

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель
Л.А. ПУЧКОВ

Зам. председателя
Л.Х. ГИТИС

Члены редсовета
А.П. ДМИТРИЕВ

Б.А. КАРТОЗИЯ

А.В. КОРЧАК

М.В. КУРЛЕНЯ

В.И. ОСИПОВ

В.Л. ПЕТРОВ

Э.М. СОКОЛОВ

К.Н. ТРУБЕЦКОЙ

В.А. ЧАНТУРИЯ

*президент МГГУ,
чл.-корр. РАН*

*директор
Издательства МГГУ*

академик РАЕН

академик РАЕН

академик МАН ВШ

академик РАН

академик РАН

академик МАН ВШ

академик МАН ВШ

академик РАН

академик РАН

Б.Н. Кутузов

МЕТОДЫ ВЕДЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

ЧАСТЬ 1
РАЗРУШЕНИЕ
ГОРНЫХ ПОРОД
ВЗРЫВОМ

Издание 2-е, стереотипное

*Допущено Министерством
образования и науки Российской Федерации
в качестве учебника для студентов
высших учебных заведений, обучающихся
по специальности «Взрывное дело»
направления подготовки
«Горное дело»*



Москва

Издательство «Горная книга»

♦
Издательство Московского
государственного горного
университета

2009

ВЗРЫВНОЕ ДЕЛО

УДК 622.233:622.235
ББК 33.133
К 95

Издано при финансовой поддержке Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям в рамках Федеральной целевой программы «Культура России»

Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным для взрослых» СанПиН 1.2.1253—03, утвержденным Главным государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г. (ОСТ 29.124—94). Санитарно-эпидемиологическое заключение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека № 77.99.60.953.Д.012634.11.08

Экспертиза проведена Министерством образования и науки Российской Федерации (письмо № 03-1415 от 10 июля 2006 г.)

Рецензенты:

- кафедра «Разработка месторождений полезных ископаемых» (Московский государственный открытый университет);
- д-р техн. наук, проф. С.Д. Викторов (заместитель директора Института проблем комплексного использования недр РАН)

Кутузов Б.Н.

К 95 Методы ведения взрывных работ. Ч. 1. Разрушение горных пород взрывом: Учебник для вузов. — 2-е изд., стер. — М.: Издательство «Горная книга», Издательство Московского государственного горного университета, 2009. — 471 с.: ил. (ВЗРЫВНОЕ ДЕЛО)

ISBN 978-5-98672-145-3 (в пер.)

ISBN 978-5-7418-0590-9

Приведены основные свойства горных пород, их классификация применительно к буровым и взрывным работам. Даны краткие сведения о современных способах бурения шпуров и скважин, требования к персоналу, связанному с производством взрывных работ. Рассмотрены характеристики промышленных взрывчатых веществ (ВВ), средства их инициирования. Изложены общие принципы расчета параметров взрывных работ, правила монтажа взрывных сетей, а также общие принципы подготовки и организации взрывов при подземной и открытой разработке, специальных взрывных работ. Рассмотрены принципы регулирования степени дробления горных пород взрывом. Представлены данные о новых станках для бурения взрывных скважин. Дан перечень заводских ВВ и ВВ, изготавливаемых вблизи мест их применения, новых неэлектрических систем инициирования, а также изложены правила организации и безопасности при хранении, транспортировании и подготовке ВМ к применению.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Взрывное дело» направления подготовки «Горное дело». Может быть полезен специалистам, занимающимся взрывными работами в промышленности.

УДК 622.233:622.235
ББК 33.133

ISBN 978-5-98672-145-3
ISBN 978-5-7418-0590-9



9 785986 721453

© Б.Н. Кутузов, 2007, 2009
© Издательство «Горная книга», 2007, 2009
© Издательство МГГУ, 2009
© Дизайн книги. Издательство МГГУ, 2007, 2009

ВВЕДЕНИЕ

Дальнейшее развитие горно-добывающей промышленности будет происходить на базе открытого и подземного способов добычи с последующей реализацией комплексного использования сырья и применении энергосберегающих технологий. Открытая разработка отличается от подземной более высокой производительностью труда при меньших капитальных затратах, а также применением более мощных горных машин.

Начальным процессом технологии добычи твердого минерального сырья является его отделение от массива и дробление на куски определенных размеров. В настоящее время универсальным и практически единственным высокоэффективным способом подготовки скальных пород к выемке с коэффициентом крепости $f > 6$ по классификации М.М. Протодьяконова является разрушение пород энергией взрыва. Этот способ останется доминирующим и на перспективу 20—30 лет, если за это время не будут открыты какие-либо принципиально новые способы разрушения скальных пород с реализацией больших мощностей. Это объясняется тем, что при взрыве заряда промышленного ВВ массой 1 кг выделяется практически мгновенно мощность более 70 млн кВт, а при использовании механических, электрических, магнитных и других способов разрушения пород реализуемая мощность составляет только сотни кВт. Именно поэтому эффективность разрушения особенно крепких пород взрывом не соизмеримо выше, чем другими способами.

Для ведения взрывных работ в массиве пород бурят шпур, скважины или проходят камеры, в которых размещают, а затем взрывают заряды ВВ. Трудоемкость буровзрывных работ составляет 10—20 % общей трудоемкости добычи. С увеличением

крепости пород относительная трудоемкость буровзрывных и в первую очередь буровых работ возрастает.

Качество взрыва характеризуется в основном равномерностью и крупностью дробления скального массива, процентом выхода крупных негабаритных кусков, состоянием подошвы уступа, стенок подземных выработок, шириной развала горной массы. Являясь начальным процессом технологии добычи, взрывание определяет эффективность всех последующих процессов: погрузки, транспортирования, механического дробления и переработки минерального сырья. В настоящее время горные предприятия оснащаются мощными высокопроизводительными буровыми станками и каретками, экскаваторами и погрузочными машинами, автосамосвалами и думпкарами. При обычной технологии добычи с использованием для транспортирования породы вагонеток, автосамосвалов или думпкаров время их загрузки благодаря хорошему дроблению породы взрывом уменьшается в 1,5—2 раза, а надежность и долговечность их работы возрастают в 2—3 раза. Внедрение на крупных карьерах прогрессивной циклично-поточной технологии, когда транспортирование горной массы из карьера производится мощным ленточным конвейером, эффективность ее функционирования в значительной степени зависит от обеспечения интенсивного и равномерного дробления горных пород взрывом.

За последние годы на горных предприятиях обновляется ассортимент промышленных ВВ: вместо порошкообразных ВВ широко применяют гранулированные ВВ заводского изготовления — гранулиты, граммониты (современное название зерногранулитов), уменьшается объем применения гранулола и алюмотола из-за их высокой стоимости и ручного заряжания; все шире внедряется механизированное заряжание скважин и шпуров. Увеличивается использование ВВ,готавливаемых горными предприятиями на пунктах, распо-

ложенных в непосредственной близости от мест их применения, или в зарядных машинах непосредственно на заряжаемых блоках. Это обычные и металлизированные игданиты на основе гранулированной, в том числе пористой аммиачной селитры, водосодержащие ВВ акватола, карбатолы, горячельющиеся, суспензионные и особенно эмульсионные ВВ. Объем использования ВВ «местного» изготовления достигает более 50 % потребляемых ВВ. Практически все крупные карьеры (ГОКи) перешли на применение эмульсионных ВВ. Все это обеспечивает повышение качества и эффективности взрывов, но одновременно повышает требования к квалификации персонала, выполняющего взрывные работы, к проектной документации по взрывам, способствует быстрейшему внедрению новых научно-технических достижений в области интенсификации дробления горных пород при массовых взрывах, а также применению ЭВМ при расчетах параметров взрывания и выборе оптимального варианта отбойки.

Взрывные работы на карьерах, подземных шахтах и рудниках, а также других объектах должны вестись в строгом соответствии с «Едиными правилами безопасности при взрывных работах» и «Техническими правилами ведения взрывных работ», регламентирующими основные действия и приемы обращения с ВМ, знание которых обязательно для руководителей и производителей взрывных работ. Учебник написан в соответствии с этими правилами и программой курса «Методы ведения взрывных работ».

Часть 1 учебника подготовлена с учетом изменений, происшедших в ассортименте ВВ, технике и технологии взрывных работ после выхода третьего издания в 1992 году. В данном, четвертом издании большое внимание уделено вопросам безопасности выполнения взрывов, методам управления дроблением, механизации взрывных работ, принципам ее применения на предприятиях различной производственной мощности.

Сведения, приведенные в учебнике по вопросам безопасности взрывных работ, написаны с учетом действующих «Единых правил безопасности при взрывных работах» (Ростехнадзор, 2001 г.), а также ведомственных инструкций, изданных до 2006 г.

Автор выражает благодарность рецензентам рукописи за ценные замечания, позволившие внести в рукопись ряд полезных дополнений и уточнений.

Автор будет признателен за замечания и предложения, направленные на дальнейшее улучшение содержания книги.

ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ

Отбойка и дробление скальных пород при их разработке производятся с помощью зарядов ВВ, размещаемых в шпурах, скважинах или камерах.

ШПУР — искусственное цилиндрическое углубление в горной породе или бетоне, кирпичной кладке диаметром до 75 мм и глубиной до 5 м, пробуренное, как правило, бурильным молотком или сверлом.

СКВАЖИНА — искусственное цилиндрическое углубление диаметром более 75 мм при глубине до 5 м и любого диаметра при глубине более 5 м, пробуренное, как правило, буровым станком.

Для размещения больших зарядов ВВ (от нескольких до сотен и тысяч тонн) проходятся с поверхности выработки, в которых создают специальные камеры, как правило, прямоугольной или сводчатой формы поперечного сечения. Они проходятся из горизонтальных выработок — штолен — сечением не менее $1,2 \text{ м}^2$ или из вертикальных — шурфов — сечением не менее $1,0 \text{ м}^2$. Объем выработок составляет от 10 до 1000 м^3 и более.

БУРЕНИЕ — процесс последовательного разрушения породы буровым инструментом на забое шпура или скважины и удаления продуктов разрушения на поверхность водой, воздухом или шнеками.

БУРОВЫЕ РАБОТЫ — совокупность технологических операций по установке буровой машины на ось скважины, бурение ее на полную глубину, подъем бурового става и переезд на точку расположения следующей скважины.

БЕЗОПАСНЫЕ РАССТОЯНИЯ при взрывных работах определяются по специальным методикам для людей и оборудования. За пределами этих расстояний при выполнении взрыва в соответствии с проектом (паспортом) исключается травмирование людей и повреждение оборудования.

ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ — совокупность технологических операций по подготовке и производству взрыва: составление проекта, доставка ВМ на заряжаемый блок, зарядание и забойка скважин, шпуров или камер с установкой в них детонаторов, монтаж взрывной сети (цепи) и ее инициирование при условии удаления всех людей на безопасное расстояние от взрыва.

ВЗРЫВНИК — рабочий определенного возраста, стажа работы на горном предприятии, образования, допущенный медиками к обращению с ВМ, получивший «Единую книжку взрывника», дающей ему право после месячной стажировки на самостоятельное получение ВМ и ведение взрывных работ.

БУРОВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ — совокупность технологических операций, выполняемых при буровых и взрывных работах.

ЗАБОЙКА — процесс заполнения свободной части зарядной полости (шпура, скважины или камеры) инертным забоечным материалом, препятствующим при взрыве преждевременному вылету из нее газов взрыва, продуктов детонации и улучшающим за счет этого эффективность работы взрыва. Так же называют инертный материал для производства забойки (песок, глина, мелкая порода и т.д.).

ЗАРЯД ВВ — определенное количество ВВ, подготовленное к взрыву, с введенным в него инициатором. Величина (масса) заряда указывается в килограммах или тоннах.

ЗАРЯЖАНИЕ — процесс размещения заряда в зарядной камере.

НАКЛАДНЫМ (наружным) называют заряд, размещаемый на поверхности взрываемого объекта.

ВНУТРЕННИМ называют заряд, размещенный внутри взрываемого объекта, в шпурах, скважинах или камерах.

СОСРЕДОТОЧЕННЫМ называют заряд, имеющий форму куба или шара. Такой заряд может иметь форму цилиндра, длина которого не превышает его трех диаметров, или параллелепипеда с тем же соотношением размеров. Если длина заряда больше указанных величин, то его называют **УДЛИНЕННЫМ** (колонковым).

СПЛОШНЫМ называют заряд, не разделенный промежутками.

РАССРЕДОТОЧЕННЫМ называют заряд, отдельные части которого разделены промежутками (участками) воздуха, воды, породы, дерева и т.п.

ВЗРЫВЧАТЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ называют химические соединения или механические смеси, которые под действием внешнего импульса (нагревание, удар, искры огня) способны взрываться. Взрыв промышленных ВВ протекает в форме детонации, которая распространяется со сверхзвуковой скоростью по всей массе ВВ.

ВЗРЫВОМ ВВ называют его чрезвычайно быстрое (сверхзвуковое) химическое превращение, при котором выделяются тепло и большое количество сжатых газов, способных производить механическую работу разрушения и перемещения окружающей среды.

ВЗРЫВООПАСНЫЕ ГАЗЫ — горючие газы, способные образовать с воздухом взрывчатую смесь. В рудничной атмосфере могут находиться следующие взрывчатые газы: бутан, водород, метан, оксиды углерода, пропан, сероводород, этан, этилен и другие углеродные газы и пары.

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

ДЕТОНАЦИЯ — распространение взрыва по заряду ВВ с постоянной сверхзвуковой скоростью, обусловленное прохождением детонационной волны.

ДЕТОНАЦИОННАЯ ВОЛНА — ударная волна сжатия, распространяющаяся по заряду со сверхзвуковой постоянной скоростью, обеспечивающая возникновение за передним фронтом волны быстрой химической реакции ВВ, т.е. детонационная волна представляет собой совокупность ударной волны и следующей за ней зоны химического превращения ВВ.

УДАРНАЯ ВОЛНА — однократный скачок уплотнения, распространяющийся по среде со сверхзвуковой скоростью, на фронте которого происходит мгновенное изменение (увеличе-

ние) давления плотности и температуры среды. При этом частицы среды движутся вслед за фронтом ударной волны.

Для возбуждения взрыва зарядов промышленных ВВ в них размещают средства инициирования (капсюли-детонаторы, электродетонаторы, детонирующий шнур) или специальные промежуточные детонаторы.

ВЗРЫВЧАТЫМИ МАТЕРИАЛАМИ (ВМ) называют совокупность ВВ и средств инициирования, включая промежуточные детонаторы.

СРЕДСТВА ИНИЦИИРОВАНИЯ (СИ) — небольшие заряды высокочувствительных ВВ, размещенные в гильзах (капсюли и электродетонаторы) или шнурах (детонирующие шнуры) с вмонтированным в них или подсоединенным к ним средством возбуждения их детонации, которая порождает взрыв (детонацию) зарядов промышленных ВВ. Для низкочувствительных ВВ применяют промежуточные детонаторы массой 400—800 г, изготовленные из прессованного тротила или смеси тротила с гексогеном, баллиститного пороха и др.

КАПСЮЛЬ-ДЕТОНАТОР — небольшой заряд чувствительных инициирующих ВВ, размещенный в металлической или картонной гильзе.

ЭЛЕКТРОДЕТОНАТОР — совокупность капсюля-детонатора с вмонтированным в нем электровоспламенителем. В электродетонаторах короткозамедленного и замедленного действия между инициирующим ВВ и электровоспламенителем размещен замедляющий состав, сгорающий за строго определенное время.

ДЕТОНИРУЮЩИЙ ШНУР — шнур с сердцевинной из мощного чувствительного ВВ, предназначенный для инициирования зарядов ВВ непосредственно или с помощью промежуточных детонаторов. Взрывается от КД или ЭД.

ОГНЕПРОВОДНЫЙ ШНУР — шнур с прессованной пороховой сердцевинной, которая горит с определенной скоростью. Предназначен для инициирования капсюлей-детонаторов через требуемое время с момента поджигания шнура.

ЗАЖИГАТЕЛЬНАЯ ТРУБКА — капсюль-детонатор с введенным и закрепленным в нем отрезком огнепроводного шнура — предназначен для огневого или электроогневого инициирования зарядов ВВ.

ОГНЕВОЕ ВЗРЫВАНИЕ — способ инициирования зарядов с помощью зажигательных трубок, огнепроводные шнуры которых поджигаются взрывником непосредственно или с использованием зажигательных патронов.

ЗАЖИГАТЕЛЬНЫЙ ПАТРОН — картонный стаканчик с пороховой лепешкой на дне, позволяющей поджигать одновременно несколько отрезков шнуров зажигательных трубок.

ЭЛЕКТРООГНЕВОЕ ВЗРЫВАНИЕ — способ инициирования зарядов с помощью зажигательных трубок, огнепроводные шнуры которых поджигаются электровоспламенителями.

ЭЛЕКТРОЗАЖИГАТЕЛЬНЫЙ ПАТРОН — зажигательный патрон с вмонтированным в пороховой лепешке электровоспламенителем.

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ВЗРЫВАНИЕ — способ инициирования зарядов с помощью электродетонаторов, соединенных в электровзрывную сеть (цепь).

НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВОЛНОВОДНЫЕ СИСТЕМЫ ИНИЦИИРОВАНИЯ («СИНВ “Нонель”») — комплекс средств, состоящих из трубчатого волновода детонаторов малой мощности для монтажа сети и повышенной мощности для инициирования шашек промежуточных детонаторов или зарядов ВВ, разветвителей сети и средств инициирования волновода (КД, ЭД, устройства конденсаторного типа или с капсюлем-жевелом). По существу, это аналог сети из ДШ.

ТРУБЧАТЫЙ ВОЛНОВОД — одно- или многослойная трубка, на внутренней поверхности которой напылен тонкий слой инициирующего состава, передающий взрывную волну со скоростью ~2000 м/с без разрушения трубки, надежно инициируя все детонаторы системы.

ВЗРЫВНАЯ СЕТЬ представляет собой соединение по определенной схеме инициаторов зарядов наружных, шпуровых, скважинных или камерных. При электрическом и электроогне-

вом взрывании — это сеть из проводов с детонаторами и подсоединенным к ним источником тока. При взрывании детонирующим шнуром это магистральные линии ДШ с подсоединенными к ним отрезками ДШ от боевиков зарядов ВВ. При «СИНВ “Нонель”» — это смонтированная сеть из волновода с детонаторами малой мощности, от которой идут волноводы к зарядам ВВ или ПД с детонаторами повышенной мощности.

ДЕТОНАТОР — средство для возбуждения детонации в заряде промышленного ВВ. Это штатные СИ (КД, ЭД и ДШ), патроны-боевики и промежуточные детонаторы.

ПАТРОН-БОЕВИК — патрон ВВ с введенным в него КД, ЭД или обвязанный детонирующим шнуром. От патрона-боевика детонируют остальные патроны ВВ в заряде.

ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ ДЕТОНАТОР — небольшой заряд ВВ (от 0,2 до нескольких килограммов), предназначенный для инициирования зарядов низкочувствительных промышленных ВВ (гранулированных, водосодержащих), которые не детонируют от штатных средств инициирования. ПД безотказно детонируют от штатных СИ.

ДОСТАВКА ВМ — совокупность погрузочных, транспортных и разгрузочных операций с использованием железнодорожного, авто- и других видов транспорта, а также перенос персоналом ВВ и СИ.

ЕДИНАЯ КНИЖКА ВЗРЫВНИКА — удостоверение, получаемое рабочим, имеющим производственный стаж, после обучения на курсах, сдачи квалификационной комиссии экзамена и прохождения месячной стажировки под руководством опытного взрывника, дающее ему право самостоятельного получения ВМ и ведения взрывных работ.

МАСТЕР-ВЗРЫВНИК — рабочий-взрывник, имеющий право самостоятельного получения ВМ и ведения взрывных работ в условиях угольных шахт, опасных по взрыву газа или пыли. Имеет больший возраст и стаж работы, чем взрывник.

ПЕРСОНАЛ ДЛЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ — инженерно-технические работники, взрывники и вспомогательные рабочие, которые руководят подготовкой и организацией проведения взры-

ва, выполняют зарядание, забойку зарядов, монтаж и проверку взрывных сетей, охрану запретной и опасной зон, подачу сигналов, осматривают и обеспечивают приведение забоя в безопасное состояние, ликвидируют в случае обнаружения отказавшие заряды.

ПАСПОРТ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ — инструктивный документ, регламентирующий порядок производства буровых и взрывных работ шпуровым методом при проведении подземных выработок и других небольших взрывов на земной поверхности, содержащий схему расположения шпуров, их число и диаметр, глубину и угол наклона к продольной оси выработки, наименование ВВ и СИ, массу зарядов, количество и величину интервалов замедления при взрывании, материал забойки и ее длину, величину радиуса зоны, опасной по разлету кусков породы, указания о месте укрытия взрывника (мастера-взрывника) и рабочих на время взрыва, времени для проветривания забоя, расположения постов оцепления.

ТИПОВОЙ ПРОЕКТ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ — совокупность документов, в которых приведена классификация разрабатываемых пород по взрываемости, расчетные удельные расходы ВВ для каждой категории, диаметр, сетка расположения скважин, величина зарядов, схема взрывания блоков, организация работ и распорядок работ при подготовке и проведении взрыва, сигнализация и охрана опасной зоны. Указаны ответственные лица за каждый вид работы.

ЯДОВИТЫЕ ГАЗЫ образуются в основном при взрыве зарядов ВВ: NO_2 и CO . На некоторых рудниках из массива пород выделяются сероводород, аммиак. Установлены предельно допустимые концентрации для каждого из ядовитых газов с учетом его токсичности.

МАССИВ ГОРНЫХ ПОРОД — определенный участок горных пород в его естественном состоянии. Трудность разрушения и интенсивность дробления массива пород взрывом зависят в основном от его крепости, трещиноватости, числа открытых поверхностей.

КРЕПОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД — способность пород сопротивляться разрушению под действием внешних усилий (при

бурении, взрывании, резании и т.п.), характеризующая чаще всего коэффициентом крепости.

КОЭФФИЦИЕНТ КРЕПОСТИ ПОРОД f (по шкале проф. М.М. Протодяконова) показывает, во сколько раз данная порода крепче другой, принятой за единицу. Коэффициент f допускается определять как частное от деления предела прочности породы на одноосное сжатие на 100 (кгс/см²), или на 9,8 (МПа).

ТРЕЩИНОВАТОСТЬ — совокупность трещин, разделяющих массив горных пород на куски (отдельности) различных размеров (от десятков миллиметров до нескольких метров). Чем крупнее отдельности, содержащиеся в массиве, тем, как правило, крепость их выше, тем труднее разрушить (раздробить) массив на куски требуемых размеров.

Для оценки сопротивляемости массива разрушению при бурении и взрывании применяют понятия буримость и взрываемость горных пород.

БУРИМОСТЬ — сопротивляемость горной породы разрушению при бурении, характеризующая чистой скоростью бурения при стандартных условиях опыта.

ВЗРЫВАЕМОСТЬ — сопротивляемость горных пород разрушению при взрывании, характеризующая расходом ВВ на 1 м³ раздробленного массива до кусков определенной крупности или на образование воронки выброса зарядом определенной формы.

На каждом карьере мощность погрузочного и транспортно-го оборудования рассчитана на куски породы определенной крупности. На прием кусков таких же размеров рассчитана дробилка на фабрике, перерабатывающей полезное ископаемое. При взрывании массив, как правило, разрушается на куски, часть которых превышает допустимый размер, поэтому взорванную породу при погрузке принято разделять на **КОНДИЦИОННУЮ** (габаритную), соответствующую по крупности требованиям предприятия, и **НЕКОНДИЦИОННУЮ** (негабаритную), размер кусков которой превышает установленные пределы по крупности.

На карьерах стройматериалов к некондиционной породе относят также мелкие фракции, идущие в отходы.

ЛИНИЯ НАИМЕНЬШЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ — кратчайшее расстояние от центра (оси) заряда до ближайшей открытой поверхности.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ПО ПОДОШВЕ УСТУПА — расстояние от оси скважины (шпура, камеры) до открытой поверхности уступа на уровне отметки его нижней площадки (подошвы).

БУРОВЗРЫВНЫЕ работы на горных предприятиях разделяются на **ОСНОВНЫЕ**, или **ПЕРВИЧНЫЕ**, при которых производятся отделение и дробление части массива породы, и **ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ**, или **ВТОРИЧНЫЕ**, при которых производятся дробление негабарита, выравнивание неровностей уступов подошвы или стенок выработок, ликвидация «навесов», «заколов» и т.п.

Первичные буровзрывные работы производятся следующими методами.

НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ И РУДНИКАХ:

- удлиненными зарядами в шпурах диаметром 36—60 мм глубиной 2—5 м при проходке выработок, отбойке угля и мало-мощных рудных тел;
- удлиненными зарядами в скважинах диаметром 60—105 (150) мм глубиной 10—40 м при проходке восстающих, торпедировании угольного пласта, отбойке рудных тел средней и большой мощности;
- сосредоточенными зарядами величиной от 1 до 10 и более тонн в камерах или скважинах большого диаметра (0,7—1,0) м для отбойки мощных легкодробимых руд, разрушения потолочин и целиков.

НА КАРЬЕРАХ:

- удлиненными зарядами в вертикальных или наклонных скважинах диаметром 100—300 (400) мм и глубиной 7—20 м и более на средних и крупных карьерах;

- удлиненными зарядами в шпурах диаметром до 70 мм и глубиной до 5 м на карьерах малой производственной мощностью (до 100 тыс. т/год);

- котловыми зарядами в скважинах и шпурах. Для этого скважины и шпуры в донной части перед их заряданием предварительно «простреливаются» небольшими зарядами и основные заряды помещаются в образующихся при прострелке в нижней части скважины или шпура котловых расширениях. На отдельных карьерах применяют расширение нижней части скважины, где размещается заряд, с 200—250 до 350—600 мм механическими (шарошечными) или огневыми (в кварцсодержащих породах) расширителями;

- камерными сосредоточенными зарядами массой от нескольких до тысяч тонн в горизонтальных штольнях или вертикальных шурфах. Камерные заряды чаще всего применяют для взрывания на выброс или сброс больших масс породы.

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Развитие буровзрывных работ (взрывного дела) происходило в следующих основных направлениях:

- создание промышленных ВВ и средств их инициирования;
- создание средств бурения шпуров и скважин;
- разработка классификаций горных пород для оценки их сопротивляемости разрушению при бурении и взрывании;
- разработка теорий детонации промышленных ВВ и разрушения горных пород при их бурении и взрывании.

Первым известным человеку ВВ был черный порох, который использовали вначале для фейерверков, позже для зарядания огнестрельного оружия.

Применение пороха в западных странах и Египте относится к XII—XIII вв. В России порох начали применять в XVI в. для подрывания на реках скал и камней, мешавших судоходству.

Для подрыва крепостных стен подземными зарядами черный порох впервые применен при осаде Будапешта (1489 г.) и Казани (1552 г.).

В горном деле черный порох для зарядания шпуров применен впервые в 1627 г. в Германии при проведении штольни.

Бурное развитие промышленности во второй половине XIX в. привело к созданию и производству новых мощных ВВ и СИ. Вот некоторые основные даты: в 1779 г. А.А. Мусин-Пушкин опубликовал один из первых трудов по технологии изготовления ВВ; в 1812 г. в России П.Л. Шиллинг впервые применил электрический воспламенитель для взрывания пороховых зарядов; в 1831 г. в Англии Бикфорд изобрел огнепроводный шнур; в 1846 г. в Италии А. Сорберо получил тринитроглицерин. В 1853 г. в России Н.Н. Зининым и В.Ф. Петрушевским было предложено ВВ на основе тринитроглицерина, аналогичное по составу динамитам.

Шведский инженер А. Нобель в 1866 г. запатентовал и начал выпускать динамиты на основе тринитроглицерина с добавками 25 % кизельгура (инфузорной земли). В 1867 г. Нобель запатентовал детонатор (в виде трубки с зарядом гремучей ртути) под названием «запал Нобеля». В 1867 г. шведскими химиками И. Ольсеном и И. Норбином были открыты ВВ на основе аммиачной селитры, получившие в дальнейшем название аммонитов. Однако Нобель купил этот патент и более чем на 20 лет задержал внедрение аммиачно-селитренных ВВ в промышленность.

В 1885 г. в качестве ВВ стали использовать никриновую кислоту, которую до этого использовали как желтый краситель для тканей. С 1887 г. начали применять тетрил, который с 1906 г. является основным вторичным инициирующим ВВ для изготовления капсюлей-детонаторов и электродетонаторов.

Детонирующий шнур для инициирования зарядов ВВ изобретен в 1879 г.

С 1891 г. начали применять тротил, полученный в 1863 г. Это ВВ было основным для снаряжения боеприпасов в первой и второй мировых войнах. Применяется как основной активный компонент в аммонитах, как самостоятельное ВВ в гранулированном виде (гранулотол). Наиболее мощные ВВ гексоген и ТЭН были получены в конце XIX в. ТЭН применяется для изготовления капсюлей-детонаторов с начала XX в., а с 1930 г. — для изготовления детонирующего шнура. Гексоген как ВВ применяется с 1920 г. Область применения этих ВВ расширяется. С 30-х годов в нашей стране происходит замена нитроглицериновых динамитов на более безопасные аммиачно-селитренные ВВ: аммониты (смесь тротила, селитры и горючего) и динамоны (смесь селитры и горючего). Эти ВВ к концу 40-х годов стали основными для карьеров.

Большая заслуга в разработке аммонитов и динамитов 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 других ВВ.

В 30-х годах Г.П. Демидюком, Б.Д. Росси были испытаны смеси из аммиачной селитры и жидкого керосина, получившие название керосиниты, но не нашедшие в то время промышленного применения. С 1953 г. динамоны в СССР не применяются из-за расслаиваемости заряда в скважине при зарядании. К применению ВВ, не содержащих тротил, отечественная промышленность приступила снова в конце 50-х годов на основе работ академика Н.В. Мельникова, проф. Г.П. Демидюка и других специалистов, исследовавших взрывчатые свойства смеси 94 % гранулированной аммиачной селитры и 6 % солярового масла, получивших название по разработчику — институту ИГД АН СССР — игданиты.

С середины 50-х годов начата разработка группы аммиачно-селитренных ВВ заводского изготовления: мощных скальных аммонитов с добавками гексогена, гранулитов и граммонитов на основе гранулированной аммиачной селитры, грубодисперсных водосодержащих и горячельющихся ВВ. Пониженная по сравнению с порошкообразными чувствительность гранулированных ВВ, хорошая сыпучесть и малое пыление при зарядке позволили успешно решить задачи механизации взрывных работ на карьерах и рудниках. Для инициирования зарядов ВВ пониженной чувствительности созданы промежуточные детонаторы в виде прессованных или литых цилиндрических шашек из тротила и сплава тротила с гексогеном. Для взрывания обводненных массивов созданы гранулированные тротил (гранулотол) и алюмотол. Разработаны и широко внедрены пиротехнические замедлители типа КЗДШ, а затем РПД для короткозамедленного взрывания с помощью ДШ.

С 50-х годов в зарубежных странах и в СССР начинают разрабатывать зарядчики пневматические и механические (толкающего и бросающего типов) для зарядания восстающих шпуров и скважин патронированными ВВ. Более широкое развитие механизация взрывных работ получила одновременно с широким внедрением на подземных и открытых горных работах пригодных для этих целей гранулированных ВВ (смесевые ВВ АС-ДТ (аммиачная селитра + дизельное топливо): игданиты, гранулиты

и гранулированные смеси тротила и селитры: граммониты, а затем для льющихся водосодержащих (типа акваторов 20Г, ифзапитов) и эмульсионных ВВ (типа эмулитов и порэмитов). Рядом отечественных институтов (Гипроникель, НИПИГормаш, Казахский политехнический, ВНИИцветмет и др.) созданы и выпущены промышленностью несколько типов пневматических зарядчиков и зарядных машин, которые позволили полностью механизировать для гранулированных ВВ зарядание шпуров, восстающих и нисходящих скважин на подземных рудниках и карьерах. Применены в хранилищах складов ВМ аккумуляторные, а на открытых площадках дизельные вилочные погрузчики на пневмоколесном ходу, позволившие механизировать разгрузочно-погрузочные работы с мешками и мягкими большегрузными контейнерами с ВВ на складах. КазПИ и ППП Кривбассвзрывпром разработаны растаривающие установки для мешков с ВВ и для мягких контейнеров. Казахским политехническим институтом разработаны типовые схемы механизации взрывных работ. Большой вклад в создание новых ВВ и средств их механизированной переработки и зарядания сделан академиком Н.В. Мельниковым, профессорами Г.П. Демидюком, Э.И. Ефремовым, В.И. Емекеевым, Е.Г. Барановым, А.М. Бейсебаевым, М.Ф. Друкованным, И.Е. Ерофеевым, А.Н. Ханукаевым и многими другими.

В середине XIX века создана первая классификация горных пород рудников Колывано-Воскресенских заводов на Урале по трудоемкости их добычи (добываемости) и буримости станками ударно-канатного бурения.

Проф. М.М. Протодяконов в 1911 г. опубликовал первую научно обоснованную классификацию горных пород по коэффициенту их крепости, до настоящего времени широко применяемую в горной промышленности страны.

В 40—50-х годах проф. А.Ф. Сухановым разработаны методические основы и созданы единые классификации горных пород по буримости и взрываемости, которые явились методической основой для составления таких классификаций для отдельных предприятий и бассейнов нормирования этих видов работ.

На основе базовых свойств горных пород акад. В.В. Ржевский разработал фундаментальные основы составления и дал классификацию горных пород по трудности их разрушения при бурении и взрывании.

Эти работы позволяют, исходя из свойств пород, рассчитывать рациональные режимы бурения, параметры взрывания, затраты на погрузку и переработку полезных ископаемых и являются дальнейшим развитием работ в области классификации пород.

Расчетные методы при взрывании широко применялись французскими военными инженерами в минноподрывном деле с XVII века. В дальнейшем формулы, выведенные для условий взрывания грунтов, стали применять в горном деле.

М.В. Ломоносов в 1749 г. впервые дал физическое объяснение явления взрыва и его действия на окружающую среду. В 1871 г. М.М. Боресков на основе работ М.М. Фролова предложил формулу для расчета заряда на выброс, которой широко пользуются до настоящего времени.

Особенно крупные успехи в развитии теории и практики взрывных работ достигнуты после революции 1917 г. 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.С. Компанеев и другие выполнили цикл фундаментальных работ, связанных с детонацией зарядов ВВ, действием 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 заряда для различных условий сделали доктора технических наук А.Ф. Беляев, Ф.А. Баум, Б.М. Шехтер, К.К. Андреев, Г.П. Демидюк, М.М. Докучаев 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,

Ф.И. Кучерявого, чл.-корр. АН УССР Э.И. Ефремова, проф. М.Ф. Друкованного и др.

С 1952 г. на карьерах СССР начинает внедряться короткозамедленное взрывание, которое обеспечило переход от однорядного к многорядному взрыванию, существенно увеличило масштабы взрывов и улучшило степень дробления пород.

Проводятся систематические исследования по разработке методов регулирования степени дробления горных пород на карьерах. Изучается изменение степени дробления различных по трещиноватости и крепости 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 проведения взрывов с получением заданной крупности дробления массива.

Большую работу по применению взрывов на выброс и сброс проводили специалисты ИФЗ АН СССР и треста «Союзвзрывпром» акад. В.В. Адушкин, проф. М.М. Докучаев, В.Н. Родионов, канд. техн. наук Ф.А. Авдеев и др. В 1952—1953 гг. взрывами трех серий зарядов на выброс на Алтын-Топканском полиметаллическом месторождении при ЛНС отдельных зарядов, превышающих 50 м, и величине зарядов до 1600 т было взорвано и выброшено более 1 млн. м³ скальных пород.

За счет этого срок ввода карьера в эксплуатацию сократился на 16 месяцев, а стоимость вскрытия запасов руды снижена на 40 %.

В 1966—1967 гг. на р. Малая Алмаатинка в ущелье Медео были проведены взрывы двух серий зарядов для создания противоселевой плотины с целью защиты г. Алма-Аты. Общая масса зарядов первого взрыва правого берега 5290 т при ЛНС основного заряда 85 м, а второго, левобережного, взрыва — 394, 6 т при ЛНС 46 м. Таким образом, взрывом разрушено и сброшено в тело плотин около 3 млн. м³ скальных пород (1,6 млн. м³ первым и 1,4 млн. м³ вторым) и была образована плотина средней высотой 84 м, шириной поверху около 100 м и понизу около 500 м. Эта плотина в 1973 г. задержала селевой поток огромной

мощности (5 млн. м³) и спасла г. Алма-Ату от катастрофических разрушений.

В 1968 г. на реке Вахш взрывом на сброс серий зарядов общей величиной 2000 т образована каменно-набросная плотина. Объем плотины около 1,5 млн. м³.

Большие объемы грунтов были выброшены взрывами на выброс при строительстве Аму-Бухарского канала и других мелиоративных сооружений в Средней Азии.

В разработке научно-инженерных основ применения крупных взрывов на выброс и сброс ученые стран СНГ занимают ведущее место в мире.

При подземной разработке рудных месторождений с 1935 г. в СССР начинает применяться (комбинаты «Апатит» и «Кривбасс») скважинная отбойка руд, которая оказалась в несколько раз эффективнее по сравнению со шпуровой отбойкой. С 50-х годов на рудниках СССР применяются скважины диаметром 105 мм, которыми в настоящее время отрабатывается более 50 % руд черных и цветных металлов. С конца 60-х годов на месторождениях ценных руд внедряется техника для бурения скважин диаметром 60—80 мм, а для мощных месторождений железных руд (Таштагол, Кривой Рог) рассматривается эффективность применения скважин диаметром 200 мм и более. Ряд рудников за рубежом (в Канаде, Швеции) также переходят на применение взрывных скважин увеличенного (100—125 мм) диаметра по сравнению с 60—70 мм. Интересные работы, давшие значительный экономический эффект, проведены на подземных рудниках по применению предложенного проф. В.Р. Именитовым взрывания «в зажиме», а также ПО «Сибруда» и ВостНИГРИ по применению пучков полукольцевых параллельных скважин, на проходке восстающих и отбойке руд на высоту до 20 м и более.

