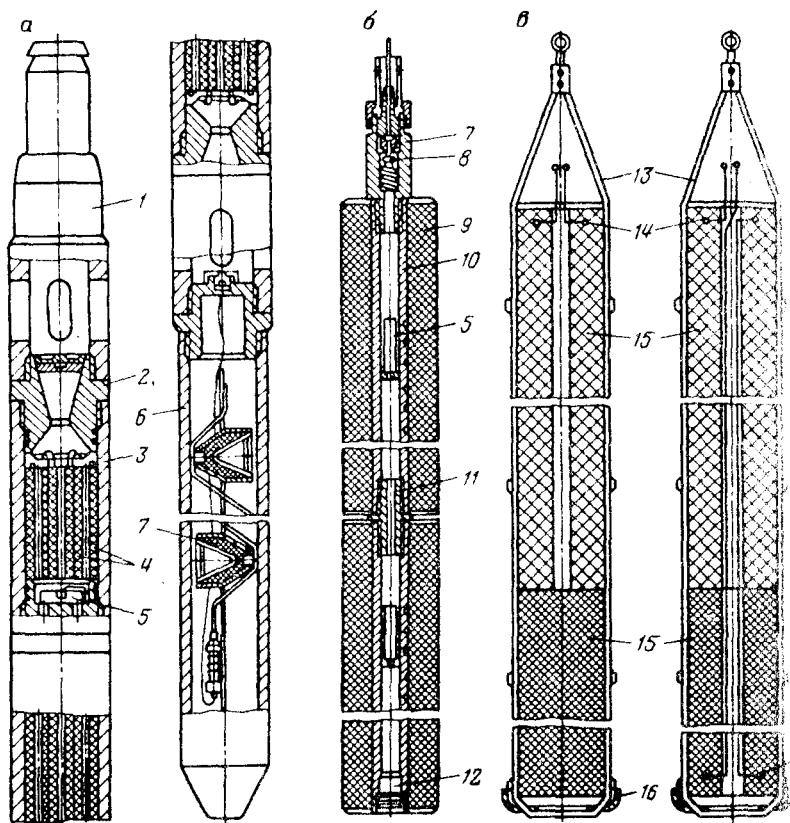


Рис. 11.1. Устройство пороховых генераторов (аккумуляторов) давления:

а корпусный генератор АСТ-105; *б* и *в* бескорпусные генераторы давления соответственно ПГДБК и АДС; 1 головка; 2 сопло с вкладышем; 3 камеры хранения; 4 шланги пороховых зарядов; 5 воспламенитель; 6 кумулятивный корпусный перфоратор; 7 кумулятивизатор; 8 пиропатрон; 9 пороховые заряды; 10 опорная труба; 11 штуцер; 12 загрузка пороха; 13 электроспираль накаливания; 14 пороховые заряды; 15 поддон

стояния обсадной колонны и цементного кольца, а также бить по водоносным и газоносным горизонтам.

Метод разделения пластов давлением пороховых газов дает наилучшие результаты при его применении в скважинах с плотными малопроницаемыми коллекторами. Хорошие результаты получаются при высоком пластовом давлении и большой остаточной нефтегазонасыщенности.

Для разделительного тампонажа в скважинах применяют снаряды, работающие с использованием энергии горения и взрыва, — взрывные пакеры и пружинно-цементные взрывные мосты.

Назначение взрывных пакеров — разбивание пластов в обсадочных скважинах. Они используются также для нагнетания цемента

раствора при ремонтных работах, создания искусственного забоя в скважине и в других целях.

При применении взрывных пакеров одна часть внутренней полости обсадной колонны от другой должна быть надежно разобщена, чтобы была обеспечена их взаимная герметичность на заданной глубине и при данном перепаде давления.

Взрывные пакеры в скважине устанавливаются для следующих целей:

изоляция нижележащего объекта в разведочной скважине при переходе на испытание верхних объектов;

изоляция объекта в эксплуатационной скважине при переходе к другим объектам;

изоляция подожженной воды в эксплуатационной скважине;

изоляция пласта в нагнетательной скважине при переходе на закачку в другие пласты;

создание искусственного забоя в скважине, например, для установки отклонителя при забурировании второго ствола и т. д.

Выбор типа взрывного пакера производится в зависимости от температуры и гидростатического давления в интервале установки и с учетом цели разобщения.

Взрывной пакер типа ВП (рис. 11.2) предназначен для установки разобщающих мостов в скважинах с гидростатическим давлением до 59 МПа и температурой до 120° С.

Корпус взрывного пакера ВП необратимо деформируется под давлением пороховых газов до прочного сцепления с внутренними стенками обсадной трубы, создавая надежное разобщение.

Техническая характеристика взрывных пакеров типа ВП

Тип пакера	ВП88	ВП92	ВП102	ВП110	ВП118	ВП135
Наружный диаметр, мм	88	92	102	110	118	135
Длина без переходника и груза, мм	475	490	535	570	605	605
Масса без переходника и груза, кг	5,15	6,30	7,90	9,64	11,62	15,68

Взрывной пакер типа ВПШ (рис. 11.3) предназначен для установки разобщающих мостов в скважинах с гидростатическим давлением до 147 МПа и температурой до 200° С.

Взрывной пакер типа ВПШ состоит из пакерирующей части и камеры. Камера используется многократно. Воспламенение заряда осуществляется от пиропатрона.

Техническая характеристика взрывных пакеров типа ВПШ

Тип пакера	ВПШ-82	ВПШ-102
Наружный диаметр, мм	82/82	102/110
Длина, мм	375/862	404/861
Масса, кг	9,6/24,6	16,6/33,7

Примечание. В скобках приведены значения соответствующих параметров для пакера ВПШ-110.

Кольцевой взрывной пакер типа КВП предназначен для изоляции верхнего и среднего пластов, а также для отсечения непродуктивного участка в трубах этих скважин. Применяется при гидростатическом давлении до 29,4 МПа и температуре до 100° С.

Под действием давления пороховых газов верхнее и нижнее уплотнения необратимо деформируются до прочного сцепления со стенками обсадной трубы, изолируя ее участки.

При установке пакера в скважине величина кольцевого зазора между стенками обсадной колонны и пакера должна быть минимально допустимой по условиям проходимости пакера в скважине. При температурах, превышающих определенную величину, невозможно достичь нужд.

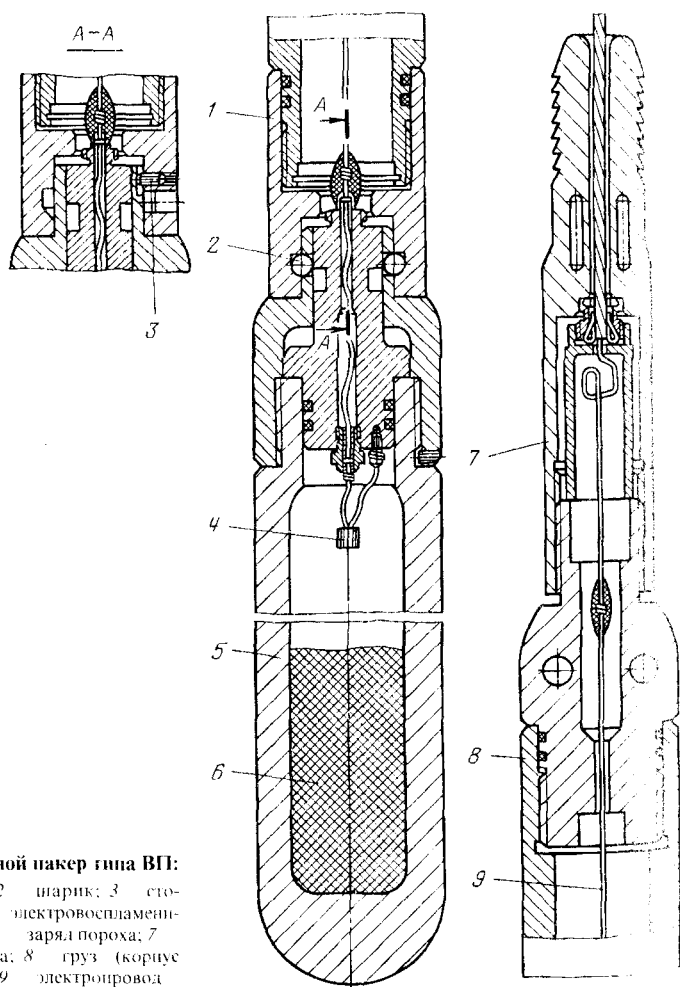
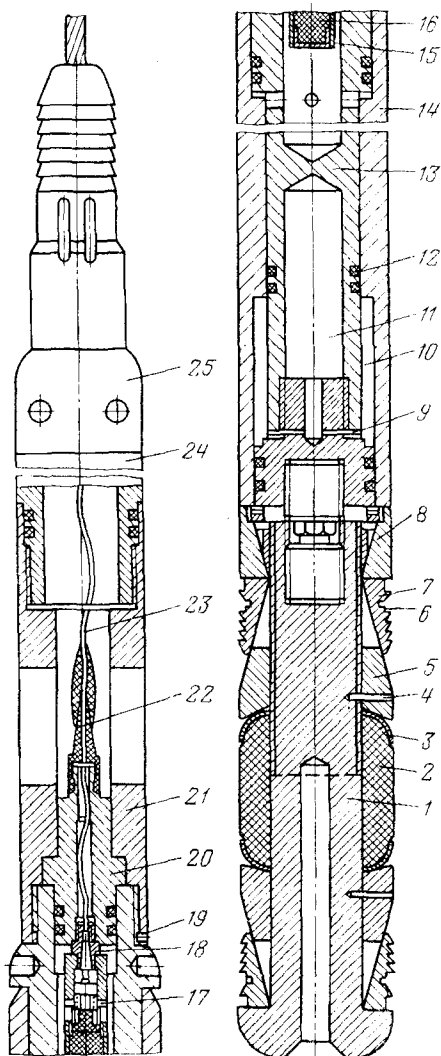


Рис. 11.2. Взрывной пакер типа ВП:

1 - переходник; 2 - шарик; 3 - стопорный винт; 4 - электровоспламенитель; 5 - корпус; 6 - заряд пороха; 7 - кабельная головка; 8 - груз (корпус перфоратора ПК); 9 - электропровод

Рис. 11.3. Взрывной пакер типа ВПШ:

1 — шток; 2 — манжета; 3 — упорная крышка; 4 — штифт; 5 — конус; 6 — ограничительное кольцо; 7 — плашка; 8 — стопорная гайка; 9 — отверстие гидравлического тормоза; 10 — пространство для тормозной жидкости; 11 — свободная полость; 12 — уплотнительное кольцо; 13 — внутренний корпус; 14 — обойма; 15 — оболочка заряда; 16 — заряд; 17 — пиропатрон; 18 — внутренний электроввод; 19 — стопорный винт; 20 — пробка; 21 — переходник; 22 — наружный электроввод; 23 — провод; 24 — корпус перфоратора типа ПК; 25 — головка перфоратора типа ПК



Техническая характеристика взрывных пакеров КВП

Тип пакера	КВП-118	КВП-135
Наружный диаметр, мм	118	135
Длина верхнего узла, мм	700	700
Длина нижнего узла, мм	700	740
Масса верхнего узла, кг	25,3	35,2
Масса нижнего узла, кг	19,7	29,8
Минимальный диаметр проходного сечения пакера после установки его в скважине, мм	82	100
Максимальное давление пласта, подлежащего изоляции, МПа	19,6	19,6

ходимого растяжения стенок корпуса пакера без появления трещин. Для обеспечения эффективной работы при допустимых зазорах в месте материала пакера применяют алюминиевые сплавы с большим удлинением (не менее 12%) при растяжении.

Контрольные вопросы

1. Раскройте сущность взрывных методов разделения и разрыва пластов.
2. Каким требованиям должны отвечать устройства для разделения пластов?
3. Какова конструкция порохового генератора давления АСГ?
4. В чем состоит назначение взрывных пакеров? Для каких целей они используются?
5. С учетом каких параметров осуществляется выбор взрывного пакера?

§ 4. Работы по улучшению проницаемости пласта

Вскрытие пласта, повышение его отдачи и проницаемости, подготовка к гидроразрыву, а также повышение эффективности кислотной обработки скважин проводятся торпедными зарядами ВВ массой до 10 кг. Эти работы проводят в закрепленных трубами скважинах и твердых продуктивных пластах в условиях, когда по каким-либо причинам осуществление перфорации невозможно. С помощью торпедирования создается раздутие трубы с системой трещин в металле, цементе и породе. В глубоких скважинах, пробуренных в прочных породах и с хорошим качеством затрубного пространства, диаметр (d_3) торпеды ТН84 (рис. 11.4) и ТНТ (рис. 11.5) составляет $(0,2 \pm 0,4) d_{тр}$; первые трещины в породе появляются при $d_3/d_{тр} = 0,2$. С целью увеличения проницаемости в скважинной зоне пласта проводят фугасное торпедирование по специальным проектам большими зарядами (с массой несколько сотен тысяч килограммов). Работы по торпедированию большими зарядами наиболее эффективны в скважинах глубиной 1–2 км. На больших глубинах эффективность торпедирования сильно падает.