На многих крупных рудниках и карьерах широко применяется механизация заряжания скважин гранулированными бесшотловыми и шотлосодержащими ВВ вместо патронированных аммонитов.

Определенные изменения произошли в области взрывных работ при проведении выработок. С внедрением буровых кареток стали широко применять глубокие заходки (3 м и более) с призматическими врубами. Впервые специалистами МГИ и ВНИПИгорцветмет применена угловая форма забоя при проходке выработок, обеспечившая в любых породах получение КИШ, близкого к единице. Получило развитие контурное взрывание зарядов, особенно при строительстве гидротехнических сооружений. Заслуживает внимания применение «мягких» зарядов, разработанных ФУГП «Завод «Искра»» по заданию ОАО «Апатит» для контурного взрывания и отбойки блочного камня.

Определенный прогресс достигнут в области ведения взрывных работ в шахтах, особенно опасных по взрыву газа или пыли. Внедрение на шахтах короткозамедленного взрывания при проведении выработок позволило устранить многоприемное взрывание, существенно повысило темпы работ и их безопасность. Для повышения безопасности взрывных работ разработаны разнообразные и достаточно эффективные способы инертизации призабойной зоны выработок, созданы высокопредохранительные ВВ с жидкостными оболочками (патроны СП-1), разработаны взрывные методы ослабления крепких угольных пластов, дегазации угольных пластов, предотвращения внезапных выбросов пород при проведении выработок. Разработаны принципы и средства создания автоматической защиты при взрывании в подготовительных выработках. Все это существенно повышает безопасность ведения взрывных работ во взрывоопасных условиях угольных шахт и рудников.

Интересные работы по применению взрывов выполнены в металлургии, машиностроении, при строительстве, тушении лесных и нефтегазовых пожаров и в ряде других отраслей народного хозяйства.

Неограниченные возможности для разрушения и перемещения любых масс породы имеют ядерные взрывы. Их можно использовать для вскрытия месторождений полезных ископаемых, залегающих на больших глубинах, для глубинного дробления больших объемов бедных руд и их последующего выщелачива-

ния. В гидротехническом строительстве ядерные взрывы могли бы быть применены для сооружений крупных каналов и бухт-ковшей, а также для создания подземных емкостей для хранения жидких и газообразных веществ.

Для образования шпуров и скважин до начала XIX в. применялось ручное бурение, которое с конца XVII в. начинает постепенно заменяться машинным. В 1683 г. механик Г. Гутман впервые предложил буровую машину. В 1852 г. К. Колладон предложил первую буровую машину, работавшую на сжатом воздухе. В 1861 г. при проходке тоннеля в Альпах были впервые применены поршневые ударные машины, повысившие скорость бурения более чем в 10 раз по сравнению с ручным. В конце XIX в. были изобретены молотковые ударные машины — прообразы современных бурильных молотков. В дальнейшем создается оборудование для максимального облегчения труда бурильщика: распорные колонки, пневмоподдержки, автоподатчики, буровые каретки. С 30-х годов в СССР начаты работы по созданию станков для бурения скважин для отбойки руд в подземных условиях. Первый станок для вращательного бурения скважин диаметром до 150 мм был создан в 1935 г. А.А. Миняйло. В 1938 г. А.К. Сидоренко предложил бурить скважины бурильными молотками (погружными), уходящими в скважину вслед за продвижением забоя. В 1949—1950 гг. С.П. Юшко предложил опускать в скважину только ударную часть бурильного молотка (пневмоударник), а его вращение производить с поверхности ставом штанг. Согласно этому принципу в 1954 г. Институтом горного дела Сибирского отделения АН СССР и Кузнецким металлургическим комбинатом создан буровой станок БА-100 для бурения скважин диаметром 105 мм, который работал на воздушно-водяной смеси, служившей одновременно для пылеподавления. Эта машина явилась основой для создания в 1959 г. полуавтоматического станка НКР-100 для скважин диаметром 80—105 мм, глубиной 50 м. Этими станками до настоящего времени бурится более 50 % взрывных скважин в подземных рудниках. С 1950 г. в СССР на Алтае начинаются работы по созданию станков для подземного шарошечного бурения

скважин диаметром 145 мм, которые завершены созданием СКБ СГО серийного станка БШ-145М. В 60-х годах создаются в ряде стран образцы мощных пневматических и гидравлических вращательно-ударных машин для бурения скважин диаметром 60—70 м в подземных условиях, которые нашли широкое применение в различных отраслях.

Бурение взрывных скважин на карьерах применяется с конца XX в. Ударно-канатные станки начали внедрять с 20-х годов в США и с 30-х годов в СССР и до 60-х годов являлись основными для бурения взрывных скважин диаметром 150—300 мм. С 1939 г. начинает внедряться на угольных карьерах вращательное бурение резцами взрывных скважин диаметром 110—160 мм. С 50-х годов в США и с 60-х годов в СССР начинает внедряться бурение скважин диаметром 150—300 мм шарошечными долотами, испытывалось огневое бурение с использованием кислорода, а затем сжатого воздуха как окислителя. Шарошечным способом в настоящее время обуривают более 80 % добываемых пород на карьерах. В 70-е годы в СССР успешно испытано и внедрено комбинированное термошарошечное бурение, при котором скважина диаметром 243 мм, пробуренная шарошечным долотом, расширяется огневым способом в месте расположения заряда до 350—600 мм.

В 1947 г. в США на карьерах испытан один из первых станков для бурения взрывных скважин шарошечными долотами. В СССР работы по шарошечному бурению начаты в 1956 г. В 60-е годы созданы серийные шарошечные станки для бурения вертикальных и наклонных скважин диаметром 214—320 мм. Мощные шарошечные станки оказались наиболее эффективными и экономичными для бурения крепких пород.

Отечественные станки 2СБШ-200...6СБШ-200Н шпиндельной схемы с зажимным патроном и пунктирной схемой подачи бурового става на забой с шагом ~0,8—1,0 м предназначены для бурения вертикальных и наклонных скважин диаметром 214—250 мм глубиной до 40 м в породах средней крепости в основном на угольных разрезах и строительных материалах. Несовершенная схема подачи бурового става позволяет считать их

неконкурентоспособными. Фирма «Джой» (США), выпускавшая такие же станки, прекратила их производство 30 лет назад.

Станки СБШ-250МН с торцевой схемой подачи става на длину штанг используются для бурения скважин диаметром 243—269 мм в любых породах с воздушно-водяной схемой очистки скважин от буровой мелочи и пылеподавления. Это наиболее распространенные на отечественных карьерах станки. По показателям бурения уступают лучшим зарубежным моделям в 2—4 раза и требуют коренной модернизации.

Мощные станки СБШ-320, БАШ-250, БАШ-320, «Руслан» для бурения скважин диаметром 320 мм оказались несовершенными и выпуск их прекращен в 70-х годах прошлого века.

Выпущенный в 90-х годах Ижорским заводом станок СБШ-270ИЗ на гусеничной базе экскаватора ЭКГ-4 для скважин диаметром 250—270 мм оказался неудачным и по ряду причин используется при массе 136 т только для скважин 243 мм. Требуется существенной доработки, что сейчас и производится на заводе.

В СССР были созданы автономные шарошечные на базе трактора Т-100М станки БТС-150, БТС-2 с прицепным компрессором для транспортного строительства и небольших карьеров. Они предназначены для бурения скважин диаметром 145—151 мм глубиной до 25 м. Станок не имеет системы пылеулавливания и утепленной кабины для машиниста, операции наращивания-разборки бурового става производят вручную.

Выпускаемые пневмоударные станки 1СБУ-125 предназначены для бурения скважин диаметром 105—125 мм погружными пневмоударниками. Эта единственная работоспособная модель уступает по показателям производительности шведским и финским моделям станков в 3—5 раз, не отвечает по экологии и санитарии современному уровню. Другие станки этого типа СБУ-160, СБУ-200 не выпускались из-за конструктивных и технологических недостатков, выявленных при испытаниях. В зарубежных странах мобильные станки для скважин диаметром 60—120 (150) мм с использованием мощных пневмоударных и гидроударных машин и погружных пневмоударников являются наиболее распространенными в горной и смежных отраслях промышленности.

Таким, образом, можно констатировать, что весь парк отечественных шарошечных и пневмоударных станков требует замены или коренной модернизации, так как он отстает от мирового уровня.

С 60-х годов на карьерах начинает внедряться бурение скважин диаметром 105—160 мм станками с погружными пневмоударниками. Однако до настоящего времени этот способ получил незначительное распространение на небольших карьерах и для вспомогательных работ при диаметре бурения 105 мм. Это объясняется тем, что верхняя часть уступов, как правило, сильно разрушена взрывами зарядов в перебурах скважин выше располагавшегося уступа, а при ударных воздействиях разрушенные породы легко обрушаются и заклинивают в скважине буровой инструмент (став). Проходили испытания и другие немеханические способы бурения скважин (взрывное, электроимпульсное и др.) и комбинированные механические и термомеханические способы.

Теоретическое обоснование механизма разрушения пород и параметров рациональных режимов бурения, областей применения различных типов станков выполнено в работах советских ученых акад. АН СССР Н.В. Мельникова, акад. АН Кирг. ССР О.Д. Алимова, чл.-корр. АН Кирг. ССР Л.Т. Дворникова, профессоров В.Д. Буткина, К.И. Иванова, А.И. Остроушко, Б.А. Симкина и других, что позволило создать буровые станки для подземных и открытых горных работ.

СВОЙСТВА И КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

1.1. СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ РАЗРУШЕНИЯ ПРИ БУРЕНИИ И ВЗРЫВАНИИ

Изучение различных свойств пород, разработка методики их определения и учета имеют большое значение для выбора типа применяемых буровых машин, рационального способа отбойки породы, установления норм на выполнение буровых и удельных расходов ВВ на взрывные работы и т.д.

При бурении и взрывании эффективность разрушения горных пород определяется различными свойствами. Это связано с тем, что при бурении зона разрушения под лезвием инструмента имеет небольшие размеры (доли сантиметра) и зависит от микросвойств горных пород: твердости, прочности, абразивности, зернистости, вязкости и т.д.

При взрывании в проходческих забоях и при выемке рудных залежей мощностью до 3 м зарядами диаметром 40—60 мм зона дробления имеет размеры до 1,0 м. При этом разрушение породы происходит в стесненных условиях, когда имеющейся открытой поверхности забоя недостаточно для проявления действия заряда как на неограниченной поверхности. При этом важное значение имеют прочность пород на сжатие и сдвиг, а также степень пористой и трещинной пустотности породы и интенсивности трещиноватости, однородность свойств в контуре сечения забоя.

При взрывании на карьерах и подземной разработке месторождений мощностью 5 м и более зарядами 100—300 мм зона разрушения имеет размеры от 3 до 10 м и эффективность дробления массива при этом зависит от макросвойств породы и прежде всего от его трещиноватости, а также от прочности и разрушаемости отдельностей, слагающих массив при соударении и их плотности.

Твердость и абразивность влияют, главным образом, на износ инструмента при бурении, выбор величин осевого усилия на буровой инструмент и частоты его вращения.

Крепость характеризует способность пород сопротивляться разрушению под действием внешних воздействий и в основном характеризуется коэффициентом крепости. При бурении резанием массив часто характеризуют контактной прочностью — способностью проникать в поверхность породы металлического пуансона под определенным усилием и образовывать лунки разрушения.

Твердость горной породы характеризуется сопротивлением проникновению в нее другого тела, не получающего при этом остаточной деформации.

Абразивность — способность или свойство горных пород изнашивать при трении о них металлы, твердые сплавы и другие тела.

Пластичность — свойство пород необратимо изменять, не разрушаясь, свою форму и размеры под действием внешних сил.

Хрупкость — свойство пород разрушаться без пластических деформаций.

При бурении и взрывании скальные горные породы можно рассматривать как хрупкие тела. Наибольшую пластичность имеет глина. Для разрушения пластичных пород требуется увеличенный расход ВВ.

Вязкость в горном деле принято характеризовать сопротивляемость породы силам, стремящимся отделить ее часть от массива. С увеличением вязкости пород эффективность процессов бурения и взрывания снижается.

Зернистость характеризуется крупностью зерен минералов, образующих породы. Различают крупнозернистые породы с зернами диаметром более 5 мм, среднезернистые — с зернами диаметром 1—5 мм и мелкозернистые с зернами диаметром менее 1 мм. Чем меньше зерна минералов и чем прочнее цементирующие зерна вещества, тем труднее разрушаются породы при бурении и отдельности при взрывании.

Пористость характеризуется наличием мельчайших замкнутых пустот в горной породе.

Водоносность — свойство пород задерживать воду и выделять ее при разработке месторождения (бурении скважин, проведении траншей и т.д.). Водоносность пород следует учитывать при выборе типа ВВ для заряжания скважин.

Плотностью породы называют массу ее единицы объема в естественном состоянии. От плотности горных пород зависит удельный расход ВВ, особенно при проведении взрывов на выброс.

Разрыхляемость — свойство горных пород занимать больший объем в разрушенном состоянии по сравнению с объемом в массиве или целике. Отношение объема разрыхленной породы к ее первоначальному объему называют *коэффициентом разрыхления*. Наибольшим коэффициентом разрыхления характеризуются твердые, вязкие и абразивные породы.

Устойчивость — свойство открытой поверхности горных пород сохранять свое положение не разрушаясь (обрушаясь). Этот показатель обычно характеризуется на открытых горных работах углом естественного откоса, т.е. углом, при котором откос породы находится в устойчивом состоянии. Величина его для разных пород меняется от 20 до 80°. Особенно важное значение приобретает устойчивость при разработке глубоких горизонтов карьера (ниже 300 м), а также при выводе бортов карьера на проектный контур: чем круче и устойчивее откосы уступов, тем меньший объем вскрышных пород надо извлечь при добыче проектного объема полезных ископаемых. Поэтому для увеличения устойчивости откосов уступов применяются специальные методы контурного взрывания.

Устойчивость пород при подземных горных работах (проходка выработок, отбойка руд) характеризуется величиной площади открытой поверхности в выработке или камере, которая сохраняется без обрушения.

Слоистость — свойство пород относительно легко разделяться по плоскостям наслоения. При ведении работ в слоистых породах шпуров и скважины следует располагать под углом 45—90° к плоскостям наслоения, так как это улучшает эффективность взрыва и уменьшает вероятность искривления шпуров и скважин, особенно когда прослойки имеют разную прочность.

Трещиноватость характеризуется частотой и пространственным расположением трещин в массиве горной породы, которыми он разделен на отдельные различных размеров. Монолитных, т.е. не имеющих трещин, пород при открытой разработке месторождений полезных ископаемых практически не встречается.

Естественная трещиноватость горной породы определяется геологической характеристикой месторождения, т.е. ее генезисом и последующими тектоническими процессами, дополняется искусственной, зависящей от ведения взрывных работ. Она образуется в результате многократного сейсмического воздействия взрыва на массив, расположенный за пределами разрушаемого объема.

С увеличением величины и диаметра заряда искусственная (техногенная) трещиноватость массива и степень раскрытия трещин возрастают.

Трещиноватость влияет на кусковатость взорванной горной массы при массовых взрывах и проходке выработок, их оконтуривание, на выход негабарита. Одни и те же по составу породы при интенсивной трещиноватости разрушаются, не образуя негабарита, и, наоборот, при слабой трещиноватости дают большой выход негабарита, худшее оконтуривание сечения.

Поэтому при выборе методов ведения взрывных работ и установлении допустимого размера куска, проектировании паспортов буровзрывных работ при проходке для предприятия необходимо учитывать трещиноватость пород.

Трещиноватость массива характеризуется удельной трещиноватостью: числом открытых трещин всех систем, проходящих на единицу длины прямой, проведенной в произвольном направлении. Величина, обратная удельной трещиноватости, дает среднее расстояние между трещинами, которое численно принимают равным среднему диаметру естественной отдельности.

Содержание крупных или мелких отдельностей в массиве до взрыва обычно выражается в процентах к его объему.

Для массивов одного происхождения разная степень трещиноватости на отдельных участках объясняется многократностью действия напряжений в них. Учитывая длительность процесса трещинообразования, естественно полагать, что более трещиноватые массивы образуются из менее трещиноватых: крупные отдельности при многократных силовых воздействиях превращаются в более мелкие.

Средний объем крупных отдельностей, слагающих массив, зависит от типа трещиноватости массива: чем больше содержание в массиве крупных отдельностей, тем больше их средний объем. Все породы по степени трещиноватости или содержанию в массиве крупных отдельностей условно разделены по предложению докт. техн. наук В.К. Рубцова на пять категорий (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Временная классификация пород по трещиноватости Межведомственной комиссии по взрывному делу

Категория трещиноватости	Степень трещиноватости (блочности) массива	Удельная трещиноватость, м ⁻¹	Средний диаметр отдельностей, м	Содержание (%) в массиве отдельностей размером более, см		
				30	70	100
I	Чрезвычайно трещиноватые (мелкоблочные)	>10	< 0,1	< 10	Близко к 0	—
II	Сильнотрещиноватые (среднеблочные)	2—10	0,1—0,5	10—70	< 30	< 5
III	Среднетрещиноватые (крупноблочные)	1—2	0,5—1,0	70—100	30—80	5—40
IV	Малотрещиноватые (весьма крупноблочные)	1,0—0,65	1,0—1,5	100	80—90	40—80
V	Практически монолитные (исключительно крупноблочные)	< 0,65	> 1,5	100	100	100

Для каждой категории пород по трещиноватости можно выбрать рациональный диаметр взрывных скважин и шпуров, параметры их расположения, схему их взрывания, удельный расход и тип ВВ. Поэтому особенно для карьеров на основе планов горных работ целесообразно составлять карту трещиноватости, на которой в плане и по глубине указывают породы разной трещиноватости. Такая карта на текущий период и на перспективу позволит более обоснованно корректировать типовые проекты массовых взрывов, выбирать буровые станки, ассортимент ВВ и удельный расход его, схемы взрывания блоков с учетом ежегодных планов горных работ по каждому горизонту карьера. Такую же работу необходимо выполнять и при подземных взрывных работах.

Степень трещиноватости пород и их категория могут быть определены различными методами: по керну горных пород, планиметрическим и фотопланиметрическими измерениями по поверхности забоев, измерением отдельностей после взрыва и др.

На действующих предприятиях (наиболее широко на карьерах) для оценки трещиноватости применяют планиметрический и акустический методы, а для проектируемых — метод изучения кернов.

Планиметрический метод. Для определения удельной трещиноватости вдоль забоя натягивается шнур (рулетка) и подсчитывается число естественных трещин, пересекающих его на участке длиной не менее 10 м, а затем вычисляется удельная трещиноватость λ :

$$\lambda = n/L,$$

где n — число трещин, пересекающих измеряемую прямую, шт.; L — длина измеряемой прямой, м.

Измерения с шагом 5—10 м на данном участке повторяются не менее двух раз. При измерении необходимо учитывать только естественные трещины, которые отличаются от искусственных, вызванных взрывом, относительной прямолинейностью, меньшей шириной и заполненностью породной мелочью.

В тех случаях, когда измерения по забою выполнить затруднительно и опасно, можно пользоваться количественным подсчетом числа трещин на поверхности откоса уступа. При этом забой рассматривается или фотографируется с заданного расстояния (20 м) через шаблон, на экране которого нанесена масштабная сетка. С помощью этой сетки может быть определено как среднее расстояние между трещинами, так и число крупных отдельностей. Число крупных кусков на 1 м³ массива (или взорванной горной массы) определяют по формуле, предложенной автором учебника:

$$N = \frac{n\sqrt{n}}{S\sqrt{S}},$$

где n — число крупных отдельностей (кусков) на измеряемой площади S (м²), шт.

Содержание крупных кусков на участке слоистого массива определяется как отношение суммарной мощности слоев, содержащих крупные куски, к суммарной мощности всех слоев.

При пользовании этим методом возможны ошибки, связанные с трудностью различить естественные и искусственные трещины на фотопланограммах. Рационально сочетать натурные измерения с фотопланиметрическими, выполняемыми на всей поверхности откоса уступа.

При использовании метода кернов замеряется длина участков керна, разделенного на части по естественным трещинам. По упрощенному способу категория трещиноватости определяется по формуле

$$\lambda = l/n,$$

где l — длина керна, м; n — число участков керна, разделенных по естественным трещинам.

Акустический метод заключается в определении соотношения скоростей продольных волн в массиве и в отдельности. Методика таких измерений разработана в МГИ и ИПКОНе АН

СССР, а степень трещиноватости оценивают по акустическому показателю трещиноватости, который равен соотношению квадратов скоростей продольных волн в массиве v_m и в образце

$$v_0: A_T = \left(\frac{v_m}{v_0} \right)^2.$$

Установлены следующие ориентировочные соотношения между категорией пород и акустическим показателем трещиноватости:

Категория пород по трещиноватости	I	II	III	IV	V
Акустический показатель трещиноватости	0,1	0,1—0,25	0,25—0,4	0,4—0,6	0,6—1,0

Степень трещиноватости может изменяться в результате воздействия на массив предшествующих взрывов.

Граница между целиком и нарушенным массивом может быть установлена различными методами: по скорости утечки воды из скважины, по изменению скорости бурения скважин и шпуров первого и последующих рядов, по изменению скорости прохождения акустических волн и т.д.

Наиболее простым и достаточно точным здесь может быть метод оценки свойств массива по скорости и энергоемкости бурения скважин в процессе подготовки блока к взрыванию. Для этого необходимо по каждому предприятию установить взаимосвязь между энергоемкостью бурения пород (шарошечного, пневмоударного и т.д.) и степенью их трещиноватости. Следует отметить, что в ряде случаев по скорости и энергоемкости бурения можно определить содержание полезных компонентов в рудах. Это наиболее точно получается для железных руд с большим содержанием полезного компонента (%). Работы в этом направлении проводились авторами учебника Б.В. Эквистом, Ю.А. Анистратовым и И.А. Тангаевым.

Для более полной характеристики горных пород с точки зрения эффективности их бурения и взрывания введены понятия: коэффициент крепости, буримость и взрываемость, которые

определяются совместным влиянием рассмотренных выше механических характеристик пород. Эти понятия положены в основу классификации горных пород по крепости, буримости и взрываемости.

1.2. КЛАССИФИКАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД

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

Ниже приведены некоторые применяемые классификации горных пород.

Классификация горных пород проф. М.М. Протодяконова

В основу этой классификации положен коэффициент крепости горных пород f , который характеризует прочность горных пород на раздавливание при одноосном сжатии. Принято, что порода с прочностью на раздавливание 100 кгс/см^2 ($9,8 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$) имеет коэффициент крепости, равный единице. Таким образом, порода, обладающая прочностью, например, 1000 кгс/см^2 ($9,8 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$), имеет коэффициент крепости по классификации проф. М.М. Протодяконова:

$$f = \frac{1000 \text{ кгс/см}^2}{100 \text{ кгс/см}^2} = \frac{9,8 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2}{9,8 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2} = 10,$$

т.е. коэффициент крепости показывает, во сколько раз данная порода крепче другой, крепость которой принята за единицу.

Проф. М.М. Протодяконов считал, что коэффициент крепости характеризует породу во всех производственных процессах, т.е. если данная порода крепче другой в некотором количестве раз, например, при бурении, то она, как правило, во столько же раз крепче ее и при других производственных процессах, например, при взрывании.

Классификация проф. М.М. Протодяконова (табл. 1.2) имеет 10 категорий (от I до X), часть из которых разбита на подкатегории (III—VII). Породы самые крепкие относятся к I категории, самые слабые — к X категории. Каждой группе пород соответствует коэффициент крепости от 0,3 до 20. Эта классификация до настоящего времени на многих горно-добывающих предприятиях стран СНГ применяется для ориентировочной оценки пород, а также при укрупненных проектных и сметных расчетах.

Таблица 1.2

Классификация пород М.М. Протодяконова

Категория пород	Степень крепости	Горные породы	Коэффициент крепости f
I	В высшей степени крепкие породы	Наиболее крепкие, плотные и вязкие кварциты и базальты. Исключительные по крепости другие породы	≥ 20
II	Очень крепкие породы	Очень крепкие гранитовые породы. Кварцевый порфир, очень крепкий сланец. Менее крепкие, нежели указанные выше кварциты. Самые крепкие песчаники и известняки	15
III	Крепкие породы	Гранит (плотный) и гранитовые породы. Очень крепкие песчаники и известняки. Кварцевые рудные жилы. Крепкий конгломерат. Очень крепкие железные руды	10
IIIa	То же	Известняки (крепкие). Некрепкий гранит. Крепкие песчаники. Крепкий мрамор, доломит, колчедан	8
IV	Довольно мягкие породы	Обыкновенный песчаник. Железные руды	6
IVa	То же	Песчанистые сланцы. Сланцевые песчаники	5

Окончание табл. 1.2

Категория пород	Степень крепости	Горные породы	Коэффициент крепости f
V	Породы средней крепости	Крепкий глинистый сланец. Некрепкий песчаник и известняк, мягкий конгломерат	4
Va	То же	Разнообразные сланцы (некрепкие), плотный мергель	3
VI	Довольно мягкие породы	Мягкий сланец. Очень мягкий известняк, мел, каменная соль, гипс. Мерзлый грунт, антрацит. Обыкновенный мергель. Разрушенный песчаник, сцементированная галька	2
VIa	То же	Щебенистый грунт. Разрушенный сланец, слежавшийся сланец, слежавшаяся галька и щебень, крепкий каменный уголь. Отвердевшая глина	1,5
VII	Мягкие породы	Глина (плотная). Мягкий каменный уголь. Крепкие наносы, глинистый грунт	1,0
VIIa	То же	Легкая песчанистая глина, лесс, гравий	0,8
VIII	Землистые породы	Растительная земля. Торф, легкий суглинок, сырой песок	0,6
IX	Сыпучие пески	Песок, осыпи, мелкий гравий, насыпная земля, добытый уголь	0,5
X	Плывучие породы	Плывуны, болотистый грунт, разжиженный лесс и другие разжиженные породы, грунты	0,3

Для оперативного нормативирования классификация пород проф. М.М. Протодяконова непригодна. Для этих целей используются классификациями по буримости и взрываемости.

Единая классификация горных пород по буримости

Специальной комиссией при бывш. ИГД АН СССР на основе исследований проф. А.Ф. Суханова разработан проект единой классификации по буримости. Буримость пород в этой классификации характеризуется чистой скоростью бурения шпура при следующих стандартных условиях опыта: тип бурильного молотка ПР-19 (ПР-22); давление сжатого воздуха — $4,5 \text{ кгс/см}^2$ ($0,45 \text{ МПа}$); характеристика бурового инструмента: диаметр головки бура — 42 мм; форма лезвия бура — крестовая; угол заострения лезвия — 90° ; длина штанги — 1 м; глубина бурения — до 1 м.

В случае проведения опыта при условиях, отличных от стандартных, вводятся соответствующие поправочные коэффициенты. После определения скорости бурения по классификации находится наиболее близкая величина табличной скорости и порода относится к этому классу. На этом принципе составлено большое количество классификаций для определенных условий рудников, карьеров, бассейнов (табл. 1.3).

Параллельно с созданием классификаций по скорости бурения проводилась классификация пород по энергоёмкости бурения для определенных типов буровых машин. Преимущество таких классификаций в том, что энергоёмкость позволяет оценить, кроме буримости, эффективность применяемого способа (машины, станка), так как чем меньше энергоёмкость, тем более эффективно реализуется процесс разрушения породы и удаления продуктов разрушения с забоя. За меру эффективности принято значение энергоёмкости a :

$$a = \frac{A}{V_n}, \text{ кДж/дм}^3,$$

где A — затраты энергии на бурение, $A = Nt$; N — потребляемая мощность, кВт; t — время работы машины, станка при выбуривании объема породы V_n .

Одна из первых таких классификаций была составлена в 1867 году для бурения скважин на карьерах Колывано-Воскресенских заводов (Урал). После широкого распространения для бурения взрывных скважин ударно-канатных станков Я.Б. Зайдманом и П.П. Назаровым в 30-х годах была разработана классификация пород по энергоёмкости для этого способа бурения. Проф. И.А. Тангаевым разработана классификация по энергоёмкости применительно к шарошечному способу бурения. При этом им показано, что на энергоёмкость влияют прочность и трещиноватость пород, т.е. чем более трещиновата порода, тем меньше энергоёмкость ее бурения, но тем она легче разрушится при взрыве и более производительно грузится экскаваторами. Таким образом, И.А. Тангаеву удалось по энергоёмкости шарошечного бурения оценить взрываемость пород в обуренном объеме блока, чего не удавалось сделать по другим классификационным критериям. Аналогичную информацию о свойствах обуриваемого массива (прочность и трещиноватость) можно получить по чистой скорости бурения при определенных режимах (прочность) и уровню низкочастотных вибраций бурового става (трещиноватость). Указанная методика разработана в МГИ.

Классификации пород по взрываемости основаны на определении величины удельного расхода определенного ВВ при стандартных условиях взрывания. При этом в результате взрыва порода должна разрушаться на куски определенной крупности.

В настоящее время на многих рудниках и карьерах разработаны местные классификации массивов пород по взрываемости, в основу которых положены свойства массивов: трещиноватость и прочность отдельностей, наиболее существенно влияющие на расчетный удельный расход ВВ. Сравнительный анализ таких классификаций показывает, что в каждой из них имеются легко-взрываемые, трудновзрываемые и весьма трудновзрываемые массивы пород. Иногда в классификации вводятся промежуточные классы выше средней взрываемости и т.д. Сравнение одинаковых по характеристике взрываемости массивов показывает, что расчетный удельный расход в них может отличаться в 2 и более раза (например, для трудновзрываемых массивов от $0,42$ до $0,850 \text{ кг/м}^3$ и т.д.).

Объективное сравнение взрываемости пород по таким «местным» классификациям невозможно. Поэтому МГИ совместно с ВНИИцветметом (авторы Б.Н. Кутузов и В.Ф. Плужников) разработана общая классификация массивов пород по взрываемости для карьеров, исходя из стандартных условий проведения ее оценки. За стандартные условия проведения опытных взрывов приняты: высота уступа 12—15 м, угол откоса 65—70°, диаметр скважин 243—269 мм, ВВ — граммонит 79/21; схема взрывания многорядная, КЗВ с замедлениями по диагоналям, величина перебура 2 м, величина забойки 6 м.

Таблица 1.3

Сравнение некоторых классификаций горных пород

Группа пород по СНиПу	Единая классификация горных пород по буримости		Классификация пород проф. М.М. Протодяконова	
	Класс пород	Скорость бурения (мм/мин) армированными бурами	Категория пород	Коэффициент крепости f'
XI	1	31	—	—
	2	40	—	—
	3	50	—	—
	4	60	—	—
X	5	75	I	20
	6	90	II	15
IX	7	110	III	10
	8	130	IIIa	8
VIII	9	16	IV	6
	10	200	IVa	5
VII	11	250	V	4
	12	300	Va	3
VI	13	350	VI	2
	14	400	VIa	1,5
IV—V	15	500	VII	1,0
III	—	—	VIIa	0,8
II	—	—	IX	0,5
I	—	—	X	0,3

При взрыве должен быть обеспечен выход крупной (свыше 1000 мм) фракции пород, близкий к нулю.

Установлено, что для стандартных условий взрывания расчетный расход ВВ на карьерах в основном меняется от 0,1 до 2 кг/м³. Чем выше расчетный удельный расход ВВ, тем больше диапазон его изменения в пределах одного класса.

На основе изложенных принципов (авторы Б.Н. Кутузов, В.Ф. Плужников) установлено, что все разнообразие массивов пород по взрываемости можно разделить на 10 категорий (классов) (табл. 1.4). Эта классификация массивов по взрываемости введена на железорудных карьерах для выбора расчетных удельных расходов ВВ при проектировании массовых взрывов.

На конкретном карьере могут быть породы трех, максимум четырех категорий (например, II, IV, VIII или III, VI и X). Однако в местных классификациях они названы, как правило, одинаково: легко-, средне- и трудновзрываемые. С введением этой классификации массивов можно дать объективную сравнительную оценку трудности взрывания различных массивов на разных карьерах.

Таблица 1.4

Классификация массивов горных пород по взрываемости для карьеров

Категория (класс по взрываемости)	Расчетный удельный расход ВВ, кг/м ³	Расстояние между естественными трещинами всех систем в массиве, м	Содержание в массиве отдельных (%) размером	
			более 500 мм	более 1500 мм
1	2	3	4	5
I	0,12—0,18	< 0,10	0—2	0
II	0,18—0,27	0,05—0,25	2—16	0
III	0,27—0,38	0,20—0,5	10—52	0—1
IV	0,38—0,52	0,45—0,75	45—80	0—24
V	0,52—0,68	0,70—1,0	75—98	2—15
VI	0,68—0,88	0,95—1,25	96—100	10—30
VII	0,88—1,1	1,20—1,5	100	25—47
VIII	1,11—1,37	1,45—1,7	100	43—63
IX	1,37—1,68	1,65—1,9	100	58—78
X	1,68—2,03	≥ 1,85	100	75—100

Окончание табл. 1.4

Категория (класс по взрываемости)	Предел проч- ности пород на сжатие, $\text{Па} \cdot 10^5$	Плотность пород ρ , г/см^3	Примерные категории (грунты) пород		
			по Прото- дьяконову	по Единой шка- ле буримости	по СНиПу
1	6	7	8	9	10
I	100—300	1,40—2,0	VII—VI	V—VIII	III—V
II	200—450	1,75—2,35	VI—V	VII—X	V—VI
III	300—650	2,25—2,55	V—IV	IX—XII	VI—VII
IV	500—800	2,50—2,80	IV—III	XI—XIII	VII—VIII
V	700—1200	2,75—2,9	III—II	XIII—XV	VIII—IX
VI	1100—1600	2,85—3,0	II—I	XIV—XVI	IX—X
VII	1450—2050	2,95—3,2	II—I	XXV—XXVIII	X
VIII	1950—2500	3,15—3,40	I	XVII—XX	X—XI
IX	2350—3000	3,35—3,6	I	XIX—XX	X—XII
X	≥ 2850	$\geq 3,5$	I	XX	XI

Классификация пород по взрываемости (расчетному удельно-му расходу ВВ) треста «Союзвзрывпром» получена на основе обобщения громадного опыта взрывных работ в различных породах (табл. 1.5). При использовании других типов ВВ применяются поправочные коэффициенты, приведенные в табл. 1.6.

Таблица 1.5

Величина расчетного удельного расхода взрывчатого вещества (аммонит 6ЖВ)

Порода	Группа (категория) грунтов и по- род по СНиПу	Коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Прото- дьяконова f	Средняя плотность по- роды ρ , кг/м^3	Расчетный удельный расход ВВ q , кг/м^3	
				для зарядов рыхления q_p	для зарядов выброса q_v
Песок	I	—	1500	—	1,6—1,8
Песок плот- ный или влажный	I—II	—	1650	—	1,2—1,3
Суглиной тяжелый	II	—	1750	0,35—0,4	1,2—1,5

Продолжение табл. 1.5

Порода	Группа (категория) грунтов и по- род по СНиПу	Коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Прото- дьяконова f	Средняя плотность по- роды ρ , кг/м^3	Расчетный удельный расход ВВ q , кг/м^3	
				для зарядов рыхления q_p	для зарядов выброса q_v
Глина ломо- вая	III	—	1950	0,35—0,45	1,0—1,4
Лесс	III—IV	—	1700	0,3—0,4	0,9—1,2
Мел, выще- лоченный мергель	IV—V	0,8—1,0	1850	0,25—0,3	0,9—1,2
Гипс	IV	1,0—1,5	2250	0,35—0,45	1,1—1,5
Известняк- ракушечник	V—IV	1,5—2,0	2100	0,35—0,6	1,4—1,8
Опока, мер- гель	IV—VI	1,0—1,5	1900	0,3—0,4	1,0—1,3
Туфы тре- щинчатые плотные, тяжелая пемза	V	1,5—2,0	1100	0,35—0,5	1,2—1,5
Конгломерат, брекчия на извест- няковом и глинистом цементе	IV—VI	2,3—3,0	2200	0,35—0,45	1,1—1,4
Песчаник на глинистом цементе, сланец гли- нистый, слюдистый, серицито- вый мергель	VI—VII	3,0—6,0	2200	0,4—0,5	1,2—1,6
Доломит, известняк, магнезит, песчаник на известняко- вом цементе	VII—VIII	5,0—6,0	2700	0,4—0,5	1,2—1,8

Окончание табл. 1.5

Порода	Группа (категория) грунтов и пород по СНиПу	Коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протодьяконова f	Средняя плотность породы ρ , кг/м ³	Расчетный удельный расход ВВ q , кг/м ³	
				для зарядов рыхления q_p	для зарядов выброса q_v
Гранит, гранодиорит	VII—X	6—12	2800	0,5—0,7	1,7—2,1
Базальт, диабаз, андезит, габбро	IX—XI	6—18	3000	0,6—0,75	1,7—2,2
Кварцит	X	12—14	3000	0,5—0,6	1,6—1,9
Порфирит	X	16—20	2800	0,7—0,75	2,0—2,2

Примечания: 1. В случае применения других ВВ приведенные в табл. 1.5 значения q_p и q_v следует умножить на переводной коэффициент $K_{вв}$, принимаемый по табл. 1.6. 2. Коэффициент q условно называют удельным расчетным расходом ВВ для зарядов нормального рыхления, его величина определена из выражения $q = q_v N_q$; коэффициент q_v условно называют расчетным удельным расходом ВВ для зарядов выброса, который зависит от свойств пород. N_q — соотносительная масса заряда, определяющая характер действия взрыва, равная соотношению масс данного заряда и заряда нормального действия при одной и той же ЛНС. Для зарядов нормального рыхления N_q принят равным приблизительно 1/3. Для получения заданного характера действия взрыва заряда принимают следующие величины N_q : для наибольшего камуфлета $N_q = 0,2$; для нормального рыхления $N_q = 0,33$; для выброса $N_q \geq 1$.