В период строительства геологоразведочных предприятий для обеспечения людей и оборудования водой бурят артезианские скважины. Через определенный промежуток времени продуктивность скважин может резко снижаться. Увеличение дебита воды можно достигнуть торпедированием скважин (рис. 11.6).

Торпедирование скважин применяют также для разрушения обсадных труб, бурового инструмента на забое, дробления оставшихся в скважине металлических предметов, ликвидации прихвата бурового инструмента и прищипания колонны труб к стенкам скважины.

Торпеда представляет собой заряд ВВ, предназначенный для взрыва в скважине (рис. 11.7).

Существуют следующие виды торпед: шнуровые, фугасные, кумулятивные осевого действия, труборезы и другие. Шнуровые торпеды ТДШ25 (рис. 11.8) и ТДШ50 (рис. 11.9) включают в себя заряды из порохового гонимого, взрывной патрон, трос, на котором крепят заряд и груз.

Кумулятивная торпеда осевого действия ТК070А состоит из кумулятивного заряда с взрывателем, корпуса, переходника и груза. Массы

Рис. 11.4. Торпедя ТН84:

1 груз; 2 штифт; 3 подвеска; 4 взрыватель; 5
пластмассовый диск; 6 прокладка; 7 электродетонатор;
8 кольцевая палка ВВ; 9 заряд ВВ; 10 корпус; 11
дно

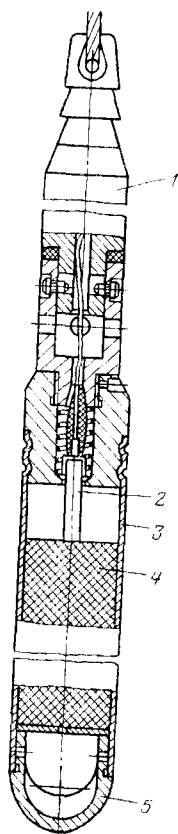
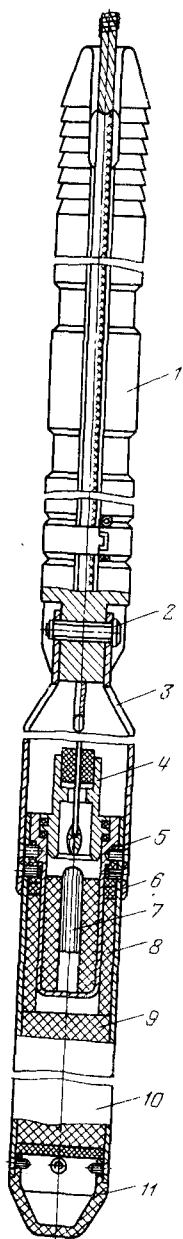


Рис. 11.5. Торпеды типа ТНТ:

1 груз; 2 взрывной патрон; 3 корпус; 4 заряд ВВ;
5 наконечник

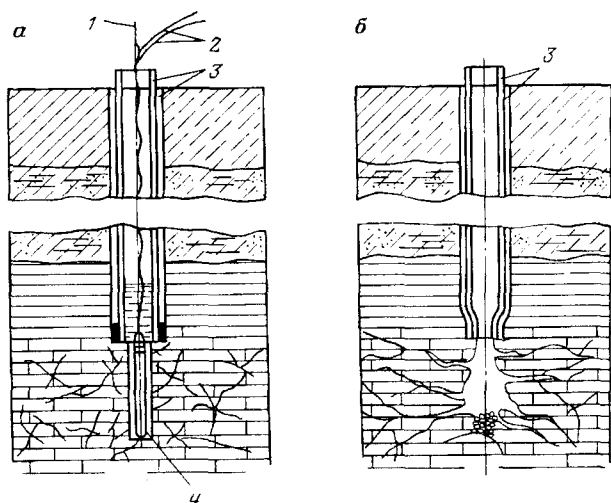


Рис. 11.6. Торпедирование скважин:

а — установка торпеды в скважину; б — скважина после взрыва торпеды; 1 — канат; 2 — электропровода; 3 — обсадные трубы; 4 — торпеда

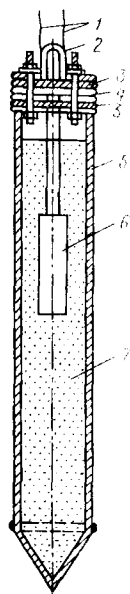


Рис. 11.7. Устройство торпеды:

1 — электропровода; 2 — металлическая скоба; 3 — фланцы; 4 — резиновые прокладки; 5 — корпус; 6 — патрон-боек; 7 — заряд ВВ

заряда составляет 1—2 кг. Торпеды типа ТШБ с большими зарядами используют при обработке продуктивных пластов. Труборезы кумулятивные герметичные с зарядами поперечно-плоского действия типа ТКГ предназначены для перерезания труб.

Для выбора типа торпеды и массы заряда предварительно определяют глубину скважины, уровень воды в ней, диаметр и длину колонны обсадных труб, наличие в скважине обвалов, повреждений труб, температуру в скважине, состояние буровой вышки, а также наличие построек и жилых зданий.

На основании материалов исследований составляют рабочий проект (паспорт) производства взрывных работ, в котором проводят расчет заряда, выбирают конструкцию торпеды, меры предохранения колонн и условия безопасного производства работ.

В качестве ВВ для снаряжения торпеды выбирают гранулированный и прессованный тротил, алюминот и водоустойчивые сорта аммония.

Масса заряда (кг) при торпедировании скважин

$$Q = 0,785 d_t^2 \Delta l, \quad (11.1)$$

где d_t — внутренний диаметр торпеды, дм; Δ — плотность заряжающего, кг/дм³; l — длина заряда, дм.

Рис. 11.8. Торпеда ТДШ25:

1 — взрывной патрон; 2 — держатель; 3 — заряд из детонирующих шнуров; 4 — трос; 5 — груз

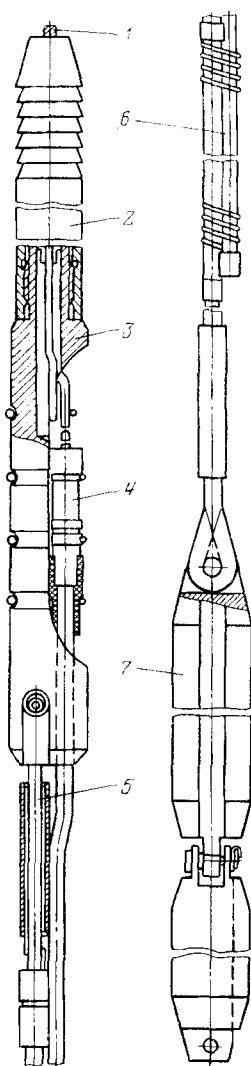
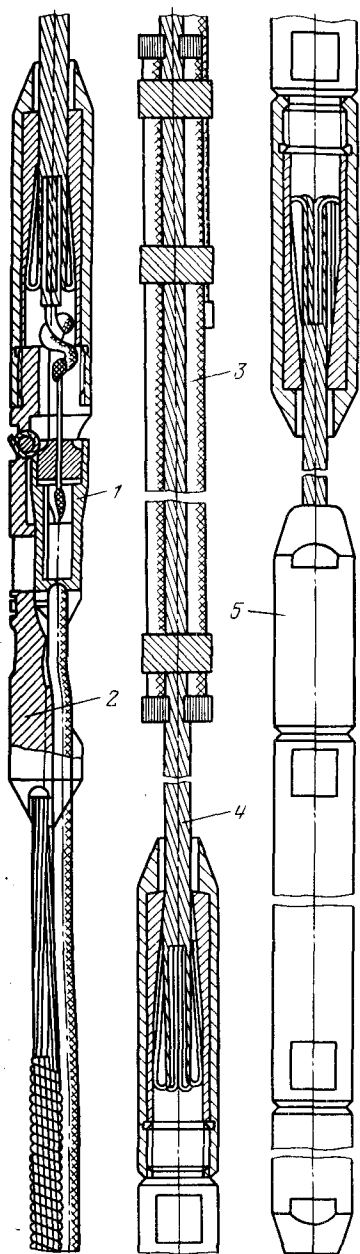


Рис. 11.9. Торпеда ТДШТ50:

1 — кабель; 2 — кабельный наконечник; 3 — корпус;
4 — взрывной патрон; 5 — трос; 6 — заряд из детонирующих шнуров; 7 — груз

При торпедировании с целью образования каверны и зоны трещинообразования рассчитывают диаметр получаемой каверны и радиус зоны трещинообразования.

Диаметр каверны находят из выражения

$$D_k = d_z \sqrt{P_{\text{пр}}} , \quad (11.1)$$

где d_z — диаметр заряда, дм; $P_{\text{пр}}$ — показатель простреливаемости, дм³/кг.

Для обеспечения свободного спуска торпеды по скважине наружный диаметр торпеды должен быть на 25—35 мм меньше внутреннего диаметра обсадных труб.

Радиус зоны трещинообразования

$$R_{\text{т.с}} = \sqrt[3]{Q/q} , \quad (11.2)$$

где q — удельный расход ВВ, кг/м³.

Длину заряда принимают равной мощности водоносного слоя, подлежащего торпедированию. Массу заряда для торпед устанавливают по вместимости. Для разрушения обсадных труб с целью последующего их извлечения массу заряда Q определяют в зависимости от диаметра обсадных труб d .

Масса заряда Q , кг	100	125	150	200	250	300	400
Диаметр обсадных труб d , мм	6	9	13	16	18	22	30

Для дробления долот диаметром 400 и 300 мм массу заряда ВВ принимают соответственно 25—30 и 22—25 кг.

К снаряжению торпеды приступают после подготовки скважины к взрывным работам. Подготовку торпеды производят в специальном помещении на расстоянии 50 м и более от места производства взрывных работ. Способы взрывания торпеды — электрический и с помощью ДШ.

Во избежание деформации труб рекомендуют следующие меры: ограничение масс заряда в торпедо до 7 кг, применение воздушно-пузырьковых завес, устройство предохранительных мостов.

Предохранительным мостом называют пробку из насыпных материалов (песок, гравий) или быстросхватывающихся гипсовых цементов. Высоту моста из насыпных материалов определяют по формуле

$$h_m = 3,5 \sqrt[3]{Q} . \quad (11.3)$$

В качестве забоечного материала используют воду. Взрывание торпеды проводят с поверхности. Допускается использование любых источников тока, применяемых в электровзрывании.

После производства взрыва подходить к устью скважины разрешается только руководителю взрывных работ, но не ранее чем через 5 мин.

Если торпеда не взорвалась, то ее необходимо осторожно поднять из скважины и установить причину отказа.

Контрольные вопросы

1. В каких условиях проводят взрывное вскрытие пластов, происходит повышение их отдачи и проницаемости?
2. Для каких целей применяют взрывное торпедирование скважин?
3. Какие виды торпед Вы знаете?
4. На основе каких параметров и технологических условий осуществляют выбор типа торпеды?

§ 5. Торпедирование скважин и конструкции торпед

Торпедирование скважин при бурении и эксплуатации применяют в следующих случаях:

- 1) для высвобождения находящихся в аварии прихваченных трубных колонн «встряхиванием», ослаблением резьбовых соединений при развинчивании, а также обрывом или перерезанием;
- 2) для профилактики прихватов бурильного инструмента при разрушении желобов;
- 3) при разрушении металлических предметов, оставленных в скважине или упавших в нее;
- 4) для вскрытия пласта в закрепленных трубами скважинах созданием трещин в трубах и затрубном пространстве;
- 5) при очистке фильтров в нефтяных и водозаборных скважинах для увеличения их производительности;
- 6) для увеличения проницаемости прискважинной зоны продуктивного пласта;
- 7) при удалении остатков цемента со стенок обсадных труб;
- 8) при заклинивании вала турбобура для высвобождения его от прихвата.

Торпеды по характеру действия делятся на два типа: направленного (торпеды кумулятивные осевые ТКО и труборезы кольцевые герметичные ТКГ) и общего фугасного действия (торпеды ТШ, ТШТ, Ф, ТДШ).

По способу герметизации заряды-торпеды подразделяются на герметичные типа Ф, ТКГ, в которых заряд полностью изолирован, разгруженно-герметичные типа ТДШ, ТКО, в которых заряд не контактирует с жидкостью, но давление жидкости частично передается на взрывчатое вещество через оболочку стенки, и негерметичные типа ТШ, ТШТ, заряд которых находится в прямом контакте с жидкостью, заполняющей скважину.

Для торпедирования очень важно правильно выбрать заряд. Поэтому по величине заряда ВВ торпеды фугасного действия делятся на торпеды с ограниченной величиной заряда до 7 кг и на большие торпеды с массой заряда, достигающей нескольких тонн.