Таблица 1.6

Переводные коэффициенты $K_{вв}$ для расчета эквивалентных зарядов ВВ по идеальной работе взрыва (эталон — аммонит 6ЖВ)

ВВ	$K_{вв}$	ВВ	$K_{вв}$
КарбатоЛ ГЛ-10В	0,76	Граммонит 79/21	1,00
Аммонал скальный № 3	0,80	Гранулотол	1,20
Гранулит АС-8В	0,80	Динафталит	1,08
Аммонит скальный № 1	0,81	Акватол Т-20Г	0,75
Детонит М	0,82	Граммонит 50/50	1,11
Алюмотол	0,83	Гранулит С-2	1,13

Окончание табл. 1.6

ВВ	$K_{вв}$	ВВ	$K_{вв}$
Гранулит С-6М	0,94	Гранулит М	1,13
Акватол Т-20	0,92	Игданит	1,13
Гранулит АС-8	0,89	Гранитол 7А	0,85
Аммонал водоустойчивый	0,91	Гранипоры	1,14
Гранулит АС-4	0,98	Акватол ЗЛ	1,16
Аммонит 6ЖВ	1,00	Акванал А-10	0,92
Порэмтиты	1,1—1,2	Сибирити	1,0—1,2

Примечание. На основании практических данных треста «Союз-взрывпром» при взрывании гранулотол на рыхление следует принимать $K_{вв} = 1,0$.

СПОСОБЫ
РАЗРУШЕНИЯ
ПОРОД
И ТЕХНИКА
БУРЕНИЯ
ШПУРОВ
И СКВАЖИН

2.1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБОВ БУРЕНИЯ

Для разрушения взрывом скальных массивов в них бурят шпуры или скважины, в которых размещают заряды ВВ, взрывающиеся в определенном порядке для достижения требуемых результатов взрыва.

Процесс бурения состоит в разрушении породы на забое буровым инструментом и ее удалении из шпура или скважины.

Для бурения шпуров и скважин применяют разнообразные сверла и молотки, буровые каретки, буровые станки и установки. При всех способах процесс бурения состоит из выполнения следующих основных операций: подготовка и установка бурильной машины для начала работ, бурение (разрушение породы) с очисткой забоя от продуктов разрушения (буровой мелочи), наращивание бурового става для достижения требуемой глубины бурения и его разборка после окончания работ, смена изношенного бурового инструмента и передвижение машины на новую точку бурения шпура или скважины.

В настоящее время применяют вращательное, ударное, ударно-вращательное и вращательно-ударное бурение скважин, которые иногда называют механическими способами бурения, а также огневое и комбинированное бурение. Изучается возможность применения энергии взрыва для взрывного бурения скважин, а также высоковольтных электрических разрядов — электроимпульсное бурение.

Механические способы бурения делят на вращательное и ударное.

При вращательном бурении инструмент вращается вокруг оси, совпадающей с осью шпура или скважины, и одновременно с определенным усилием подается на забой. Величину усилия задают из расчета превышения предела прочности породы на

вдавливание на площади контакта режущих лезвий инструмента с породой. При этом происходят последовательное скалывание частиц породы с забоя и углубление инструмента по винтовой линии. Удаление продуктов разрушения производят механическим способом с помощью витых штанг (при бурении шпуров), шнеков (при бурении скважин), промывкой забоя водой или продувкой воздухом.

В горной промышленности применяют:

- вращательное бурение резцами шпуров с помощью ручных и колонковых сверл;
- вращательное (шнековое) бурение резцами скважин с помощью буровых станков.

При ударном бурении с помощью ударника инструмент наносит удар по забою и разрушает породу под лезвием. После каждого удара инструмент поворачивается на некоторый угол, обеспечивая получение круглого сечения шпура или скважины.

Различают следующие виды ударного бурения:

ударно-поворотное бурение обычными и погружными бурильными молотками, при котором инструмент поворачивается только в промежутках между ударами вмонтированным в молоток поворотным устройством. При ударно-канатном бурении поворот долота происходит за счет устройства канатного замка и упругих свойств каната;

ударно-вращательное бурение погружными пневмударниками и бурильными молотками с независимым вращением, при котором удары наносятся по непрерывно вращающемуся инструменту. Разрушение породы при этих двух способах бурения происходит только за счет его внедрения при ударах;

вращательно-ударное бурение, при котором удары наносятся по непрерывно вращающемуся под большим (в 10 раз большим, чем при ударно-вращательном) осевым усилием инструменту. Разрушение происходит как за счет внедрения инструмента при ударах, так и за счет поворота при вращении инструмента;

бурение шарошечными долотами относится к ударному при долотах чистого качения и к вращательно-ударному при долотах, в которых зубцы наряду с перекатыванием по забою срезают ее скользящим движением вдоль поверхности забоя (долота со скольжением);

при огневом бурении разрушение породы происходит за счет термонапряжений, возникающих при быстром нагреве поверхности породы потоками раскаленных газов ($t \geq 2000$ °C), вылетающих из сопел горелки со скоростью 2000 м/с и более. Горелка охлаждается водой или воздухом;

при взрывном бурении скважин разрушение породы происходит последовательными взрывами на забое небольших зарядов ВВ. Известны два метода взрывного бурения: патронный (ампульный) — с помощью патронов жидких или твердых ВВ, взрывающихся на забое от удара или детонатора; струйный, при котором из взрывобура, расположенного над забоем, происходит подача жидких компонентов ВВ (горючего и окислителя) на забой и формирование жидкого плоского заряда, взрыв которого вызывают впрыскиванием капли инициатора (эвтектического сплава калия и натрия). Опытные работы последних лет показали, что при взрывобурении на забое могут быть достигнуты скорости проходки (30—60 м/ч), недостижимые для механических методов, особенно в крепких породах;

при электроимпульсном бурении разрушение пород происходит за счет электрического пробоя участка забоя скважины высоковольтным (до 200 кВ) разрядом. Мгновенно выделяемая энергия в канале пробоя разрушает породу, которую с забоя удаляют потоком диэлектрика, циркулирующего в скважине (соляровое масло, вода и т.п.).

Разрабатывают комбинированные способы бурения, в которых происходит совместное воздействие на забой ударным инструментом и шарошками (ударно-шарошечный способ), резцами и шарошками (режуще-шарошечный способ), огневой горелкой и шарошками (термошарошечный способ).

2.2. ВРАЩАТЕЛЬНОЕ БУРЕНИЕ ШПУРОВ

Вращательное бурение шпуров диаметром до 50 мм и глубиной до 5 м производится в породах ниже средней крепости с $f \leq 6$ по шкале проф. М.М. Протодяконова* ручными и колонковыми сверлами.

Машины вращательного бурения в мягких породах показывают большую производительность, чем машины ударного действия, создают значительно меньший шум, меньше пылят и т.д. По роду потребляемой энергии их делят на пневматические, электрические и гидравлические, а по мощности и способу установки — на ручные, колонковые и устанавливаемые на манипуляторах буровых кареток.

Ручные сверла предназначены для бурения шпуров диаметром до 50 мм и глубиной до 4 м в мягких породах с $f \leq 2$ при осевом усилии до 30 кг и имеют мощность двигателя от 1,0 до 1,4 кВт. Имеются ручные сверла с принудительной подачей, развивающие осевое усилие на забой до 3,0 кН, что позволяет сверлить более крепкие породы ($f \leq 4$). Работу этими сверлами производят вручную или с легкой распорной колонки.

Колонковые сверла массой 100—120 кг, с двигателем мощностью от 2,5 до 5 кВт применяют при сверлении шпуров диаметром до 40 мм, глубиной до 5 м в породах с коэффициентом крепости $f \leq 6—7$.

Ручные электросверла (рис. 2.1) ЭР14Д-2М, ЭР18Д-2М, СЭР-19М принципиально выполнены одинаково и различаются только некоторыми параметрами. Электродвигатель в них через понижающий редуктор вращает патрон шпинделя, в который вставлена буровая штанга с резцом на торце.

* Далее по книге будет даваться только коэффициент крепости без ссылки на М.М. Протодяконова.

В ручных сверлах принудительную подачу обеспечивает специальный механизм, который расположен на корпусе редуктора и состоит из червячной пары и барабана с тросиком, закрепленным на забое. Это позволяет при натяжении тросика червячной парой развивать осевое усилие на инструмент 3,0 кН.

Колонковые электрические или гидравлические сверла крепят на колонках (рис. 2.2) или манипуляторах буровых кареток. Характеристики и марки сверл даны в табл. 2.1.

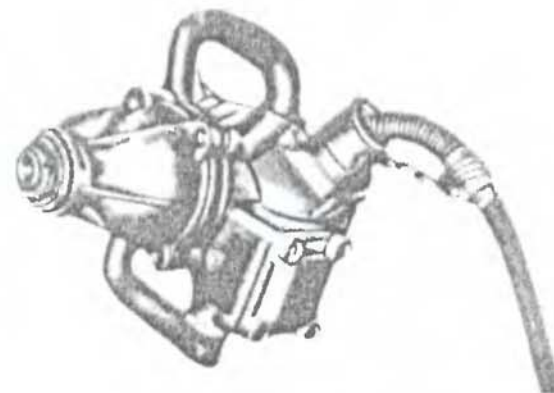


Рис. 2.1. Ручное электросверло

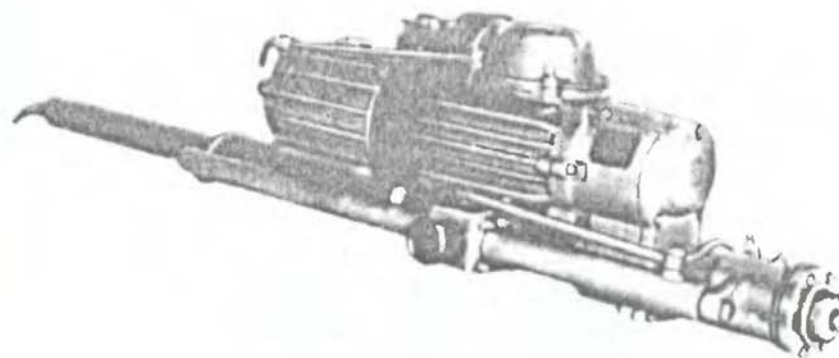


Рис. 2.2. Колонковое сверло гидравлическое

Таблица 2.1

Техническая характеристика электросверл

Показатели	Ручные электросверла			
	ЭР14Д-2М	СЭР-19М	ЭР18Д-2М	ЭРП18Д-2М
Мощность двигателя, кВт	1	1,2	1,4	1,4
Частота вращения шпинделя, об/мин	860	600; 750; 960	640	300
Усилие подачи на забой, кН	—	—	—	3
Масса сверла без колонки и кабеля, кг	16	16,5	17	24

Окончание табл. 2.1

Показатели	Колонковые электросверла		
	ЭБК-5	СЭК-1	ЭБГП-1
Мощность двигателя, кВт	3,6—4,8	3,6—4,8	3,5
Частота вращения шпинделя, об/мин	152; 305	152; 305	170; 315
Максимальный ход шпинделя, мм	950	870	900
Усилие подачи на забой, кН	15	15	16
Масса сверла без колонки и кабеля, кг	110	112	130

Примечание. ЭР — электросверло ручное; СЭР — сверло электрическое ручное; ЭБК — электробур колонковый; СЭК — сверло электрическое колонковое; ЭБГП — электробур с гидроподачей.

Колонковое электросверло состоит из двухскоростного электродвигателя с контроллером, редуктора вращения и подачи шпинделя со штангой на забой.

Осевое усилие на забой может регулироваться специальным механизмом в широких пределах (2—15 кН), что дает возможность легко подбирать необходимый режим работы в зависимости от крепости породы.

Буровой инструмент. При вращательном бурении шпуров применяют резцы (рис. 2.3) с лезвиями, армированными пластинками твердого сплава ВК6, ВК8, ВК8В. Витые штанги для вращательного бурения шпуров изготавливают из сталей ромбического (а), прямоугольного (б) или круглого (в) сечений (рис. 2.4).

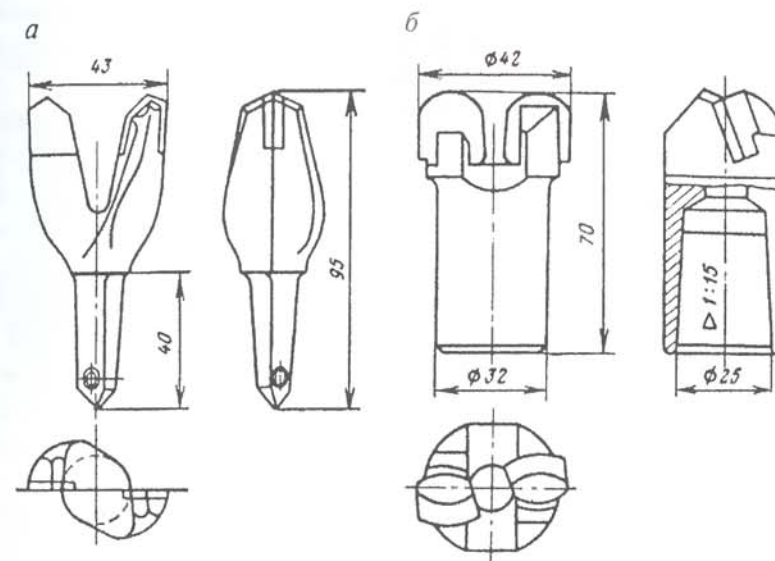


Рис. 2.3. Резцы для вращательного бурения шпуров:

а — угольные РУ-4М; б — породные РП-42-2

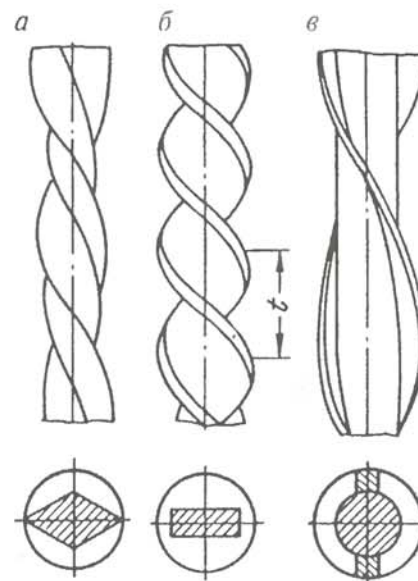


Рис. 2.4. Штанги для вращательного бурения шпуров

При вращательном бурении с промывкой водой применяют шестигранные или круглые штанги с центральным отверстием диаметром 6—8 мм.

Механизм и основные закономерности разрушения породы. Процесс разрушения породы лезвием резца при вращательном бурении состоит в последовательном сколе породы в виде элементов стружки (рис. 2.5, а) за счет воздействия определенного объема разрушенной породы (главного объема давления), находящейся перед передней гранью лезвия резца. Подтверждением такой последовательности разрушения служит график потребляемой мощности N двигателем сверла с резкими колебаниями во времени t от минимума до максимума (рис. 2.5, б). В процессе образования объема давления перед передней гранью сопротивление движению лезвия и потребляемая мощность резко возрастают, а в момент скола породы потребляемая мощность снижается до минимальных величин.

С увеличением осевого усилия на инструмент для определенной породы скорость бурения увеличивается до некоторого предела, при котором ее дальнейший рост замедляется из-за недостаточного удаления продуктов разрушения с забоя (рис. 2.6, а). Наилучшие условия для бурения имеют место на участке II, где скорость увеличивается пропорционально осевому усилию $P_{ос}$. При малых значениях $P_{ос}$ (участок I) разрушение носит характер истирания и неэффективно для бурения. При чрезмерно больших $P_{ос}$ (участок III) абразивный износ и число поломок лезвий резко возрастают.

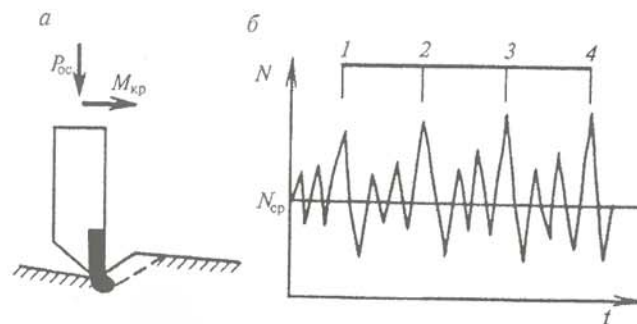


Рис. 2.5. Закономерности разрушения породы при вращательном бурении:
а — внедрение резца в породу и ее скол; б — колебания потребляемой мощности двигателем вращателя при бурении

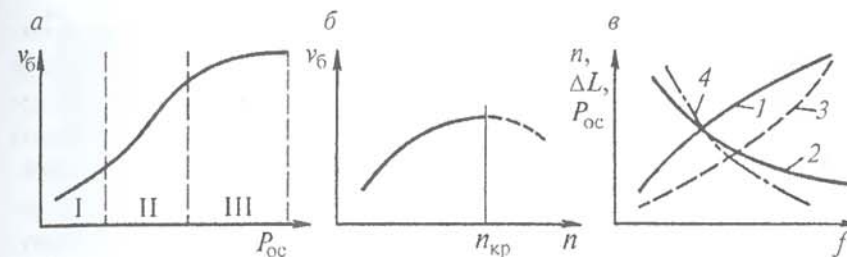


Рис. 2.6. Основные закономерности изменения параметров вращательного бурения:

а, б — зависимость скорости бурения от осевого усилия (а) и частоты вращения (б); в — изменение рациональных параметров бурения с увеличением крепости пород: 1 — осевого усилия; 2 — скорости бурения; 3 — удельного износа инструмента; 4 — частоты вращения

С увеличением частоты вращения скорость бурения сначала пропорционально увеличивается, а затем темп роста снижается (рис. 2.6, б) и возникают сильные вибрации инструмента. С увеличением коэффициента крепости породы рациональные значения осевых усилий возрастают, а частоты вращения уменьшаются (рис. 2.6, в).

Во всех случаях целесообразно применять максимально возможные по техническим характеристикам сверл осевые усилия, а частоты вращения выбирать из допустимого уровня вибраций при бурении. С увеличением коэффициента крепости пород скорость бурения снижается, а удельный износ инструмента растет.

2.3. УДАРНЫЕ СПОСОБЫ БУРЕНИЯ ШПУРОВ

Ударное бурение шпуров производят пневматическими бурильными молотками. Они имеют наименьшую относительную массу на единицу развиваемой мощности, невелики по габаритам и просты в обслуживании, успешно бурят породы любой крепости. Бурильные молотки делят на ручные, телескопные и колонковые, которые в свою очередь делят на легкие (18—20 кг), средние (20—30 кг) и тяжелые (> 30 кг).

При бурении (рис. 2.7) поршень-ударник 5 в цилиндре 3 совершает поступательно-возвратные движения. При рабочем ходе (вправо) поршень наносит удар по хвостовику бура 8, удерживаемого в молотке буродержателем 7. При холостом ходе (влево) поршень с помощью геликоидального стержня 4 храпового устройства поворачивается на некоторый угол, поворачивая при этом через поворотную и соединительную муфты 6 буровой инструмент. Воздухораспределение производится устройством 2, в которое сжатый воздух поступает через крышку молотка 1. Воду для промывки подают по шлангу 10, а все узлы стягивают болтами 9.

Бурильные молотки применяются для бурения шпуров при проходке выработок, подземной отбойке угля и руд, на небольших карьерах, при вторичном дроблении негабарита и других работах. Бурильные молотки легкие и средние устанавливают на пневмоподдержках, а тяжелые на колонках или манипуляторах буровых кареток, применяемых на карьерах (рис. 2.8, а), при проходке выработок (рис. 2.8, б) или отбойке руд. Для бурения восходящих шпуров применяют телескопные бурильные молотки.

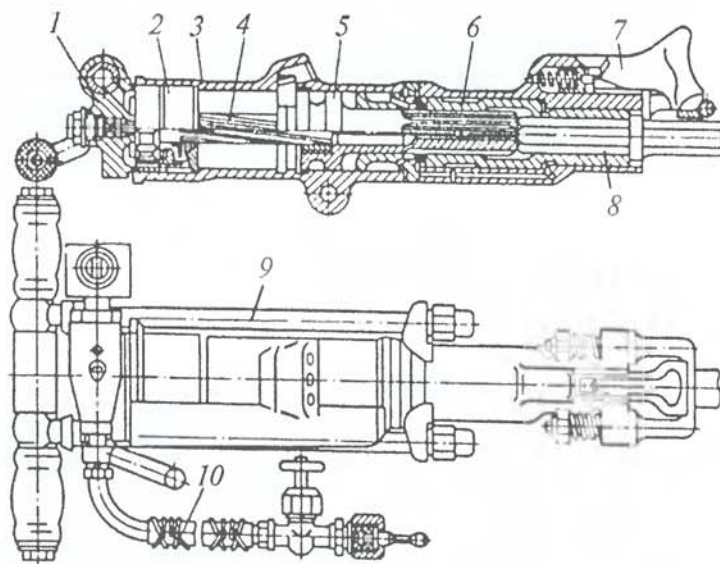


Рис. 2.7. Ручной бурильный молоток ПР-19

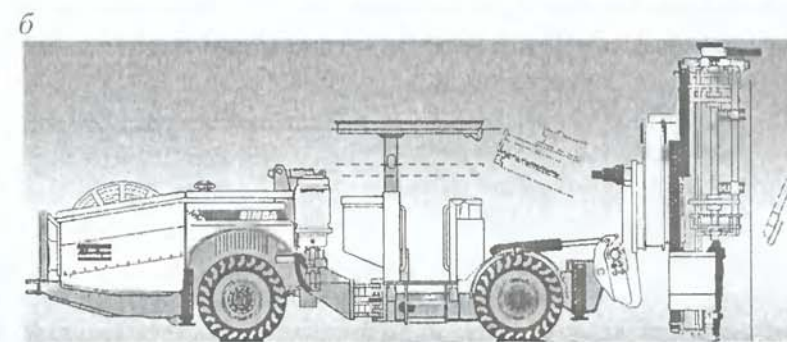


Рис. 2.8. Каретки для тяжелых бурильных молотков:
а — для карьеров; б — для подземных работ

Бурильные молотки работают с промывкой шпуров водой или с отсосом пыли. В последние годы при подземной добыче руд черных и цветных металлов широкое распространение для отбойки получили скважины и шпуров диаметром 50—70 мм и глубиной 5—20 м. Бурение таких шпуров и скважин производится самоходными буровыми каретками на пневмошинном или гусеничном ходу. Эти каретки используют в комплексе с зарядным и погрузочно-транспортным самоходным оборудованием. На этих каретках применяют мощные бурильные молотки с независимым вращением. В последние годы рядом зарубежных фирм успешно внедрены гидроударные бурильные молотки. В СНГ также разработаны и успешно внедряют гидроударные машины, существенно более производительные, чем пневматические.

В качестве примера на рис. 2.9 показан станок с мощным гидроперфоратором фирмы «Тамрок», работающим при давлении жидкости 175 бар, а воздух для очистки забоя подается под давлением 10 бар. Этот станок обеспечивает высокопроизводительное бурение скважин диаметром 51—89 мм и глубиной до 10—15 м. Для всех легких зарубежных станков характерна высокая проходимость и автономность работы с прицепным дизельным компрессором.

Технические характеристики пневматических бурильных молотков приведены в табл. 2.2.

Буровой инструмент для бурения бурильными молотками состоит из сплошных или составных буров и коронок. Сплошной бур представляет собой стержень из буровой стали, имеющей с одного конца породоразрушающую коронку, а с другого — хвостовик для установки в бурильном молотке. Составные буры (рис. 2.10) имеют штангу 1 с хвостовиком и съемную коронку 2, армированную пластинками твердого сплава 3. Съемные коронки имеют резьбовое или конусное, под углом $3^{\circ}30'$ соединение со штангой.

Для бурения мягких пород угол пристроения лезвия должен составлять около 90° , для пород средней крепости $100—110^{\circ}$ и для крепких пород — 120° . Наибольшее распространение имеют коронки крестовой и долотчатой формы. Коронки долотчатой

формы (рис. 2.11, а) обеспечивают наибольшую скорость бурения в монолитных породах. Коронки крестовой формы со сплошным и прерывистым лезвием (рис. 2.11, б) применяют для бурения шпуров и скважин в трещиноватых породах.

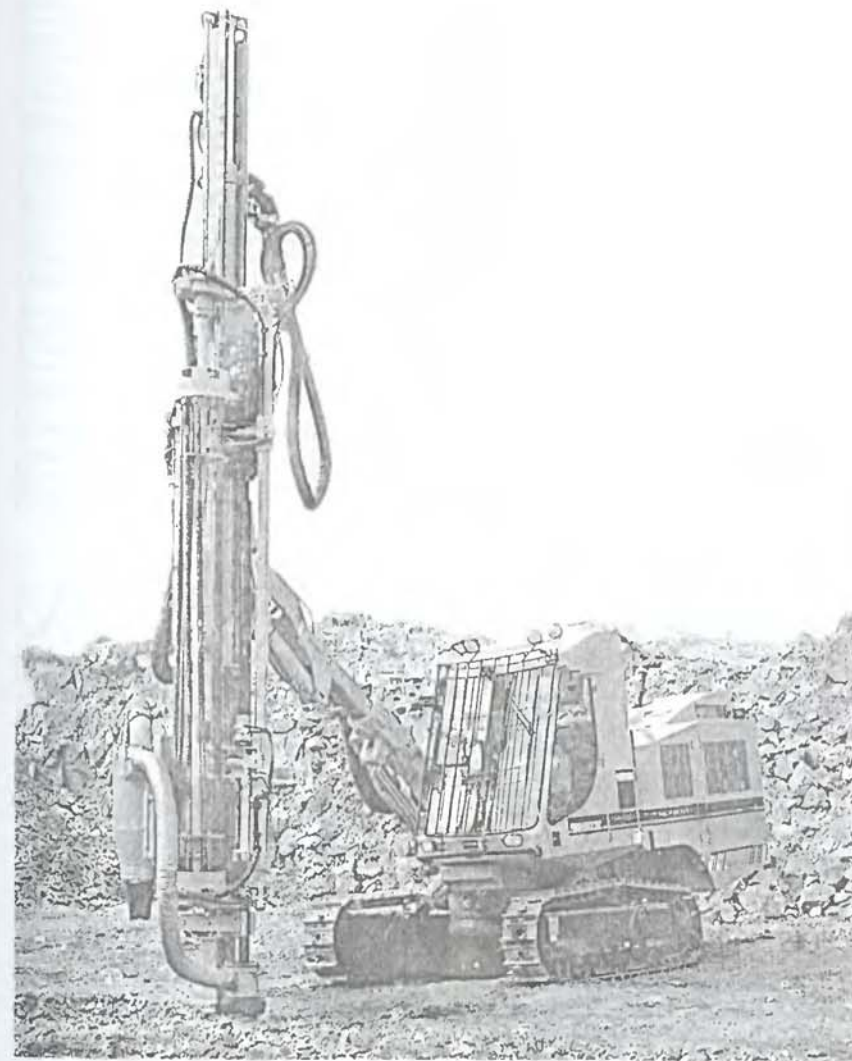


Рис. 2.9. Станок фирмы «Тамрок»

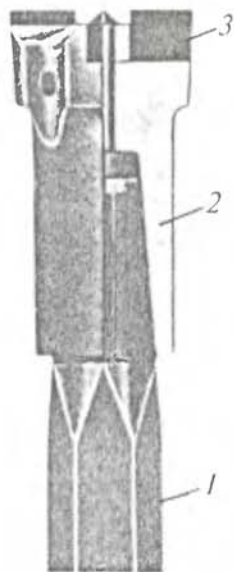


Рис. 2.10. Буровой инструмент для бурильных молотков:

1 — штанга; 2 — крестовая коронка; 3 — пластинки твердого сплава

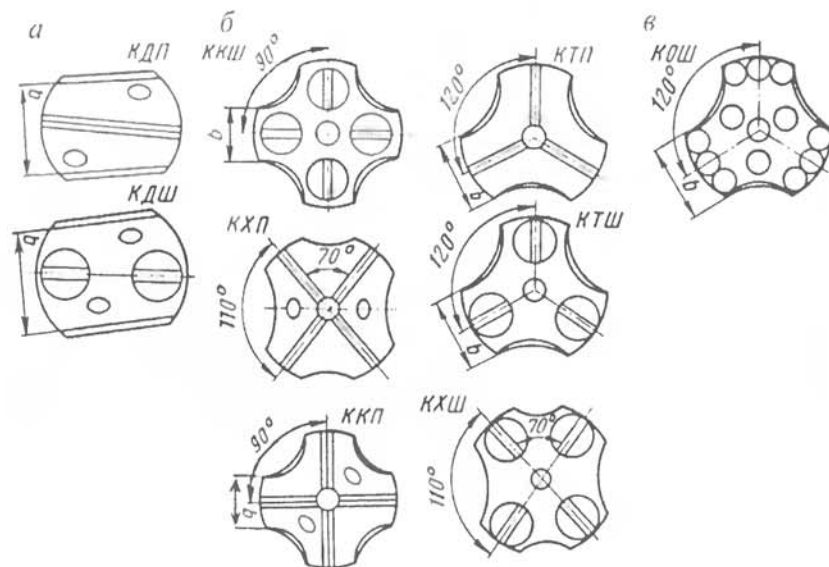


Рис. 2.11. Коронки для бурильных молотков

Таблица 2.2

Техническая характеристика пневматических бурильных молотков

Показатели	Легкие			Средние	
	ПР-18Л	ПР-19	ПР-22	ПР-24Н	ПР-25
Масса, кг	18	22	25	26	25
Длина, мм	570	612	635	610	632
Ход поршня, мм	40	50	55	40	35
Диаметр поршня, мм	68	68	72	85	85
Расход воздуха, м ³ /мин	2,6	2,5	2,8	3	2,8
Расход воды, л/мин	3	3	3	3	3
Диаметр буровой стали, мм	22	25	25	25	25
Допускаемый диаметр буровой коронки, мм	45	46	49	49	49
Энергия удара поршня, кДж·10	3,5	3,5	5	5	5
Число ударов в минуту	2700	1850	1850	2500	2600
Скорость бурения гранита (f = 10—12), мм/мин	3	75	105	140	120
Глубина бурения, м	3	4	4	4	4

Окончание табл. 2.2

Показатели	Тяжелые		
	КС-50	ПК-60	П-75
Масса, кг	50	60	75
Длина, мм	720	575	600
Ход поршня, мм	75	45	45
Диаметр поршня, мм	90	110	120
Расход воздуха, м ³ /мин	5,0	9,0	13,0
Расход воды, л/мин	3	4	4
Диаметр буровой стали, мм	32	32	32
Допускаемый диаметр буровой коронки, мм	45—25	49—65	65—85
Энергия удара поршня, кДж·10	9	9	15
Число ударов в минуту	1670	2800	2000
Скорость бурения гранита (f = 10—12), мм/мин	300	300	400
Глубина бурения, м	12	25	30

Коронки выпускают семи типоразмеров — 28, 32, 36, 40, 43, 46, 52 мм.

При бурении происходит затупление лезвия коронки, износ ее по диаметру. Поэтому при замене затупленной коронки следующую берут меньшего на 1—2 мм диаметра. Разницу в диаметрах двух последовательно используемых коронок называют *шагом*.

Набор коронок, необходимых для выбуривания шпура, называют *комплект*. Штанги для бурения бурильными молотками изготавливают из стали шестигранного или круглого сечения с центральным промывочным каналом диаметром 6—8 мм.

В последние годы в связи с внедрением более мощных пневматических и гидравлических ударных машин широкое применение получили коронки, армированные цилиндрическими штырями твердого сплава со сферической разрушающей поверхностью (рис. 2.11, в).

Механизм и закономерности разрушения породы при ударном бурении состоят в следующем. При ударе поршня по хвостовику бура энергия удара передается по буру в виде волны, распространяющейся по штанге со скоростью 5000 м/с и в виде кинетического движения всего бура.

Скорость бура определяется коэффициентом восстановления при соударении с поршнем и соотношением масс бура и поршня. При внедрении лезвия в породу вокруг него (рис. 2.12, а) образуется зона тонко измельченной породы. При достаточной энергии контур зоны разрушения в сечении имеет форму элемента окружности, к которой примыкает зона породы, разрушенной трещинами на столбики-сектора. У поверхности забоя трещины изгибаются и выходят на поверхность, образуя зону скола. При внедрении инструмента размеры зон, измельченной породы увеличиваются не постепенно, а дискретно, на одно, два, три зерна, из которых состоит разрушаемая порода. При хрупких породах их разрушение может происходить также под влиянием волны напряжений, которая, распространяясь по штанге, при плотном контакте лезвия с породой переходит в породу и производит разрушение. После завершения разрушения лезвие поворачивают на такой угол, чтобы при следующем уда-

ре произошли внедрение инструмента и скол секторов породы между двумя смежными ударами (рис. 2.12, б).

Скорость ударного бурения зависит от осевого усилия, давления сжатого воздуха, диаметра и глубины буриемых шпуров. С увеличением осевого усилия скорость бурения достигает максимума благодаря лучшей передаче энергии от поршня через бур породе (рис. 2.13), а затем молоток начинает работать неустойчиво, так как крутящий момент на буре становится недостаточным для преодоления силы трения инструмента о забой. При ударном бурении следует работать при предельно допустимых осевых усилиях.

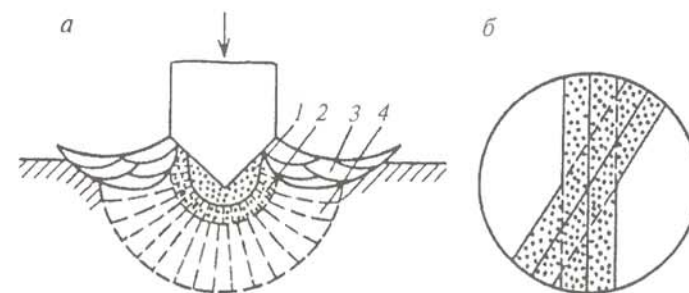


Рис. 2.12. Механизм разрушения породы при ударном бурении:

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

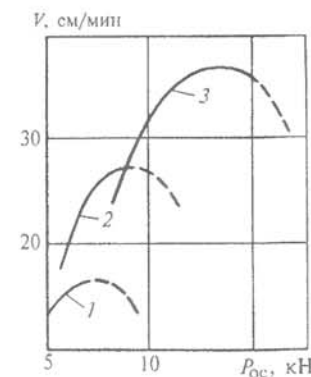


Рис. 2.13. Зависимость скорости бурения от осевого усилия для различных бурильных молотков:

1 — легкие; 2 — средние; 3 — тяжелые

С увеличением давления воздуха увеличивается сила, действующая на поршень, увеличиваются его скорость, частота ударов и скорость бурения. Однако вместе с этим увеличиваются шум, вибрации и число поломок, особенно инструмента. Поэтому рекомендуется при современных конструкциях буровых молотков и инструмента применять при бурении давление сжатого воздуха до 0,5—0,7 МПа.

В зарубежных странах (США, Швеция) все шире применяют бурильные машины, работающие на повышенном до 1,5—2,0 МПа давлении сжатого воздуха. В сочетании с высококачественным инструментом (штанги и штыревые коронки) это позволяет увеличить скорость бурения пропорционально давлению сжатого воздуха.

С увеличением диаметра коронки (шпура) в единицу времени требуется разрушить объем породы, увеличивающийся пропорционально площади забоя. Поэтому приближенно можно принять, что скорость бурения обратно пропорциональна квадрату диаметра, т.е.

$$\frac{v_0}{v_x} = \left(\frac{d_x}{d_0} \right)^2.$$

На практике показатель степени может меняться от 1 до 2,5. При большей глубине шпуров за счет увеличения массы бура, ухудшения условий передачи энергии к забою и его очистки, а также увеличения необходимой величины крутящего момента скорость бурения снижается.

При плотном контакте инструмента с породой, эффективным удалении продуктов разрушения из забоя с достаточным крутящим моментом удастся бурить глубокие скважины (до 40 м и более) без существенного снижения скорости бурения.

2.4. ВРАЩАТЕЛЬНОЕ (ШНЕКОВОЕ) БУРЕНИЕ СКВАЖИН

Вращательное бурение вертикальных и наклонных скважин диаметром 110—160 мм в породах с $f \leq 6$ применяют на карьерах резцами с удалением продуктов разрушения штангами-шнеками.

Станки (рис. 2.14) имеют гусеничный ход. Они обеспечивают бурение вертикальных и наклонных скважин в породах с $f \leq 6-8$, так как имеют большую массу вращателя, создающего большие осевые усилия на забой. Ведут работы по созданию станков с механизацией наиболее трудоемкой операции при бурении — сборке и разборке шнекового бурового става. Станки СБР-125 и СБР-160 выпускают взамен БСН-1 и СВБ-160 соответственно. Техническая характеристика станков приведена в табл. 2.3.

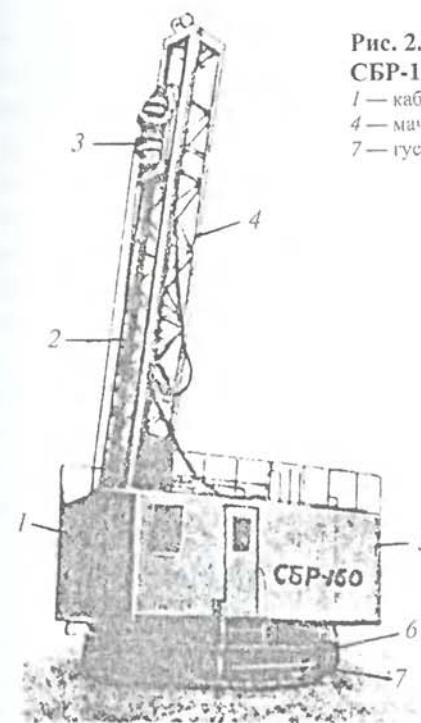


Рис. 2.14. Станок вращательного бурения СБР-160:

1 — кабина; 2 — буровой шнек; 3 — вращатель;
4 — мачта; 5 — машинное отделение; 6 — рама;
7 — гусеничный ход

Таблица 2.3

Техническая характеристика станков вращательного (шнекового) бурения для карьеров

Показатели	Типы станков			
	БСН-1	СВБ-2	СБР-125	СБР-160
Диаметр скважин, мм	120	150	125	160
Глубина бурения, м	30	25	24	24

Показатели	Типы станков			
	БСН-1	СВБ-2	СБР-125	СБР-160
Частота вращения бурового инструмента, об/мин	220	120—200	—	—
Усилие подачи бурового снаряда, кг	400	1800	< 1000	< 8000
Мощность эл. двигателя вращения, кВт	14	40	40	40
Масса станка, т	1,345	10	2,0	12,0

Буровой инструмент для вращательного бурения состоит из набора штанг и резцов. Штанга (рис. 2.15, а) представляет собой трубу с приваренной к ней спиралью из полосовой стали, армированной по наружной кромке наплавкой твердого сплава. Для разрушения пород наибольшее распространение получили резцы с закругленными лезвиями, армированные цилиндрическими вставками твердого сплава (рис. 2.15, б, в). Новочеркасским, Кузбасским, Иркутским политехническими институтами разработаны долота со съёмными резцами (2.15, г, д). Эти резцы обеспечивают по породам с $f=4-6$ увеличение скорости бурения скважины в 2 раза.

Проходка на резец изменяется в широких пределах от 500 до 20 м с увеличением крепости и абразивности пород. Наибольшая стоимость у резцов со сменными режущими элементами.

Механизм и закономерности разрушения при вращательном бурении скважин на карьерах аналогичны изложенным при бурении шпуров, однако отличаются по численным значениям.

Выбор рационального режима бурения производят с учетом типа применяемых резцов на основе проведения экспериментов с определением производительности станка и стоимости бурения.

Одним из важных недостатков шнекового бурения является значительная потеря глубины скважины (до 15 %) из-за неполного удаления шнеками разрушенной породы. Предложена докт. техн. наук Б.В. Катановым шнекопневматическая технология очистки забоя, при которой по трубам шнека в скважину подается сжатый воздух (в количестве 2—5 м³/мин), резко повышающий эффективность очистки забоя, снижающий крутящий момент на вращателе, что позволяет бурить скважины большей глубины.

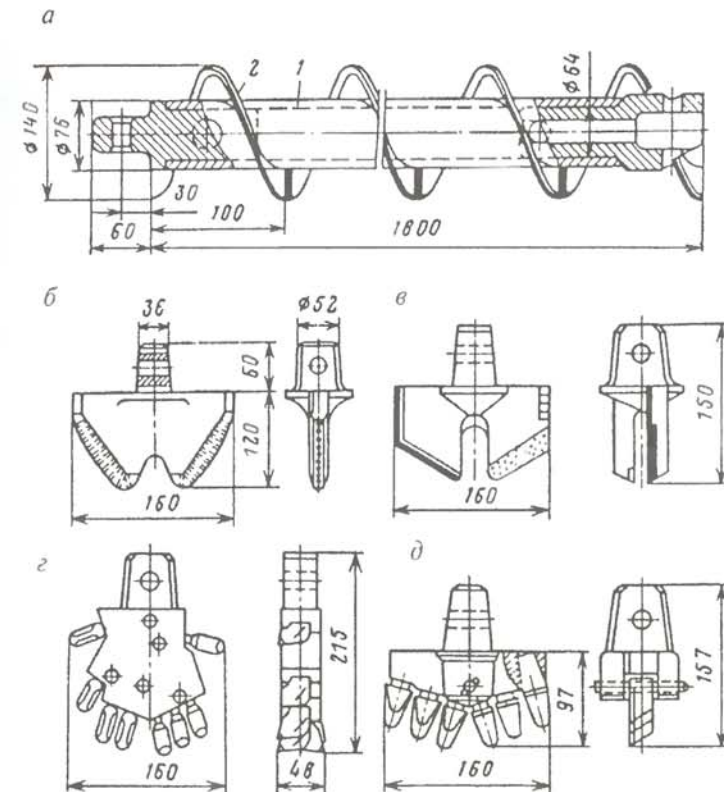


Рис. 2.15. Буровой инструмент для вращательного бурения:
а — штанга; б, в, г, д — резцы

2.5. БУРЕНИЕ СКВАЖИН ПОГРУЖНЫМИ ПНЕВМОУДАРНИКАМИ

Этот способ бурения вертикальных и наклонных скважин диаметром 85—110 мм широко применяют при подземной добыче руд, а также на карьерах небольшой и средней производительности.

Станки для бурения скважин погружными пневмоударниками делят на легкие с диаметром скважин 85—125 мм, средние с диаметром скважин 160 мм и тяжелые с диаметром скважин

≥ 200 мм. Известны зарубежные станки фирмы Интерсол Рэнд (США) для бурения погружными пневмоударниками скважин диаметром до 850 мм.

Техническая характеристика отечественных моделей буровых станков с погружными пневмоударниками для карьеров приведены в табл. 2.4. Все станки самоходные на гусеничном или пневмоколесном (легкие) и гусеничном (тяжелые) ходу.

Буровые погружные молотки, уходящие в скважину вслед за продвижением забоя, впервые в СССР были разработаны в 1938 г. А.К. Сидоренко. Аналогичные работы были продолжены в 1949 г. на рудниках Лениногорского комбината С.Н. Юшко, который впервые создал погружной пневмоударник, наносящий только удары, а вращение ему сообщалось буровым станком с поверхности через буровой став.

В 1953 г. ИГД СО АН СССР совместно с Кузнецким металлургическим комбинатом разработана модель станка БА-100, а в 1959 г. полуавтоматическая усовершенствованная модель НКР-100М. Рядом организаций созданы другие модели станков, например БМК-4 Лениногорским комбинатом. Важная особенность погружных пневмоударников — их работа на воздушно-водяной смеси, что обеспечило надежное пылеподавление в скважине.

Станок НКР-100М (рис. 2.16, а) устанавливают консольно на распорной колонке, позволяющей бурить круговой веер скважин. Вращение бурового става осуществляется электродвигателем через редуктор, а подача на забой — с помощью пневмоцилиндров. Вращательное и осевое движение буровому ставу передается двумя зажимными пневматическими патронами, которые работают в полуавтоматическом режиме. Различие станков БМК-4 и ЛПС-3 в том, что они работают только на сжатом воздухе, а подача бурового става на забой осуществляется с торца на длину одной штанги, после чего на буровой став навинчивают очередную штангу.

Для карьеров предусмотрено три типоразмера станков пневмоударного бурения: СБУ-125, СБУ-160 и СБУ-200 (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Техническая характеристика станков для бурения скважин погружными пневмоударниками

Показатели	На карьерах			
	1СБУ-125		СБУ-160	СБУ-200
	на гусеничном ходу	на пневмошинном ходу		
Диаметр скважины, мм	105; 125	105; 125	125; 160	200
Глубина бурения, м	22	22	32	32
Направление бурения от вертикали	0—60°	0—60°	0—300	0—30°
Частота вращения бурового снаряда, об/мин	27; 40; 80	0—60	0—60	0—50
Максимальное усилие подачи, кН	0—15	24	30	—
Ход подачи, мм	2500	600	4500	—
Диаметр штанги, мм	89	114	159	180
Длина штанги, мм	2500	9000	9000	—
Расход воздуха, м³/мин	4,2; 8	14,4	25	25
Установленная мощность электродвигателей, кВт	39	180	256	350
Масса станка, т	5	9	29	36

Окончание табл. 2.4

Показатели	На подземной добыче руд		
	БМК-4	НКР-100М	ЛПС-3
Диаметр скважины, мм	105	105	155
Глубина бурения, м	35	50	35
Направление бурения от вертикали	Полный веер	Полный веер	Полный веер
Частота вращения бурового снаряда, об/мин	41	76	30—40
Тип пневмоударника	М-1900УК	П-1-75	П-150
Максимальное усилие подачи, кН	до 7,5	до 6	до 9
Ход подачи, мм	1000	365	1000
Диаметр штанги, мм	89	63,5	50
Длина штанги, мм	960	1200	900
Расход воздуха, м³/мин	6	7	10
Масса станка, т	0,340	0,63	0,35

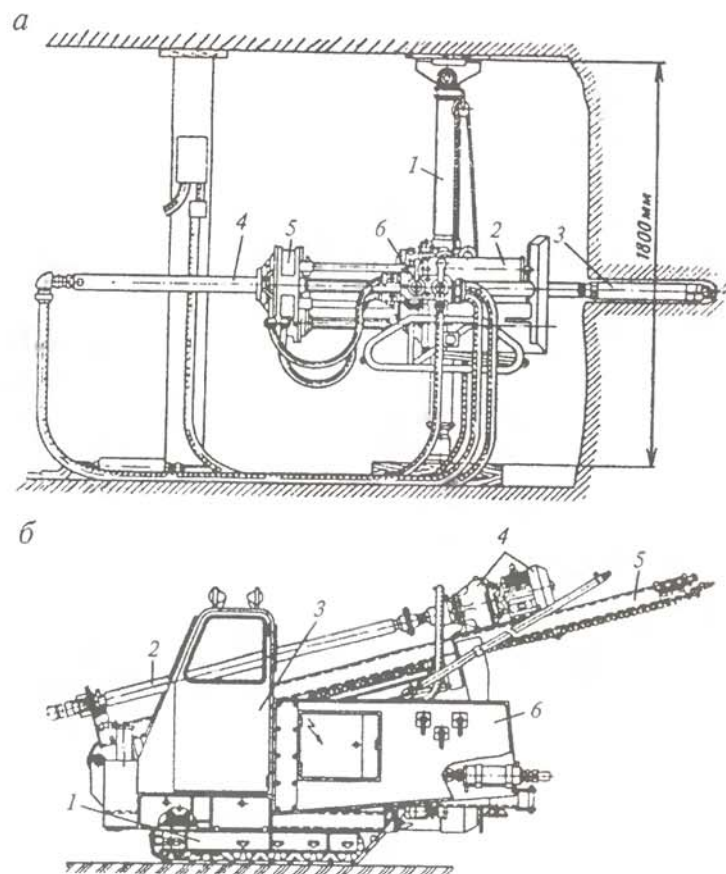


Рис. 2.16. Буровые станки пневмоударного бурения:

а — НКР-100М (1 — распорная штанга; 2 — гидроцилиндр полачи; 3 — погружной пневмоударник; 4 — штанга; 5 — зажимной патрон; 6 — пульт управления); б — СБУ-125 (1 — гусеничный ход; 2 — буровой став; 3 — кабина; 4 — вращатель; 5 — мачта; 6 — машинное отделение)

Станки СБУ-160 и СБУ-200 имеют собственную компрессорную установку, а питание сжатым воздухом станка СБУ-125 предусмотрено от передвижного компрессора. Для обеспечения нормальных санитарно-гигиенических условий труда пневмоударники на станках работают на воздушно-водяной смеси или устанавливаются тканевые рукавные фильтры для очистки запыленного воздуха, вылетающего из скважины.

Буровой станок СБУ-125 (см. рис. 2.16, б), разработанный НИПИГормашем, представляет собой самоходную установку на гусеничном ходу с кабиной для бурильщика. Сменная производительность станка в породах с $f = 10—12$ до 25 м.

Погружные пневмоударники и долота. В качестве основного ударного инструмента станков применяют погружные пневмоударники, одна из последних моделей которых показана на рис. 2.17, на базе которой выполнен типажный ряд пневмоударников для бурения скважин диаметром 105, 125, 160 и 200 мм. Техническая характеристика погружных пневмоударников приведена в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Техническая характеристика погружных пневмоударников (при рабочем давлении 0,5 МПа)

Показатели	М-1900УК	П-105	МП-7	П-125	П-160	П-200
Диаметр скважин, мм	105	105	125	125	160	200
Энергия удара, Дж·9,8	7,5	9,8	12	15,5	32	42
Частота ударов в минуту	1750	1620	1500	1250	1275	1150
Ударная мощность, кВт	2,15	2,6	3,0	3,2	6,7	7,9
Скорость движения поршня в момент удара, м/с	9,3	7,9	7,5	7,4	7,9	6,6
Масса ударника, кг	1,7	3,1	4,2	5,6	10	19
Расход воздуха, м ³ /мин	5,7	5,7	7,5	7	12	16
Диаметр корпуса, мм	92	92	112	110	140	176
Длина пневмоударника, м	380	605	630	652	760	900
Масса пневмоударника, кг	11,7	20,0	36	31	58	110
Тип долота	БК-105	К-105	БК-125	К-125, К-125-1	К-165	К-205
Масса долота, кг	3,4	3,6	5,2	5,6	13	23

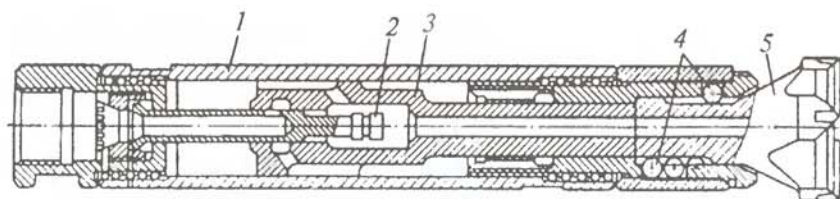


Рис. 2.17. Бесклапанный погружной пневмоударник П-105:

1 — цилиндр; 2 — воздухораспределительное устройство; 3 — поршень-ударник; 4 — замковое крепление долота; 5 — долото

Поршень-ударник в пневмоударнике совершает поступательно-возвратные движения под действием давления сжатой воздушно-водяной смеси и с частотой 1500 уд/мин и более, наносит удары по хвостовику долота.

В качестве породоразрушающего инструмента при пневмоударном бурении применяются долота трехперые с опережающим лезвием и крестовые, армированные стандартными пластинками твердого сплава ВК-11В, ВК-15. Все шире в СНГ и за рубежом применяют буровые долота, армированные цилиндрическими вставками твердого сплава со сферической поверхностью. Некоторые типы долот для погружных пневмоударников показаны на рис. 2.18.

В настоящее время в зарубежных странах создают погружные пневмоударники с тяжелыми и длинными поршнями-ударниками с невысокой частотой ударов (до 1000 уд/мин) и высокой энергией единичного удара (15—25 кДж/см диаметра долота) при высоком давлении сжатого воздуха 15—20 бар или жидкости 170—200 бар.

В Швеции фирма «Атлас Копко» выпускает типоразмерный ряд станков ROC L6, ROC L8 с погружными пневмоударниками, работающими на давлении сжатого воздуха 25 бар для бурения вертикальных и наклонных взрывных скважин диаметром 110—165 мм и глубиной до 54 м. Характерной особенностью этих станков является возможность наклона мачты в трех направлениях, что весьма удобно для бурения наклонных контурных скважин, вблизи откосов уступов и на строительных площадках (рис. 2.19).



Судьба Кыштымского машиностроительного объединения глубоко и неразрывно связана с историей Российского государства. Своим рождением предприятие обязано преобразованиям Петра I. После Указа Государственной берг-коллегии от 21 сентября 1755 г. под руководством Никиты Акинфиевича Демидова началось строительство Верхне-Кыштымского и Нижне-Кыштымского заводов, а уже в 1757 г. было выплавлено первое железо. В течение нескольких лет благодаря своему высокому качеству кыштымское железо быстро получило известность и стало пользоваться большим спросом не только в России, но и за рубежом.

В конце XVIII в. не обошло заводы стороной историческое событие, потрясшее всю Россию. В крестьянской войне под предводительством Емельяна Пугачева на стороне восставших участвовали мастеровые, «работные люди», приписное крестьянство заводов. XIX в. в истории заводов был периодом бурного развития. Именно в это время заводами управляли талантливые и образованные, известные люди своего времени — Л.И. Расторгуев, Ф.Е. Петров и Г.В. Дружинин.

В 1898 г., основанный как железоделательный, Верхне-Кыштымский завод был переименован в механический и с этого года стал главным заводом Кыштымского горного округа.

Переход завода под управление советской власти произошел 27 декабря 1917 г., когда Кыштымский совет рабочих и солдатских депутатов национализировал завод, лишив акций предприятия, в том числе английского миллионера Лесли Уркарта.



Рис. 1. Никита Акинфиевич Демидов (1724—1789)



Рис. 2. Клеймо продукции демидовских заводов



Рис. 3. Демидовские заводы, 1905 г.

Еще до начала Великой Отечественной войны, в 1934 г., Кыштымский машзавод получил всесоюзную известность, став родиной отечественного перфоратора — машины для бурения скважин по крепким породам. А к 1941 г. завод стал одним из ведущих в стране поставщиков горно-бурового оборудования. В номенклатуру предприятия входили: подъемные и скреперные лебедки, ручные и телескопные перфораторы, несколько типов насосов, шахтные клетки и скипы, запчасти для горного, бурового и обогащительного оборудования. Качество выпускаемых машин не уступало, а в ряде случаев превосходило лучшие зарубежные образцы. В годы войны завод был перепрофилирован на выпуск продукции для фронта.

Начиная с 1950 г. оборудование производства Кыштымского машиностроительного завода стало экспонироваться на международных выставках и поставляться на экспорт. За время работы предприятие 42 раза занимало призовые места во всесоюзном



Рис. 4. Центральная проходная завода



Рис. 5. Марка КМО — «Два соболя»

соцсоревновании. За семилетку (1958—1965 г.) завод изготовил более 4 тысяч буровых машин, 20 тысяч скреперных лебедок, около 100 тысяч перфораторов и другого оборудования, что способствовало развитию тяжелой промышленности, особенно цветной металлургии. Двенадцать кварталов подряд завод удерживал первое место в социалистическом соревновании предприятий машиностроения и переходящее знамя Совета министров РСФСР и ВЦСПС. Дважды, в 1964 и 1965 гг., коллектив награждался Почетной грамотной ВЦСПС. Группа ИТР и рабочих завода в количестве 16 человек была награждена орденами и медалями СССР. Представленная на Лейпцигской ярмарке в 1970 г. скреперная лебедка 100ЛС-2С была удостоена большой золотой медали. К концу XX в. разведка, добыча и переработка полезных ископаемых с использованием кыштымского оборудования и инструмента велись на территории тридцати двух стран.

В 1992 г. предприятие было приватизировано и переименовано в акционерное общество открытого типа «Кыштымский машиностроительный завод», а 1 сентября 2002 г. на базе ОАО «Кыштымский машиностроительный завод» образовано новое акционерное общество открытого типа «Кыштымское машиностроительное объединение».

Сегодня ОАО «КМО» является крупнейшим в России производителем доступного отечественного горно-шахтного и горно-бурового оборудования. Оптимальная с точки зрения высокого качества и стоимости продукция предприятия отличается длительным сроком службы, простотой и удобством в управлении и эксплуатации. Предприятие занимает выгодное географическое положение, имеет развитую инфраструктуру и устойчивую систему энергоснабжения.

Сегодня в России только ОАО «КМО» производит полную линейку специализированного горного оборудования и инструментов, необходимых отечественным и зарубежным недропользователям. На горно-добывающих предприятиях к оборудованию предъявляются жесткие требования:

- максимальное время безотказной эксплуатации;
- снижение издержек;
- повышение производительности.

Накопленные знания и опыт коллектива объединения позволяют постоянно предлагать новые технические и инженерные решения, ведущие к повышению производительности и уменьшению эксплуатационных затрат потребителей, с учетом конкретных условий эксплуатации и индивидуальных требований к инструменту и оборудованию. Объединение поставляет оборудование добывающим, строительным и другим промышленным предприятиям в России, странах ближнего и дальнего зарубежья.

Продукция ОАО «Кыштымское Машиностроительное Объединение»

Основные преимущества продукции ОАО «КМО»:

- высокая надежность;
- длительный срок службы;
- простота и удобство в управлении и эксплуатации;
- значительно более низкая стоимость в сравнении с импортными аналогами;
- ремонтпригодность;
- вся продукция сертифицирована, имеет разрешение Ростехнадзора для эксплуатации в подземных рудниках и на открытых горных работах.

Станки буровые подземные НКР-100БП; НКР-100МПА; НКР-100МПВА; НКР-100МА; НКР-100МВА

Предназначены для бурения взрывных скважин диаметром 105—110 мм, глубиной от 50 до 80 м круговым веером в породах крепостью $f=6+20$ по шкале профессора Протодяконова в подземных условиях. Бурение осуществляется ударно-вращательным способом пневмоударником, навинченным на став штанг.



Монтаж и демонтаж станков можно осуществлять в шахтных условиях своими силами за короткое время. Станки типа «НКР-100» просты и надежны в обслуживании и эксплуатации.

Технические характеристики	Модели	
	С пневмоприводом НКР-100МПА/МПВА	С электроприводом НКР-100МА/МВА
Диаметр скважины, мм	105—110	105—110
Глубина бурения скважин, м	50/80	50/80
Ход подачи в автоматическом цикле, мм	365	365
Диаметр податчика, мм	95	95
Количество податчиков	2/4	2/4
Направление бурения скважин	Цепной	
Рабочее давление сжатого воздуха, МПа	0,5	
Рабочее давление воды, МПа	0,98—1,18	
Мощность привода, кВт	9,55	4
Частота вращения бурового става, об/мин	80	80
Усилие подачи, Н	5880/11 760	5880/11 760
Габаритные размеры станка, мм:	13 000	
Длина	2600	2600
Ширина	872	872/1120
Высота	1800—2900	1800—2900
Масса станка с буровым ставом, кг	1235/1505	1275/1607
Минимальные габариты выработки, м:	2,8x1,8	
для горизонтального бурения	2,8x2,8	
для вертикального бурения	2,1x1,8/2,3x1,8/2,5x1,8	
	2,1x2,1/2,3x2,3/2,5x2,5	

Станок буровой самоходный СБУ-100ГА-50

Предназначен для бурения скважин диаметром 105—160 мм, глубиной до 50 м на открытых горных работах и строительных объектах горными пневмоударниками в породах с коэффициентом крепости $f=$



= 6÷20 по шкале Протодяконова. СБУ-100ГА-50 — самоходная маневровая установка на гусеничном ходу с электро- или гидроприводом на каждую гусеницу. Управление ходом осуществляется с переносного пульта.

Станки буровые 2СБУ-100-32М, 2СБУ-100П-32М

Представляют собой самоходные буровые агрегаты, состоящие из салазок, на которых с помощью оси и раздвижной опоры крепится



рабочий орган с вращателем, и выносного пульта управления. Предназначены для бурения скважин диаметром 105—160 мм, глубиной до 32 м погружными пневмоударниками в породах и рудах с коэффициентом крепости $f = 6÷20$ по шкале Протодяконова при проведении горных и строительных работ.

Станок буровой подземный СБУ-6



Станок предназначен для бурения скважин в породах с коэффициентом крепости $f = 6÷20$ по шкале Протодяконова диаметром 105—160 мм, глубиной бурения до 100 м. В качестве энергии станком используется сжатый воздух давлением 0,5—0,7 МПа.

Лебедки скреперные 10ЛС 2СМА; 17ЛС 2СМА; 30ЛС 2СМА; 55ЛС 2СМА; 110ЛС 2СМА; 110ЛС 2ПМА; 110ЛС 3СМА

Скреперные лебедки двух- и трехбарабанные с соосным или параллельным расположением двигателя предназначены для доставки отделинной от массива горной массы при подземной разработке полезных ископаемых. Лебедки используются также на открытых разра-



ботках и являются средством механизации складирования сыпучих и кусковых материалов. К общим конструктивным и эксплуатационным особенностям относят: простоту конструкции и управления, компактность, надежность в работе, большие тяговые усилия. Все модели имеют типовую конструкцию, состоят из отдельных

Технические характеристики	Модели				
	10ЛС 2СМА	17ЛС 2СМА	30ЛС 2СМА 30ЛС 2ПМА 30ЛС 3СМА	55ЛС 2СМА 55ЛС 2ПМА 55ЛС 3СМА	110ЛС 2СМА 110ЛС 2ПМА 110ЛС 3СМА
Номинальная мощность, кВт	11	18,5	30	55	110
Среднее тяговое усилие на рабочем барабане, кН	10	16	28	45	80
Средняя скорость каната рабочего хода, м/с	1,25	1,26	1,3	1,46	1,5
Наибольший диаметр рабочего каната, мм	12	14	15	20	23
Расчетная канатоемкость, м	45	60	90	100	125
Масса, кг	508	760	1320 1450 1810	2260 2220 2960	4320 4660 5420

транспортальных узлов. Быстрый и простой монтаж. Управление ручное. Электрооборудование изготавливается во взрывобезопасном исполнении и РН.

Лебедка шахтная вспомогательная ШВА-18000х0,25П

Предназначена для перемещения, подъема, спуска грузов и оборудования при погрузочно-разгрузочных, монтажно-демонтажных и других работах в шахтных условиях. Потребляемая энергия — сжатый воздух давлением 0,5—0,6 МПа. Лебедка оснащена тормозной системой — пневматические тормоза на шкиве промежуточного вала, ручной ленточный тормоз на реборде барабана, храповой тормоз на корпусе блока.



Информация для специалистов

Технические характеристики ШВА-18000х0,25П	Значение
Тяговое усилие на последнем ряду навивки, кН, не менее	25
Скорость каната на последнем слое навивки, м/с, не менее	0,34
Диаметр каната, мм	15
Канатоемкость барабана, мм, не менее	160
Установленная мощность, кВт	9—11
Масса без каната и рабочих жидкостей, кг	575
Длина/Ширина/Высота, мм	1075/660/688

Шкивы копровые ШК-0,6/0,9/1,25/1,6/2,0/2,5/3,0



Шкивы копровые предназначены для поддержания и направления каната клетевых и скиповых подъемников угольных, сланцевых и рудных шахт.

Штанги буровые серий НКР-100МПА; Б100.22.100; Б130.21.01.000; ТТН003-00820-00, 31.017.001.000 (к СБУ-6)

Штанги предназначены для соединения со станком, крепления породоразрушающего инструмента, создания осевого усилия, подвода энергоносителя, передачи крутящего момента и используются для бурения взрывных скважин.

Пневмударники погружные П85-2,0; П105ПМК; П110Р-2,8; П110А-3,2; П130Р-4,0; П155-4,1



Предназначены для бурения скважин диаметром 85—155 мм по горным породам средней и высокой крепости, в том числе абразивных, разрушенных и трещиноватых. Представляет собой пневматический ударный механизм, имеющий беззолотниковую или клапанную систему воздухораспределения с центральным подводом сжатого воздуха. ОАО «КМО» является единственным в России патентообладателем на все типы погружных пневмударников.

Коронки буровые: лезвийные, серии К-110/130/155/160; штиревые, серии КНШ-85/105/110/125/130/155



Буровые коронки предназначены для разрушения горных пород при бурении взрывных скважин погружными пневмударниками. Шлицевое или байонетное соединения буровой коронки с пневмударником обеспечивают надежное крепление и быструю смену инструмента.

Ссылка: www.oakmo.ru

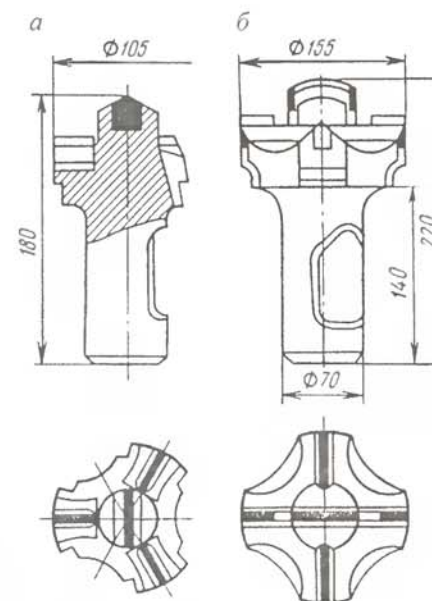


Рис. 2.18. Долота для пневмударного бурения:
а — трехперые; б — крестовые

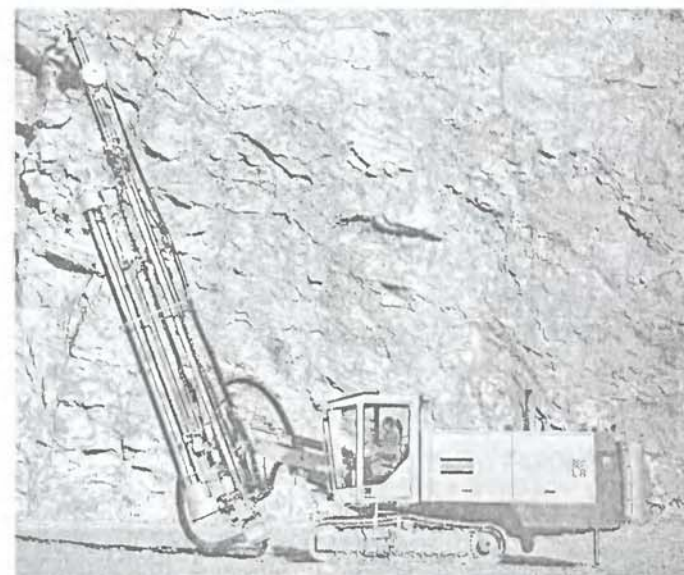


Рис. 2.19. Буровой станок с погружным пневмударником ROC L-8

Механизм и закономерности разрушения породы при бурении погружными пневмоударниками аналогичны закономерностям разрушения бурильными молотками, но имеют некоторые отличия в связи с особенностями их конструкции. В связи с тем что энергия удара на единицу длины лезвия долота пневмоударника в среднем в два раза ниже бурильного молотка, удельный объем разрушения также существенно ниже, из-за чего долота погружных пневмоударников изнашиваются больше на единицу длины пробуренной скважины. Геометрические формы и размеры поршня ударника и долота целесообразно принимать примерно одинаковыми и по возможности цилиндрической формы с плавными переходами, что обеспечивает больший эффект разрушения породы.

Давление сжатого воздуха оказывает особенно большое влияние на скорость бурения. С увеличением давления сжатого воздуха с 0,5 до 1,0 МПа скорость бурения, по зарубежным данным, также увеличивается в два раза.

С увеличением осевого усилия на долото улучшаются условия передачи энергии и эффективность разрушения породы. Большие осевые давления в то же время приводят к увеличению абразивного износа лезвий. Кроме того, с увеличением осевого усилия возрастают силы трения долота с цилиндром пневмоударника. Поэтому изменение скорости бурения с увеличением осевого усилия для погружных пневмоударников со шпоночным соединением долота имеет максимум при $P_{ос} = 0,45—0,5$ кН.

В пневмоударниках со шлицевыми соединениями долота, а также с круглыми шпонками такого уменьшения скорости бурения при увеличении осевого усилия на долото не наблюдается. Рекомендуется с увеличением коэффициента крепости пород с 4 до 16 для пневмоударников увеличивать осевое усилие с 1,0 до 4,0 кН, частоту вращения снижать со 120 до 45 об/мин, а давление воздуха увеличивать с 0,4 до 0,7 МПа (рис. 2.20) с учетом сегодняшнего качества твердого сплава и применяемой для ударных элементов и долот стали.

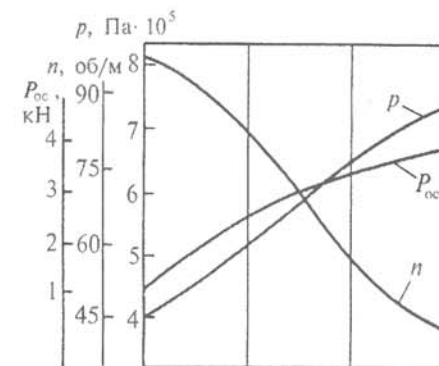


Рис. 2.20. Изменение рациональных параметров бурения с увеличением крепости пород для пневмоударника М32к

2.6. БУРЕНИЕ СКВАЖИН ШАРОШЕЧНЫМИ ДОЛОТАМИ

Этот способ бурения — один из самых распространенных и перспективных на карьерах для проходки взрывных скважин диаметром 160—320 мм. При подземной разработке руд шарошечное бурение применялось значительно меньше, в основном для бурения скважин диаметром 45—190 мм.

Шарошечные долота — породоразрушающий инструмент, представляющий собой конструкцию, сваренную из трех лап, на консольных осях которых вращаются на роликовых и шариковых опорах шарошки. Шарошки представляют собой конусы, на поверхности которых имеется несколько рядов (венцов) зубцов; при вращении долота под большим осевым усилием до 8,5—20 кН на 1 см диаметра зубцы перекатываются по забою и разрушают породу. Если зубья выполнены из одного материала с шарошкой, долото называют зубчатым (рис. 2.21, а), если зубья выполнены в виде запрессованных или запаянных цилиндрических вставок твердого сплава с клиновой или сферической рабочей поверхностью, долото называют штыревым (рис. 2.21, б).

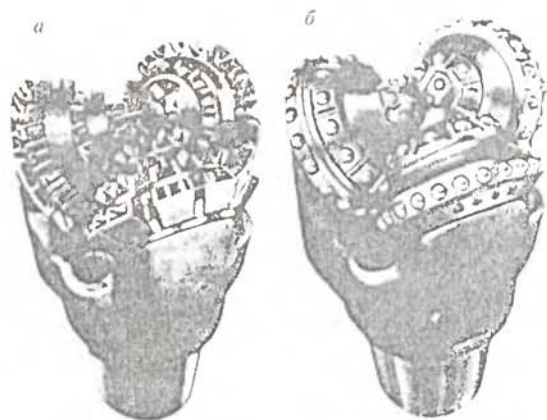


Рис. 2.21. Шарошечные долота:

а — зубчатое; б — штыревое

Область применения долота обозначена буквой в конце его марки: «С» — для средних пород, «Т» — для твердых, «К» — для крепких, «ОК» — для очень крепких пород, «ТЗ» — для твердых абразивных пород с клиновыми штырями, «ТК» — для твердых пород с пропластками, «ТКЗ» — комбинированные штыревое и зубчатое вооружение.

Долота, имеющие в лапах каналы для подачи в подшипники сжатого воздуха и смазки, имеют в марке букву «П». Кроме того, в марке долота дается его диаметр в миллиметрах. Характеристика серийных долот приведена в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Номенклатура шарошечных долот, выпускаемых отечественной промышленностью для бурения взрывных скважин

Завод	Тип долота
ОАО «Волгабурмаш»	130,2 (ТЗ-ПН; М-ПН; ТЗ-ПНН), 133,4–158,7 (МЗ-ПН; ТЗ-ПН; ТЗ-ПНН), 171,4 (ТКЗ-ПГВ; ТЗ-ПГВ; К-ПГВ), 200 (К-ПГВ; ТЗ-ПГВ; МЗ-ПГВ), 215,9 (ТКЗ-ПВ; ОК-ПВ; К-ПВ; Т-ПВ; ТЗ-ПВ; СЗ-ПВ; М-ПВ), 228,6 (МЗ-ПГВ; ТЗ-ПГВ; ТКЗ-ПГВ),

Окончание табл. 2.6

Завод	Тип долота
	244,5 (Т-ПВ); К-ПГВ; ОК-ПГВ; МЗ-ПГВ; ОК-ЦПГВ), 250,8 (ОК-ПВ; ТЗ-ПГВ; ТКЗ-ПГАУ), 269,9 (ОК-ПГВ; СЗ-ПГВ; К-ПГВ; ТЗ-ПГВ; МЗ-ПГВ), 279,4 (ТЗ-ПГВ; К-ПГВ), 311,1 (ТКЗ-ПГВ; ТЗ-ПГВ; МЗ-ПГВ; К-ПГВ)
ОАО «Уралбурмаш»	Ш 146 (Т-ПВ; ОК-ПВ), Ш 161 К-ПВ, 171,4 (СЗ-ПГВ; К-ПГВ), Ш 215,9 (Т-ПВ; ТЗ-ПВ; К-ПВ; ОК-ПВ; М-ПВ; М-ПГВ; МЗ-ПГВ), 233,9 (ТКЗ-ПВ; ОК-ПВ), 244,5 (Т-ПВ; ТКЗ-ПВ; К-ПВ; ОК-ПВ), 250,8 (СЗ-ПВ; ТКЗ-ПВ; ОК-ПВ; К-ПВ), 269,9 (ОК-ПВ; ТКЗ-ПВ), 295,3 ТКЗ-ПВ
ОАО «Дрогобычский долотный завод»	98,4 МЗ-ПН; 114 МЗ-ПН; 120,6 МЗ-ПН; 142,9 МЗ-ПН; 151 ОК-ПВ; 244,5 (Т-ПВ; К-ПВ; К-ПГВ; ОК-ПГВ), 250,8 (К-ПГВ; ОК-ПВ), 269,9 ОК-ПВ; 320 Т-ПГВ
Примечание. Цены на шарошечные долота изменяются от типа и диаметра в пределах 18–63 тыс. руб. (цены 2006 г.).	

Выпущены опытные партии комбинированных зубчато-штыревых долот, вооружение которых представлено чередующимися в венцах стальными зубцами и штырями твердого сплава. Такие долота предназначены для бурения перемежающихся по крепости пород и имеют индекс «ТК».

Штыревые шарошечные долота с клиновыми зубцами имеют индекс «ТЗ». Кроме того, в марке долота определенной буквой указывается индекс завода-изготовителя долот. Таким образом, в марке долота указаны все необходимые сведения для их выбора.

Удаление продуктов разрушения из скважины при шарошечном бурении производят сжатым воздухом или воздушно-водяной смесью.

При бурении серийные зубчатые долота выходят из строя за счет износа зубцов, а штыревые — в основном (до 80 % и более)

за счет заклинивания подшипников опор долот при работоспособном породоразрушающем вооружении.

Особенно часто происходит заклинивание подшипников опор при попадании в них буровой мелочи, которая, смешиваясь с подаваемой на забой для ее удаления и пылеподавления воздушно-водяной смесью, образует жидкую, хорошо подвижную суспензию. Такая же картина наблюдается при бурении обводненных пород.

В период наращивания бурового става смесь воды и буровой мелочи поднимается в долото и попадает в продувочные каналы опор. Часто долото заменяется только при одной подклиненной шарошке. Преждевременный выход долот из строя снижает технико-экономические показатели этого способа. Поэтому ряд организаций ведут работы по созданию устройств для реализации новой технологии отработки долот, при которой увеличивается работоспособность подшипников опор.

Для обеспечения увеличения стойкости подшипников опор долот применяют:

- обратные клапаны различных конструкций, устанавливаемые в долотах и препятствующие попаданию смеси буровой мелочи с водой в каналы опор;
- герметизированные опоры долот, имеющие специальную конструкцию уплотнительных соединений;
- лубрикаторы, маслоотражательные втулки и буровые ставы (рис. 2.22) различных конструкций, обеспечивающие принудительную подачу смазки в опоры долот, за счет чего подшипники защищают от попадания в них буровой мелочи и осуществляют пылеподавление водой, подаваемой в скважину на расстоянии 0,6—1,0 м от забоя.