Фугасные торпеды типа ТДШ применяют для ликвидации прихватов труб при методе «встряхивания и отвинчивания» в скважинах с гидростатическим давлением до 49 МПа и температуре до 100° С. Торпеда состоит из заряда одного или нескольких отрезков ДШ, смонтиро-

ванных на тросе, головки, состоящей из взрывного патрона, который прикреплен к держателю, и груза.

Термостойкие торпеды типа ТДШТ применяются при гидростатическом давлении до 98 МПа и температуре до 200° С. Ниже приведен характеристики торпед типа ТДШ.

Техническая характеристика фугасных торпед

Тип торпеды	ТДШ-25	ТДШТ-50
Длина головки, мм	245	330
Длина головки и груза, мм	24	50
Длина заряда, м	1 100	1 50
Длина груза, мм	2200	1600
Масса груза, кг	7	15

Торпеды типа ТШ предназначены для обрыва прихвата труб в скважинах с гидростатическим давлением до 4 МПа и температурой до 100° С.

Торпеды негерметичные, термостойкие типа ТШТ (см. рис. 11.1) предназначены для обрыва прихваченных труб в скважинах с гидростатическим давлением 78,4 МПа и температурой до 250° С.

Кумулятивные торпеды отличаются направленностью действия взрыва, а фугасное действие их значительно меньше.

Различают торпеды осевого действия (ТКО и ТКОТ) и поперечного кольцевого (ТРК). Торпеды кумулятивные осевого действия типов ТКО, ТКОТ предназначены для разрушения металлических предметов, трубных переходников и другого бурового оборудования. Данные торпеды опускают в скважину на кабеле в бурильных трубах.

Контрольные вопросы

1. Для каких целей торпедируют скважины?
2. На какие типы делятся торпеды?
3. В чем заключается отличие действий фугасных и кумулятивных торпед?

§ 6. Разрыв пласта пороховыми генераторами давления

В тех случаях, когда продуктивный пласт сложен из малопроницаемых горных пород, при отсутствии естественной трещиноватости, низкой потенциальной энергии пласта, высокой вязкости нефти и т. п. наряду с другими способами применяют взрывные способы увеличения отдачи или проницаемости пласта путем искусственного повышения проницаемости прискважинной зоны. Широкое распространение получили способы воздействия на пласт пороховых газов. Способ основан на механическом, тепловом и химическом воздействиях газов на горючие породы. Пороховые газы под высоким давлением, расширяясь, прожимают жидкость, находящуюся в скважине, в пласт через фильтры.

обсадной колонне, производят разрыв пласта с получением раскрытых трещин.

Пороховые генераторы давления подразделяются на корпусные АСГ105К и бескорпусные ПГДБК100/80, ПГДБК100/150, ПГДБК90/20, АДС-5, АДС-6.

Бескорпусные пороховые генераторы (аккумуляторы) давления подразделяются на герметичные (ПГДБК) и негерметичные (АДС). Бескорпусный генератор давления состоит из нескольких соединенных между собой цилиндрических пороховых зарядов, имеющих центральное отверстие, каждый из которых изолирован от внешней среды тонкой металлической оболочкой. В этом случае заряд находится под давлением внешней среды. Соединение зарядов между собой осуществляется с помощью штуперов.

Генераторы давления типа АДС имеют пороховые заряды, находящиеся в контакте с внешней средой и под ее давлением. Заряд состоит из основного в виде сплошной цилиндрической нашки и дополнительного — с центральным каналом. Поджигание заряда осуществляется с помощью электрических воспламенительных спиралей накалывания, смонтированных в верхний заряд. Горение основных пороховых зарядов начинается с торцовых поверхностей, а затем распространяется и на боковые.

Аппараты ПГДБК предназначены для работ при температурах до 200° С и гидростатических давлениях до 200 МПа, а АДС до 100° С и 35 МПа.

Обработку пласта давлением пороховых газов выполняют в следующих случаях:

при пониженной проницаемости в прискважинной зоне по сравнению с удаленными точками пласта;

плохой проницаемости прискважинной зоны пласта при бурении, освоении и эксплуатации скважин;

расположении вблизи скважины, характеризующейся высокой продуктивностью, скважины, имеющей низкую продуктивность.

Контрольные вопросы

1. В каких случаях применяют взрывные способы увеличения отдачи или приемистости пласта?
2. Какие типы пороховых генераторов давления Вы знаете?
3. Из каких элементов состоит бескорпусные генераторы давления?

§ 7. Очистка фильтров взрывом в водозаборных скважинах

Для очистки фильтров в водяных скважинах широко применяются взрывные работы, т. е. взрывание зарядов с помощью детонирующего шнура. Число ДШ выбирают так, чтобы взрыв не разрушил фильтр. Взрыв ДШ не создает новых трещин, а только восстанавливает естественную проницаемость пласта удалением осадков. Работы выполняют

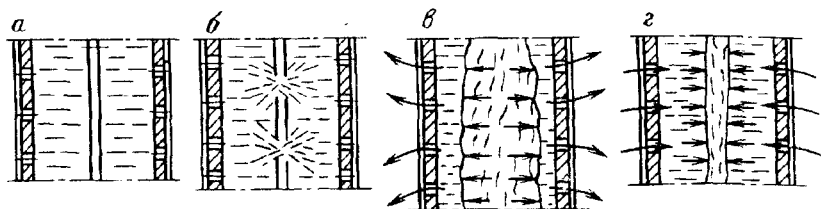


Рис. 11.10. Схема действия взрыва при очистке фильтра:

а — до взрыва; б — во время взрыва; в — расширение газового пузыря; г — сжатие газового пузыря

торпедами ТДШ и ТДШВ. Головку торпеды размещают на 0,5 м выше фильтра и так, чтобы перекрыть фильтр зарядом. Действие взрыва по очистке фильтра показано на рис. 11.10.

Торпеды устанавливаются в колонке против засоренного фильтра. При взрыве ударная волна у фильтрующей поверхности наносит удар с раскалыванием осадка, сбивая его в затрубное пространство и на забой. Сбиванию и удалению осадка способствуют движение жидкости из скважины в затрубное пространство, вызванное расширением продуктов взрыва, и обратное движение из затрубного пространства в ствол при схлопывании газового пузыря. Пульсация пузыря приводит к очистке фильтра.

Если продуктивный пласт представлен прочными породами, перекрытыми перфорированной трубой, или эксплуатируется открытым стволом, то заряд для очистки поверхности ствола целесообразно увеличивать до 200 г.

Иногда для торпедирования применяют заряды большого диаметра, не считаясь при этом с разрушением колонны, если принято решение не возвращаться на испытываемый интервал.

Для увеличения дебита применяют также метод внутрипластовых взрывов. В пласте на большой глубине взрывают ВВ с тем, чтобы создать в продуктивном пласте дополнительную трещиноватость. ВВ для размещения в пласте должно быть жидким, пастообразным или, по крайней мере, взвесью гранул ВВ с жидкостью. Применяемое ВВ должно быть малочувствительным к удару, обладать хорошими взрывчатыми характеристиками, малым критическим диаметром.

Контрольные вопросы

1. Каким действием характеризуются взрывы ДШ в водозаборниках?
2. В каких случаях оправдано применение для торпедирования зарядов большого диаметра?
3. В чем состоит сущность метода внутрипластовых взрывов?

§ 8. Пулевая и снарядная перфорация

Под перфорацией скважин понимается вскрытие продуктивных пластов в скважинах с обсадными колоннами с целью установления

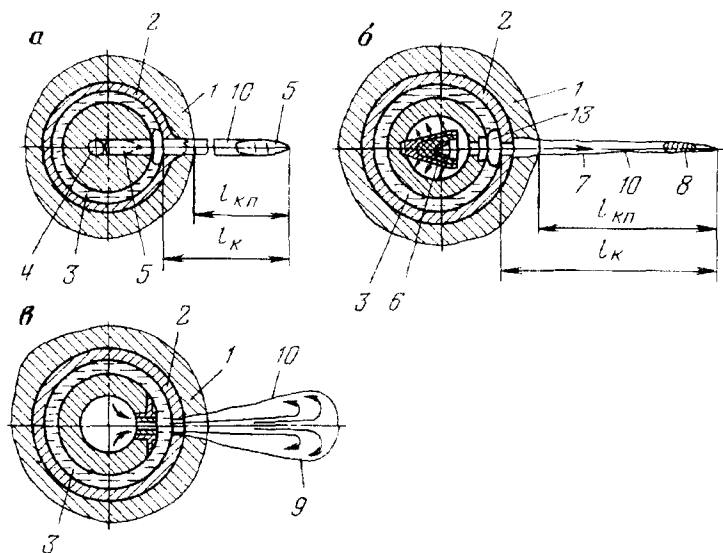


Рис. 11.11. Различные способы пробивания каналов в стенках скважины с целью вскрытия пласта:

а — пульсовая перфорация; *б* — кумулятивная перфорация; *в* — гидрорескоструйная перфорация; 1 — ствол скважины; 2 — обсадная колонна; 3 — перфоратор; 4 — пороховой заряд; 5 — пуля; 6 — кумулятивный заряд с облицованной выемкой; 7 — кумулятивная струя; 8 — пест от облицовки кумулятивной выемки; 9 — гидроразрывная струя; 10 — перфорационный канал; $l_{кп}$ — полная длина канала; l_k — длина канала в горной породе пласта

надежной гидродинамической связи между пластом и скважиной. Перфорация скважин осуществляется стреляющими перфораторами, которые по принципу действия подразделяют на пулевые и кумулятивные. Используют также гидрорескоструйные перфораторы, которые применяются реже.

Принцип действия перфораторов, применяемых для вскрытия пластов в скважинах, заключается в метании пуль, кумулятивных или гидроразрывных струй в направлении стенки скважины и пробивании ими сети каналов, проходящих через стенки обсадной колонны, слой затрубного цементного камня и входящих на определенную глубину в продуктивный пласт (рис. 11.11).

Пулевые перфораторы делятся на перфораторы с горизонтальным расположением стволов и с вертикально-криволинейными стволами.

В пулевых перфораторах метание пуль производится за счет работы расширения пороховых газов высокого давления, образовавшихся при сжигании пороховых зарядов.

Для пулевых перфораторов требование высокого и стабильного продуктивного действия имеет исключительное значение.

Таким образом, принцип пулевых перфораторов основан на использовании энергии пороховых газов для метания пуль, которые про-

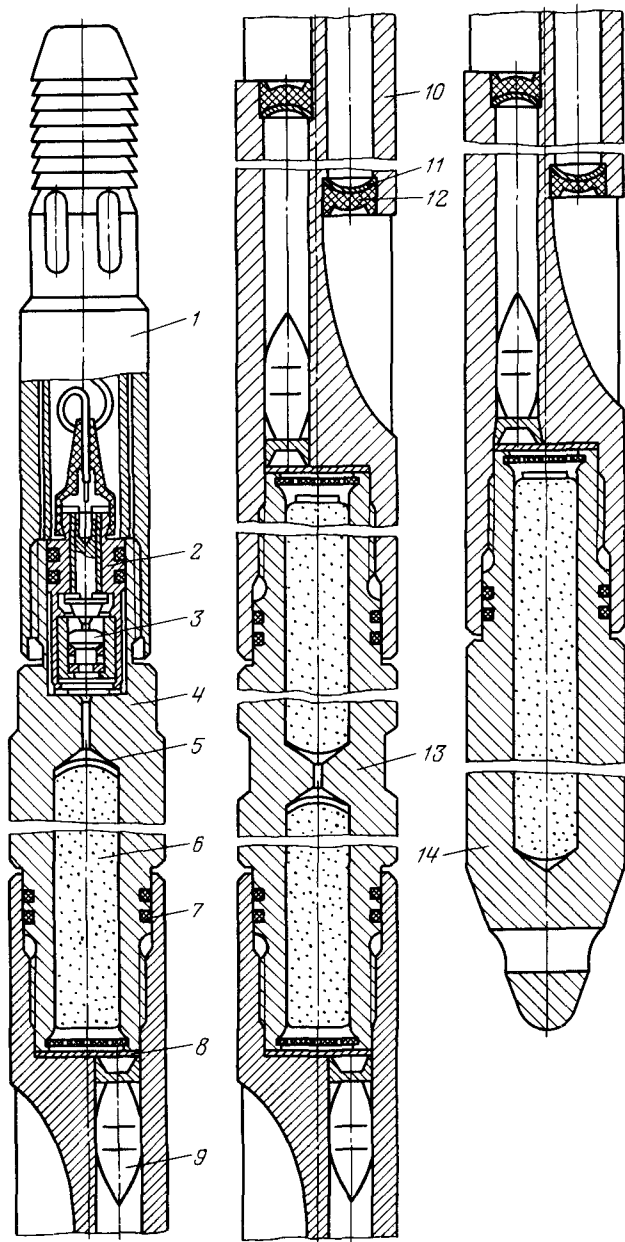


Рис. 11.12. Двухканальный пулевой перфоратор ПВТ-73:

- 1 кабельный наконечник; 2 электроввод; 3 пиропатрон; 4 головка; 5 воспламенитель;
 6 пороховой заряд; 7 уплотнительное кольцо; 8 диск форсирования; 9 пуля; 10 секция;
 11 опорный диск; 12 дульная пробка; 13 переходник; 14 наконечник

бывают отверстия в стенке обсадной колонны и образуют каналы в цементном камне и горной породе, слагающей пласт.