За счет применения указанных устройств и принудительной смазки опор долот их стойкость увеличивается в 2—3 раза.

Буровые станки. В настоящее время серийно выпускаются карьерные станки 4СБШ-200-40 (рис. 2.23, а), СБШ-250МНА

(рис. 2.23, б), СБШ-270ИЗ (рис. 2.23, в), СБШ-160/200-40 (рис. 2.23, г), СБШ-250МНА-32КП (рис. 2.23, д). Характеристики станков приведены в табл. 2.7.

УГМК «Рудгормаш» создает мощный станок СБШ-250 МНА-32КП каркасно-платформенного исполнения (рис. 2.23, д) для бурения скважин диаметром 250—320 мм глубиной до 10 м массой 600 т с компрессором 40 м³/мин.

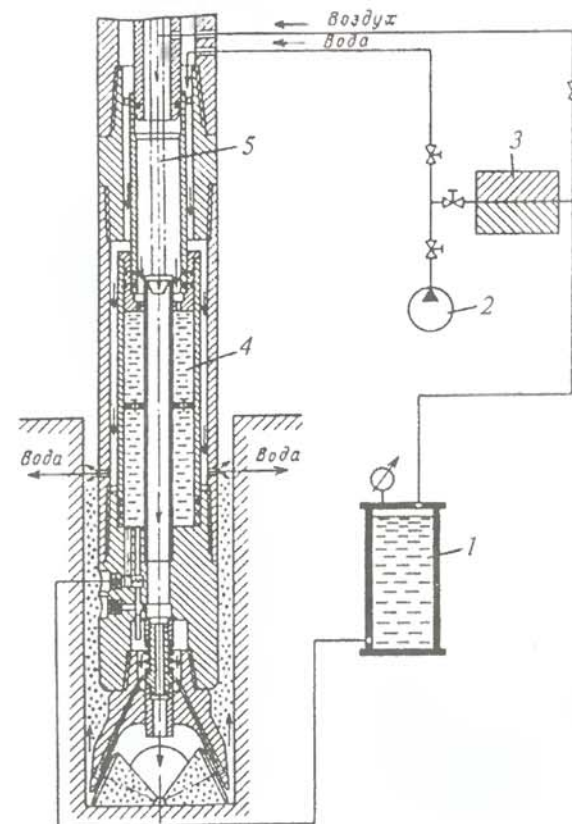


Рис. 2.22. Принципиальная схема бурового става для принудительной смазки подшипников опор шарошечных долот и пылеподавления в стволе скважины:

1 — емкость с маслом; 2 — насос для установки; 3 — компрессор; 4 — резервуар со смазкой; 5 — центральный канал для подачи воздуха

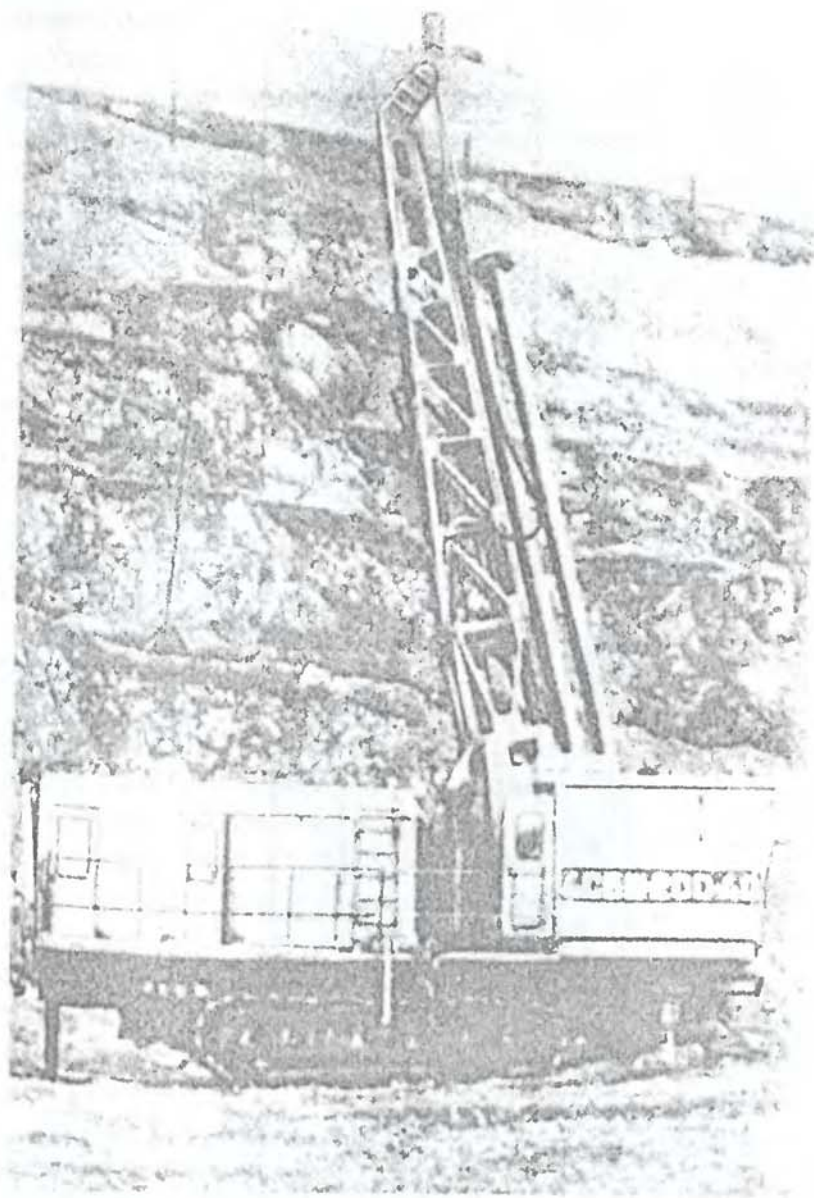


Рис. 2.23. Шарошечные карьерные станки:
а — 4СБШ-200-40

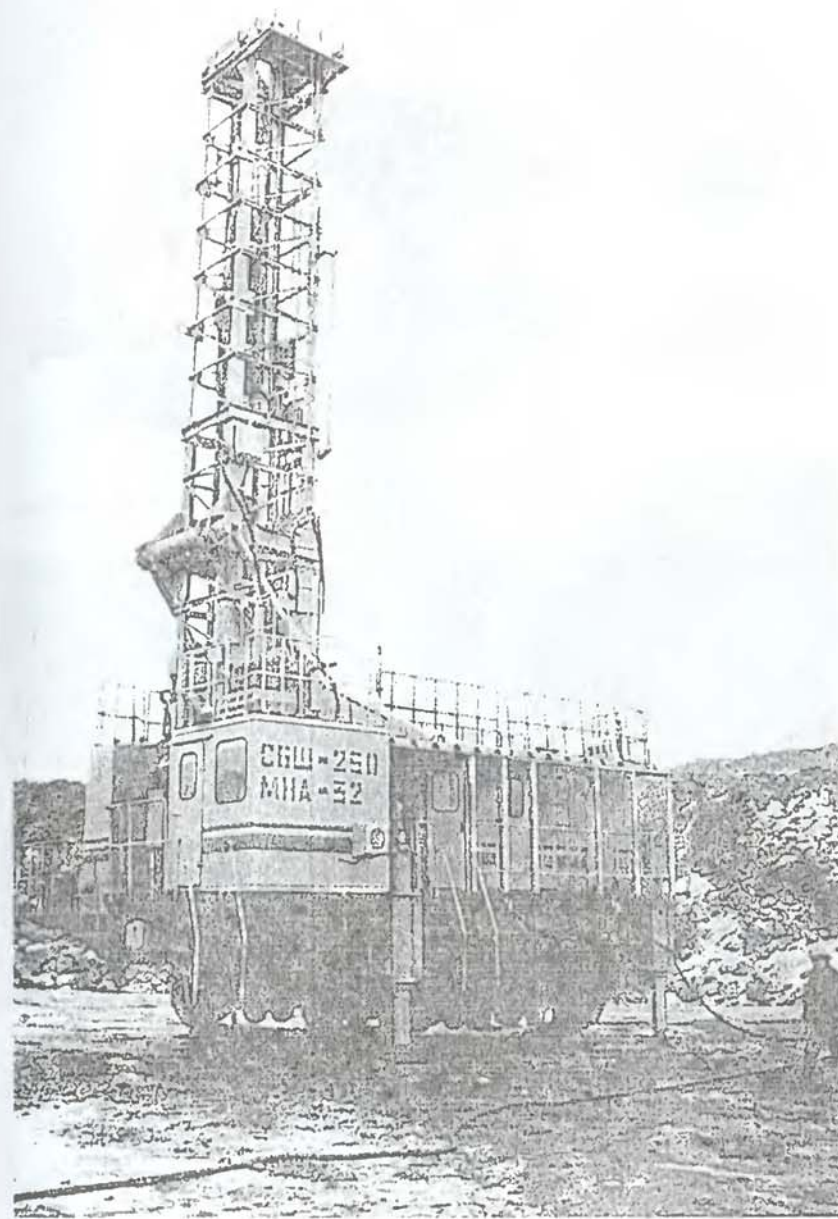


Рис. 2.23. Шарошечные карьерные станки:
б — СБШ-250МНА-32

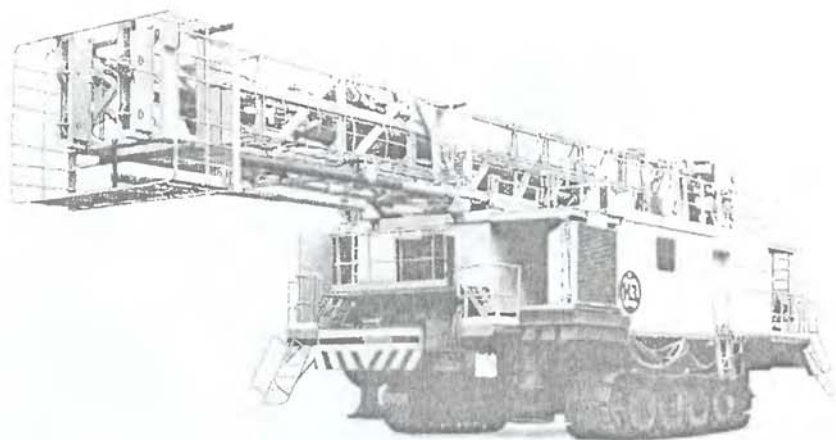


Рис. 2.23. Шарошечные карьерные станки:
в — СБШ-270ИЗ

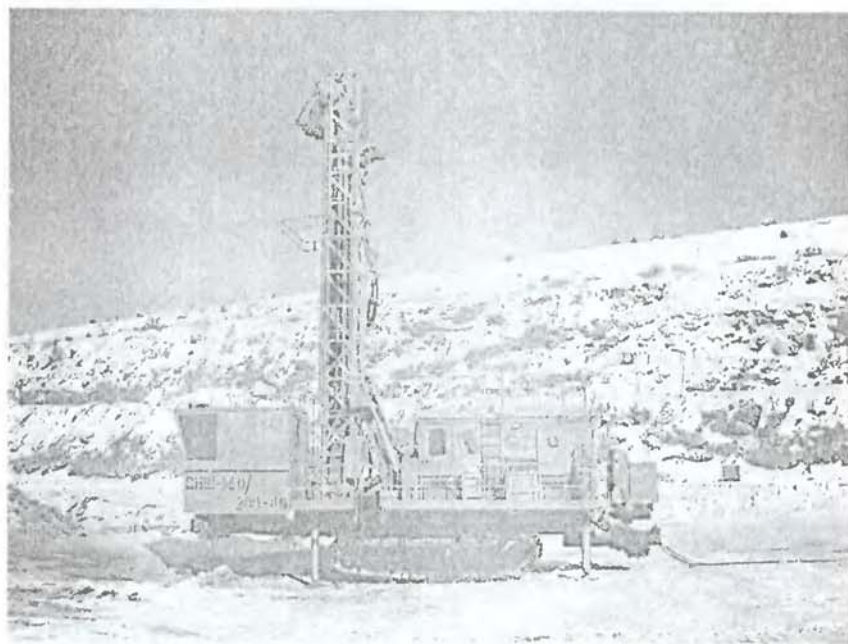


Рис. 2.23. Шарошечные карьерные станки:
г — СБШ-160/200-40

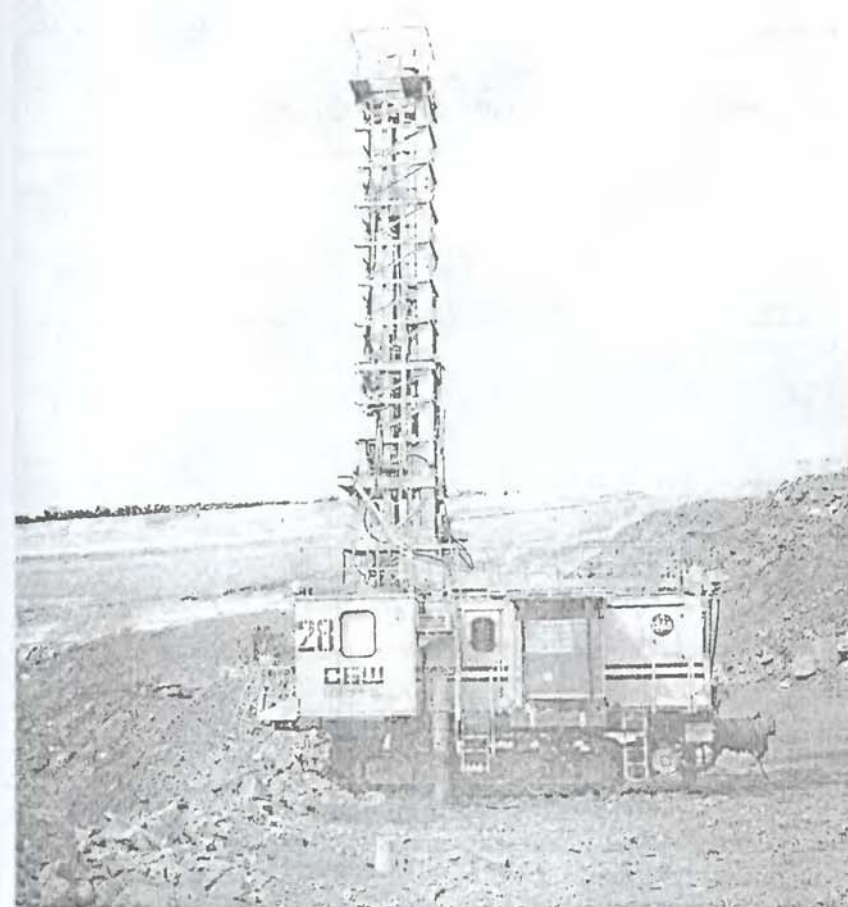


Рис. 2.23. Шарошечные карьерные станки:
д — СБШ-250МПА-32КП

Таблица 2.7

Техническая характеристика шарошечных станков
для бурения скважин

Показатели	ЗСБШ- 200-60	2СБШ- 200Н	СБШ- 250МНА	СБШ- 270ИЗ	СБШ- 160/200-40
Диаметр бурения, мм	215,9 244,5	190 215,9	243 —	270 250	160—215 —
Глубина бурения, м	60	40	32	32	40

Окончание табл. 2.7

Показатели	ЗСБШ-200-60	2СБШ-200Н	СБШ-250МНА	СБШ-270ИЗ	СБШ-160/200-40
Направление бурения к горизонту, град	60-90	60,75; 90	90-60	90-60	90,75, 60
Осевое усилие, кН	300	300	380	450	235
Частота вращения долота, об/мин	15—150	15—240	30—150	0—120	0—120
Производительность компрессора, м ³ /мин	32	20	32	40	25
Ход подачи, м	1,0	1,1	8	11,0	8,0
Мощность привода, кВт	40	40	60	105	30
Установленная мощность, кВт	376	282	386	712	420
Основные размеры, м:					
высота с поднятой мачтой	18,5	13,8	15,3	19,45	13,3
высота с опущенной мачтой	5,3	5,65	5,6	6,13	6,2
длина с поднятой мачтой	21,1	10,25	8,6	12,78	11,5
ширина станка	5,2	4,88	5,9	6,09	6,0
Масса станка, т	64	34,9	65	136	50

Для условий транспортного гидротехнического строительства созданы автономные шарошечные станки на базе серийных гусеничных тракторов. Они предназначены для бурения вертикальных и наклонных скважин диаметром 146—161 мм глубиной до 25 м. Это станок БТС-2 (рис. 2.24) с прицепным дизельным компрессором производительностью 10 м³/мин. Такие станки успешно эксплуатируют при отсутствии постоянных источников электроэнергии.

Для подземного бурения выпускался станок БШ-145М (рис. 2.25). Попытки создать шарошечные станки для бурения скважин меньшего диаметра (76—85 мм) пока оказались неудачными, т.к. не удастся создать достаточно стойкие шарошечные долота таких диаметров. Создан опытный образец станка ВНИПИрудмашем (Кривой Рог) для бурения скважин диаметром 190—215,4 мм для подземной отбойки руд мощных месторождений.

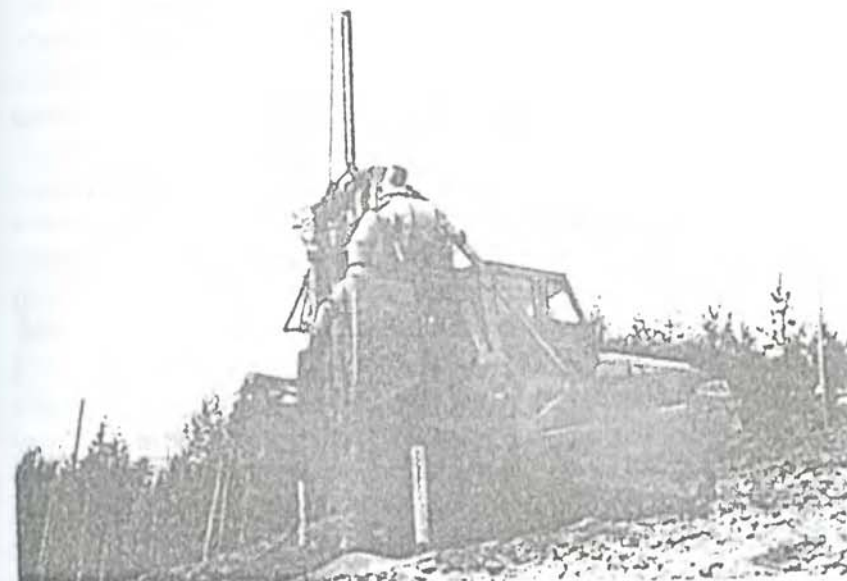


Рис. 2.24. Станок шарошечного бурения БТС-2 с дизельным приводом

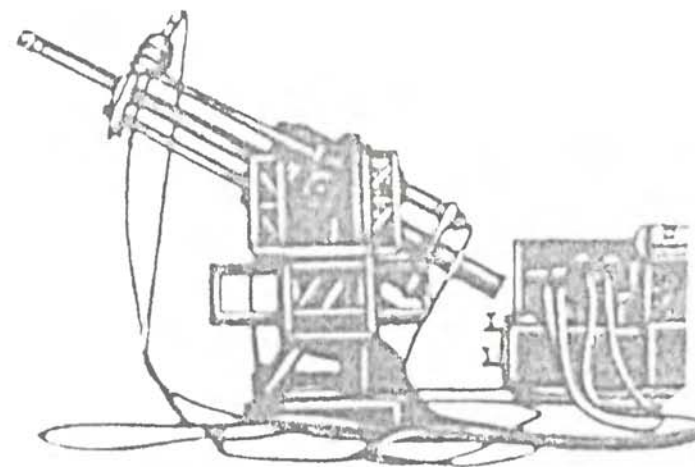


Рис. 2.25. Шарошечный станок БШ-145М для подземного бурения

Станки для карьеров выпускаются на гусеничном ходу, обладают достаточной маневренностью при большой массе, необходимой для создания высоких осевых усилий на шарошечные долота, и имеют принципиальные отличия в схеме основного рабочего органа станка — вращательно-падающего механизма.

Станки, предназначенные для бурения взрывных скважин глубиной до 18—20 м, имеют соответствующей высоты мачту и последние модели (СВШ-320) могут бурить скважину на полную глубину до 19,5 м без наращивания штанг, что резко снижает затраты времени на вспомогательные операции, связанные с наращиванием-разборкой бурового става. Бурение без наращивания также обеспечивает более благоприятные условия работы шарошечных долот и увеличение их стойкости.

Удаление буровой мелочи с забоя производится сжатым воздухом (станки ЗСВШ-200-60, 2СВШ-200Н) или воздушно-водяной смесью (станки СВШ-250МНА, СВШ-160). На всех станках устанавливают винтовые компрессоры, рукавные фильтры для пылеулавливания или емкости с водой для создания воздушно-водяной смеси, подаваемой на забой для очистки скважины и пылеподавления.

Для снижения вибраций на станках, возникающих при работе на повышенных частотах вращения и проходке трещиноватых пород, рекомендуют применять забойные (наддолотные) амортизаторы.

При использовании амортизаторов чистая скорость бурения примерно такая же, как и при работе без амортизатора, а стойкость долот увеличивается в 1,5—2,0 раза. Важным преимуществом работы с наддолотными амортизаторами является возможность бурения на повышенных частотах вращения (до 120—150 об/мин и более), что невозможно осуществить из-за чрезмерных вибраций при работе без амортизаторов.

В нашей стране, особенно в последние 10 лет, ведутся поиски способов увеличения скорости бурения шарошечными долотами за счет увеличения динамики его воздействия на породу. Это достигается за счет применения наддолотных магнитострикционных бурения) и погружных пневмударников (ударно-шарошечное бурение).

При магнитострикционном бурении над долотом в буровом стаवे устанавливают штангу-магнитостриктор длиной 8 м, внутри которой размещают и заливают специальным эпоксидным клеем полосы из никеля или сплава железа и алюминия (сплав алфер). При подаче через специальный контакт к концу полос тока с частотой 400 Гц при мощности 60 кВт полосы начинают сокращаться (вибрировать) с такой же частотой и амплитудой в несколько миллиметров. Возмущающая сила от вибраций передается долоту, за счет чего динамика его воздействия на породу резко возрастает. Проведенные опытные работы на ряде железорудных карьеров показали, что скорость бурения возрастает в 1,5—2,0 раза при снижении удельного осевого усилия на долото в 1,5—2,0 раза. При создании оптимальных осевых усилий на долото эффект действия магнитостриктора не наблюдается. По замыслу изобретателей (А.П. Островский, В.О. Мальчонок) за счет применения магнитострикторов можно успешно бурить в крепчайших породах скважины при меньших осевых усилиях, за счет чего повысить показатели бурения. Сделанный анализ показывает, что за счет применения магнитостриктора резко ухудшаются условия работы бурового станка и долота из-за воздействия на них высокочастотных вибраций. Кроме того, отмечается экологически вредное воздействие на рабочий персонал высокочастотным шумом, излучаемым магнитостриктором. Необходимо устанавливать дорогую и сложную преобразовательную электроподстанцию на станок, а над магнитостриктором — сложный узел передачи ему электроэнергии значительной мощности.

Работы по использованию магнитостриктора для бурения взрывных скважин сейчас остановлены.

При ударно-шарошечном бурении ударник погружного пневмударника наносит удары по шарошечному долоту, установленному в нем вместо бурового ударного инструмента, а осевое усилие передается через буровой став, составляя 0,6—0,8 оптимального. При этом скорость бурения и стойкость долот возрастают в 1,6—2,0 раза. При данном способе интенсификации разрушения породы шарошечным долотом определены оптимальные формы ударников, энергетические параметры его

воздействия на долото с учетом диаметра скважин и свойств буримых пород.

Однако этот метод несравненно проще и дешевле, чем магнитострикционный, и работы по нему необходимо продолжать.

В настоящее время разработаны научно-технические основы для создания нового поколения буровых станков, которые будут превосходить достигнутый уровень производительности бурения серийными станками 50 м/смену в 2—3 раза.

Механизм и закономерности разрушения пород при шарошечном бурении, установленные на основе большого числа экспериментов, показывают, что при вращательном движении долота породоразрушающие элементы (зубцы или штыри) внедряются в породу, как при ударном бурении (рис. 2.26, *а*). Долота со скольжением могут срезать выступы породы (рис. 2.26, *б*), т.е. процесс разрушения получается аналогичным вращательно-ударному бурению.

Выбор рациональных режимов шарошечного бурения представляет собой технико-экономическую задачу нахождения зоны работы станка, где при высокой производительности обеспечивается минимальная стоимость бурения. Эта зона определяется экспериментально с учетом изменения скорости бурения в зависимости от режимов, коэффициента использования станка при бурении и стойкости шарошечных долот.

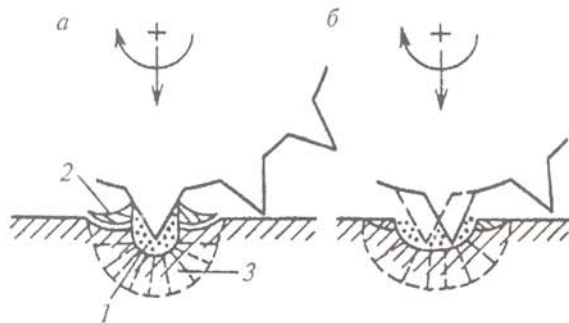


Рис. 2.26. Механизм разрушения породы зубцами шарошечного долота: *а* — долото чистого качения; *б* — долото со скольжением; 1 — зона мелкого дробления; 2 — зона скола; 3 — зона трещинообразования

Под режимами шарошечного бурения понимают величину осевого усилия на долото, частоту вращения инструмента и количество воздуха, подаваемого для очистки забоя скважины. На работающих станках производительность компрессоров постоянна, а потому выбирают только величины осевого усилия и частоты вращения.

Осевое усилие на долото определяет объем разрушения при единичном цикле взаимодействия. При малых осевых усилиях (рис. 2.27) эффективность разрушения весьма незначительна, происходит так называемое поверхностное разрушение породы (зона I). При больших осевых усилиях (зона II) происходит объемное разрушение с линейным увеличением объема разрушения и увеличением осевого усилия. В зоне III наступают условия на забое, когда разрушенная порода недостаточно полно удаляется с забоя, однако роста объема разрушения не наблюдается, а в некоторых случаях на кривой наблюдается максимум. При ухудшении условий очистки забоя эффективность разрушения породы ниже и максимум скорости уменьшается и достигает при меньших значениях осевого усилия (пунктирная кривая на рис. 2.27).

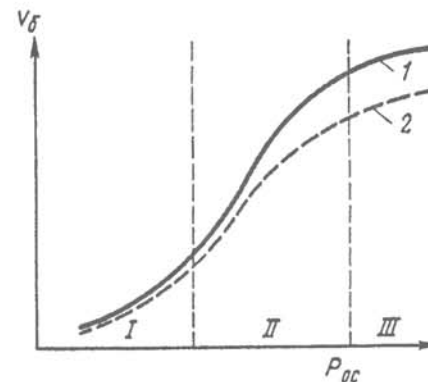


Рис. 2.27. Изменение скорости бурения с увеличением осевого усилия на долото:

1 — нормальная очистка забоя; 2 — недостаточная очистка забоя

На практике бурение ведут, как правило, в средней зоне, т.е. скорость бурения пропорциональна осевому усилию, только в породах некрепких при больших осевых усилиях можно наблюдать выполаживание кривой. Таким образом, из условий разрушения целесообразно применять максимально возможные осевые усилия на долото. На практике принято выбирать максимальное значение осевого усилия на 1 см диаметра долота, исходя из прочности его элементов. Эта величина для разных типов долот составляет: для долот типа С, СТ 4-6 кН/см; для долот типа К 8—12 кН/см; для долот типа ОК 12-20 кН/см.

С увеличением своего диаметра долото выдерживает большие удельные нагрузки. Поэтому в крепких породах эффективно применение долот большего диаметра (269, 320 мм). На эти величины осевых усилий и создают шарошечные станки. С увеличением крепости пород рациональные значения осевого усилия увеличиваются, а частота вращения снижается (рис. 2.28).

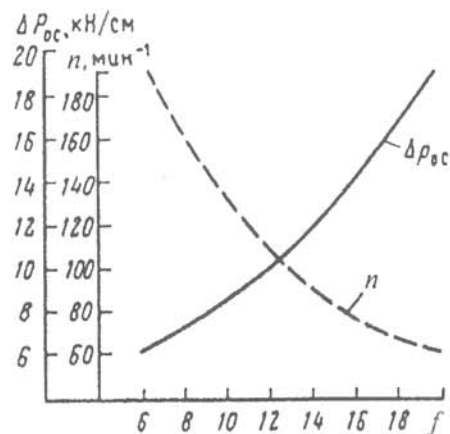


Рис. 2.28. Изменение рациональных значений осевого усилия $P_{ос}$ и частоты вращения (n) долот в зависимости от крепости пород

Частота вращения долота определяет частоту воздействия зубцов долота на забой, и с ее увеличением скорость растет (рис. 2.29). Однако увеличение частоты вращения имеет следующие недостатки: требует соответствующего увеличения количества воздуха для очистки забоя, так как иначе порода не успевает удаляться с забоя и эффективность процесса разрушения снижается; резко снижается стойкость опор шарошечных долот (в 3—5 раз) из-за перегрева и заклинивания подшипников (при $n > 150$ об/мин); резко увеличиваются вибрации на станке, что делает невозможным бурение на таких режимах. Поэтому при существующей технологии шарошечного бурения рекомендуются ориентировочные значения частот вращения, приведенные на рис. 2.28.

При определении рациональных частот вращения на карьере проводится отработка трех-пяти долот на различных частотах вращения (например, 60, 100, 150, 200 об/мин) и определяют скорость бурения, сменную производительность станка, стойкость долот, расходы на 1 м бурения по статьям «машиносмена» и «шарошечное долото» и строят график (рис. 2.30), из которого получают рациональные значения скорости вращения шарошечных долот при минимальной стоимости бурения. Обычно они находятся в пределах 80—150 об/мин. С увеличением крепости пород частоты вращения снижают.

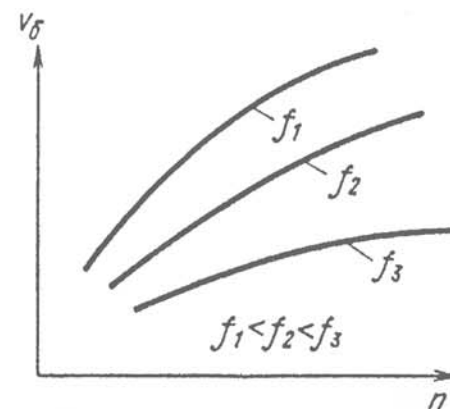


Рис. 2.29. Зависимость скорости бурения от частоты вращения долота и крепости пород

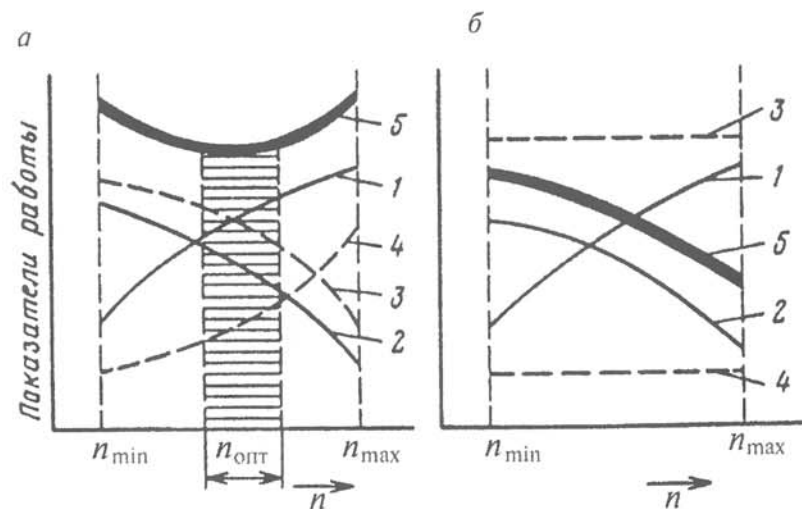


Рис. 2.30. Графическое определение рациональной частоты вращения шарошечных долот:

а — при обычной технологии; б — при принудительной смазке долот: 1 — производительность станка, м/смену; 2 — стоимость 1 м бурения по статье «машино-смена»; 3 — стойкость долота; 4 — стоимость 1 м бурения по статье «инструмент»; 5 — общая стоимость бурения 1 м скважин

Указанные выше способы принудительной смазки опор долот, пылеподавления водой на некотором расстоянии от забоя, за счет чего не происходит попадания в подшипники опор долот буровой мелочи, применение забойных амортизаторов, центраторов и других устройств обеспечивает нормальные условия работы долот на повышенных частотах вращения (150—250 об/мин) без снижения их стойкости. При этом обеспечиваются допустимые санитарные нормы вибраций на станке. Производительность станков будет расти, а стоимость бурения снижаться с увеличением n экспоненциально (рис. 2.30, б). Таким образом, станки будут эксплуатироваться надежно на предельно высоких частотах вращения долот, находясь под предельно допустимыми осевыми нагрузками, обеспечивая получение предельно высокой производительности. На такой режим эксплуатации станка должна рассчитываться система автоматического управления работой станка.

Шарошечный способ бурения скважин и в дальнейшем будет основным на средних и крупных карьерах, разрабатывающих породы с коэффициентом крепости более 8.

2.7. ОГНЕВОЕ И ВЗРЫВНОЕ БУРЕНИЕ СКВАЖИН

С увеличением крепости пород эффективность механических способов их бурения резко снижается, а стоимость 1 м скважины растет. Поэтому испытывают и внедряют способы бурения, не зависящие от крепости буримых пород. К их числу относится огневое бурение, при котором разрушение породы происходит за счет быстрого разогрева поверхностного слоя породы раскаленными струями газа, вылетающими из сопел горелки со скоростью 2000 м/с и температуре 2000 °С. В применяемых горелках тепловой поток образуется за счет сгорания горючего (бензин или керосин) в сжатом воздухе.

Недостаток огневого бурения в его избирательности. Этим способом успешно разрушаются кварцсодержащие породы. При уменьшении содержания кварца буримость пород термическим способом ухудшается и способ становится неприемлемым по технико-экономическим показателям. Сменная производительность станков, по данным ЮГОКа Кривого Рога, достигает 30—35 м при диаметре скважин 200—250 мм. Сравнительный анализ показал, что огневое бурение взрывных скважин уступает шарошечному при использовании мощных станков СБШ-250МНА и СБШ-320 даже в кварцсодержащих породах.

Поэтому в настоящее время огневое разрушение пород применяют в основном для расширения заряжаемой нижней части скважины с 214—243 мм до 350—400 мм с помощью станков комбинированного бурения типа СБТР.

Опытами установлено, что эффективность терморазрушения при расширении скважин увеличивается в 5—10 раз и расширяется число терморасширяемых пород. Огневое бурение в промышленных масштабах используется только на карьерах ЮГОКа, ИНГОКа и Михайловского ГОКа.

Взрывное бурение скважин происходит за счет подачи на забой зарядов ВВ, их взрывания и удаления продуктов разрушения с забоя. В настоящее время испытаны два основных способа бурения: *патронный*, когда на забой с помощью воды или сжатого воздуха подается заряд жидкого или твердого ВВ в оболочке. Заряд взрывается за счет удара его о забой или от детонатора; *струйное*, когда из емкостей на станке по трубкам подают во взрывогенератор компоненты ВВ — горючее и окислитель, образующие в процессе их подачи на забой при смешивании в определенной пропорции мощное ВВ. На забое формируется жидкий плоский заряд ВВ, в который впрыскивают капельку инициатора (сплав калия и натрия), что вызывает воспламенение заряда, а потом и его детонацию. Взрывом разрушается и подбрасывается с забоя определенный объем породы, который затем подхватывает восходящий поток сжатого воздуха в зазоре между штангами и стенками скважины.

При испытании патронного взрывобурения с зарядами из гексогена и тротила величиной 300—500 г порода на забое разрушалась на куски до 10—15 мм. За 8—10 с происходила полная очистка забоя скважины диаметром 200 мм при подаче в нее воздуха в количестве $10 \text{ м}^3/\text{мин}$. Удельный расход ВВ 0,16—0,3 кг/дм³ выбуренной породы. Скорость бурения 1 м/ч, расчетная скорость бурения 10—15 м/ч. Особенно медленно бурится верхняя, разрушенная часть уступа. Поэтому для патронного взрывобурения предполагают создать комбинированный станок, на котором верхнюю часть скважины до монолитных пород будут бурить погружным пневмоударником или другим способом.

При испытании струйного взрывобурения на опытном станке института ЦНИИподземмаш были применены в качестве горючего керосин, а окислителя — четырехоксид азота. Принципиальная схема струйного взрывного бурения приведена на рис. 2.31. При работе взрывобура горючее и окислитель непрерывно вытекают из сопел на забой, а частота подачи инициатора регулируется от 1 до 1400 порций в минуту. За счет этого на забое образуют заряд различной величины. При взрыве часть струи от забоя до среза сопла взрывогенератора уничтожается взрывом и переходит в газообразное состояние. Поэтому коэффициент использования ВВ на разрушение породы низок, а при работе образуется весьма много ядовитых оксидов азота, в которые превращается при испарении четырехоксид азота. При испытаниях станка на карьерах Кривого Рога были установлены следующие режимы: частота взрывов 700—800 в минуту, расстояние от сопла взрывогенератора до забоя 200 мм, частота вращения 8 об/мин, расход ВВ 11—14 л/мин. При этом образовывались скважины диаметром 250—390 мм при скорости бурения до глубины 5 м 30—40 м/ч, при большей глубине (до 11 м) скорость снижалась до 1 м/ч. Это происходило из-за плохой очистки забоя скважины от продуктов разрушения. Крупным недостатком способа является выделение большого объема весьма ядовитых оксидов азота, большие трудности при бурении обводненных скважин и сильно трещиноватых пород. Работы по созданию станков для взрывного бурения взрывных скважин продолжаются.

Совершенствование способов бурения в России должно развиваться в следующих направлениях: создание высококачественного твердого сплава для армирования бурового инструмента, изготавливаемого из высокопрочных хромоникелевых сталей, что позволяет увеличить проходку на долото в 5—10 раз по сравнению с выпускавшимися в 60—70-х годах XX в., создание высокоточных пневматических и гидравлических буровых машин из высокопрочных сталей, допускающих работу их на давлении сжатого воздуха в 1,5—2,5 МПа по сравнению с 0,5 МПа, применявшихся в 70-х годах XX в., давлении гидравлической жидкости в 10—20 МПа. При этом чистые скорости буре-

ния достигают 1—2 м/мин (в 5—10 раз более высокие, чем в машинах 70—80-х годов XX в.). Соответственно более прочными и надежными изготавливают и остальные узлы буровых машин для проходки взрывных и геологоразведочных шпуров и скважин. Создаются системы автоматического управления буровыми машинами, а для подземных работ системы дистанционного управления для работы в наиболее опасных местах забоев шахт и рудников. Разработаны буровые установки для проходки в подземных условиях вертикальных и наклонных скважин диаметром 500—2000 мм, глубиной 100—300 м и более. С конца XX в. буровая техника для открытых и подземных работ начала создаваться и выпускаться нового технического уровня, особенно в зарубежных странах.

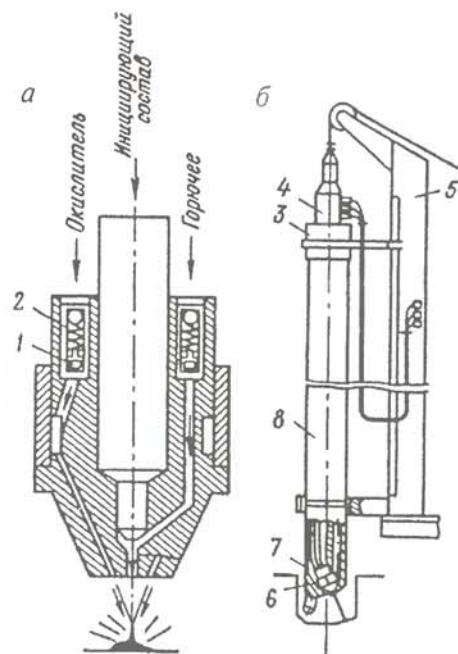


Рис. 2.31. Принципиальная схема струйного взрывного бурения:

а — схема взрывогенератора; б — схема струйного взрывного бурения скважин: 1 — противоударные клапаны; 2 — пружина; 3 — привод вращения; 4 — токосъемник; 5 — мачта; 6 — взрывогенератор; 7 — форсунка; 8 — буровой став

Необходимо в России создавать заново заводы по выпуску мобильной буровой техники для работы на земной поверхности. Особое внимание надо обратить на буровой инструмент, компрессоры, которые должны подавать воздух давлением 1,5—2,5 МПа, а инструмент устойчиво работать при таких высоких ударных нагрузках. В настоящее время отечественный буровой инструмент для ударных способов бурения в 5—10 раз уступает лучшему зарубежному.

2.8. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ ШПУРОВ И СКВАЖИН В ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ

1. Бурение шпуров и скважин диаметром 30—150 мм глубиной до 50 м и более при подземной разработке месторождений характеризуется следующими особенностями:

- ♦ большое разнообразие и изобилие выпускаемых каждой страной (США, Германия, Япония, Финляндия, Швеция и др.) моделей буровых машин и инструментов, что позволяет горнодобывающей компании выбрать для своих условий наиболее эффективную модель;

- ♦ переход на бурение в основном с использованием буровых кареток и станков, на которых все основные и вспомогательные операции механизированы и частично автоматизированы. Некоторые фирмы США, Финляндии выпускают буровые каретки с лазерной разметкой шпуров на забое и корректировкой схемы их расположения с использованием информации, получаемой от бортовой ЭВМ. Для бурения взрывных скважин в опасных условиях разработаны каретки с дистанционным управлением их работы. Во всех случаях фирмы стремятся обеспечить максимально возможные комфортные условия работы обслуживающему буровую технику персоналу (защита от падающих кусков породы, шума, вибраций, масляных аэрозолей);

♦ все более широкое применение получают пневматические ударные буровые машины, работающие на повышенном давлении воздуха (до 2,0—3,0 МПа), а также гидравлические, работающие на давлении 20—30 МПа. Это позволяет получать высокие энергии ударов и чистые скорости бурения (в 5—10 раз выше, чем при использовании низких давлений воздуха (0,5 МПа) и жидкостей (до 5 МПа));

♦ для реализации таких высоких технических параметров бурения созданы высококачественные буровые долота (коронки) с армированием их цилиндрическими штырями твердого сплава со сферической породоразрушающей поверхностью, буровые штанги шестигранного, круглого и «веревочного» профиля. По стойкости лучший зарубежный инструмент для ударных способов бурения превосходит отечественный в 5—10 раз. Для переточки штыревых долот выпущены портативные алмазные заточные станки, используемые непосредственно в шахтах и рудниках.

2. Бурение скважин диаметром 100—500 мм на открытых горных работах имеет ряд особенностей.

Отмечается большое разнообразие легких портативных буровых кареток, в основном на гусеничном ходу, для бурения скважин диаметром от 40 до 100 (150) мм различной глубины и направления (от 0 до 90°) к вертикали. Для работы используют буровые машины ударного действия и с погружными пневмоударниками, пневматические и гидравлические, работающие на повышенном давлении воздуха и жидкости. Эту буровую технику используют на объектах транспортного, энергетического строительства, на карьерах небольшой производственной мощности (до 500 тыс. м/год), а также при вспомогательных работах на крупных карьерах, для выполнения контурного (гладкого) взрывания. На крупных карьерах используют в основном шарошечные буровые станки для бурения скважин диаметром 170—311 (550) мм глубиной до 60 м и более. Причем бурение скважин на уступах высотой 10—15 м производят одной штангой без наращивания става, за счет чего резко снижаются затраты

времени на вспомогательные операции и улучшаются условия отработки шарошечных долот. Фирмы США, Германии, Финляндии выпускают буровые станки с погружными пневмоударниками и мощными бурильными молотками для скважин диаметром 170—250 мм. Фирма Ингерсол Рэнд (США) выпускала станок с погружным пневмоударником для скважин диаметром до 850 мм. Крупные станки фирмы выпускали только по заказам горных предприятий или компаний в существенно меньших, чем в СССР, количествах.

Благодаря высокому качеству изготовления обеспечивается высокая эксплуатационная надежность буровой техники и ее среднемесячная (годовая) производительность в 2—5 раз выше аналогичных отечественных серийных моделей. Незначительное распространение на таонитовых (железистые кварциты) карьерах получили станки огневого бурения, однако по технико-экономическим показателям они уступают мощным шарошечным, поэтому объем их применения минимален.

На станках основные и вспомогательные операции механизированы, а на крупных шарошечных автоматизированы (выбор режимов бурения). Используют высокие энергии единичных ударов, высокие осевые усилия на шарошечные долота (до 1,5—2,0 т/см диаметра долота) при невысоких частотах вращения (до 1—1,5 сек⁻¹). Для ударных способов бурения используют штыревые долота и высококачественные круглые или трубчатые штанги, а для шарошечных станков долота (в основном штыревые) с шламозащитными и смазочными устройствами для увеличения работоспособности подшипников скольжения и качения в опорах шарошек. Для улучшения условий работы шарошечных долот применяют наддолотные центраторы и стабилизаторы. Стойкость лучших зарубежных типов бурового инструмента выше серийного отечественного в 5—10 раз и более.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ
ВЕДЕНИЯ
ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

ГЛАВА 3 —

3.1. ТРЕБОВАНИЯ К ПЕРСОНАЛУ ДЛЯ РУКОВОДСТВА И ВЕДЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Руководство взрывными работами возлагается на специально выделенное приказом лицо или на технического руководителя предприятия, а при подрядном способе ведения взрывных работ — на руководителя взрывных работ подрядной организации или назначенное им лицо.

К руководству взрывными работами допускаются лица, имеющие законченное техническое образование, окончившие специальные учебные заведения или курсы, дающие право технического руководства (ответственного ведения) горными и взрывными работами.

К производству взрывных работ допускаются лица, сдавшие экзамены квалификационной комиссии и получившие «Единую книжку взрывника».

К сдаче экзаменов квалификационной комиссии по специальной программе для подготовки взрывников на получение права производства взрывных работ допускаются лица не моложе 20 лет для открытых и для подземных работ, имеющие образование не ниже восьми классов и стаж не менее одного года соответственно на открытых горных работах, на проходке выработок или в очистных забоях.

Лица, сдавшие экзамены квалификационной комиссии и получившие «Единую книжку взрывника», допускаются к самостоятельной работе после стажировки в течение месяца под руководством опытного взрывника.

Лица, имеющие право руководства взрывными работами, могут быть допущены к производству взрывных работ только после сдачи соответствующих экзаменов, получения «Единой книжки взрывника» и двухнедельной стажировки.

Для получения квалификации «мастера-взрывника» для ведения взрывных работ в условиях шахт, опасных по взрыву га-

зов или пыли, допускаются лица не моложе 22 лет, имеющие среднее образование не ниже восьми классов, стаж подземных горных работ не менее двух лет. Они проходят обучение по специальной программе, согласованной с Ростехнадзором, на базе горных вузов, техникумов или на курсах. После успешной сдачи экзаменов квалификационной комиссии они получают «Единую книжку мастера-взрывника».

Разрешается присваивать горным техникам квалификацию «мастер-взрывник» без дополнительного обучения в случае, если они проработали не менее одного года на подземных горных работах и сдали комиссии квалификационный экзамен.

Повторная проверка знаний мастера-взрывника должна производиться комиссиями, создаваемыми на предприятиях под председательством представителя Ростехнадзора не реже одного раза в 2 года. Такая проверка может производиться также при выявлении нарушения взрывником требований Единых правил безопасности.

При нарушении правил безопасности взрывник отстраняется от производства взрывных работ до проверки знаний комиссией.

Лица, не сдавшие экзаменов, лишаются квалификации взрывника и могут быть снова допущены к сдаче экзаменов квалификационной комиссии не ранее чем через 3 месяца.

При переводе взрывников с одного вида взрывных работ на другой они должны пройти специальную переподготовку по новому виду работ и сдать дополнительные экзамены квалификационной комиссии, которая должна сделать отметку о сданном экзамене в «Единой книжке взрывника».

Взрывники, принимаемые для производства взрывных работ после перерыва в работе по своей квалификации свыше одного года, могут быть допущены к самостоятельному производству взрывных работ только после сдачи экзамена квалификационной комиссии и практической стажировки в течение 10 дней.

Все лица, занятые на взрывных работах, должны быть под расписку проинструктированы руководителем взрывных работ о

свойствах и особенностях применяемых ВМ и аппаратуры, мерах предосторожности при обращении с ними. Такой же инструктаж должен производиться при применении на предприятиях новых видов ВМ.

Всем рабочим, привлекаемым к подготовке и проведению взрывных работ, должны быть выданы под расписку инструкции по безопасным методам выполнения этих работ.

При производстве взрывных работ двумя и более взрывниками в пределах одной опасной зоны должен быть назначен старший взрывник (бригадир), которым может быть лицо, имеющее стаж работы взрывника не менее одного года.

Назначение старшего взрывника оформляется записью в наряде-путевке. В тех случаях, когда руководство взрыванием непосредственно осуществляется лицом технического надзора, назначение старшего взрывника не обязательно.

Заведующими складами ВМ разрешается назначать лиц, имеющих право руководства взрывными работами, а также лиц, окончивших вузы или техникумы по специальности технологии ВВ.

Заведующими складами ВМ также могут назначаться лица, имеющие право производства взрывных работ, прошедшие дополнительную подготовку по специальной программе и имеющие удостоверение.

3.2. ПОЛУЧЕНИЕ РАЗРЕШЕНИЙ НА ПРАВО ПРОИЗВОДСТВА ВЗРЫВНЫХ РАБОТ, ПРИОБРЕТЕНИЯ, ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕВОЗКИ ВЗРЫВЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Предприятия, которым необходимо вести взрывные работы, до их начала должны получить от Ростехнадзора России или горно-технической инспекции министерства (ведомства) следующие документы:

♦ разрешение на право производства взрывных работ с указанием срока его действия;

- ♦ разрешение на право хранения ВМ;
- ♦ разрешение на право приобретения ВМ;
- ♦ разрешение на право перевозки ВМ.

Разрешение на право хранения ВМ выдается управлением милиции республик, МВД автономных республик, УВД краев, областей, городов по заявлению руководителя предприятия и акту о наличии и приемке комиссией склада ВМ.

Разрешение на приобретение ВМ выдается по заявлению руководителя предприятия и по свидетельству на право приобретения, выданного органами Ростехнадзора или инспекции министерства (ведомства), где указаны количество и ассортимент расходуемых ВМ, как они будут доставляться и где храниться.

Разрешение на перевозку ВМ выдается органами милиции на основании представления полученных разрешений на право производства взрывных работ и свидетельства на право приобретения ВМ, а также сведений о транспортных средствах.

При получении разрешения на право производства взрывных работ вместе с заявлением руководителя организации в контролирующей организации Ростехнадзора или горно-технической инспекции министерства (ведомства) должны быть представлены следующие документы:

- ♦ копия диплома или удостоверение руководителя взрывных работ, дающие право руководить этими работами;
- ♦ выкопировка из плана местности с нанесением мест производства взрывных работ и границ опасной зоны. На выкопировке должны быть показаны окружающие жилые и технические сооружения, железные и шоссейные дороги, линии электропередачи, расположенные в пределах опасной зоны или на ее границах;
- ♦ проект производства взрыва, если работы ведутся в населенном пункте.

Для подземных работ указывается только опасность шахты по взрыву газа и пыли.

3.3. ХРАНЕНИЕ ВЗРЫВЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Взрывоопасность ВМ требует принятия особых мер предосторожности при их транспортировке, учете и хранении. Эти меры должны предотвратить хищение и порчу ВМ, а также исключить случайные взрывы. Кроме того, принимаются специальные меры защиты окружающих сооружений и механизмов от возможных повреждений при взрыве хранящихся или транспортируемых ВМ.

По степени опасности при хранении и перевозке ВМ делятся на следующие девять групп (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Классификация взрывчатых материалов по группам совместимости

Группа совместимости (опасности)	Вещества, изделия
A	Иницирующие взрывчатые вещества
B	Изделия, содержащие иницирующие взрывчатые вещества
C	Метательные взрывчатые вещества и другие дефлагирующие взрывчатые вещества или изделия, содержащие их (бездымный порох)
D	Вторичные детонирующие взрывчатые вещества; дымный порох; изделия, содержащие детонирующие взрывчатые вещества без средств инициирования и метательных зарядов (детонирующий шнур)
E	Изделия, содержащие вторичные детонирующие вещества без средств инициирования, но с метательным зарядом (кроме содержащих легковоспламеняющуюся жидкость)
F	Изделия, содержащие вторичные детонирующие вещества, средства инициирования и метательные заряды, или без метательных зарядов
G	Пиротехнические вещества и изделия, содержащие их
N	Изделия, содержащие чрезвычайно нечувствительные детонирующие вещества

Окончание табл. 3.1

Группа совместимости (опасности)	Вещества, изделия
S	Вещества или изделия, упакованные или сконструированные так, что при случайном срабатывании любое опасное проявление ограничено самой упаковкой, а если тара разрушена огнем, то эффект взрыва или разбрасывания ограничен, что не препятствует проведению аварийных мер или тушению пожара в непосредственной близости от упаковки

Классификация взрывчатых материалов по подклассам и по степени опасности приведена в табл. 3.2.

ВМ различных групп должны храниться и транспортироваться в соответствии с требованиями «Единых правил безопасности при взрывных работах».

Складом ВМ называется одно или несколько хранилищ с подсобными сооружениями. В зависимости от срока службы склады ВМ разделяют на постоянные — со сроком службы более 3 лет, временные — со сроком службы до 3 лет и кратковременные — со сроком службы до 1 года.

Отдельные хранилища ВМ на территории склада располагаются так, чтобы аварийный взрыв в одном хранилище не вызвал взрыва в других. Безопасные расстояния от склада ВМ до других сооружений, расположенных поблизости, а также между отдельными хранилищами рассчитываются по методике, изложенной в «Единых правилах безопасности при ведении взрывных работ».

Склады ВМ по назначению делятся на базисные и расходные.

От заводов-изготовителей ВМ поступают на базисные склады, где хранятся в больших количествах. Базисные склады снабжают расходные склады предприятий ВМ, как правило, в заводской упаковке; распаковывать их на базисных складах разрешается только для отбора проб на испытание ВМ. Выдавать ВМ взрывникам с базисного склада запрещено.

При производстве крупных массовых взрывов с базисного склада можно завозить ВМ непосредственно к месту работ, минуя расходный склад. Получает и сопровождает ВМ в этом случае персонал расходного склада.

Таблица 3.2

Подкласс	Классификация ВМ
1.1	Взрывчатые материалы с опасностью взрыва массой
1.2	Взрывчатые материалы, не взрывающиеся массой
1.3	Взрывчатые материалы пожароопасные, не взрывающиеся массой
1.4	Взрывчатые материалы, не представляющие значительной опасности
1.5	Очень нечувствительные взрывчатые материалы
1.6	Изделия чрезвычайно низкой чувствительности

Расходные склады предназначены для выдачи ВМ взрывникам для производства взрывных работ.

Склады ВМ разделяют также на поверхностные, полууглубленные, углубленные и подземные. К поверхностным относят склады, основания хранилищ которых расположены на уровне поверхности земли; к полууглубленным — склады, здания хранилищ которых углублены в землю не более чем до карниза здания; к углубленным — когда толщина грунта над хранилищем составляет менее 15 м; к подземным — когда толщина грунта над хранилищем превышает 15 м.

Предельная вместимость отдельных хранилищ базисного склада составляет 420 т ВМ и 600 т аммиачной селитры.

Для огнестойкого шнура и средств его зажигания ограничений не существует.

Вместимость всех хранилищ постоянного поверхностного расходного склада согласно «Единым правилам безопасности» не должна превышать 240 т ВВ, 300 тыс. шт. детонаторов и 400 тыс. м детонирующего шнура.

Поверхностный склад ВМ состоит из одного или нескольких хранилищ ВМ с подсобными сооружениями, расположенными на общей огражденной территории (рис. 3.1). Подземный склад ВМ состоит из камер или ячеек для хранения ВВ и СИ и вспомогательных камер для раздачи ВМ, хранения тары и подводящих к складу выработок (рис. 3.2).

Все склады ВМ должны круглосуточно охраняться военизированной или вооруженно-вахтерской охраной.

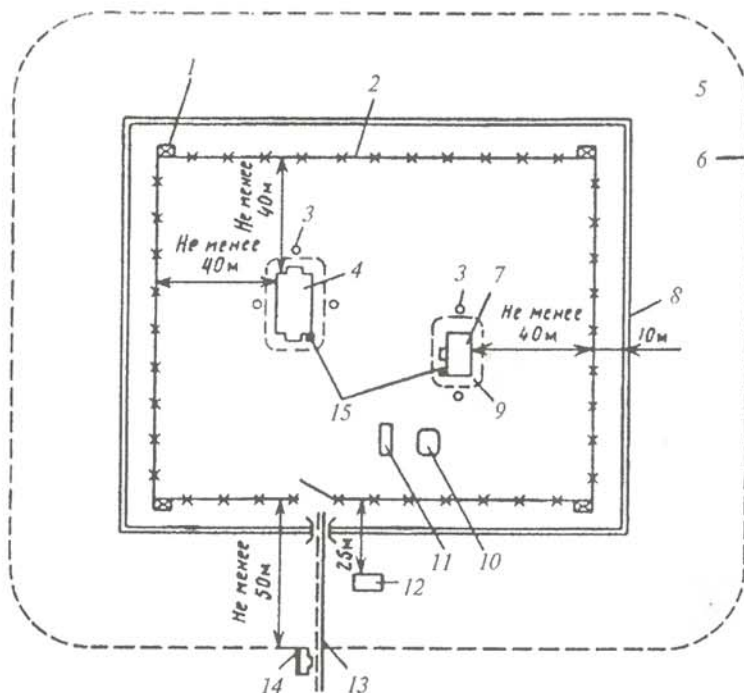


Рис. 3.1. Поверхностный расходный склад емкостью 75 т аммиачно-селитренных ВВ:

1 — караульные вышки; 2 — ограда; 3 — молниезащита; 4 — хранилище ВВ; 5 — запретная зона; 6 — граница территории склада; 7 — хранилище СИ; 8 — противопожарная канава; 9 — очищаемая площадка вокруг хранилищ; 10 — пожарный водоем; 11 — навес для противопожарного инвентаря; 12 — сарай для тары из-под ВВ; 13 — дорога; 14 — караульное помещение; 15 — ящики с песком

Потребная емкость склада по хранению СИ определяется на основе данных расхода СИ по предприятию на 1 т расхода ВВ. В зависимости от характера выполняемых взрывных работ нормы расхода СИ существенно различаются как по величине, так и по составу используемых средств инициирования.

Применительно к взрыванию скважинными зарядами на открытых горных работах на 1 т расходных ВВ в среднем затрачивается 400 м ДШ и 50 шт. ЭД. При выполнении проходческих работ на 1 т ВВ в среднем расходуется 500 шт. ЭД.

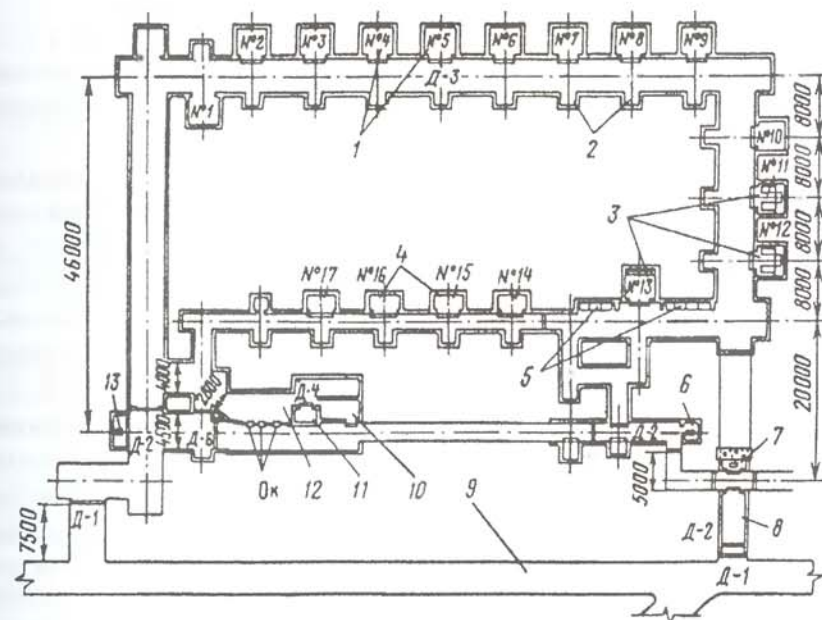


Рис. 3.2. Подземный склад ВВ камерного типа с защитными дверями:

1 — камеры для хранения ВВ (№ 1—9); 2 — отбойные камеры; 3 — камеры для хранения кассет с маркированными ЭД (№ 10—13); 4 — камеры для немаркированных ЭД (№ 14—17); 5 — рабочие места подготовки СИ; 6—8 — вспомогательные помещения; 9 — подводящая выработка к складу; 10 — камера для взрывных и контрольно-измерительных приборов; 11 — камера выдачи ВМ; 12 — калориферная; Д-1; Д-2; Д-3; Д-4; Д-5; Д-6 — двери склада, ОК — окна выдачи ВМ

На территории поверхностного склада (см. рис. 3.1) могут располагаться следующие здания и сооружения:

- хранилища ВВ и СИ;
- здания и площадки для подготовки ВМ;
- караульные вышки;
- лаборатории и полигоны;
- помещение для противопожарных средств;
- водоемы.

Места хранения тары и караульные помещения должны быть за пределами ограды склада, караульное помещение на расстоянии не менее 50 м от ограды склада, помещение хранения тары — на расстоянии не менее 25 м. Расстояние от ограды до ближайшей стены хранилища ВМ должно быть не менее 40 м.

Высота ограды должна быть не менее 2 м.

При выборе местоположения площадки под склад должна учитываться безопасность для близрасположенных сооружений по действию воздушной ударной волны.

Хранилища ВМ постоянных складов выполняются из негорюемых материалов. В отдельных случаях с разрешения органов пожарного надзора допускается устройство бревенчатых или каркасно-засыпных стен.

Для сокращения расстояний между отдельными хранилищами возможно устройство защитных валов из пластичных или сыпучих грунтов: глины, суглинка, песка. Валы должны быть на 1,5 м выше карниза хранилища. Ширина валов поверху должна быть не менее 1 м. Ширина валов понизу определяется углом естественного откоса грунта, из которого насыпан вал. Основание вала должно отстоять от стен хранилища не менее чем на 1 м, но не более чем на 3 м (со стороны тамбуров допускается до 4 м), причем между подошвой вала и зданием хранилища должны быть сделаны водоотводные канавки с выводами их за пределами валов. В случае полного обвалования хранилища для устройства выходов валы должны иметь разрыв, перед которым должен быть устроен защитный вал на расстоянии не менее 1 м и не более 3 м от основания главного вала. Длина защитного вала должна быть принята с таким расчетом, чтобы прямая линия, проведенная в плане от ближайшего угла здания через ближайшую конечную точку гребня главного вала и продолженная дальше, проходила через гребень защитного вала.

Подземный склад ВМ (см. рис. 3.2) состоит из выработок, представляющих собственно склад, а также подводящих выработок и вспомогательных камер. Предельная емкость подземных расходных складов не должна превышать недельного запаса ВВ и двухнедельного запаса СИ. Емкость каждой камеры в складах камерного типа не должна превышать 2 т ВВ. В складах ячейкового типа разрешается в каждой ячейке хранить не более 400 кг ВВ и 15 тыс. ЭД (детонаторов).

Применявшийся при строительстве в последние годы типовый проект ячейковых подземных складов ВМ для угольных шахт 705-33-17/77 имеет существенные дефекты, в том числе:

- ♦ малую емкость по хранимым запасам ВВ и СИ;
 - ♦ низкую безопасность из-за защиты склада от прилегающих выработок только одной стальной дверью;
 - ♦ нерациональное размещение ячеек с ВВ на стороне хранилища склада, ближайшей к прилегающим стволам, околоствольным и откаточным выработкам;
 - ♦ необоснованные расчетами межъячейковые породные или бетонные целики шириной 2 м;
 - ♦ трудоемкость эксплуатации в связи с отсутствием заезда в склад;
 - ♦ большая трудоемкость строительства, так как все выработки проходят вручную;
 - ♦ неудобство эксплуатации склада из-за отсутствия камер для нахождения взрывников, хранения тары, противопожарных средств, электрооборудования.
- Московским горным институтом совместно с институтом «Днепрогипрошахт» разработана и испытана в производственных условиях новая конструкция ячейкового подземного склада ВМ (рис. 3.3), который имеет следующие преимущества:
- ♦ увеличенный запас в складе хранимых ВВ до 7 суток и СИ до 15 суток;
 - ♦ повышенная надежность за счет установки в заезде на склад двух заблокированных стальных защитных дверей;
 - ♦ механизация работ по доставке ВМ непосредственно в хранилище склада рельсовым транспортом;
 - ♦ ячейки для ВВ расположены более рационально — на стороне дальней от находящейся вблизи стволов, околоствольных и откаточных выработок;
 - ♦ межъячейковые целики выполнены из железобетона оптимальной трапециевидной формы и исключают передачу детонации при аварийном взрыве между зарядами соседних ячеек;
 - ♦ стальные защитные двери обеспечивают локализацию аварийного взрыва в складе;
 - ♦ предусмотрены места для хранения тары от ВМ, размещения оборудования, места для взрывников;
 - ♦ конструкция склада позволяет механизировать проходку подводящих выработок и хранилища.

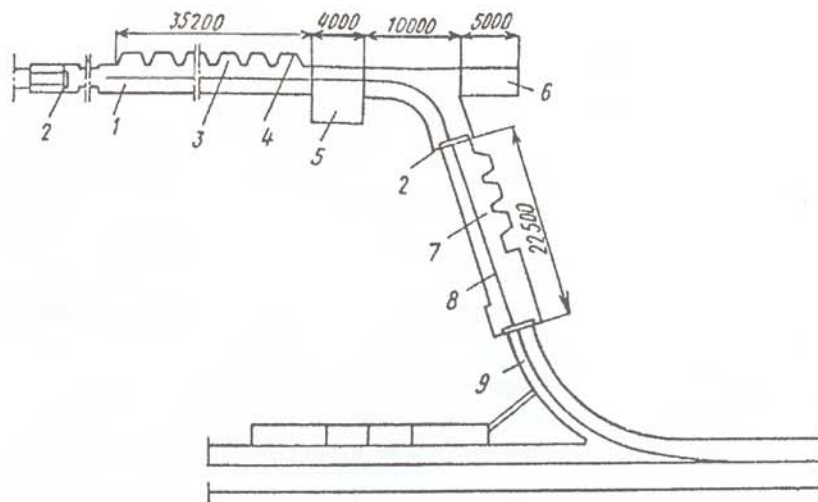


Рис. 3.3. Подземный склад ВМ ячейкового типа:

1 — хранилище для ВМ; 2 — защитные двери; 3 — ячейка для хранения ВВ; 4 — ячейка для хранения СИ; 5 — место для хранения тары; 6 — тупик отбойный; 7 — камера выдачи ВМ; 8 — рельсовый путь; 9 — заезд в склад

Расположение подземных складов должно отвечать следующим условиям:

а) расстояние от любой ближайшей точки склада до ствола шахты, околоствольных выработок и других камер околоствольного двора, а также от вентиляционных дверей, разрушение которых может лишить притока свежего воздуха всю шахту или ее значительных участков, должно быть не менее 100 м для камерного склада и 60 м для складов ячейкового типа;

б) расстояние от ближайшей ячейки или камеры до выработок, служащих для постоянного прохода людей, при складах камерного типа должно быть не менее 25 м, при складах ячейкового типа — не менее 20 м;

в) расстояние от склада до поверхности при складах камерного типа должно быть не менее 30 м, при складах ячейкового типа — не менее 15 м;

г) выработки, в которых расположены камеры или ячейки для хранения ВМ, не должны находиться в непосредственном сообщении с главными выработками, а должны соединяться с

ними не менее чем тремя подводящими прямолинейными или криволинейными выработками, образующими друг с другом прямые углы, или закрываться неразрушаемыми стальными дверями. Подводящие к складу выработки надо заканчивать тупиками длиной не менее 2 м и сечением не менее 4 м²;

д) каждый склад должен иметь два выхода;

е) камеры, ячейки и все выработки склада ВМ должны быть закреплены несгораемой крепью.

Склад ВМ углубленного типа может устраиваться в массиве горы, холма или скалы и сообщаться с поверхностью штольнеобразными выработками. Устье штольни должно оборудоваться двойными дверями, открывающимися наружу. Наружная дверь должна быть деревянной сплошной, обитой кровельной сталью, а внутренняя — решетчатой. Если расстояние от входа в склад до ближайшей камеры хранения ВМ более 15 м, склад должен иметь два выхода.

3.4. УЧЕТ РАСХОДОВАНИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ

На складах ведется постоянный строгий количественный учет взрывчатых материалов по следующим установленным формам:

книга суточного прихода и расхода ВМ. Ведут ее заведующие базисными и расходными складами;

книга учета выдачи и возврата ВМ. Ведется заведующим расходного склада;

наряд-накладная служит для отпуска ВМ с одного склада на другой. Наряд-накладная выписывается бухгалтерией предприятия, в ведении которого находится склад, отпускающий взрывчатые материалы. Вместе с нарядом-накладной получатель предъявляет на складе также доверенность;

♦ наряд-путевка служит для отпуска ВМ взрывникам на производство взрывных работ. Выписывается производителем работ или мастером участка.

Наряд-путевка служит основанием для записи в книгу о выдаче ВМ на расходном складе.

Наряды-путевки, возвращенные в качестве отчета об израсходовании ВМ, должны храниться на складе в течение трех лет, после чего подлежат уничтожению по акту.

Выдачу ВМ со склада производят в строгом соответствии с предъявленными нарядами-накладными или нарядами-путевками.

Перед выдачей детонаторов (капсулей-детонаторов, электродетонаторов) для производства работ последние должны быть пронумерованы.

Нумерация детонаторов должна выполняться по ведомственной инструкции, согласованной с органами Гостехнадзора РФ.

При нумерации на каждый детонатор наносится специальным составом условный шифр организации, ведущей взрывные работы, номер участка и условный номер взрывника. Условный номер взрывника ставится в наряде-путевке после его фамилии.

Проверка правильности учета, хранения и наличия ВМ на складах выполняется в конце каждого отчетного месяца производителем работ или лицом, специально назначенным руководителем предприятия. Результаты проверки заносятся исполнителем в книги учета.

В случаях выявления недостачи или излишков ВМ необходимо немедленно сообщить об этом руководителю предприятия и органам МВД.

На складах ВМ должны находиться образцы заверенных руководителем предприятия подписей лиц, имеющих право подписывать наряды-накладные и наряды-путевки. Отпуск ВМ по указанным документам, подписанным другими лицами, запрещается.

Проход или проезд рабочих и других лиц на склад и обратно, вывоз или вынос ВМ осуществляются только по пропускам через служебное помещение, обеспечивающее пропускной режим.

Документами на право вывоза или выноса ВМ со склада являются материальный пропуск, когда ВМ отпускаются по наряду-накладной, и наряд-путевка, когда по ней ВМ выдаются взрывникам участка взрывных работ, в ведении которого находится склад.

3.5. ПЕРЕВОЗКА И ПЕРЕНОСКА ВЗРЫВАТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Перевозка ВМ на автомашинах от склада ВМ к местам выполнения взрывных работ производится по наряду-путевке, подписанной руководителем взрывных работ.

К управлению автомобилем, предназначенным для перевозки ВМ, может быть допущен только шофер (водитель), прошедший специальный инструктаж о правилах перевозки ВМ.

К управлению автомобилями при перевозке ВМ для взрывных работ в городских условиях и населенных пунктах допускаются шоферы не ниже второго класса.

При управлении автомобилем шофер (водитель) обязан иметь при себе:

- а) удостоверение на право управления, выданное Государственной автомобильной инспекцией;
- б) талон технического паспорта (для транспортных средств, состоящих на учете в Государственной автомобильной инспекции);
- в) путевой или маршрутный лист, оформленный соответствующими подписями руководителей участка и согласованный с ГАИ.

Перевозка ВМ автотранспортом производится с соблюдением мер личной и общественной безопасности, в сопровождении вооруженной охраны и специально выделенного ответственного лица, имеющего право на руководство (производство) взрывными работами, или заведующего (раздатчика) складом ВМ.

Ответственное за перевозку ВМ лицо во время следования транспорта должно находиться в кабине автомобиля, а лицо вооруженной охраны — в кузове.

При перевозке ВМ на нескольких автомобилях лицо, ответственное за перевозку, должно находиться в кабине переднего автомобиля, а на последнем автомобиле — одно из лиц вооруженной охраны.

Шоферам и лицам вооруженной охраны запрещается оставлять автомобили, груженные ВМ, без разрешения лица, ответственного за их перевозку.

Перед выездом автомобиля заведующий гаражом обязан сделать в путевом листе запись «Автомобиль проверен, вполне исправен и пригоден для перевозки взрывчатых грузов».

На всех автомобилях, перевозящих ВМ, должны быть выставлены спереди и сзади отличительные знаки в виде знаков ООН, красных флагов, а в ночное время — соответствующие отражательные знаки. При наличии в транспортной колонне нескольких автомобилей знаки должны быть помещены как на переднем, так и на заднем автомобиле.

Перевозку ВМ для взрывных работ в городских условиях и населенных пунктах разрешается производить только в закрытых автомобилях (передвижные склады ВМ на автомобилях) с отличительным знаком — красная полоса шириной 15 см по диагонали на обоих бортах.

Запрещается перевозка ВМ в одном автомобиле вместе с другими грузами, за исключением взрывных машинок, приборов, материалов и легкого инструмента, необходимого при взрывании, уложенных в ящик, крепление которого исключает удары по ВМ. При взрывных работах с применением радиосвязи разрешается перевозить радиостанции.

Разрешается перевозка ВМ и другими видами транспорта, что регламентировано «Едиными правилами безопасности».

Доставка ВМ к месту работы разрешается без охраны, но под обязательным наблюдением взрывника с привлечением стажеров-взрывников или проинструктированных рабочих.

ВМ должны переноситься в заводской упаковке или в исправных сумках, исключающих возможность просыпания или выпадения ВМ. При этом ВВ и СИ должны переноситься в отдельных сумках. Порошкообразные аммиачно-селитренные ВВ разрешается переносить в жесткой таре или мешках.

Детонаторы и боевики должны переноситься только взрывниками.

Допускается переноска ЭД, смонтированных в последовательную цепь, в специальных устройствах.

При совместной переноске СИ и ВВ взрывник может переносить не более 12 кг ВВ.

При переноске в сумках ВВ и СИ норма может быть увеличена до 20 кг. При переноске ВВ в заводской упаковке на расстояние не более 300 м и при удобном пути с подъемом не более 0,02 °/о норма может быть повышена до 40 кг (мешок с ВВ).

3.6. ОХРАНА ОПАСНОЙ ЗОНЫ И СИГНАЛИЗАЦИЯ ПРИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ

Действующие правила подготовки и проведения массовых взрывов обеспечивают полную безопасность выполнения работ персоналом, действующим на месте взрыва в полном соответствии с «Едиными правилами безопасности при взрывных работах». Полная безопасность обеспечивается также всем работающим в зоне взрыва путем установления и оцепления перед началом зарядки опасной зоны, из которой удаляются и не допускаются до подачи сигнала «отбой» все люди. В проекте взрыва определяют допустимые величины зарядов и радиусы опасных зон, которые обеспечивают полную безопасность в отношении разлетающихся кусков породы при взрыве, его сейсмического воздействия на окружающие объекты, вредного действия газового облака, образующегося при взрыве, действия воздушных ударных волн.

Граница опасной зоны на местности обозначается предупредительными надписями в виде переносных щитов, число и места установки которых (обычно через каждые 100—150 м) определяет руководитель взрывных работ или ответственный за оцепление опасной зоны.