Горение пороховых зарядов в перфораторах с горизонтальными и вертикально-криволинейными стволами происходит неодинаково. Так, в пулевых перфораторах с горизонтальными стволами, благодаря высокой плотности заряжания ($0,8—1,2 \text{ г/см}^3$), горение пороха протекает очень быстро и почти заканчивается до начала движения пули. Давление пороховых газов в камере весьма велико и достигает 2000 МПа.

В пулевых перфораторах с вертикально-криволинейными стволами плотность заряжания меньше ($0,5—0,8 \text{ г/см}^3$) и давление пороховых газов достигает 400—600 МПа.

Перфоратор ПВН-90, как и его термобаростойкая модификация ПВН-90Т, включает в себя две массивные секции, соединенные переходником, головку с электровводом и наконечник. В каждой секции параллельно оси в двух взаимно перпендикулярных плоскостях расположены попарно четыре ствольных начала, переходящих в криволинейные желоба. Две пары стволов, идущих от общих пороховых камер, направлены навстречу друг другу, вследствие чего силы отдачи при выстреле уравниваются. Перфоратор ПВТ-73 (рис. 11.12) в отличие от перфоратора ПВН-90 имеет в одном поперечном сечении не четыре, а два ствольных канала, направленных навстречу друг другу.

При температуре в интервале перфорации до 50°C масса основного заряда 85 г, от 50 до 80°C — 80 г, от 80 до 110°C — 75 г.

Применяются также перфоратор ПВК-70 и аппарат АРВ-120. Область применения пулевых перфораторов обширная по многим факторам. Так, благодаря жесткости корпуса и высокой плотности пулевые перфораторы легко спускаются в скважину даже при утяжеленных вязких растворах.

Пробивное действие пулевых перфораторов, в отличие откумулятивных, весьма чувствительно к изменению угла встречи пули с преградой. Важным преимуществом мощных пулевых перфораторов с вертикально-криволинейными стволами является их высокое пробивное действие — большие глубины и диаметр канала, стабильного по сечению на всем протяжении. К особенностям всех пулевых перфораторов относятся сложность заряжания и неудобство обслуживания, связанное с их большой массой.

Таким образом, пулевые перфораторы по одним показателям уступаюткумулятивным перфораторам, а по другим превосходят их. Совершенство вскрытия пласта тем или иным перфоратором зависит от геолого-технических условий.

Контрольные вопросы

1. В чем состоит задача перфорации скважин?
2. Какие типы перфораторов Вы знаете?
3. На какие типы делятся пулевые перфораторы?
4. Какие факторы влияют на пробивное действие пулевых перфораторов?

§ 9. Кумулятивные перфораторы. Теория действия кумулятивных зарядов

При бурении нефтяных и газовых скважин для вскрытия продуктивного пласта в большинстве случаев применяют кумулятивные перфораторы. Кумулятивные заряды различаются устройством и назначением, в зависимости от горно-геологических условий имеют разнообразие области применения.

К кумулятивным перфораторам предъявляются следующие требования: обеспечение высокого пробивного действия; свободное прохождение в скважину во время спуска и подъема в утяжеленных и вязких растворах; обеспечение вскрытия всей мощности продуктивного пласта при требуемой плотности перфорации за минимальное число спусков; возможность отстрела зарядов в две стороны.

Кумулятивные заряды должны обеспечить высокое пробивное действие, достаточное для простреливания одной или нескольких обсадных колонн и создания после этого в горной породе, слагающей продуктивный пласт, каналов требуемых размеров.

Кумулятивная перфорация скважин основана на пробивном действии струй, создаваемых при взрыве зарядов в кумулятивных перфораторах. Взрывание кумулятивных зарядов в перфораторах происходит с помощью детонирующего шнура и взрывного патрона или от инициирующего устройства.

При взрыве кумулятивного заряда продукты детонации активной части ВВ заряда движутся к оси заряда и собираются в мощный концентрированный поток кумулятивной струи.

Объем углубления, создаваемого при взрыве кумулятивного заряда, пропорционален энергии ВВ, заключенной в активной части заряда. При взрыве заряда ВВ с необлицованной кумулятивной выемкой образуется углубление значительно большего объема, чем в случае заряда не имеющего выемки. Так, заряд с конусной выемкой дает в мягкой стали выбоину полусферической формы с диаметром, равным диаметру заряда, с объемом почти в 7 раз больше, чем при заряде с плоским торцом.

Если облицевать кумулятивную выемку тонким слоем металла, заряд пробьет в твердой преграде глубокий канал, имеющий примерно такой же объем, как и полусферической выбоины в предыдущем случае, но со значительно меньшим диаметром. В мягкой стали заряд пробьет канал конической формы длиной, равной трем-четырем диаметрам заряда.

Такое резкое изменение кумулятивного эффекта достигается за счет перераспределения энергии между продуктами взрыва и материалом металлической облицовки с переходом части металла с внутренней поверхности облицовки в кумулятивную струю.

В зависимости от характеристик ВВ, заряда, формы и размера кумулятивной выемки, материала и толщины ее облицовки скорость головной части струи у различных зарядов достигает 3000–10 000 м/с.

Скорость хвостовой части струи меньше примерно в 3—4 раза скорости головной части струи.

Механизм проникновения кумулятивной струи в преграду применительно к условиям перфорации рассмотрен проф. Н. Г. Григорьяном исходя из гидродинамической теории академика М. А. Лаврентьева.

Скорость углубления канала в преграде без учета механической прочности материала преграды можно определить по формуле

$$v_n = v_c [1 + (\rho_n / \rho_c)^{0.5}] . \quad (11.5)$$

где v_c — скорость струи, км/с; ρ_n и ρ_c — плотность соответственно преграды и струи, г/см³.

Следовательно, с увеличением плотности преграды скорость ее пробивания увеличивается.

Длина канала l_k связана с длиной струи l_c соотношением

$$l_k = l_c (\rho_c / \rho_n)^{0.5} . \quad (11.6)$$

Таким образом, при отсутствии растяжения струи и без учета механической прочности преграды длина канала увеличивается с уменьшением плотности преграды. С учетом динамической прочности материала преграды σ_d (МПа) длина пробиваемого канала

$$l_k = (l_c / \rho_n)^{0.5} (\rho_c - 0.2\sigma_d / v_n^2)^{0.5} . \quad (11.7)$$

Длина пробиваемого канала уменьшается с ростом прочности материала преграды, но увеличивается с повышением скорости встречи струи с преградой v_n и увеличением длины струи.

Зависимость диаметра канала d_k (см) от диаметра струи d_c (см), скорости проникания струи в преграду v_n (км/с), динамической твердости преграды H_n и плотностей струи и преграды ρ_c и ρ_n (г/см³) может быть приближенно определена по формуле

$$d_k \approx 2.5d_c (1 + 500\rho_n v_n^2 H_n^{-1})^{0.37} . \quad (11.8)$$

Следовательно, диаметр канала d_k , пробиваемого кумулятивной струей, прямо пропорционален диаметру струи d_c и в различной степени растет с увеличением ее скорости v_c и соотношения плотностей ρ_c и ρ_n , уменьшается с увеличением динамической твердости преграды H_n .

По способу герметизации зарядов и средств их взрывания кумулятивные перфораторы подразделяются на корпусные с извлекаемым корпусом многократного использования (ПК), с извлекаемым корпусом однократного действия (ПКО, ПКОС, ПНК) и бескорпусные с частично разрушающимся корпусом, монтажным каркасом и грузом (ПКС, ПРВ) и полностью разрушающимся корпусом с извлекаемой головкой-грузом (КПР, ПР).

Заряд кумулятивного перфоратора обычно состоит из шашки ВВ с кумулятивной выемкой, которая имеет металлическую облицовку. С противоположной стороны расположен промежуточный детонатор.

Заряд заключен в оболочку, которая в случае бескорпусных перфораторов должна быть полностью герметичной.

Отличительным признаком кумулятивных корпусных перфораторов всех типов является размещение группы негерметичных кумулятивных зарядов и средств инициирования в полости герметического корпуса, который защищает их от действия гидростатического давления и от непосредственного контакта со скважинной жидкостью. Взрывание снарядов осуществляется внутри корпуса.

Корпусные перфораторы используют в тех случаях, когда недопустимо повреждение обсадной колонны, а также при нежелательном засорении скважины. Перфораторы многократного использования типа ПК имеют толстый герметичный стальной корпус, в стенках которого имеются сквозные отверстия. Отверстия служат для прохода кумулятивных струй.

Перфораторы ПК-85 и ПК-103Д (рис. 11.13) имеют заряды ЗПК10 и ЗПК85 в бумажно-литых оболочках. Гнездовые отверстия в корпусе уплотнены вставками, дюралевыми дисками и резиновыми пробками.

Перфораторы КП-85ДУ и ПК-105ДУ имеют гнездовые отверстия в корпусе и герметические детали (опорный диск и резиновая трубка) уменьшенных диаметра и толщины.

Перфораторы ПК-80Н и ПК-90Н отличаются тем, что в них применены кумулятивные заряды в массивных цинковых оболочках. Из-за своей большой стоимости они применяются только в сложных горно-геологических условиях.

Корпусные перфораторы однократного использования отличаются тем, что корпуса представляют собой сплошные тонкостенные трубы простреливаемые кумулятивными струями. К ним относятся перфораторы ПКО-73, ПКО-89, КПОТ-89, ПКОТ-73.

Бескорпусные кумулятивные перфораторы отличаются большой гибкостью и относительно малой массой, что позволяет с их помощью простреливать за один спуск большие интервалы (до 30 м), спускать их в исправленные и деформированные колонны труб. Одновременно можно спускать в скважину до 300 зарядов.

Основными недостатками бескорпусных перфораторов являются ограниченная термобаростойкость зарядного комплекта, повышенное механическое воздействие на обсадную колонну и затрубный цементный камень, засорение скважины осколками от перфоратора.

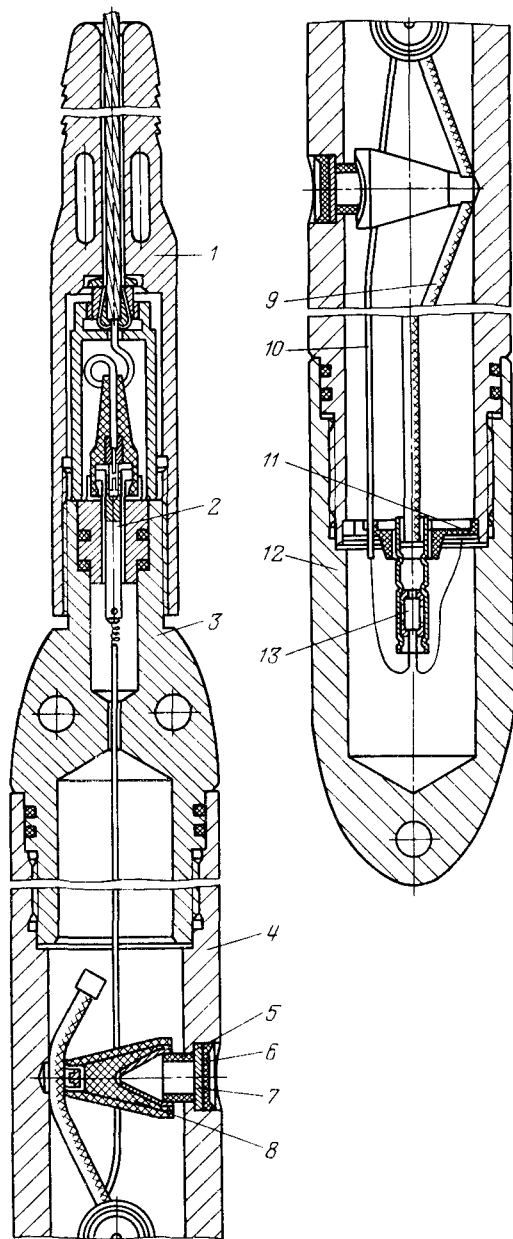
В ленточных кумулятивных перфораторах ПКС160, ПКС105, ПКС80, ПКС65 заряды заключены в стеклянные или ситалловые оболочки. Заряды монтируют в каркасе, представляющем собой скрепленные стальные ленты, к нижнему концу которых присоединяют чугунный груз (рис. 11.14). Кумулятивный разрушающий перфоратор ПРР280 применяется при бурении скважин на воду и предназначен для простреливания обсадных колонн водоносных горизонтов в скважинах.