Допуск рабочего к охране опасной зоны разрешается только после того, как он пройдет предварительное обучение по технике безопасности. Повторный инструктаж по технике безопасности производится на месте по мере надобности, не реже одного раза в квартал, а также при смене объекта взрывных работ соответствующей записью в журнале инструктажа.

Охрана опасной зоны организуется так, чтобы все пути, ведущие к месту работ (дороги, тропы, подходы, выработки), находились под постоянным наблюдением; каждый пост должен быть в поле зрения смежных с ним постов.

При производстве взрывных работ обязательно применение звуковых или световых сигналов.

Звуковые сигналы должны подаваться в следующем порядке.

ПЕРВЫЙ СИГНАЛ — ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНЫЙ (один продолжительный). На сигнальной мачте должен быть поднят сигнальный флаг.

Все люди, не занятые заряджанием и взрыванием, по этому сигналу должны быть удалены за пределы опасной зоны, у мест возможных входов в опасную зону должны быть выставлены посты охраны.

ВТОРОЙ СИГНАЛ — БОЕВОЙ (два продолжительных). Взрывники зажигают огнепроводные шнуры и удаляются в укрытие или за пределы опасной зоны, а при электрическом взрывании включают из безопасного места ток.

ТРЕТИЙ СИГНАЛ — ОТБОЙ (три коротких) — подается после осмотра места взрыва. Рабочие оцепления после третьего сигнала покидают свой пост.

При производстве взрывов на «выброс» и «сброс», а также других взрывов, сложных по выполнению, назначение сигналов и способы их подачи указываются в проекте взрывных работ и в распоряжке выполнения каждого массового взрыва.

Для обеспечения нормального выполнения своих обязанностей лица охраны опасной зоны оцепления должны быть оснащены средствами сигнализации: флажками, фонарями, свистками и мегафонами.

При взрывах, сложных по выполнению и охране опасной зоны, лица охраны должны оснащаться телефонами, электромегафонами и переносными радиостанциями.

При взрывных работах в стесненных условиях для лиц оцепления опасной зоны должны устраиваться специальные или использоваться естественные укрытия, рабочие должны обеспечиваться касками.

3.7. УНИЧТОЖЕНИЕ ВЗРЫВЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Уничтожению подлежат ВМ, если они признаны непригодными к использованию или когда ликвидируется предприятие и остатки ВМ по каким-либо причинам не могут быть переданы другим предприятиям.

Уничтожение производится по письменному распоряжению главного инженера предприятия или руководителя взрывных работ. При этом обязательно составление акта (в двух экземплярах) с указанием количества и наименований уничтоженных ВМ, а также причины и способов их уничтожения. Руководитель работами по уничтожению должен быть заведующим складом или руководителем взрывных работ.

ВМ разрешается уничтожать взрыванием, сжиганием.

Уничтожение взрыванием является наиболее удобным и применяется для уничтожения детонаторов, ДШ и ВВ, если может быть обеспечена полнота их взрыва в безопасном месте для окружающих объектов.

Количество взрываемых материалов за один прием и место уничтожения устанавливаются конкретно для каждого отдельного случая с учетом местных природных условий и при обязательном соблюдении безопасных расстояний.

Место для уничтожения ВМ выбирают вдали (не ближе 500 м) от населенных пунктов, строений и дорог. На безопасном расстоянии от места уничтожения устраивается надежное укрытие для взрывников.

Уничтожение взрыванием разрешается производить электрическим и в крайнем случае огневым способом, при этом зажигательные трубки должны прокладываться прямолинейно и с подветренной стороны.

Взрывание необходимо производить при помощи патронов-боевиков, изготовленных из доброкачественных ВВ, которые укладывают сверху на уничтожаемые ВМ.

ВВ с пониженной детонационной способностью разрешается взрывать в специальных ямах, закрытых щитами.

Детонаторы взрывают в заводских коробках, зарытых в землю, для их полной детонации и во избежание разброса.

Уничтожаются сжиганием только такие ВВ, которые утратили способность детонировать, и пороха. Детонаторы сжигать запрещено.

Сжигание разрешается производить только в сухую погоду на специальной площадке, вдали от строений и населенных пунктов. Пороха при сжигании рассыпаются дорожками шириной не более 0,3 м и высотой не более 0,1 м. Расстояние между дорожками должно быть не менее 5 м. Зажигают одновременно не более трех дорожек. ВВ сжигают в кострах в количестве не более 2 кг. Перед сжиганием ВВ необходимо убедиться, нет ли в них детонаторов, которые могут при сжигании вызвать взрыв. Сжигать ВМ в заводской таре запрещается.

Пригодная для дальнейшего использования тара тщательно очищается, а поврежденная или со следами эксудации нитроэфиров сжигается отдельно.

Костры и дорожки ВВ поджигают огнепроводным шнуром или легковоспламеняющимся материалом (стружка, хворост, бумага и т.п.), размещенным с подветренной стороны дорожкой длиной не менее 5 м. Поджигание производится после оконча-

ния подготовительных работ и вывода людей из опасной зоны. Взрывники при сжигании должны находиться в укрытии. Приближаться к месту сжигания можно только в том случае, если горение полностью закончилось. Обнаруженные в золе остатки несгоревших ВМ собирают и повторно сжигают.

Уничтожение потоплением и растворением в воде использовать недопустимо из-за экологического ущерба, наносимого в этом случае водоемам и окружающей среде.

ОСНОВЫ
ТЕОРИИ ВЗРЫВА
И СОЗДАНИЯ
ПРОМЫШЛЕННЫХ
ВЗРЫВЧАТЫХ
ВЕЩЕСТВ

4.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ВЗРЫВОВ

По своей природе взрывы делятся на несколько видов.

ФИЗИЧЕСКИЕ, при которых происходят только физические преобразования без изменения химического состава веществ (беспламенное взрывание с помощью жидкой углекислоты и сжатого воздуха, взрывы паровых котлов, баллонов со сжиженным газом, электрические разряды и т.д.).

ХИМИЧЕСКИЕ, при которых происходят чрезвычайно быстрые окислительные химические реакции с образованием новых соединений, выделением тепла 3400—6000 кДж/кг и газов 700—1000 л/кг ВВ (взрывы ВВ, метана, паров горючих, угольной или другой органической пыли).

ЯДЕРНЫЕ, при которых происходят цепные реакции деления ядер с образованием новых элементов. В настоящее время реализуются 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). Например, при термоядерном взрыве из тяжелого водорода образуется гелий. При ядерном и термоядерном взрыве выделяется в миллионы раз больше тепла на единицу взрываемого материала, чем при химическом ($6,8 \cdot 10^{10}$ кДж/кг при ядерном и $4,19 \cdot 10^{11}$ кДж/кг при термоядерном взрыве). Эти взрывы являются наиболее мощными из применяемых и известных человечеству в настоящее время.

При взрывных работах в промышленности применяются химические взрывы ВВ. Рассматриваются возможности применения ядерных взрывов для вскрытия крупных месторождений, расположенных в отдаленных районах на значительной глубине (120 м и более), для глубинного дробления огромных объемов пород с целью последующего выщелачивания из них ценных компонентов, для образования крупных каналов, бухт-ковшей, для тушения горящих нефтяных и газовых скважин и т.д.

4.2. ХАРАКТЕРИСТИКА ВЗРЫВА ЗАРЯДОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВВ

ВЗРЫВЧАТЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ называют химические соединения или механические смеси, которые под воздействием внешнего импульса (нагревание, трение, удар и т.д.) взрываются (детонируют). При этом в них происходит чрезвычайно быстрая реакция с выделением тепла и газов, способных производить разрушение и перемещение окружающей среды.

Взрывная реакция (детонация) распространяется с постоянной, характерной для данного ВВ и диаметра заряда скоростью, т.е. имеет место самораспространяющийся процесс, не требующий дополнительного подвода энергии.

Энергия при взрыве ВВ выделяется за счет химической реакции окисления водорода в воду и углерода в оксид (CO) и диоксид (CO₂) углерода кислородом, входящим в состав молекул компонентов ВВ.

Это обеспечивает высокую концентрацию энергии в единице объема ВВ, в то время как при горении веществ окисление горючих элементов происходит за счет кислорода воздуха. Так, при сжигании 1 л стехиометрической (количество горючего соответствует количеству окислителя) смеси спирт—кислород выделяется всего 14,6 кДж, водород—кислород 7,5 кДж, а при взрыве 1 л мощного жидкого ВВ нитроглицерина выделяется 9800 кДж тепла. Низкая объемная концентрация энергии 1 л смеси обычных горючих объясняется тем, что на сжигание 1 л спирта требуется около 2000 л кислорода и при теплотворной способности 26190 кДж/кг теплоты на 1 л смеси приходится 14,6 кДж.

В то же время тепловая энергия, приходящаяся на 1 кг ВВ (теплота взрыва 1 кг ВВ), составляет в среднем 4190 кДж/кг, т.е. значительно меньше теплотворной способности обычных горючих: керосина 47000 кДж/кг, каменного угля 29300 кДж/кг и т.д. У промышленных ВВ скорость распространения реакции достигает 4—8 км/с. Это обеспечивает получение чрезвычайно большой мощности при взрыве, характеризуемой количеством энергии, выделяемой в единицу времени.

Так, при взрыве патрона аммонита 6ЖВ массой 200 г при энергии взрыва 4190 кДж/кг выделяется 838 кДж энергии. При скорости детонации 3,5 км/с время взрыва составляет $0,2 : 3500 = 5,7 \cdot 10^{-5}$ с, а выделяемая в момент взрыва мощность:

$$N = 838 \cdot 10^3 \text{ Дж} : 5,7 \cdot 10^{-5} = 15 \cdot 10^8 \text{ Дж/с, или } 14,6 \text{ млн кВт.}$$

В момент взрыва образуется значительное количество газов (700—1000 л), которые выделяемым теплом нагреваются до температуры 1900—4500 °С.

Такие высокие температуры газов взрыва имеют место благодаря высокой скорости детонации, малому времени выделения энергии и весьма малому теплообмену продуктов взрыва с окружающей средой.

В связи с чрезвычайно большой скоростью детонации в зоне заряда развивается в начальный момент весьма высокое давление (1000 МПа и более), которое обеспечивает большое разрушительное (бризантное) действие взрыва вблизи заряда.

Взрыв сопровождается определенным звуковым эффектом, так как ударная волна, распространяющаяся от взрыва со сверхзвуковой скоростью на некотором расстоянии от центра взрыва в воздухе, переходит в звуковую.

Таким образом, отличительными признаками взрыва ВВ являются: большая сверхзвуковая скорость распространения химической реакции по заряду ВВ, экзотермичность реакции, большая мощность, высокое давление в зоне взрыва, образование газообразных продуктов, генерирующих в окружающей среде мощные ударные и упругие волны.

4.3. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ВВ

В химии известно большое количество химических соединений и смесей, которые способны под действием внешнего импульса взрываться. Но к промышленным ВВ (ВВ, пригодным

для промышленных взрывов) относятся соединения и смеси, достаточно безопасные в изготовлении и обращении, эффективные в применении, технически и экономически доступные в изготовлении, не меняющие своих физических и химических свойств при их длительном хранении и применении.

По своему физическому состоянию ВВ могут быть:

- ♦ твердыми соединениями или смесями (гексоген, тротил, аммиачная селитра + тротил и т.д.);
- ♦ смесями жидких и твердых веществ (аммиачная селитра + жидкое горючее, жидкие нитроэфиры + аммиачная селитра, жидкий кислород + твердое горючее и т.д.);
- ♦ смесями растворов или эмульсией аммиачной и натриевой селитры с горючей добавкой (жидкой и твердой), а также добавками бризантных ВВ (тротила);
- ♦ газовыми смесями (метан + воздух, ацетилен + кислород и т.д.);
- ♦ смесями твердых или жидких веществ с газами (угольная, древесная или другая органическая пыль, брызги (пары) керосина, бензина с воздухом и т.д.);
- ♦ жидкими веществами (нитроглицерин, нитроглицоль);
- ♦ смесями жидких веществ (тетранитрометан + бензол, четырехоксид азота + керосин и т.д.).

Практическое применение в качестве промышленных ВВ имеют первые три группы, наибольшее распространение получили взрывчатые смеси из твердых веществ, смеси растворов с твердым и эмульсий и их смесями с аммиачной селитрой, пропитанной маслом (АСДТ).

Известны три основные формы химического превращения ВВ: медленное химическое превращение протекает при относительно низких температурах по всему объему вещества. Этот процесс может протекать при неблагоприятных условиях хранения ВВ и недостаточной его химической стойкости. При горении и детонации химическая реакция протекает в довольно узкой зоне — фронте химической реакции, в котором температура достигает некоторого критического значения и который перемещается по ВВ. Скорость его перемещения определяется вели-

чиной выделяющейся энергии и способом передачи ее к соседним слоям вещества. При горении энергия передается путем теплопередачи. Это сравнительно медленный процесс, поэтому и скорость горения может быть от долей сантиметра до десятков метров в секунду. При детонации жидких и порошкообразных ВВ энергия соседним слоям заряда передается детонационной волной, которая распространяется по ВВ со сверхзвуковой скоростью от 3 до 6 км/с. При взрыве грубодисперсных, гранулированных и водосодержащих ВВ взрыв по заряду распространяется в виде взрывного горения частиц за счет струй раскаленных газов, проникающих в прилегающие к зоне реакции слои ВВ.

ВВ делятся на две группы: бризантные (дробящие) и метательные (пороха).

Среди бризантных в особую группу выделяют инициирующие ВВ, обладающие высокой чувствительностью, которые применяют для изготовления средств инициирования (капсюлей-детонаторов, электродетонаторов, детонирующих шнуров).

Для их изготовления в горной промышленности используют следующие инициирующие ВВ: ртуть $\text{Hg}(\text{CNO})_2$, азид свинца PbN_6 , тринитрорезорцинат свинца (ТНРС) $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{O}_2\text{PbH}_2\text{O}$, тетрил $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_4\text{NCH}_3$, ТЭН $\text{C}_5\text{H}_3(\text{ONO}_2)_4$, гексоген $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6\text{O}_6$.

Промышленные (бризантные) ВВ предназначены для дробления, разрушения и перемещения окружающей среды. Это наиболее многочисленный класс ВВ. Промышленные ВВ выпускаются в виде химических соединений (однокомпонентные ВВ) или чаще механических смесей (многокомпонентные ВВ).

К ВВ типа химических соединений относятся следующие основные вещества: тротил $\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$, тринитрофенол (пикриновая кислота) $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{OH}$, глициринтринитрат (нитроглицерин) $\text{C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3$, нитродиглицоль (нитроглицоль) $\text{C}_2\text{H}_4(\text{ONO}_2)_2$, гексоген. Эти ВВ используются также в качестве компонентов смесевых промышленных ВВ. В качестве ВВ используют также омасленные бездымные пороха (гранипоры).

Метательные ВВ (дымные пороха) применяются для отбойки штучного камня, когда надо отколоть блок от массива с минимальным дробящим эффектом.

По физическому состоянию различают следующие разновидности промышленных ВВ: порошкообразные, прессованные, литые, гранулированные (чешуйчатые), водосодержащие суспензионные, льющиеся, горячельющиеся (твердеющие), эмульсионные.

Компоненты гранулированных ВВ имеют размер гранул 1—3 мм или чешуек того же размера. Водосодержащие ВВ имеют за счет добавки воды с загустителем слаботекущую медообразную суспензионную консистенцию, льющиеся ВВ имеют легкоподвижную консистенцию, допускающую их транспортировку по шлангам. Горячельющиеся ВВ в горячем состоянии имеют легкоподвижную консистенцию и твердеют при нормальной температуре. Эмульсионные ВВ имеют сметанообразную морозоустойчивую консистенцию.

4.4. ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВВ

В горном деле применяются индивидуальные (однокомпонентные) и смесевые ВВ.

Индивидуальные ВВ — химические соединения (нитроглицерин, тротил, ТЭН, гексоген и т.п.) содержат в своем составе все элементы, необходимые для нормального протекания химической реакции взрыва.

Смесевые ВВ состоят из двух или нескольких компонентов, каждый из которых выполняет определенные задачи. В состав смесевых ВВ вводятся следующие компоненты:

окислители — вещества, содержащие избыточный кислород, идущий при взрыве на окисление горючих элементов. В качестве окислителя применяют аммиачную, калиевую и натриевую селитры, перхлораты калия и аммония и т.д.;

горючие добавки — твердые или жидкие вещества, богатые углеродом и водородом, — это древесная мука, соляровое или минеральные масла или пудры (порошки) легкоокисляющихся и выделяющих при этом большое количество тепла металлов (алюминий, магний, ферросилиций и др.). Горючие добавки вводятся в состав ВВ для увеличения количества тепла, выделяемого при взрыве. Роль горючих добавок выполняют также взрывчатые компоненты (тротил, гексоген и т.д.), содержащие в своем составе недостаточное количество кислорода для полного окисления содержащихся в них горючих элементов. При этом часть углерода, выделяемого при взрыве таких ВВ в виде оксида, в свободном состоянии или в виде горючих соединений, реагирует с избыточным кислородом окислителя, повышая теплоту и общую энергию взрыва;

сенсibilизаторы — вещества, вводимые в состав ВВ для повышения его чувствительности к начальному импульсу и передаче детонации. Это, как правило, мощные ВВ (тротил, гексоген, нитроглицерин), которые в смеси с малочувствительными ВВ (аммиачная селитра и т.п.) и с невзрывчатыми веществами (соляровое или минеральные масла, древесная или хлопковая мука) обеспечивают нормальную чувствительность такого смесевого ВВ к инициированию ее капсюлем-детонатором, электродетонатором или детонирующим шнуром и одновременно повышают энергетические характеристики этого смесевого ВВ.

Роль сенсibilизатора в бестропиловых ВВ (динамоны, игданиты, гранулиты) могут выполнять (при определенном процентном содержании) и невзрывчатые горючие добавки: соляровое масло, древесная мука, алюминиевая пудра;

стабилизаторы — вводятся в состав ВВ для повышения их химической и физической стойкости. В качестве стабилизатора используют мел и соду для поглощения остатков кислот в динамитах, древесную жмыховую и хлопковую муку для предотвра-

щения слеживаемости в динамонах. Последние стабилизаторы также выполняют роль горючих добавок, повышают стабильность свойств ВВ.

В водосодержащих и эмульсионных ВВ роль стабилизаторов выполняют хромовые квасцы для загущения акваторов, различные эмульгаторы для создания устойчивых обратных эмульсий в ЭВВ (порэмнты, сибириты, эмульсолиты).

Роль стабилизатора в водоустойчивых граммонитах выполняет тротил, напыленный на гранулы аммиачной селитры, а в водоустойчивых алюмосодержащих гранулитах — термоплавый восковой состав, наносимый на поверхность гранул селитры и закрепляющий на гранулах частицы алюминия;

флегматизаторы — легкоплавкие вещества, масла, имеющие высокую теплоемкость и высокую температуру вспышки, обволакивающие частицы чувствительного ВВ и не вступающие с ним в реакцию. Введение флегматизаторов снижает чувствительность ВВ и обеспечивает более безопасные условия его применения.

В качестве флегматизатора используют вазелин, парафин, различные масла, тальк и т.д. Так, перед изготовлением промышленных ВВ с добавками гексогена его флегматизируют добавлением 5 % расплавленного парафина.

Пламегасители вводятся в состав только предохранительных ВВ для снижения температуры взрыва, чем уменьшается вероятность воспламенения метана и угольной пыли в шахтах. В качестве пламегасителей применяют хлористый натрий, хлористый калий, хлористый аммоний и т.д.

Пламегасители, не участвуя в реакции при взрыве, поглощают часть тепла на свое нагревание и испарение, за счет чего снижается температура газов взрыва. Кроме того, они играют роль отрицательных катализаторов (ингибиторов), которые задерживают реакцию воспламенения метана горячими газами взрыва.

4.5. КИСЛОРОДНЫЙ БАЛАНС, ЯДОВИТЫЕ ГАЗЫ ВЗРЫВА И РЕАКЦИИ ПРЕВРАЩЕНИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Состав газов, выделяющихся при взрыве, зависит от химического состава ВВ, его кислородного баланса и условий взрыва.

Кислородный баланс характеризуют выраженным в процентах отношением избытка или недостатка кислорода в составе ВВ по сравнению с количеством, необходимым для полного окисления всех горючих элементов этого ВВ, к массе ВВ.

Различают нулевой, положительный и отрицательный кислородный баланс.

Кислородный баланс считается нулевым, если в составе ВВ содержится количество кислорода, необходимое для полного окисления горючих элементов. Такое соотношение компонентов называют стехиометрическим. Если в составе ВВ не хватает кислорода для полного окисления горючих элементов, то такое ВВ имеет отрицательный, а при избытке кислорода — положительный кислородный баланс.

При взрыве ВВ с нулевым кислородным балансом образуются в основном пары воды, углекислоты, свободный азот, оксид алюминия и минимальное количество ядовитых газов. В этом случае выделяется максимальное количество энергии. При взрыве ВВ с недостатком кислорода образуется ядовитый оксид углерода СО. Образование этого соединения идет с меньшим выделением тепла (112 кДж/г-моль), чем при образовании диоксида углерода (396 кДж/г-моль). При взрыве ВВ с избытком кислорода последний образует с азотом весьма ядовитые оксиды NO, NO₂, N₂O₃. Реакции образования оксидов азота идут с поглощением тепла (эндотермичны). Таким образом, ВВ с отрицательным и положительным кислородным балансом обладают меньшей теплотой взрыва, чем ВВ с нулевым балансом.

Состав газообразных продуктов взрыва зависит не только от химического состава ВВ, но и от оболочки патронов ВВ, условий взрывания заряда (степени ограничения пространства, в котором расположен заряд, влажности ВВ) и свойств породы, влияющих на протекание вторичных химических реакций взрыва. Плохая забойка зарядов, наличие воздушных промежутков между патронами увеличивают выделение ядовитых газов. При взрывании угля CO_2 может переходить в CO , взрывы серосодержащих руд приводят к образованию сернистых газов и сероводородов. Калийные руды и апатитонепелиновые связывают оксиды азота, молибденовые и медные связывают оксид углерода. Чем выше коэффициент крепости взрываеваемых пород, тем больше образуется оксида углерода и меньше оксидов азота.

Бумажная парафиновая оболочка патронов участвует в реакции взрыва, понижая кислородный баланс. Поэтому установлено, что масса бумажной оболочки должна быть не более 2 г, а парафина не более 3 г на 100 г ВВ.

Для подземных работ применяют ВВ только с кислородным балансом, близким к нулевому ($\pm 3\%$). Для взрывания на земной поверхности могут применяться ВВ как с положительным, так и с отрицательным кислородным балансом.

Отравляющее действие оксида углерода CO (угарный газ) 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 кислородное голодание. При больших концентрациях CO ($>1\%$) быстро наступает смерть. Предельно допустимая концентрация CO в атмосфере шахт 0,0016 % по объему.

Оксиды азота NO , NO_2 , N_2O_3 при вдыхании в легких образуют, вступая в реакцию с водой, азотную и азотистую кислоты, действие которых приводит к отеку легких и смерти. Особенную опасность оксиды азота представляют из-за того, что они способны накапливаться в организме в течение 4—6 ч. Поэтому по токсическому действию они считаются в 6,5 раза более ядовитыми, чем оксид углерода, и предельно допустимая концентрация в атмосфере шахт составляет 0,0002 % по объему.

Кроме этих газов при взрыве могут образовываться сероводород H_2S , сернистый ангидрид SO_2 , хлор, при вдыхании которых происходит острое раздражение дыхательных путей и отек легких. По токсичности эти газы считаются в 2,5 раза более ядовитыми, чем оксид углерода. Кроме того, при взрыве детонаторов в атмосфере появляются особо ядовитые пары и аэрозоли ртути или свинца, входящие в состав инициирующих ВВ, а свинец, кроме того, входит в состав электровоспламенителей и замедляющих составов ЭД.

Кислородный баланс наиболее просто определяется выраженным в процентах отношением грамм-атомной массы избытка или недостатка кислорода к грамм-молекулярной массе ВВ.

Расчет кислородного баланса смесового ВВ производится суммированием произведений доли каждого компонента на его кислородный баланс.

Кислородный баланс некоторых компонентов и ВВ приведен в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Физико-химические характеристики некоторых компонентов промышленных ВВ и продуктов реакций взрыва

Вещество	Химическая формула	Атомная или молекулярная масса	Кислородный баланс, %	Теплота образования при постоянном объеме, $\frac{\text{кДж}}{\text{г} \cdot \text{моль}}$
Алюминий	Al	27	-89,0	—
Аммиачная селитра	NH_4NO_3	80	+20,0	355
Бумага (оболочка патронов)	—	—	-130,0	—
Гексоген	$\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6\text{O}_6$	222	-21,6	-88
Гремучая ртуть	$\text{Hg}(\text{CNO})_2$	284	-11,3	-275
Динитроглицерин	$\text{C}_2\text{H}_6(\text{ONO}_2)_2$	152	0	233
Динитронафталин	$\text{C}_{10}\text{H}_6(\text{NO}_2)_2$	218	-139,4	-395
Калиевая селитра	KNO_3	101	+39,6	490
Калия хлорат	KClO_3	122,5	+39,6	390

Окончание табл. 4.1

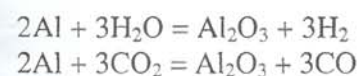
Вещество	Химическая формула	Атомная или молекулярная масса	Кислородный баланс, %	Теплота образования при постоянном объеме, кДж/г·моль
Калия перхлорат	KClO ₄	138,5	+46,2	440
Керосин	—	—	-343,0	—
Клетчатка	C ₆ H ₁₀ O ₅	162	-118,5	965
Магний	Mg	24,3	-65,8	—
Мука злаков	C ₁₅ H ₂₂ O ₁₁	381	-132,0	—
Мука древесная	C ₁₅ H ₂₂ O ₁₀	362	-137,0	19600
Натриевая селитра	NaNO ₃	85	+47,0	493
Натрия хлорат	NaCl	106,5	+45,0	350
Натрия перхлорат	NaClO ₄	122,5	+52,2	390
Нитроглицерин	C ₃ H ₅ (NO ₂) ₃	122	+3,5	350
Нитроклетчатка (коллоидная)	C ₂ C ₄ H ₃₁ N ₉ O ₃₈	1105,3	-38,7	2760
Нитроклетчатка (пироксилин)	C ₂₄ H ₂ C ₉ N ₁₁ O ₄₂	1143	-28,6	2400
Октоген	C ₄ H ₈ N ₈ O ₈	296	-21,6	—
Парафин (твердый)	C ₂₄ H ₅₀	338,5	-346,0	46500
Пикриновая кислота	C ₆ H ₂ (NO ₂) ₃ OH	229	-45,4	288
Тетранитрометан	C(NO ₂) ₄	196	+49,0	-35
Тетрил	C ₆ H ₂ (NO ₂) ₄ NCH ₃	287	-47,4	-41,5
Тротил	C ₆ H ₂ (NO ₂) ₃ CH ₃	227	-74,0	73,5
ТЭН	C ₅ H ₈ (NO ₂) ₄	316	-10,1	540
Углерод (аморфный)	C	12	-266	34000
Вода (газ)	—	18	—	240
(жидкость)	H ₂ O	18	—	283
Оксид алюминия	Al ₂ O ₃	102	—	1660
Оксид кальция	CaO	56	—	630
Оксид азота	NO	30	—	91
Оксид углерода (газ)	CO	28	—	116
Углекислота (газ)	CO ₂	44	—	395
Целлюлоза	C ₁₀ H ₆ O ₆	162	—	950

Истинные реакции взрывчатого превращения ВВ составить практически невозможно из-за многообразия факторов, влияющих на их протекание. Поэтому принят упрощенный прием составления реакций взрыва, согласно которому все ВВ делятся на три группы:

♦ ВВ с количеством кислорода, достаточным (избыточным) для полного окисления всех горючих элементов. В этом случае весь водород превращается в воду, углерод в диоксид углерода (например, реакция разложения динитрогликоля — табл. 4.2);

♦ ВВ с количеством кислорода, достаточным для полного газообразования. При этом принимается, что кислород сначала окисляет весь водород и воду, углерод в оксид углерода, а затем оставшийся кислород образует с частью оксида углерода диоксид углерода (например, реакция разложения ТЭНа — табл. 4.2).

При взрыве алюмосодержащих ВВ с нулевым кислородным балансом образуется твердый оксид алюминия Al₂O₃, а при отрицательном — он образуется в результате вторичных реакций алюминия с водой и диоксидом углерода:



♦ ВВ с количеством кислорода, недостаточным для полного газообразования. В этом случае водород полностью окисляется в воду, оставшимся кислородом окисляется часть углерода в оксид углерода и выделяется свободный углерод (например, реакция разложения тротила — табл. 4.2).

Таким образом, зная элементарный состав ВВ с нулевым или положительным кислородным балансом, можно легко составить реакцию его взрывчатого разложения в виде

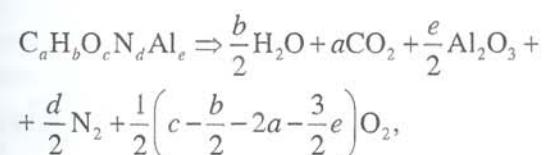


Таблица 4.2

Характеристика взрывчатых превращений некоторых ВВ

ВВ	Молекулярная масса	Реакция взрывчатых веществ	Кислородный баланс, %	Объем газов взрыва, л/кг	Температура взрыва, °С	Теплота взрыва, кДж/кг
Нитроглицерин	227	$4C_3H_5(ONO_2)_3 = 10H_2O + 12CO_2 + 6N_2 + O_2$	+3,5	715	4100	6500
Нитроглицерин	152	$C_2H_4(ONO_2)_2 = 2H_2O + 2CO_2 + N_2$	0	738	4200	7100
Тротил	227	$2C_6H_2(NO_2)_3CH_3 = 5H_2O + 7CO + 7C + 3N_2$	-74,0	750	2950	3450
Аммиачная селитра	80	$2NH_4NO_3 = 4H_2O + 2N_2 + O_2$	+20,0	980	1950	1420
Динитро-нафталин	218	$C_{10}H_6(NO_2)_2 = 3H_2O + CO + 2N_2 + 9C$	-129,4	750	2500	2500
Коллоидный хлопок	1053	$C_{22,5}H_{28,8}O_{36,1}N_{8,7} = 14,4H_2O + 21,7CO + 0,8C + 4,35N_2$	-33,6	936	250	3400
Гексоген	222	$C_3H_6N_6O_6 = 4H_2O + 3CO + 3N_2$	-21,6	890	3800	5700
ТЭН	316	$C_5H_8(ONO_2)_4 = 4H_2O + 3CO_2 + 2CO + 2N_2$	-10,2	790	4000	5910
Тетрил	287	$2C_6H_6(NO_2)_4CH_3N = 9H_2O + 6CO + 8C + 5N_2$	-47,4	740	3900	4900

а кислородный баланс такого ВВ молекулярной массой M вычисляется по формуле

$$K_6 = \frac{c - \left(2a + \frac{b}{2} + \frac{3}{2}e \right)}{M} \cdot 16 \cdot 100 \%$$

Аналогично составляют приближенные уравнения реакций взрыва для двух других случаев.

4.6. ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ ДЕТОНАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВВ

Для оценки особенностей процесса детонации ВВ сравним это явление с процессами горения различных химических соединений. Так, смесь водорода или метана с кислородом способна сгорать со скоростью 10—20 м/с. При воспламенении слабой искрой в стеклянной трубке смеси этих газов горение распространяется с такой небольшой скоростью. Сильная искра или взрыв небольшого заряда вызовет совсем другое явление: пламя в трубке распространяется по газу со сверхзвуковой скоростью (около 2,0 км/с). В этом случае происходит детонация (взрыв) газовой смеси.

Известно, что обычное пламя передается от одного участка газа к соседнему за счет процесса теплопроводности и диффузии. Скорость горения (распространения пламени) всегда значительно меньше скорости звука.

Скорость детонации, наоборот, всегда больше скорости звука и в сто и более раз превышает скорость горения. Детонация — это сложное газодинамическое явление, детали которого в настоящее время недостаточно хорошо изучены, но в целом оно объясняется распространением ударных волн по массе ВВ. Ударная волна в массе ВВ возбуждается однократным начальным импульсом от внешнего источника, которым чаще всего является взрыв КД и ЭД.

В настоящее время общепризнанной для порошкообразных ВВ является теория детонации, разработанная в основном французскими и советскими учеными.

Согласно этой теории распространение взрыва по ВВ обусловлено распространением по нему ударной волны, создающей в очень узком слое скачкообразное изменение всех термодинамических параметров ВВ: давления, плотности, температуры. При этом за фронтом волны происходит мгновенное разогревание частиц ВВ и пузырьков газа между ними, за счет чего возникает интенсивная экзотермическая химическая реакция, энергия которой поддерживает распространение ударной волны по ВВ и его детонацию.

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 порядки и более превышающие прочность вещества 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.

Продукты взрыва детонаторов производят резкий удар по прилегающему к нему слою ВВ и формируют ударную волну, распространяющуюся в виде однократного скачка уплотнения по массе заряда ВВ, имеющую следующие особенности:

- ♦ скорость ее распространения всегда выше скорости звука в данной среде (заряде ВВ);
- ♦ на фронте волны происходит скачкообразное изменение давления, плотности и температуры (рис. 4.1);
- ♦ частицы среды (продукт взрыва) движутся вслед за фронтом ударной волны;
- ♦ скорость ударной волны зависит от величины давления (амплитуды) на фронте волны.

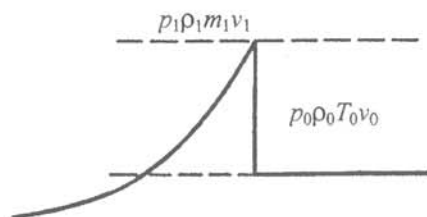


Рис. 4.1. Изменение параметров среды при прохождении ударной волны

4.7. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ УДАРНЫХ ВОЛН

Для лучшего понимания процесса детонации рассмотрим основные положения теории ударных волн, разработанной А.И. Седовым, Я.Б. Зельдовичем, А.С. Компанейцем, а также зарубежными учеными Гюгонио, Чепменом и Жуге.

Формирование и характер распространения ударных волн определяются фундаментальными законами физики о сохранении массы вещества, об изменении количества движения и энергии частицы.

Применим эти законы для рассмотрения наиболее простого случая — распространения плоской ударной волны в трубе, заполненной газом.

Допустим, что по трубе сечением S , заполненной газом, движется поршень с постоянной скоростью v_w (рис. 4.2). Движущийся поршень создает в газе возмущение. Поскольку возмущение передается в среде с конечной скоростью, то перед поршнем образуется область сжатого газа, заключенная между поверхностью поршня и некоторой плоскостью AA_1 . Сжатый поршнем газ движется со скоростью v_y , а фронт области сжатия, поскольку он захватывает все новые порции газа, движется с некоторой скоростью относительно невозмущенного газа. Будем считать, что движение поршня происходит так быстро, что сжатый газ не успевает отдавать тепло невозмущенному газу и стенкам трубы, а саму трубу — абсолютно жесткой. Обозначим через p_0 , ρ_0 и T_0 соответственно давление, плотность и температуру газа в исходном невозмущенном состоянии, а через p_1 , ρ_1 и T_1 — давление, плотность и температуру сжатого газа. Предположим, что поршень движется время t , в течение которого он пройдет путь $v_w t$.

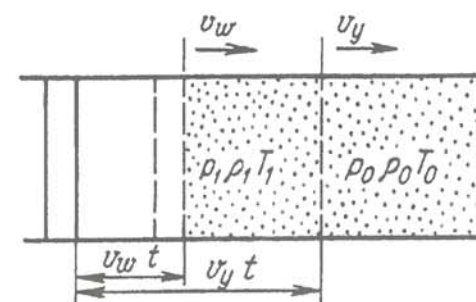


Рис. 4.2. Расчетная схема вывода основных уравнений плоских ударных волн

Фронт AA_1 пройдет путь $v_y t$, длина сжатого участка газа будет равна $(v_y - v_w)t$, его объем — $(v_y - v_w)tS$, а масса — $\rho_1(v_y - v_w)tS$. Этот же газ в исходном состоянии занимал объем $v_y tS$, а масса его перед сжатием составляла $v_y tS\rho_0$. Поскольку в процессе сжатия масса вещества не изменилась, то закон сохранения массы для данного случая может быть записан в виде

$$\rho_0 v_y tS = \rho_1 (v_y - v_w) tS,$$

или

$$\rho_0 v_y = \rho_1 (v_y - v_w).$$

Сжатая масса газа движется со скоростью v_w и количество движения для этой массы будет равно $\rho_0 v_y S t v_w$. По второму закону Ньютона произведение массы на изменение скорости равно импульсу силы, т.е. произведению силы на время ее действия.

На сжимаемый газ действует сила $(p_1 - p_0)S$, а импульс силы будет равен $(p_1 - p_0)St$.

Закон сохранения количества движения в рассматриваемом случае можно записать в виде:

$$\text{или } (p_1 - p_0)St = \rho_0 v_y S t v_w.$$

$$p_1 - p_0 = \rho_1 v_y v_w,$$

$$\text{или } v_w = \frac{p_1 - p_0}{\rho_0 v_y}.$$

Отсюда следует, что при $p_1 > p_0$, т.е. при сжатии газа поршнем v_y и v_w одного знака. Поэтому принятая схема движения газа под действием поршня справедлива, а $v_y > v_w$.

Подставив последнее значение v_w в уравнение $\rho_0 v_y = \rho_1 (v_y - v_w)$, получим

$$\rho_0 v_y = \rho_1 \left(v_y - \frac{p_1 - p_0}{\rho_0 v_y} \right),$$

или

$$\rho_0 (\rho_1 - \rho_0) v_y^2 = \rho_1 (p_1 - p_0).$$

Отсюда

$$v_y^2 = \frac{\rho_1}{\rho_0} \frac{p_1 - p_0}{\rho_1 - \rho_0},$$

$$v_w^2 = (p_1 - p_0) \left(\frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_1} \right).$$

Вводя вместо плотности удельный объем $v_0 = \frac{1}{\rho_0}$ и $v_1 = \frac{1}{\rho_1}$,

т.е. объем единицы массы, получим

$$v_y^2 = v_0^2 \frac{p_1 - p_0}{v_0 - v_1},$$

$$v_w^2 = (p_1 - p_0)(v_0 - v_1).$$

Используем теперь теорему об изменении энергии частиц сплошной среды для определения изменения внутренней энергии частиц вещества при прохождении по ним ударной волны. Пусть E_0 и E_1 — удельная внутренняя энергия, т.е. внутренняя энергия единицы массы газа соответственно в невозмущенном и в сжатом состоянии. При этом под удельной внутренней энергией единицы массы понимается ее тепловая энергия и энергия сжатия.