Кумулятивный разрушающий перфоратор КПРУ65 имеет заряды, заключенные в литые алюминиевые герметичные оболочки.

Разрушающие кумулятивные перфораторы ПР43 и ПР54 в основ-

Рис. 11.13. Кумулятивный корпусный перфоратор ПК-103Д многократного использования:

1 — кабельный наконечник; 2 — электровод; 3 — головка; 4 — корпус; 5 — втулка; 6 — пробка; 7 — опорный диск; 8 — кумулятивный заряд; 9 — детонирующий шнур; 10 — электропровод; 11 — монтажный диск; 12 — наконечник; 13 — взрывной патрон



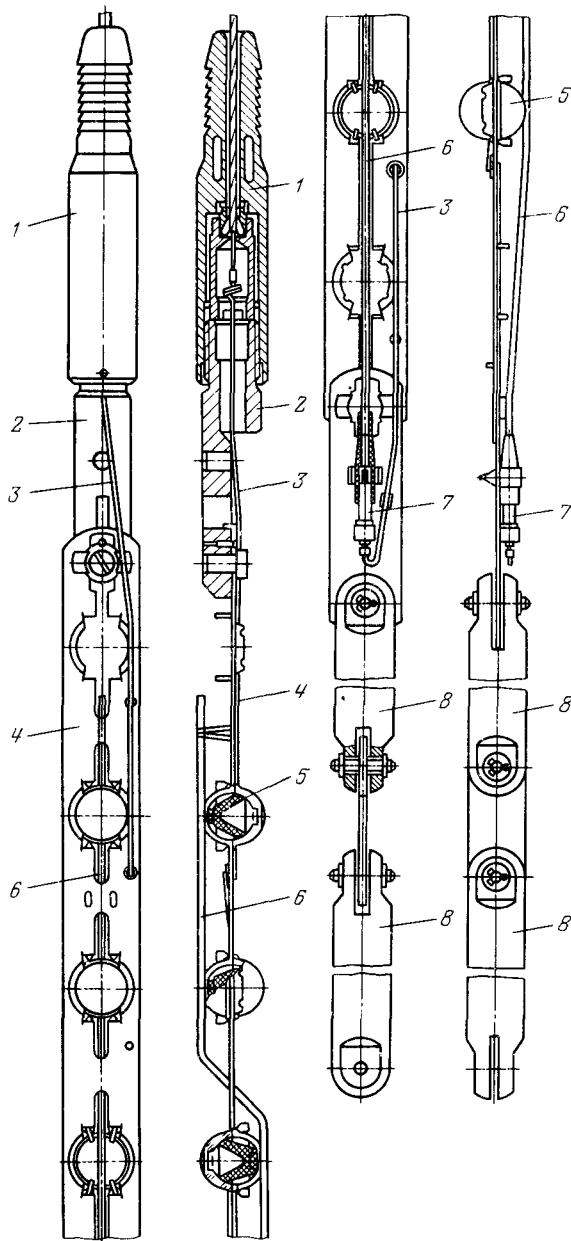


Рис. 11.14. Кумулятивный ленточный перфоратор ПК-С65:

1 кабельный наконечник;
2 головка; 3 электрод;
4 лента; 5 заряд;
6 детонирующий шнур;
7 взрывной пистолет;
8 труза

ном предназначены для перфорации скважин через колонну спущенных насосно-компрессорных труб с внутренним диаметром соответственно не менее 50 и 59 мм.

Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляются к кумулятивным перфораторам?
2. От чего зависит длина канала, пробиваемого кумулятивной струей?
3. Какие типы кумулятивных перфораторов Вы знаете?

§ 10. Отбор проб горных пород

При разведочном бурении скважин для получения сведений о пласте, выявления в нем вещественного состава, необходимого для оценки запасов месторождения, отбирают образцы и пробы.

Отбор образцов пород из пластов в скважинах осуществляют с помощью боковых стреляющих, сверлящих, режущих грунтоносов, а отбор проб жидкости и газа — с помощью пробоотборника.

После получения диаграмм каротажа и отбора кернов при колонковом бурении производят отбор образцов стреляющими грунтоносами и проб жидкости пробоотборниками. Такой метод позволяет отбирать образцы пород и пробы жидкости в интервалах, наиболее интересных геологам и промысловикам.

Применение грунтоносов дает возможность получить важные сведения о характеристике пород или жидкости. Боковыми стреляющими грунтоносами образцы пород отбирают с помощью полых бойков, выстреливаемых в стенку скважины и затем извлекаемых из нее вместе с породой. Сверлящими грунтоносами образцы отбираются с помощью цилиндрического бура, вырезающего их из стенки скважины.

Боковые стреляющие грунтоносы предназначены для отбора образцов из пород. С их помощью можно отбирать образцы известняков, песчаников, глин, глинистых песков и т. д.

Стреляющие грунтоносы по своему устройству подразделяются на грунтоносы одиночного действия с последовательным выстреливанием в каждой точке интервала по одному бойку и группового действия с одновременным выстреливанием группы бойков.

Грунтоносы одиночного действия используют в нефтяных скважинах, группового действия — в углеразведочных. Стреляющий грунтонос имеет стальной корпус с одной или несколькими пороховыми камерами, над которыми располагаются стволы. В камеры помещают пороховые заряды с электровоспламенителем. Грунтоносы спускают в скважину по каротажному кабелю. После установки грунтоноса в скважине, где необходимо отобрать образец породы, жилу кабеля подключают к источнику электрического тока.

Нить накаливания воспламеняет состав, и пороховой заряд сгорает. Образовавшиеся в камере пороховые газы выталкивают боек из ствола, и он внедряется в породу.

Эффективность выноса образцов пород стреляющими грунтоноса-

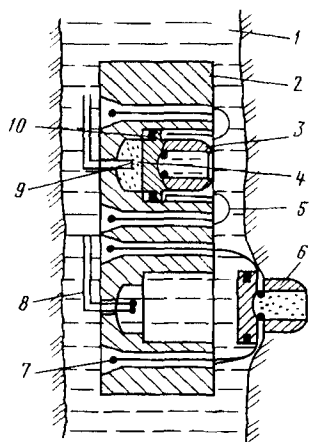


Рис. 11.15. Схема отбора пород боковым стреляющим грунтоносом:

1 глинистый раствор в скважине; 2 корпус грунтоноса; 3 боек; 4 пороховой заряд; 5 трос; 6 боек, отобравший породу после выстрела; 7 крепление троса; 8 токопроводящая линия; 9 мостик накалывания; 10 резиновое уплотнение

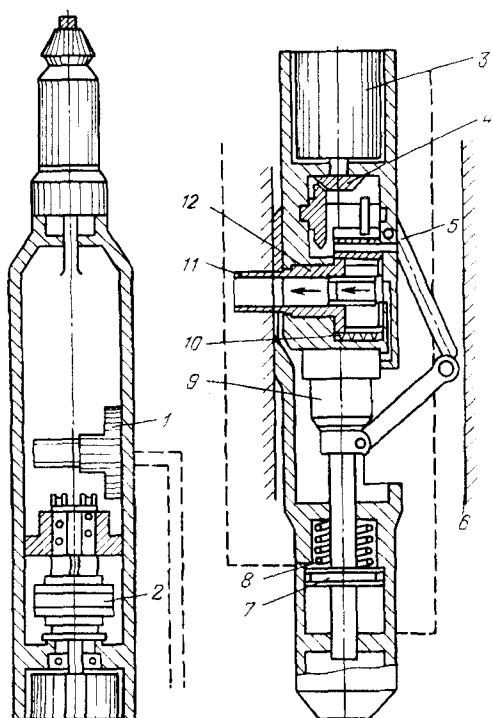


Рис. 11.16. Сверлящий боковой многоотборный грунтонос СКМ-8-9:

1 регулятор подачи бура; 2 гидравлический насос; 3 электродвигатель; 4 шестеренчатая передача; 5 рычажный распор; 6 стенка скважины; 7 поршень; 8 пружина; 9 насос промывочный; 10 датчик выхода бура; 11 коронка бура; 12 вращающийся бур

ми в основном определяется правильным выбором типа бойка и массы порохового заряда в зависимости от физико-механических характеристик пород на заданной глубине.

В грунтоносах типа МСГ и ГБС пороховые заряды размещаются в основании бойка, типа ГБСН — в корпусе грунтоноса. Для отбора проб мягких и средней твердости применяют боек со съемной насадкой. Для средних и твердых пород используют боек с наконечником конической формы.

Многоотворный стреляющий грунтонос МСГ-90М с диаметром корпуса 90 мм предназначен для отбора образцов пород в нефтяных скважинах диаметром от 140 мм и более. Грунтонос состоит из следующих основных частей: стального корпуса со ствольными каналами и отверстиями для крепления и укладки тросов, бойков с пятами, системы электрических проводов и контактов, кожуха переключателя и самого переключателя, расходных деталей (рис. 11.15). Применяется для отбора образцов в скважинах при температурах до 180° С и гидростатическом давлении до 100 МПа.

Применяются также грунтоносы ГБС 95-180/1000, ГБСН 125-200/12, ГБСН 95-250/1500, ГМК-50, ГМС-40, ГМС40-1.

Боковые сверлящие грунтоносы предназначены для отбора образцов твердых пород из стенок скважин. Сверлящие грунтоносы выбуривают образцы породы с помощью вращающегося бура. По окончании бурения бур выходит из породы и выносит в своей полости керн цилиндрической формы. После подъема грунтоноса на поверхность керны извлекают из бура и кассеты передаются для анализа.

Сверлящий боковой грунтонос СКМ-8-9 (рис. 11.16) со стальным цилиндрическим корпусом имеет следующие рабочие узлы: трехфазный электрический мотор, масляный насос, шестеренчатый редуктор с системой шестерен, сверлящий керноотборник, гидравлический прижим, регулятор подачи бура, насос для промывки бура во время сверления пород, контрольное устройство.

Образцы пород, выбуренные из пласта сверлящим грунтоносом, используют для определения пористости, проницаемости, механического и литологического состава и анализа жидкости, насыщающей породу.

Часть образцов рассматривается непосредственно после извлечения их из полости бойка. Применение сверлящих грунтоносов наиболее эффективно при отборе известняков, алевролитов и других твердых пород, в которых песок не является основной частью.

Контрольные вопросы

1. С помощью каких средств осуществляется отбор пород, проб жидкости и газа в скважинах?
2. Какие виды стреляющих грунтоносов Вы знаете?
3. Из каких узлов состоит стреляющий грунтонос?

§ 11. Организация прострелочно-взрывных работ

Прострелочно-взрывные работы (ПВР) включают в себя: подготовительные операции; проведение основных работ на скважине и заключительные операции.

Подготовительные работы включают в себя: изучение геолого-технического задания, т. е. ознакомление с геофизическими и геологическими материалами по исследуемой скважине; выбор типов аппаратов и приборов; проверку исправности и работоспособности технологического оборудования и аппаратуры; оформление наряд-путевки на проведение прострелочных работ в скважине; получение на складах ВВ и взрывных аппаратов и погрузку их в специальную машину.

Геолого-техническое задание на выполнение работ в скважине выдается на основании заявки заказчика. Заявка заказчика записывается в Журнал регистрации и выполнения заявок на прострелочно-взрывные работы диспетчером промыслово-геофизического предприятия. В заявке содержатся необходимые сведения о скважине. Партии выдается задание в письменном виде на фирменном бланке с названием «Задание

№ ... на производство ПВР в скважине», в котором излагаются цели ПВР, перечень их, сведения о месторасположении, геологических и технических данных скважины и другие сведения.

Важным является выбор типов и размеров скважинных и прострелочных, взрывных и других аппаратов и приборов, от которых зависит успех выполнения задания.

Скважинные аппараты должны удовлетворять следующим требованиям: свободно перемещаться в скважине; обеспечивать выполнение необходимой операции; обладать достаточными прочностью, термостойкостью и заданной производительностью.

Достаточно полно и тщательно должна быть проведена работа по проверке исправности и работоспособности спуско-подъемного оборудования, устройств, приборов, инструмента, кабеля и проводов. Приборы и устройства должны транспортироваться в специальных стеллажах, ящиках и надежно закреплены.

Получение ВМ и прострелочно-взрывной аппаратуры на зарядании осуществляется в соответствии с наряд-путевкой, в которой указываются виды и объемы ПВР, типы и размеры аппаратов, вид, число и масса зарядов, а также средства инициирования.

Наряд-путевка является первичным документом по учету расходаемого партии ВМ. Все работы по получению, транспортировке и использованию ВМ и прострелочно-взрывных аппаратов выполняются при строгом соблюдении правил техники безопасности. При переезде с места работы на скважину проводятся эффективные меры, исключаящие различные изменения в состоянии механизмов, приборов и устройств подъемника и лаборатории. Партии (отряды) проводят комплекс подготовительных работ на скважине, включающих в себя: уточнение геолого-технического задания на ПВР; проверку подготовленности скважины и буровой; проверку и подготовку к работе оборудования и приборов подъемника, скважинных приборов и аппаратов; проверку пробного спуска в скважину кабеля с контрольным шаблоном или аппаратом.

По окончании подготовительных работ приступают к проведению основных работ на скважине, которые включают в себя: присоединение заряженных аппаратов к кабелю, спуск аппаратов в скважину, установку аппаратов для отстрела или взрыва, подготовку зональной линии к отстрелу (взрыву), отстрел или взрыв аппаратов, подъем аппаратов на поверхность, повторную установку аппаратов при последующих спусках.

Заключительные работы на скважине и базе. После окончания ПВР оборудование, аппаратуру и приборы подъемные и лабораторно-перфораторной станции подготавливают к переезду на базу: скважинные аппараты и приборы укладывают и закрепляют в стеллажах для транспортировки.

Переезд отряда (партии) со скважины на базу осуществляют с соблюдением тех же правил и требований, что и при переезде с базы на скважину.

По возвращении на базу работники отряда (партии) в первую очередь сдают на склад остаток ВМ и в зарядную мастерскую оставшиеся заряженные аппараты, отстрелянные аппараты для проверки и перезарядки. Проверяют состояние механизмов, приборов, устройств, инструмента и т. п., протирают, смазывают их, приводя в готовность для дальнейшей работы.

Виды работ и объемы ПВР, их технология, режимы и другие данные предусматриваются в проектах на производство геологоразведочных работ. Проекты составляют совместно заказчик и исполнитель и согласовывают его с местным Госгортехнадзором. Проект составляется на основе рекомендаций, изложенных в Технической инструкции по стрелочно-взрывным работам в скважинах и в соответствии с Едиными правилами безопасности при взрывных работах.

С учетом проекта составляют заявки и заключают договора на проведение ПВР, в котором указывают организацию работ, количество персонала, оснащение, аппаратуру, оборудование, материалы и т. п.

Для выполнения ПВР создают специализированные отряды или партии: грунтоносные, торпедированные и т. п. Для проведения работ отряду или партии выдается на основе заявки заказчика технический проект на ПВР, в соответствии с которым выдаются наряд-путевка на получение и расход ВМ, необходимые аппараты, ВМ, приборы и другие материалы. Отряд (партия) проводит и завершает ПВР на основе технического проекта и оформляет результаты работ соответствующими документами.

Отказы могут произойти в результате несоблюдения технических правил при выборе, подготовке, зарядании и сборке скважинных аппаратов и приборов, подготовке и проведении ПВР в скважине, а также при несоблюдении правил подготовки ствола скважины и буровой.

При ПВР наблюдаются следующие осложнения и некачественные результаты: отказ аппаратов, неполноценный отстрел или взрыв аппарата, непрохождение аппарата до заданной глубины, обрыв бойков грунтоносов, обрыв аппарата, неисправность подъемника и т. п. Отказы при ПВР в основном происходят по причинам некачественных зарядных комплексов, неисправности запальной цепи в аппарате, замыкания ВВ и СИ, закупорки огнепроводных каналов, замыканий во взрывной линии, недостаточного напряжения (импульса) зонального тока и др.

При ПВР также происходят такие аварии, как прихват аппарата, кабеля в месте отстрела или взрыва, а также при спуске или подъеме: обрыв и оставление в скважине кабеля с аппаратом; открытое фонтанирование скважины после отстрела или взрыва и т. п. В данных случаях процесс ПВР, бурения или добычи прерывается на продолжительное время.

Ликвидация аварий в основном производится как методами и средствами перфораторных и каротажных партий, так и методами и средствами буровых и промысловых бригад. На каждую аварию составляется акт с указанием причин и мер ликвидации.

При ведении ПВР персонал должен хорошо знать и строго соблю-

дать правила обращения со взрывчатым материалом и прострелочно-взрывной аппаратурой, а также быть ознакомлен с технической эксплуатацией оборудования и требованиями по организации и проведению ПВР.

Ведение взрывных работ осуществляется строго в соответствии с требованиями Единых правил безопасности при взрывных работах (ЕПБ). Руководство взрывными работами возлагается на технического руководителя предприятия или организации. К производству взрывных работ допускаются лица, сдавшие экзамены квалификационной комиссии и имеющие Единую книжку взрывника. Особое внимание требуется при обращении с ВМ и заряженными аппаратами. Нельзя ударять по ним, бросать их, нагревать, разбирать, разбирать взрывные патроны, заряды, аппараты, их части и другие ВМ заводского изготовления. Строго запрещается курить, применять открытый огонь ближе 100 м от места расположения ВМ. Вокруг скважины следует устанавливать опасную зону радиусом 50 м. Входить в эту зону лицам, не участвующим в работе, воспрещается. Радиус опасной зоны может быть сокращен до 20 м после спуска аппарата на глубину до 50 м.

При производстве ПВР должны применяться ВВ и СИ, на которые имеются ГОСТы или утвержденные технические условия, а также журнальные постановления Госгортехнадзора.

Все ВВ и СИ, хранящиеся на складах, должны периодически проходить испытания в установленном порядке и при соблюдении сроков.

Отказавшие элементы зарядного комплекта (взрывчатые материалы) следует уничтожать с соблюдением ЕПБ.

При производстве ПВР должны соблюдаться санитарные и гигиенические мероприятия, которые способствуют повышению работоспособности и снижению профессиональных заболеваний.

Поскольку применяемое в скважине ВВ (гексоген, тротил и др.) являются токсичными соединениями, они создают опасность для здоровья работающих. Разнообразные выделения этих ВВ могут попадать через дыхательные органы в виде пыли и паров, при соприкосновении с кожей, вместе с пищей. Во избежание отравления организма при работе с ВВ следует применять индивидуальные средства защиты — респираторы.

В случае попадания ВВ на кожу необходимо смывать их холодной водой, перед едой мыть руки с мылом. На всех этапах ПВР должны строго соблюдаться меры пожарной безопасности ИТР и руководители организаций. Руководители учреждений и организаций обязаны обеспечить создание безопасных и безаварийных условий труда, устранение причин производственного травматизма.

Контрольные вопросы

1. Из каких этапов состоит ПВР?
2. Каким требованиям должны отвечать скважинные аппараты?
3. Кто составляет и согласовывает проект ПВР?
4. Какие осложнения и аварии могут возникнуть при ведении ПВР?

ГЛАВА 12. ЯДЕРНЫЕ ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В 6. СССР и в США проведен ряд экспериментальных ядерных взрывов в промышленности. Они показали, что проведение ядерных взрывов более экономично, чем проведение обычных химических ВВ при разрушении значительных объемов горной массы. Однако ядерные взрывы требуют применения чрезвычайных мер безопасности, обеспечивающих нераспространение радиоактивных продуктов. Это могут быть специальные оболочки термоядерных зарядов, поглощающие потоки нейтронов; специальные условия взрывания на такой глубине и в таких горно-геологических условиях, при которых радиоактивные продукты распада не достигают поверхности земли и не заражают поверхностные воды.

Есть перспективы применения таких взрывов при взрывных работах на вспучивание, при тушении крупных пожаров на нефтегазопромыслах, при использовании геотехнологических методов разработки месторождений — газификация, расплавление, растворение, выщелачивание, возгонка; для вскрытия и массовой отбойки руд на крупных рудниках.

Каждый ядерный взрыв требует специального проектирования, учитывающего физическое и механическое действие взрыва в окружающей среде (плавление, дробление, трещинообразование, технологию размещения и доставки заряда, проведение подготовительных выработок, сейсмическое и радиационное воздействие, экономичность взрывания и т. п. Стоимость ядерного заряда возрастает менее интенсивно при увеличении мощности заряда. Так, по данным США заряд мощностью 10 кг и диаметром 350 мм стоит 350 тыс. долларов, а заряд 100 кг диаметром 450 мм стоит 500 тыс. долларов, т. е. при десятикратном увеличении мощности заряда стоимость его увеличилась примерно в 1,6 раза.

§ 1. Физическое и механическое действия ядерного взрыва в горных породах

При ядерном взрыве в породе выделяются четыре фазы (рис. 12.1). Первые две фазы действия взрыва аналогичны взрыву ядерного заряда наружного действия. Основная часть энергии ударной взрывной волны поглощается породой в зоне взрыва в виде тепловой и механической энергии. Часть общей энергии (от долей процента до нескольких процентов) идет на сейсмические колебания.

В конце второй фазы (300 мкс) за ударной волной происходит расширение газового пузыря, сопровождающееся падением температуры, давления, дальнейшее расплавление породы. Сферическая полость расширяется до тех пор, пока давление в ней не станет равным давлению пород на данной глубине.

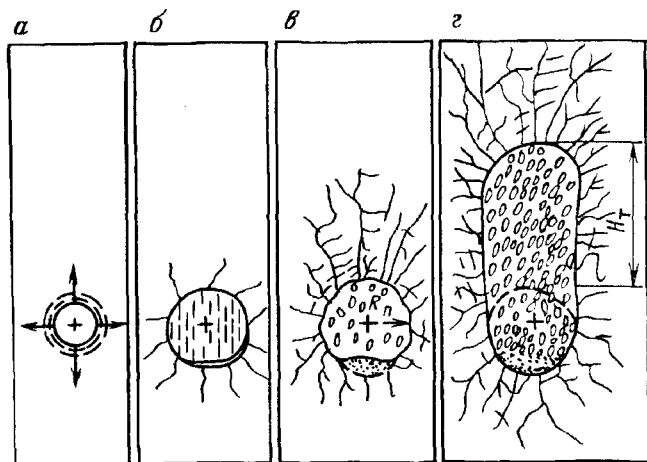


Рис. 12.1. Схема образования зон обрушения в различные промежутки времени t :

а $t = 3$ мкс; б $t = 200$ мкс; в $t = 300$ мкс; г — конечная конфигурация

При взрыве ядерного заряда мощностью 100 кг на глубине 800 м от поверхности радиус полости достигает к этому моменту 50 м, причем внутренняя поверхность полости покрыта слоем расплавленной породы с температурой, которая равна тысячам градусов Цельсия.

Третья фаза начинается с момента выравнивания давления в полости и длится от нескольких секунд до нескольких часов (в зависимости от свойств пород). Расплавленная порода стекает с кровли и стенок полости вниз, унося с собой более 55—58% радиоактивных изотопов, скапливается в ее основании и затвердевает в виде стекловидного труднорастворимого материала. Трещины в кровле и стенках полости при падении давления приводят к нарушению статического равновесия. После этого наступает четвертая фаза, во время которой происходит обрушение налегающих пород. Образованная полость является компенсационным пространством. Происходит обрушение породы до заполнения компенсационного пространства.

Зона обрушения в плотных породах имеет форму вертикальной трубы.

Формирование трубообразной зоны обрушения может иногда длиться до нескольких месяцев в зависимости от свойств пород. Коэффициент разрыхления обрушенной породы составляет 1,3—1,35. В рыхлых породах плотностью, близкой плотности обрушенного в полость материала, эта зона может достигнуть поверхности, образуя на поверхности провальную воронку.

При проектировании ядерных взрывов необходимо рассчитывать радиус полости, высоту трубы разрушения, объем породы, раздробленной взрывом и заполняющей трубу обрушения, размеры зоны трещиноватости.

Параметры трубы разрушения зависят от мощности заряда, глубины его заложения и свойств пород.

Радиус полости R_n определяется по формуле

$$R_n = \frac{cQ^{1/3}}{(\rho h)^{1/4}}, \quad (12.1)$$

где c — константа, зависящая от типа породы (для гранита $c = 60$, наносов — 66, туфа — 78); ρ — плотность породы, кг/м³; h — мощность покрывающих пород, м.

$$h = W - H_T - R_n, \quad (12.2)$$

где W — л. н. с.; H_T — высота трубы обрушения,

$$H_T = \frac{4}{3} R_n \frac{1 - \rho}{\rho}. \quad (12.3)$$

Высоту трубы можно определить и по следующей формуле:

$$H_T = k R_n,$$

где k — коэффициент, зависящий от свойств пород (для доломита $k = 3,2$, для туфа — 6,8).

Зона раздробленных пород $R_p = 1,4 R_n$.

Зона трещиноватости $R_t = (3 \div 4) R_n$.

В некоторых породах, таких как каменная соль, труба обрушения не образуется.

Контрольные вопросы

1. Какие фазы ядерного взрыва в породах Вы знаете? Чем они характеризуются?
2. Как рассчитываются зоны разрушения при ядерном взрыве?
3. Для каких целей могут применяться ядерные взрывы в промышленности?
4. Как обеспечивается безопасность проведения ядерных взрывов?

§ 2. Ядерные взрывные работы при подземной разработке полезных ископаемых

С максимальной эффективностью ядерные взрывы при подземной отбойке руд могут применяться при системах разработки с массовым обрушением. В этом случае образуется труба обрушения, которая будет заполнена раздробленной рудой. Выпуск раздробленной руды из трубы обрушения приводит к пополнению ее запасов, так как происходит самообрушение зоны интенсивной трещиноватости.

Элементы и параметры системы разработки выбирают на основе конкретных горно-геологических условий и параметров механического действия ядерного взрыва. Варианты технологических схем ядерных взрывов могут быть различными: заряды располагают через определенные расстояния, взрывают последовательно или разбивают рудное тело на секции и в каждой секции устанавливают группу зарядов, взрывае-

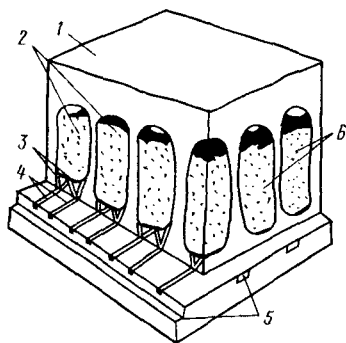


Рис. 12.2. Система разработки принудительного обрушения с использованием группы ядерных зарядов:

1 обрушение земной поверхности; 2 выпуск руды из трубы обрушения; 3 выпускные восстающие; 4 горизонт скреперования; 5 откаточный горизонт; 6 подготовленные запасы руды

мых одновременно или короткозамедленно. Взрывы по секциям производят в определенной последовательности. Выбор вариантов определяется условиями сейсмобезопасности.

На рис. 12.2 показана система принудительного обрушения с использованием группы ядерных зарядов, расположенных на одном горизонте и взрываемых одновременно или короткозамедленно.

Опытные взрывы ядерных зарядов, проведенные в таких породах, как гранодиориты и граниты, показали, что на расстоянии 10—15 м ниже подошвы трубы обрушения массив оказался практически ненарушенным, что позволяет осуществлять обычную подготовку горизонта и т. д. Кусковатость дробленого материала из трубы обрушения удовлетворяет предъявленным требованиям.

Система принудительного обрушения при ядерном взрыве имеет существенные отличия от обычной системы этажного обрушения. Отсутствует необходимость в образовании горизонта подсеки рудного массива, размеры выемочных участков достигают 1000 м по горизонтам и 300 м по вертикали, в то время как при обычной системе этажного обрушения соответственно 60—90 м и 75—120 м.

Применение такой системы разработки требует создания и оставления предохранительного полка над ядерным эллипсоидом, что будет препятствовать выбросу радиоактивных продуктов взрыва в атмосферу. К мерам безопасности следует отнести специальную защитную технику, усиленную вентиляцию, специальные условия выпуска радиоактивной руды из трубы обрушения, предотвращение радиоактивного заражения конечного продукта соответствующего горного или металлургического передела.

Контрольные вопросы

1. В каких условиях применяются ядерные взрывы при разработке рудных месторождений?
2. Каковы отличия принудительного обрушения при ядерном взрыве от обычной системы этажного обрушения?

§ 3. Вопросы безопасности проведения промышленных ядерных взрывов

При проведении ядерных взрывов наибольшую опасность представляют следующие факторы: радиоактивное заражение атмосферы, наземных и подземных вод, интенсивные сейсмические колебания, воздушная ударная волна и др.

Радиоактивность возникает в результате деления тяжелых ядер, образующих радиоактивные изотопы, и реакции синтеза легких ядер, производящей ^3H и ^7Be . Взаимодействие нейтронов, образующихся при взрыве, с материалом ядерного устройства создает наведенную активность с образованием ^{203}Pb , ^{59}Fe , ^{55}Fe , а при взаимодействии с породами — ^{24}Na .

Максимальная доза облучения человека в СНГ равна 100 мР в неделю или 2,8 мР/ч. В США установлены другие нормы. По этим нормам каждый человек не должен получить в течение года дозу сверх допустимого предела.

Для снижения уровня радиации применяются так называемые «чистые» ядерные устройства, в которых на 95—99% используется реакция синтеза (термоядерные реакции) и только на 1—5% реакции деления. В качестве оболочек ядерных зарядов целесообразно использовать материалы, содержащие нейтронные отражатели, для поглощения выделяющихся при ядерном взрыве нейтронов. При взрывах в карбонатных породах рекомендуется поверхность зарядной камеры футеровать кварцевым песком для улавливания радиоактивных продуктов деления стекловидным расплавом.

Большое значение имеет фактор времени, позволяющий естественным путем уменьшить степень радиоактивности.

Заряды необходимо закладывать на глубине, обеспечивающей максимально возможное захоронение радиоактивных продуктов под землей при данных условиях полезной работы взрыва. Многие специалисты считают, что заражение атмосферы радиоактивными частицами от подземных взрывов незначительно.

Сейсмическое действие ядерного взрыва во многом определяет возможность проведения и эффективность использования подземных ядерных взрывов в уже освоенных промышленных районах. Интенсивность сейсмических волн при ядерном взрыве зависит от мощности заряда, горно-геологических условий района и расстояния.

Контрольные вопросы

1. Какие опасные факторы вытекают при взрыве ядерного заряда?
2. Что применяется для поглощения нейтронов при ядерном взрыве?

Раздел V. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Разведка месторождений полезных ископаемых (бурение скважин и проведение горных выработок) сопровождается загрязнением атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, а также земной поверхности и изменением естественных ландшафтов.

Проведение горных выработок характеризуется наиболее интенсивным воздействием на земную поверхность. Тщательность геологического изучения разрабатываемых месторождений является одним из основных факторов, обеспечивающих рациональную добычу полезных ископаемых и комплексное использование минерального сырья.

В связи с изложенным решение проблем охраны природы и рационального использования минеральных ресурсов приобретает существенное значение при бурении разведочных скважин и проведении горных выработок в процессе изучения месторождений при геологоразведочных работах.

Мероприятия по защите воздушной и водной сред, а также земной поверхности от загрязнения при геологоразведочных работах осуществляются в соответствии с законом Об охране атмосферного воздуха. Основами водного законодательства и Основами земельного законодательства.

§ 1. Отрицательное воздействие взрывных работ при геологоразведке на окружающую среду

Наибольшие негативные последствия имела ранее широко распространенная проходка канав взрывом на выброс, при этом способе нарушались значительные участки земной поверхности, и восстановление их было практически невозможным. В настоящее время проходка канав взрывом на выброс допускается в исключительных случаях.

При проведении горных выработок на земной поверхности образуются выемки и полости (канавы, траншеи, устья штолен, шурфов и стволов шахт), возникают породные отвалы. Нарушение почвенного слоя, уничтожение растительности, образование полостей и искусственных холмов породных отвалов снижают ценность и продуктивность земельных участков, на которых производились горноразведочные работы. Наличие на поверхности устьев вертикальных, наклонных и горизонтальных выработок представляет опасность (падение или проникновение в выработки людей и животных). Нарушенные участки земной поверхности являются очагами интенсивных эрозионных процессов.

Размеры нарушенных земельных участков зависят от вида и масштаба горноразведочных работ. Наибольшие размеры этих площадей характерны для крупных геологоразведочных шахт, а также разведочно-эксплуатационных предприятий.

Однако следует отметить, что число этих относительно незначительных нарушаемых участков очень велико, так как, во-первых, горные работы ведутся в многочисленных геологоразведочных партиях и экспедициях, во-вторых, на проведение канав, неглубоких шурфов и коротких штолен затрачивается немного времени и работы переносится на другие участки.

Таким образом, суммарные площади поверхности, нарушаемой при горноразведочных работах, достаточно обширны, в СНГ они ежегодно составляют тысячи гектаров.

Так, при проведении инвентаризации отвалов на предприятиях ПО «Уралкварцсамоцветы» было установлено, что геологоразведочная партия оставила 75 отвалов вместимостью от 130 до 743 000 м³. Суммарная площадь земной поверхности, занимаемой отвалами, составила 73 га.

Влияние взрывных горноразведочных работ на другие компоненты окружающей среды (атмосфера и гидросфера) столь незначительно, что природоохранные мероприятия, как правило, не проводят. Обеспыливание производственных процессов в забоях горных выработок, являющееся мероприятием по охране труда, также обеспечивает снижение загрязнения атмосферного воздуха.

Контрольные вопросы

1. В чем выражается отрицательное воздействие взрывных работ на окружающую среду?
2. Как проводится рекультивация отвалов?

§ 2. Снижение негативных экологических последствий взрывных работ при геологоразведке

Комплекс природоохранных мероприятий при проведении горноразведочных работ невелик, однако их значение, особенно в районах с развитым сельскохозяйственным или лесохозяйственным производством, весьма существенно. Разведочные канавы после проведения необходимой обоснованности по геологической документации подлежат ликвидации — полной засыпке. Трудоемкость ликвидационных работ зависит от параметров канав, степени и вида механизации и расположения в процессе проходческих работ временных породных отвалов. Оптимальными в этом отношении являются ленточные отвалы, формируемые при проходке канав вручную, а также канавокопателями различных типов.

Плодородный почвенно-растительный слой и расположенную под ним неплодородную породу складывают в ленточные отвалы, расположенные на различных бортах канавы. Эта схема применима для неглубоких канав, проходимых на участках земной поверхности с относительно мощным почвенным слоем. При ликвидации канавы в первую очередь в нее ссыпают неплодородный слой, а верхнюю часть канавы заполняют плодородным почвенно-растительным слоем.

Засыпка канавы неплодородным слоем из торцовых или срединных отвалов так же, как и последующее размещение плодородной почвы (из ленточных отвалов), осуществляется бульдозером. С целью наиболее полного уплотнения засыпка канавы неплодородным слоем производится послойно.

Неглубокие шурфы при ликвидации практически полностью засыпают породой, выданной при их проходке и временно складированной в отвале возле устья выработки; глубокие — частично. Стволы разведочных шахт и штольни с развитой системой подземных выработок обычно не ликвидируют, а консервируют или передают непосредственно горным предприятиям.

Породные отвалы разделяют на временные и постоянные, первые ликвидируются при засыпке разведочных канав и неглубоких шурфов, вторые сохраняются на поверхности в течение длительного времени.

Основными операциями горнотехнической рекультивации отвалов являются: выполаживание откосов, планировка верхней поверхности и перекрытие (если это необходимо) сформированной поверхности слоем плодородных пород. Наиболее трудоемкой операцией является выполаживание откосов, которое производится для повышения эрозионной устойчивости и биологической продуктивности поверхностей отвала.

Выполаживание откосов осуществляется землеройной техникой и взрывом. Сущность взрывного выполаживания откосов заключается в удалении породы с верхней части отвала и перемещении этой породы в его основание с помощью энергии направленного взрыва. Взрывной способ выполаживания приемлем преимущественно для выполаживания отвалов нескальных пород, бурение взрывных скважин в которых незатруднительно. Подготовительной операцией является бурение. На верхней поверхности отвала бурят скважины рядами параллельно бровке откоса. Глубина скважин в каждом ряду устанавливается с учетом обеспечения при взрыве проектируемого угла наклона откоса. Эта глубина может определяться графически или рассчитываться по формуле.

$$h = H/2 [1 - \operatorname{tg}\beta(\operatorname{ctg}\alpha - 2/H)], \quad (12.4)$$

где h — глубина вертикальных скважин в ряду, м; H — высота отвала, м; l — расстояние ряда скважин от бровки откоса, м; α — угол откоса отвала, градус; β — угол выполаживания, градус.

Расстояние от бровки откоса до первого ряда скважин выбирают минимальным по условию безопасности ведения буровых работ. Расстояние до каждого последующего ряда определяется исходя из расчета массы рядов.

При необходимости разрыхления слежавшихся пород в верхней части формируемой поверхности откоса (для подготовки ее к биологической рекультивации) скважины бурят с перебуром по отношению к запроектированной выложенной поверхности откоса. Перебур составляет 0,5—0,8 м.

Если есть соответствующее буровое оборудование, то скважины целесообразно бурить наклонными. При бурении в первом ряду вертикальных скважин для увеличения их вместимости устраиваются котловые полости. Во взрывных скважинах, пробуренных без перебуров, размещают сосредоточенные (котловые) или колонковые заряды сброса. В скважинах с перебурами размещаются комбинированные заряды: в верхней части — заряд сброса, в нижней — заряд рыхления. Расчетное расстояние перемещения породы (м)

$$l_n = H/3 \sqrt{4 + (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta)^2} \quad (12.5)$$

Удельный расход ВВ (кг/м³):

$$q = v_0 \rho_n / 7200, \quad (12.6)$$

где v_0 — предельная скорость разлета породы, м/с; ρ — плотность пород в отвале, кг/см³.

В зависимости от высоты отвалов рекомендуются следующие предельные углы наклона откосов: при высоте отвала $H = 5$ м угол откоса β не должен превышать 18° , при $H = 10$ м $\beta = 17^\circ$, при $H = 20$ м $\beta = 16^\circ$ (отвалы высотой более 10 м при геологоразведочных работах формируются редко).

Кроме выполаживания откосов при рекультивации платообразных отвалов целесообразно осуществлять планировку их верхней части поверхности. В сельском хозяйстве при рекультивации планировочные работы проводятся в обязательном порядке.

Если биологические характеристики пород, складированных в отвалах, удовлетворительны, то во многих случаях в лесном хозяйстве покрытие поверхности отвалов почвенным слоем не производится. В удаленных малонаселенных районах на рекультивированной поверхности производятся посадки кустарников и деревьев.

Контрольные вопросы

1. Как сохранить плодородный слой почвы при проведении разведочных выработок?
2. Опишите операции, осуществляемые при горнотехнологической рекультивации отвалов.
3. Как можно применить буровзрывные работы при рекультивации отвалов?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альшин Л. М., Давев Д. С., Каринский А. Д. Теория полей, применяемых в разведочной геофизике: Учеб. для вузов. М.: Недра, 1985.
2. Афонин В. Г., Гейман Л. М., Комир В. М. Справочное пособие по взрывным работам в строительстве. — Киев: Будивельник, 1982.
3. Баранов Е. Г., Беремок О. И. Взрывные работы на подземных рудниках. М.: Недра, 1985.
4. Брылов С. А., Грабчак Л. Г., Комащенко В. И. и др. Охрана окружающей среды. М.: Высшая школа, 1985.
5. Брылов С. А., Грабчак Л. Г., Комащенко В. И. Горноразведочные и буровзрывные работы. — М.: Недра, 1989.
6. Взрывные работы при разведке полезных ископаемых/С. А. Брылов, Л. Г. Грабчак, Г. Н. Бухаров и др. — М.: Недра, 1985.
7. Грабчак Л. Г., Брылов С. А., Комащенко В. И. Проведение горноразведочных выработок и основы разработки месторождений полезных ископаемых. — М.: Недра, 1988.
8. Знаменский В. В. Полевая геофизика. — М.: Недра, 1980.
9. Иванов П. Л. Уплотнение малосвязных грунтов взрывами. — М.: Недра, 1983.
10. Краткий справочник по прострелочно-взрывным работам в скважинах. Под ред. Григорина. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1982.
11. Комащенко В. И. Взрывное и механическое разрушение мерзлых пород. — М.: МГРИ, 1984.
12. Кутузов Б. И. Взрывные работы. — М.: Недра, 1988.
13. Лабораторные и практические работы по разрушению горных пород взрывом/Б. И. Кутузов, В. И. Комащенко, В. Ф. Носков и др. — М.: Недра, 1982.
14. Лукьянов В. Г., Громов А. Д. Проведение горноразведочных выработок. — М.: Недра, 1986.
15. Мухтаров Г. Г., Рогинский В. М. Проведение горизонтальных разведочных выработок. — М.: Недра, 1984.
16. Носков В. Ф., Комащенко В. И., Жабин Н. П. Буровзрывные работы на открытых и подземных разработках. — М.: Недра, 1982.
17. Огильви А. А. Основы инженерной геофизики. Под ред. В. А. Богословского. М.: Недра, 1990.
18. Проведение горизонтальных горноразведочных выработок скоростным методом. — М.: Недра, 1989/В. Г. Лукьянов, Л. Г. Грабчак, В. Ф. Рогов.
19. Прострелочные и взрывные работы в скважинах/И. Г. Григорян, Д. Е. Пометун, Л. А. Горбенко, С. А. Ловля. — М.: Недра, 1980.
20. Романенко В. А., Вольницкая Э. М. Восстановление производительности водозаборных скважин. Ленинград: Недра, 1986.
21. Ткачук К. Н., Федоренко П. И. Взрывные работы в горно-рудной промышленности: Учеб. пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. — Киев: Вища школа, 1990.
22. Фридляндер Л. Я. Прострелочно-взрывная аппаратура и ее применение в скважинах. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1985.
23. Шехурдин В. К., Несмотряев В. И., Федоренко П. И. Горное дело. М.: Недра, 1987.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Раздел I. БУРОВЫЕ РАБОТЫ	5
Глава 1. Разрушение горных пород при бурении	5
§ 1. Ударное бурение	9
§ 2. Вращательное бурение.....	12
§ 3. Вращательно-ударное бурение	16
§ 4. Ударно-вращательное бурение	18
§ 5. Шарошечное бурение	20
§ 6. Немеханические способы бурения	22
§ 7. Технические средства бурения	27
§ 8. Инструмент для бурения шпуров и скважин	65
§ 9. Улучшение условий труда при бурении.....	81
§ 10. Машины для производства сжатого воздуха, электроагрегаты и воздухопроводные сети.....	90
§ 11. Организация работ при бурении шпуров и скважин	94
Раздел II. ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА И ДЕЙСТВИЕ ВЗРЫВА В СРЕДЕ	98
Глава 2. Основы теории взрыва и взрывчатые вещества	98
§ 1. Краткий обзор истории развития взрывного дела.....	98
§ 2. Понятие о взрыве и взрывчатых веществах	104
§ 3. Детонация взрывчатых веществ.....	113
§ 4. Общие положения о работе и балансе энергии при взрыве. Энергетические характеристики взрыва.....	121
§ 5. Экспериментальные характеристики взрыва	128
Глава 3. Промышленные ВВ	147
§ 1. Классификация ВВ. Основные требования к промышленным ВВ.....	147
§ 2. Индивидуальные взрывчатые химические соединения. Иницирующие ВВ.....	154
§ 3. Смесевые взрывчатые химические соединения.	157
§ 4. Промежуточные детонаторы. Кумулятивные заряды	165
§ 5. Средства беспламенного взрывания	170
§ 6. Выбор типа ВВ и условий их рационального применения.....	172
§ 7. Технологические характеристики ВВ. Методы оценки технологических характеристик и испытание промышленных ВВ	176
§ 8. Механизация взрывных работ	185
Глава 4. Средства и способы инициирования ВВ	210
§ 1. Огневое и электроогневое взрывание	211
§ 2. Электрическое взрывание.....	218
§ 3. Взрывание с помощью детонирующего шнура.....	234
Глава 5. Основные положения по работе с взрывчатыми материалами	242
§ 1. Персонал для производства и руководства взрывными работами	243
§ 2. Хранение, учет и выдача взрывчатых материалов	245
§ 3. Транспортировка и переноска ВМ к месту работы. Уничтожение ВМ.....	253
§ 4. Безопасные расстояния и основные правила безопасности при ведении взрывных работ.....	258
	411

Глава 6. Физические основы действия взрыва	263
§ 1. Классификация зарядов ВВ	263
§ 2. Действие взрыва заряда ВВ в воздухе	265
§ 3. Действие взрыва в массиве горных пород	269
§ 4. Одновременное действие группы зарядов ВВ в горной породе	275
§ 5. Действие взрыва в условиях бокового зажима	280
§ 6. Методы регулирования действия взрыва зарядов ВВ на горную породу	281
§ 7. Кумулятивное действие зарядов ВВ	285
Раздел III. ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ В ГЕОЛОГОРАЗВЕДКЕ И ИНЖЕНЕР- НОЙ ГЕОЛОГИИ	288
Глава 7. Общие принципы расположения и расчета зарядов ВВ	288
§ 1. Методы взрывных работ	288
§ 2. Взрывание на выброс и рыхление при проходке геологоразведочных канав и траншей	295
§ 3. Взрывные работы при проведении подземных горных выработок	298
§ 4. Взрывные работы при проходке шурфов и стволов	303
§ 5. Взрывные работы при проходке восстающих	306
Глава 8. Специальные взрывные работы	308
§ 1. Особенности взрывания мерзлых пород	308
§ 2. Контурное взрывание	310
§ 3. Взрывные работы при строительстве горных и геологоразведочных предпри- ятий	314
Глава 9. Взрывные работы в сейсморазведке	319
§ 1. Сейсмические волны и упругие параметры горных пород	319
§ 2. Поверхностные сейсмические волны	321
§ 3. Характеристики сейсмических волн	322
§ 4. Отраженные и преломленные сейсмические волны	327
§ 5. Скорости сейсмических волн в различных породах	332
§ 6. Годографы сейсмических волн	334
§ 7. Сейсмические наблюдения	342
§ 8. Методы сейсморазведки	346
§ 9. Взрывные и невзрывные источники возбуждения сейсмических колебаний	351
§ 10. Организация полевых сейсморазведочных и буровзрывных работ	355
Глава 10. Уплотнение сжимаемых горных пород действием взрыва	356
§ 1. Расчет зон уплотнения при взрыве заряда	356
§ 2. Проведение выработок и полостей в грунтах и скальных породах взрывным методом	358
§ 3. Взрывные работы при уплотнении и рыхлении грунтов, посадке насыпей	365
Раздел IV. ПРОСТРЕЛОЧНО-ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ В СКВАЖИНАХ И ЯДЕРНЫЕ ВЗРЫВЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ	368
Глава 11. Прострелочно-взрывные работы в скважинах	368
§ 1. Использование взрывов при бурении скважин и ликвидации аварий	369
§ 2. Использование ВВ и порохов при испытании, освоении и эксплуатации сква- жин	371
§ 3. Разделение пластов. Взрывные пакеры	372
§ 4. Работы по улучшению проницаемости пласта	378
§ 5. Торпедирование скважин и конструкции торпед	383
§ 6. Разрыв пласта пороховыми генераторами давления	384
§ 7. Очистка фильтров взрывом в водозаборных скважинах	385

§ 8. Пулевая и снарядная перфорация	386
§ 9. Кумулятивные перфораторы. Теория действия кумулятивных зарядов	390
§ 10. Отбор проб горных пород	395
§ 11. Организация прострелочно-взрывных работ	397
Глава 12. Ядерные взрывные работы в промышленности	401
§ 1. Физическое и механическое действия ядерного взрыва в горных породах	401
§ 2. Ядерные взрывные работы при подземной разработке полезных ископаемых ..	403
§ 3. Вопросы безопасности проведения промышленных ядерных взрывов	404
Раздел V. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	406
§ 1. Отрицательное воздействие взрывных работ при геологоразведке на окружающую среду	406
§ 2. Снижение негативных экологических последствий взрывных работ при геологоразведке	407
Список использованной литературы	410

Комашенко В. И., Носков В. Ф., Лебедев Ю. А.
К 63 Буровзрывные работы: Учебник для вузов. — М.: Недра, 1995. —
413 с.: ил.
ISBN 5-247-01944-X

Описаны техника и технология буровзрывных работ при разведке и разработке месторождений полезных ископаемых. Рассмотрены способы бурения и взрывания, методы расчета параметров буровзрывных работ, средства механизации заряжания и инициирования зарядов различной конструкции. Изложены требования к промышленным взрывчатым веществам, порядок их хранения, учета и перевозки. Особое внимание уделено специальным методам взрывных работ, технике безопасности и охране окружающей среды.

Для студентов горно-геологических специальностей вузов.

К 2502010300—038 Без объявл.
043(01)—95

ББК 33.13

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Комащенко Виталий Иванович
Носков Валерий Феофанович
Лебедев Юрий Альфредович

БУРОВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ

Заведующий редакцией *Е. И. Кит*
Редакторы издательства *Е. И. Волков, А. Д. Федорова*
Технический редактор *С. В. Павлова*
Корректор *М. В. Дроздова*
ИБ № 8633

Лицензия ЛР № 010145 от 24 декабря 1992 г. Сдано в набор 11.10.94. Подписано в печать 09.02.95. Формат 60×88/16.
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 25,48. Уч.-изд. л. 27,77. Тираж 600 экз. Заказ 349/2875-1.

Издательство «Недра», 125047 Москва, Тверская застава, 3.

АООТ «Московская типография № 11».
109088 Москва, Угрешская ул., д. 12.

ВНИМАНИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ!

В издательстве «Недра» выходят новые книги

Черняк И. Л., Ярунин С. А.

УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Учебник для вузов

25 л.

Рассмотрены геомеханические, геодинамические, газодинамические, термодинамические и гидравлические процессы в массивах горных пород при разработке пластовых месторождений. Описаны свойства угленосных массивов, способы и средства управления состоянием массива горных пород до начала и при ведении горных работ. Особое внимание уделено предотвращению внезапных выбросов угля и газа при вскрытии выбросоопасных пластов.

Для студентов горных вузов и факультетов.

План 1994 г. № 59

Сафохин М. С., Александров Б. А., Нестеров В. И.

ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Учебник для вузов

25 л.

Изложена теория разрушения горных пород рабочим инструментом очистных и проходческих комбайнов. Дана классификация и показаны области применения горных машин для добычи полезных ископаемых и проведения выработок. Предложена методика расчета конструкций горных машин. Описаны устройство, способы эксплуатации и ремонта оборудования. Приведены сведения об экскаваторах и бульдозерах для подземных работ, оборудовании для гидромеханизации и механизации монтажно-демонтажных операций.

Для студентов горных вузов, обучающихся по специальности «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых».

План 1995 г. № 47

Интересующие Вас книги можно приобрести в местных магазинах, распространяющих научно-техническую литературу, и в магазинах оптовых пунктах издательства, адреса которых приведены в аннотированном плане выпуска литературы.