Кинетическая энергия единицы массы сжатого газа равна $\frac{v_w^2}{2}$, масса сжатого газа $\rho v_y St$, и тогда величина полного изменения энергии возмущенной части газа при сжатии составит

$$\rho_0 v_y S t \left(E_1 - E_0 + \frac{v_w^2}{2} \right).$$

Величина этого изменения энергии должна быть равна работе силы $F_1 = p_1 S$, приложенной со стороны поршня к возмущенному газу, на пути $v_w t$.

Отсюда уравнение энергии будет иметь вид

$$\rho_0 v_y S \left(E_1 - E_0 + \frac{v_w^2}{2} \right) = p_1 S v_w t,$$

или

$$\rho_0 v_y \left(E_1 - E_0 + \frac{v_w^2}{2} \right) = p_1 v_w.$$

Введя удельные объемы, получим известное уравнение Гюгонио

$$E_1 - E_0 = \frac{p_1 - p_0}{2} (v_0 - v_1).$$

В общем случае внутренняя энергия для однородной сплошной среды является функцией давления p , удельного объема v и некоторых других параметров. Для совершенного газа удельную внутреннюю энергию определим по формуле

$$E_1 = c_v T + E_0 = \frac{c_p}{c_p - c_v} \frac{p_1}{\rho_1} + E_*,$$

где c_p и c_v — удельные теплоемкости; E_* — некоторая постоянная для данного газа величина.

Подставив последнее уравнение в предыдущее, получим

$$K (p_1 v_1 - p_0 v_0) = \frac{p_1 - p_0}{2} (v_0 - v_1),$$

где $K = -\frac{c_p}{c_p - c_v}$. Здесь p_0, v_0 — постоянные параметры;

p_1, v_1 — переменные величины.

Последнее соотношение определяет связь между p_1 и p_0 или между p_1 и v_1 за скачком за фронтом ударной волны и называется адиабатой Гюгонио. Это уравнение есть непрерывная, плавная кривая, но реальным процессам — ударным волнам — на ней соответствуют только две точки: p_0, v_0 — начальные значения этих параметров газа (до ударной волны) и p_1, v_1 — конечные значения этих параметров (за ударной волной). В этом первое главное отличие адиабаты Гюгонио от обычных адиабат Пуассона, которые для совершенного газа имеют вид

$$p_1 = p_0 \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} \right)^\gamma, \text{ где } \gamma = \frac{c_p}{c_v}. \text{ Всякому реальному процессу на адиа-}$$

бате Пуассона соответствуют две точки, расположенные между $p_0 v_0$ и $p_1 v_1$, т.е. при переходе из состояния $p_0 v_0$ в $p_1 v_1$ газ последовательно проходит все промежуточные состояния, а при прохождении по газу ударной волны он до ударной волны находится в состоянии $p_0 v_0$, а за ней в состоянии $p_1 v_1$. Во всех промежуточных состояниях газ не находится.

Таким образом получаем, что приведенные соотношения позволяют полностью рассчитать термодинамические параметры газа за ударной волной, если известно его начальное состояние и скачок какого-нибудь параметра после прохождения фронта ударной волны.

4.8. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ДЕТОНАЦИИ ВВ

Фронт детонационной волны I (рис. 4.3) представляет собой сильную ударную волну, которая разрушает молекулы ВВ. Освободившись от первоначальных связей, нагретые до

высокой температуры атомы горючих элементов и кислорода вступают в зоне за фронтом волны в быструю (мгновенную) химическую реакцию с выделением тепла и превращением ВВ в газообразное состояние. Фронт детонационной волны движется со скоростью нескольких километров в секунду. За фронтом ударной волны 2 движется фронт расширения продуктов взрыва 3, а к центру (оси) заряда — фронт волны разрежения 4. Условия стабильности процесса детонации обеспечиваются наличием зоны нерасширившихся газов 5. Толщина фронта ударной детонационной волны не превышает длины одного свободного пробега молекулы ($10^{-5} - 10^{-6}$ см), однако зона реакции значительно шире фронта волны. Так, для аммонита 6ЖВ она равна 0,4 см, а для граммонита 79/21 — 3—4 см.

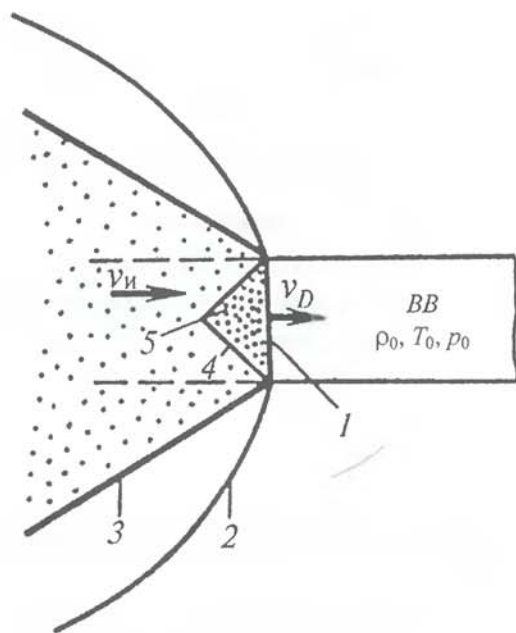


Рис. 4.3. Схема протекания детонации заряда ВВ

Детонационная волна скачкообразно переводит начальное состояние вещества с давлением p_0 и удельным объемом v_0 (см. рис. 4.1) в состояние $p_1 v_1$ (точка А адиабаты Гюгонио). В сжатом веществе начинается химическая реакция. На адиабате Гюгонио состояние в точке А ($p_1 v_1$) соответствует фронту стационарной детонационной волны, которая перемещается со скоростью v_d . Поскольку детонация стабильна, то и все зоны за фронтом также перемещаются со скоростью фронта. Следовательно, вещество в зонах проходит состояния, которые лежат на прямой Михельсона:

$$p_1 = p_0 + \frac{v_d^2}{v_0^2} (v_0 - v_1).$$

Если в зоне за фронтом выделилось некоторое количество тепла и изменилось состояние вещества, то она уже будет описываться адиабатой, лежащей выше исходной, например адиабатой 2 (рис. 4.4).

Адиабата Гюгонио для конечных продуктов реакции должна лежать выше всех промежуточных адиабат, поскольку к этому моменту выделилась вся энергия реакции взрыва.

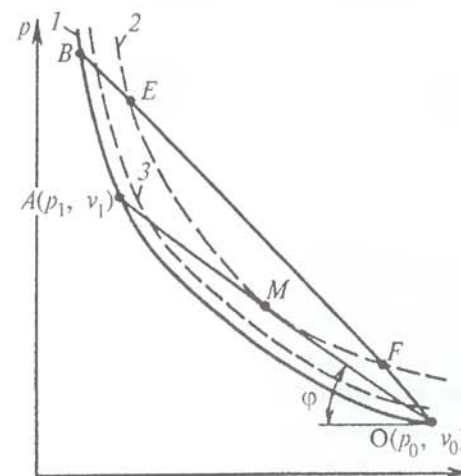


Рис. 4.4. Изменение состояния выделения энергии при взрыве и продуктов детонации

Такой адиабатой может являться только кривая 3. Она не может проходить выше прямой OA для детонации со скоростью v_d , так как точка, отвечающая конечному состоянию продуктов детонации, должна лежать на этой прямой. Поэтому возможны только два варианта: либо прямая Михельсона касается адиабаты конечных продуктов (прямая OA), либо она должна быть одной из секущих, пересекающих адиабату 3 в точках E и F . Для устойчивой детонации возможен лишь первый случай. Точка касания (точка M) прямой Михельсона OA с адиабатой конечных продуктов называется точкой Жугэ. В точке Жугэ все вещество прореагировало, вся энергия выделилась, продукты максимально расширились ($v_2 > v_1$) и давление достигло минимального значения ($p_2 < p_1$). Вещество, проходя состояние, приближающееся к точке M , описывается другими адиабатами с меньшим тепловым эффектом.

Условие касания адиабаты 3 прямой Михельсона:

$$\frac{p_2 - p_0}{v_0 - v_2} = - \left(\frac{dp}{dv} \right)^2.$$

Совпадение касательных к адиабатам Гюгонио и Пуассона означает, что

$$\left(\frac{dp}{dv} \right)^2 = \left(\frac{dp}{dv} \right)^s,$$

поэтому

$$\left(\frac{p_2 - p_0}{v_0 - v_2} \right)^2 = - \left(\frac{dp}{dv} \right)^s.$$

С учетом изложенного

$$v_d = v_0 \sqrt{\frac{p_1 - p_0}{v_0 - v_1}} = v_0 \sqrt{\frac{p_2 - p_0}{v_0 - v_2}} = v_0 \sqrt{- \left(\frac{dp}{dv} \right)^s}.$$

Учитывая равенство $\frac{1}{\rho} = v$, можно записать:

$$v_0 = \frac{v_d}{v_d - v_{w_2}},$$

где v_{w_2} — скорость движения вещества в точке M .

Исключая v_0 , получим скорость движения фронта детонационной волны относительно продуктов, у которых скорость движения v_{w_2} :

$$v_d - v_{w_2} = v_2 \sqrt{\frac{p_2 - p_0}{v_0 - v_2}} = v_2 \sqrt{- \left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right)^s} = c_2, \text{ м/с},$$

где c_2 — «местная» скорость звука в продуктах реакции.

Таким образом, $v_d = v_{w_2} + c_2$.

Предположим, что переход к адиабате конечных продуктов осуществляется по прямой BF . В точке E «местная» скорость звука $c_E > (v_d - v_{w_2})$. Так как вслед за детонационной волной идет волна разряжения с местной скоростью звука, то она догонит детонационную волну, снизит амплитуду давления и скорость ее распространения. Детонационная волна в этом случае не будет иметь постоянных параметров и, следовательно, такое предположение не может иметь места.

Секущая OB пересекается с адиабатой еще в точке F , опускаясь по прямой из точки B через состояние точки E . Но в точке E выделилась вся энергия реакции, а для смещения вправо от адиабаты 3 нужен дополнительный подвод энергии. Таким образом, остается единственное допущение, что прямая Михельсона касается адиабаты конечных продуктов. В этом случае волна разряжения распространяется с той же скоростью, что и фронт детонационной волны относительно продуктов, а скорость детонации минимальна.

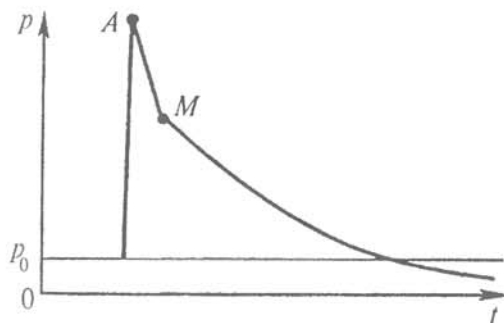


Рис. 4.5. Структурная схема детонационной волны

Процесс детонации характеризуется следующим образом. Сильная ударная волна сжимает узкий слой ВВ от начального состояния $p_0 v_0$ в соответствии с ударной адиабатой Гюгонио до состояния $p_1 v_1$ (где $p_1 \geq p_0$). В веществе начинается бурная мгновенная реакция: выделяется тепло, снижается давление, увеличивается удельный объем. Через время t реакция заканчивается, и вещество переходит в состояние, соответствующее точке Жугэ на адиабате конечных продуктов. В этой точке $p_2 = 1/2 p_1$;

$$v_{w_2} = 1/2 v_{w_1}; \quad c_2 = v_d - v_{w_2}.$$

Головная часть детонационной волны называется химическим пиком (участок AM на рис. 4.5). При этом энергия, выделяющаяся при реакции, догоняет фронт ударной волны и подпитывает его, не давая затухнуть. Время химической реакции за фронтом детонационной волны весьма мало: для порошкообразных тротила — 1 мкс, гексогена — 0,1 мкс, аммиачной селитры — 30 мкс.

4.9. ОСОБЕННОСТИ ДЕТОНАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВВ

Плотность продуктов детонации промышленных ВВ достигает 2 г/см^3 , уравнение их состояния неизвестно, а скорость детонации достигает 6 км/с , что в несколько раз превышает ско-

рость детонации газов. Давление газов взрыва p определяют с помощью уравнения Ван-дер-Ваальса для «реальных» газов, которое учитывает собственный объем молекул (коволем):

$$p = \frac{RL}{v - \alpha}.$$

Это уравнение применяется во внутренней баллистике и дает удовлетворительные результаты, когда плотность ВВ не превышает $0,5 \text{ г/см}^3$. Л.Д. Ландау и К.П. Станюкович рассматривали продукты детонации в виде кристаллической решетки твердого тела, атомы и молекулы в которой обладают двумя видами энергии: упругой, вследствие сил взаимодействия между ними и колебательной, вследствие тепловой энергии колебания около положения равновесия (которой в расчетах можно пренебречь).

Тогда, приняв, что скорость детонации зависит лишь от плотности ВВ и не зависит от температуры, можно из приведенного уравнения, пренебрегая величиной p_0 , получить

$$p_2 = v_d^2 \frac{v_0 - v_2}{v_0^2},$$

или

$$p_2 = v_d^2 \frac{\rho_0 (\rho_2 - \rho_0)}{\rho_2}.$$

Установлено, что зависимость скорости детонации от плотности ВВ имеет вид

$$v_d = A \rho_0.$$

Приняв, что плотность продуктов детонации пропорциональна начальной плотности ВВ ($\rho_2 = h \rho_0$), последнее уравнение запишем в виде

$$p_2 = A^2 \rho_0^2 \frac{(h \rho_0 - \rho_0)}{h \rho_0} = A^2 \frac{h-1}{h} \rho_0^3 = B \rho_0^3,$$

где $B = A^2 \frac{h-1}{h}$.

Давление p_2 можно выразить через ρ_2 в виде

$$p_2 = C\rho_2^3,$$

где $C = \frac{B}{h^3} = A^2 \frac{h-1}{h^4}$.

Константа h определяется из условия минимальной скорости детонации ВВ (прямая Михельсона касается адиабаты конечных продуктов в точке Жугэ).

Из приведенных уравнений получим

$$v_d^2 = \frac{p_2 \rho_2}{\rho_2 (\rho_2 - \rho_1)} = \frac{C \rho_2^4}{\rho_0 (\rho_2 - \rho_0)}.$$

Продифференцируем это выражение, приравняв его к нулю:

$$\frac{\partial v_d^2}{\partial \rho_2} = C \frac{\rho_0 (\rho_2 - \rho_0) 4\rho_2^3 - \rho_0 \rho_2^4}{\rho_0^2 (\rho_2 - \rho_0)^2} = 0.$$

Получим

$$\rho_0 (\rho_2 - \rho_0) 4\rho_2^3 - \rho_0 \rho_2^4 = 0,$$

или

$$p_2 = \frac{4}{3} \rho_0,$$

откуда

$$h = \frac{\rho_2}{\rho_0} = \frac{4}{3}.$$

Тогда

$$p_2 = \frac{1}{4} \rho_0 v_d^2,$$

и

$$v_{w_2} = \sqrt{p_2 \left(\frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_2} \right)} = \sqrt{\frac{1}{4} \left(1 - \frac{3}{4} \right) v_d^2} = \frac{1}{4} v_d.$$

Приведенные формулы позволяют рассчитать основные параметры идеальных детонационных волн и состояние продуктов взрыва некоторых ВВ.

Скорость детонации может быть определена в зависимости от энергетической характеристики ВВ:

$$v_d = \sqrt{2(k^2 - 1)Q_v},$$

где Q_v — теплота взрыва ВВ при постоянном объеме, кДж/кг.

Значение k для $Q_v = 4190$ кДж/кг в зависимости от начальной плотности:

ρ_0 , г/см ³	0,2	0,25	0,50	0,75	1,0	1,25	1,70
k	1,30	1,60	2,22	2,80	3,05	3,21	3,40

Из приведенных формул видно, что детонация является всегда сверхзвуковым процессом и ее величина непосредственно зависит от энергетических характеристик ВВ.

В 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, может иметь место для однородных мощных ВВ (гексоген, ТЭН) при скоростях детонации 6,0—7,0 км/с.

Промышленные ВВ являются физически и химически неоднородными системами, чем объясняются особенности их детонации по сравнению с классической теорией.

В промышленных ВВ могут содержаться высокоактивные индивидуальные ВВ, реагирующие в детонационной волне с большой скоростью (нитроглицерин, гексоген и менее активные, но с хорошо выраженными взрывчатыми свойствами (тротил); вещества со слабо выраженными взрывчатыми свойствами (аммиачная селитра, динитронафталин), разлагающимися при детонации со скоростью в 2—3 раза меньшей, чем мощные ВВ, горючие материалы, не обладающие взрывчатыми свойствами (алюминий, древесная мука, парафин и др.), и, наконец, совершенно инертные, не принимающие участие в реакциях и претерпевающие лишь переходы из твердого или жидкого состояния в газообразное (пламегасители, вода в водосодержащих ВВ). Поэтому химические реакции промышленных смесевых ВВ происходят в несколько стадий.

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

На детонационную способность промышленных ВВ существенно влияет равномерность размещения компонентов в заряде, так как общее время и полнота завершения реакций зависят не только от скорости сгорания отдельных частиц (первичные реакции), но и от скорости вторичных реакций, проходящих в газовой фазе и определяемых условиями смешивания продуктов первичного распада.

Чем меньше частицы разнородных компонентов и равномернее их распределение в объеме, тем быстрее завершается их сгорание, а также смешивание и взаимодействие продуктов сгорания.

Выполненные исследования позволяют предполагать, что химическая реакция в детонационной волне начинается и развивается в отдельных гранулах (частицах) ВВ и завершается подбодом вспышки. Если ВВ представляет собой смесь нескольких

компонентов, то на второй стадии продукты разложения гранул разнородных веществ взаимодействуют между собой. В производственных условиях при взрывании скальных пород скважинными зарядами $d = 150\text{—}200$ мм применяемые гранулированные и водосодержащие ВВ детонируют со скоростью, приближающейся к максимальной. При шпуровом взрывании этими ВВ скорость не достигает максимума, т.е. детонация протекает не в оптимальном режиме.

Из приведенного механизма детонации грубодисперсных ВВ ясно, что степень ограничения заряда (плотность заряжения, наличие качественной забойки) будет играть основную роль в развитии нормального режима детонации.

Приведенный механизм детонации грубодисперсных ВВ аналогичен ранее описанному А.Я. Апиным механизму взрывного горения для порошкообразных ВВ, согласно которому при детонации имеет место горение отдельных зерен, а их воспламенение происходит за счет адиабатического сжатия газовых включений в ВВ или за счет струй газов взрыва, проникающих между частицами ВВ (пробойно-струйчатый механизм детонации). Разработка теории детонации грубодисперсных смесевых ВВ продолжается.

4.10. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СКОРОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ ДЕТОНАЦИИ ЗАРЯДОВ ВВ

Установлено, что скорость детонации заряда ВВ зависит от характеристик самого ВВ (тип ВВ, его дисперсность, плотность ВВ в заряде), диаметра заряда и условий взрывания (наружный или внутренний заряд в шпуре или скважине, наличие забойки). Во всех случаях задача сводится к оценке устойчивости и скорости детонации, по сравнению с максимально достижимой или оценке величины критического диаметра заряда.

Диаметр и оболочка заряда. Для каждого ВВ можно найти два характерных диаметра заряда:

критический диаметр, при дальнейшем уменьшении которого детонация заряда ВВ становится неустойчивой, т.е. может происходить ее затухание. С увеличением диаметра заряда больше критического скорость детонации увеличивается до определенного значения диаметра, называемого *предельным*, при дальнейшем увеличении которого скорость детонации заряда ВВ не увеличивается (рис. 4.6). Влияние диаметра на скорость детонации заряда было впервые теоретически объяснено Ю.Б. Харитонов и развито в трудах Ф.А. Баума.

Высокое давление на фронте волны детонации вызывает интенсивное расширение продуктов детонации в стороны (см. рис. 4.3). Возникающие при этом волны разряжения будут распространяться в зону химической реакции и снижать давление и температуру продуктов взрыва, а следовательно, снижать скорость детонации за счет снижения величины энергии подпитки фронта волны детонации.

Характер протекания этого процесса зависит от соотношения ширины химической реакции l_p и диаметра заряда d .

Время химической реакции $\tau_1: \tau_1 = \frac{l_p}{v_d}$, а время прохожде-

ния волной разряжения расстояния до центра заряда $\tau_2 = \frac{l_p}{2v_p}$.

Здесь v_p — скорость волны разряжения, м/с. При $\tau_1 < \tau_2$ детонация затухает, так как начинается расширение продуктов взрыва до завершения химической реакции. При критическом диаметре должно соблюдаться условие $\tau_1 = \tau_2$, откуда

$$\frac{l_p}{v_d} = \frac{d}{2v_p},$$

а поскольку $v_d \approx 2v_p$, то $l_p = d$, т.е. критический диаметр приблизительно равен ширине зоны химической реакции в заряде.

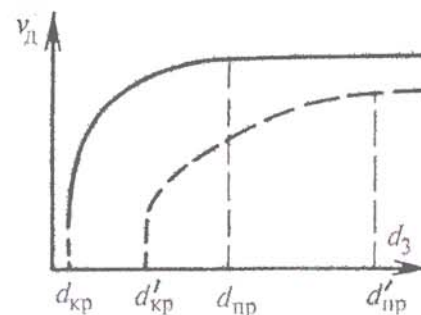


Рис. 4.6. Зависимость скорости детонации зарядов ВВ от их диаметра

Отсюда следует, что любое химическое соединение или смесь способны детонировать, если реакция их разложения экзотермична, а выделение энергии реакции во фронт детонационной волны достаточно для обеспечения распространения по существу детонационной волны с постоянными параметрами.

Таким образом, у грубодисперсных ВВ с широкой зоной химической реакции критический диаметр будет больше, чем у порошкообразных.

Если заряд окружен оболочкой, затрудняющей разлет продуктов взрыва, критический диаметр заряда уменьшается. Например, аммиачная селитра порошкообразная ($\rho = 1,0 \text{ г/см}^3$) при взрыве в стеклянной трубке имеет $d_{кр} = 100 \text{ мм}$, а в стальной трубке с толщиной стенок в 20 мм $d_{кр} = 7 \text{ мм}$.

Оболочка не оказывает заметного влияния на скорость детонации зарядов из однокомпонентных (индивидуальных) ВВ большой плотности и, наоборот, сильно сказывается на скорости детонации зарядов средней плотности, а также смесевых ВВ. На скорость детонации влияют главным образом инертные свойства оболочки и ее сжимаемость. При малых плотностях заряжания оказывает влияние на устойчивость детонации и прочность оболочки. Оболочка позволяет снизить величину критического диаметра, т.е. достигнуть устойчивой детонации при меньших диаметрах. При больших диаметрах (близких к предельным) скорости детонации открытых зарядов и зарядов в оболочках становятся примерно одинаковыми (см. рис. 4.6).

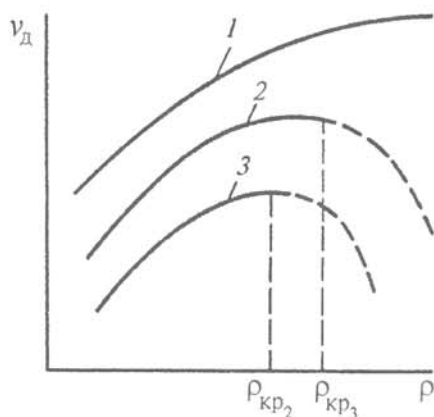


Рис. 4.7. Изменение скорости детонации открытого заряда при увеличении диаметра:

1, 2, 3 — $d_1 > d_2 > d_3$

Поэтому при применении ВВ в зарядах небольшого диаметра необходимо обеспечивать тщательное заполнение шпура ВВ, чтобы последний выполнял роль оболочки, а также делать качественную забойку заряда. При взрывах зарядов большого диаметра эти факторы меньше влияют на устойчивость детонации (рис. 4.7). Ниже (табл. 4.3) приведены величины критических диаметров открытых зарядов некоторых индивидуальных и смесевых ВВ.

Таблица 4.3

Критические диаметры некоторых ВВ

Тип ВВ	Критический диаметр, мм
Азид свинца	0,01—0,02
Гексоген	1,0—1,5
Тротил порошкообразный	8—10
Тротил гранулированный	5—10 (в прочной оболочке)
Аммонит 6ЖВ	10—12
Гранулит АС-8	70—100
Граммонит 79/21	40—60
Игданит	100—120
Ифзаниты	100—120

Окончание табл. 4.3

Тип ВВ	Критический диаметр, мм
Аммонит ПЖВ-20	12—14
Аммонит Т-19	10—12
Аммонит скальный № 1	5—6
Аммонит скальный № 3	8—10
Аммонал	12—14

Плотность ВВ по-разному влияет на скорость детонации для индивидуальных и смесевых ВВ. Для индивидуальных ВВ скорость детонации увеличивается с увеличением плотности до максимальных значений (рис. 4.8 — 1). Смесевые ВВ имеют критическую плотность 1,4—1,5 г/см³, при которой скорость детонации максимальна (рис. 4.8—2, 3). При дальнейшем увеличении плотности детонация в заряде прекращается.

Это происходит за счет того, что при изменении плотности ВВ химическое превращение компонентов ВВ и химическое взаимодействие продуктов взрыва изменяются, за счет чего ухудшаются условия протекания химических реакций. Так, при сильном уплотнении аммиачная селитра в аммонитах ведет себя как инертное вещество и, поглощая энергию, делает невозможным распространение детонации по заряду (рис. 4.9). При наличии большого процента мощного компонента в составе ВВ (тротил, гексоген) можно достичь такого уплотнения, что детонация будет распространяться в заряде только по этому компоненту, за счет чего произойдет увеличение скорости детонации. При большом диаметре заряда или размещении его в оболочке критическая плотность ВВ увеличивается.

Тип, дисперсность и состав ВВ. С увеличением теплоты взрыва, как следует из теории, скорость детонации ВВ увеличивается, а критический диаметр уменьшается. Так, теплота взрыва тротила 3450 Дж/кг, скорость детонации 7,0 км/с, критический диаметр 10 мм, а для гексогена эти же величины соответственно равны 5700 Дж/кг; 8,4 км/с и 1,5 мм.

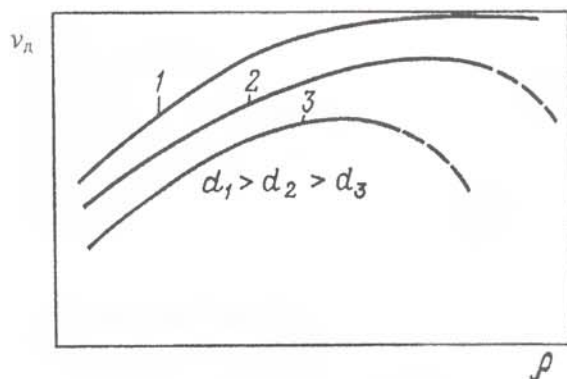


Рис. 4.8. Зависимость скорости детонации от плотности ВВ:
1 — для однокомпонентных; 2, 3 — для смесевых

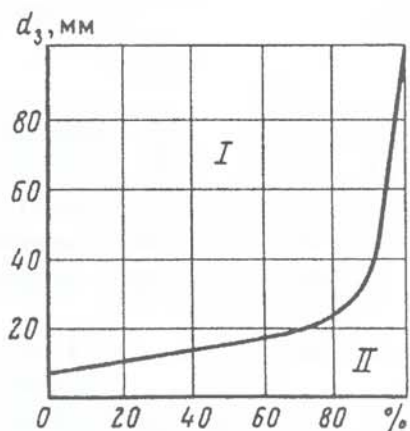


Рис. 4.9. Изменение критического диаметра смесей тротил—селитра:
I — устойчивая детонация; II — неустойчивая детонация

Существенное влияние оказывает дисперсность ВВ. Тротил с размером частиц 0,01 мм имеет критический диаметр 9 мм, а при частицах 0,5 мм — 28 мм. При простом смешивании селитры и тротила критический диаметр аммонита 20 мм, а при обработке этой же смеси в шаровой мельнице в течение двух часов критический диаметр уменьшается до 8 мм. Все грубодисперсные ВВ имеют большие критические диаметры, чем порошкообразные ВВ того же состава.

Критический диаметр для смесевых ВВ зависит и от процентного соотношения компонентов. Так, с уменьшением содержания тротила в порошкообразных аммонитах 6ЖВ с 21 до 5 % их критический диаметр увеличивается с 12 до 25 мм. Изменение критического диаметра для смеси тротил—селитра приведено на рис. 4.10.

Влияние мощности (скорости детонации) инициатора сказывается лишь на начальном участке развития детонации, где в зависимости от величины импульса может быть получена скорость детонации выше или ниже характерной для данного диаметра заряда, но в любом случае на участке 1—2 диаметров скорость стабилизируется (рис. 4.10).

С этой точки зрения для иницирования любого заряда необходимо иметь достаточно мощный точечный источник, который вызовет начальную детонацию в критической массе иницируемого заряда, способный своей энергией обеспечить самораспространение детонации по всему заряду с характерной для него скоростью.

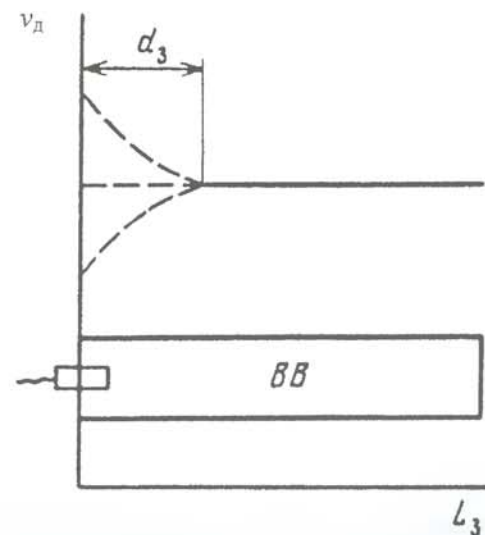


Рис. 4.10. Изменение детонации заряда ВВ в зависимости от мощности (скорости) начального импульса

Способ инициирования зарядов может определенным образом влиять на характер и величину передачи энергии от продуктов взрыва заряда к породе. Кроме того, изменяя взаимное положение детонирующего шнура и шашки промежуточного детонатора, применяемых для взрыва низкочувствительных грубодисперсных ВВ, можно, как будет показано, уменьшить величину промежуточного детонатора, увеличить разрушающее действие заряда на массив горных пород.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

5.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ О РАБОТЕ И БАЛАНСЕ ЭНЕРГИИ ПРИ ВЗРЫВЕ

Работа заряда ВВ может быть полезной, с целью которой производят взрыв, и бесполезной, представляющей собой потери энергии, а также оказывать вредное воздействие на законтурную среду в виде сейсмических и воздушных ударных волн. В зависимости от условий взрыва и его целей формы работы, КПД взрыва будут существенно меняться. Применительно к взрывным работам в скальных породах наибольшее значение имеет работа дробления и перемещения пород, в рыхлых — простреливание (образование полостей) и выброс на определенную высоту и расстояние.

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

Работа взрыва совершается за счет теплоты, выделившейся при взрыве,

$$E = E_y Q,$$

где E — общая энергия взрыва, кДж; E_y — удельная теплота взрыва, кДж/кг; Q — масса заряда, кг.

Работу, произведенную взрывом по разрушению и перемещению массива породы, называют полезной работой взрыва. Полезная работа взрыва A_n составляет часть полной энергии (теплоты) взрыва:

$$A_n = E \eta_v,$$

где η_v — КПД взрыва.

Величина КПД взрыва по выделению энергии достигает 0,7—0,8, однако отдельные виды работы могут меняться. Так, если взрыв произведен на поверхности массива, то полная рабо-

та остается прежней, работа на разрушение среды и сейсмические волны в массиве уменьшится, а на образование воздушной волны увеличится.

Максимальная работа A_n , которую могут совершить газы взрыва (при расширении до атмосферного давления) при условии перехода всей внутренней энергии газов в механическую работу, называют **идеальной работой взрыва**.

Приняв приближенно, что при определенном взрыве КПД действия различных ВВ примерно одинаковы, можно сравнить их эффективность по теплотам взрыва этих ВВ.

Поэтому можно полагать $A_n \approx Q$.

Рассматривая расширение газов взрыва по адиабатическому закону до атмосферного давления $P_2 = 10^5$ Па, можно A_n определить по формуле

$$A_n = E_0 \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] = E_0 - E_n,$$

где P_1 — начальное давление газов взрыва, Па; k — показатель адиабаты, $k = \frac{c_p}{c_v}$ (c_p и c_v — теплоемкости газов при постоянном давлении и объеме, $\frac{\text{кДж/кг}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$).

Величина E_n (кДж) представляет собой потерянное тепло, которое даже при идеальном ходе процесса остается в продуктах взрыва при расширении их до атмосферного давления. Если взрыв происходит в сплошной среде с сопротивлением сжатию p_p , то

$$A_p = E_0 \left[1 - \left(\frac{P_p}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right],$$

т.е. полная работа уменьшится, а потерянное тепло увеличится.

На рис. 5.1 приведена схема баланса энергии при взрыве. В качестве исходной взята потенциальная химическая энергия ВВ. Из-за возможности разброса непрореагировавшего ВВ, недостаточной полноты взрывчатого превращения фактическая теплота взрыва меньше на величину химических потерь. Фактическая теплота взрыва не может быть превращена в работу даже при идеальном ходе процесса разрушения, т.к. происходит нагревание разрушаемой среды продуктами взрыва. Разность между фактической теплотой и полной называют тепловыми потерями. Общая величина полной работы взрыва находится в этих пределах, но она может расходоваться на те или иные формы общего и бризантного или местного действия взрыва.

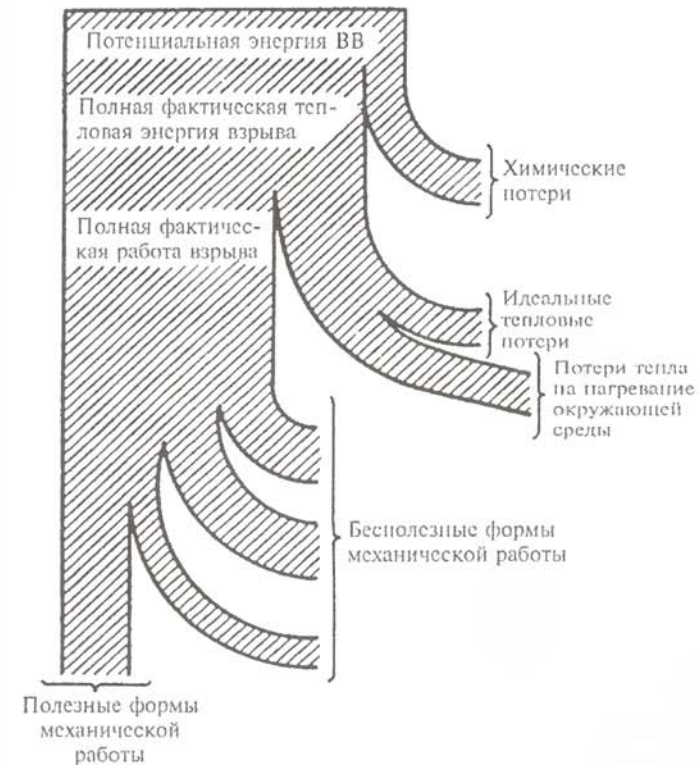


Рис. 5.1. Схема баланса энергии при взрыве (по А.Ф. Беляеву)

Большая часть полной работы проявляется в виде общего (фугасного) действия.

Существующие методы испытаний ВВ позволяют оценить только часть энергии, идущую на ту или иную работу деформирования или разрушения, причем данные, как правило, получают в относительных величинах, позволяющих только качественно сравнивать различные ВВ.

5.2. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВВ

Промышленные ВВ подвергают следующим испытаниям:

- ♦ для оценки взрывчатых свойств, характеризующих производственную эффективность, производят экспериментальное определение скорости детонации, бризантности, работоспособности. Кроме этого, экспериментальным или расчетным путем для новых сортов ВВ определяют теплоту и работу продуктов взрыва, объем, температуру и давление газов взрыва;

- ♦ для проверки качества ВВ, их соответствия пригодности к применению производят определение полноты детонации, способности к передаче детонации от патрона к патрону, влажности ВВ, химической и физической стойкости;

- ♦ для ВВ, содержащих нитрозофиры в количестве $>30\%$, производят определение их экссудации;

- ♦ для оценки чувствительности и опасности ВВ в обращении определяют чувствительность к тепловому импульсу, к удару и трению, к инициированию, склонность к пылению, электризации. Для эмульсионных ВВ разработаны международные специальные методы испытаний;

- ♦ для характеристики технологичности применения ВВ проводят оценку сыпучести, дисперсности, увлажняемости, водостойчивости, расслаиваемости, слеживаемости, химической стойкости.

5.3. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВЗРЫВЧАТЫХ СВОЙСТВ ВВ

Определение скорости детонации ВВ наиболее просто производят с помощью двух отрезков ДШ, скорость детонации которых известна (метод Дотриша). На боковой поверхности по оси заряда, заключенного в металлическую трубку с внутренним диаметром 30 или 40 мм, толщиной стенок 3-4 мм и длиной 450 мм с завинчивающимися с обеих сторон крышками делают два отверстия на расстоянии a , равном 350 (200) мм. В эти отверстия вставляют концы отрезков ДШ длиной 1,5 и 1 м. Расстояние от отверстия до капсюля-детонатора 60 мм. Свободные концы ДШ крепят на пластинке-фиксаторе со стальной прокладкой так, чтобы риски на пластинке точно совпадали с концами ДШ (рис. 5.2). Испытываемый заряд инициируют промежуточным детонатором в виде прессованной шашки огневым или электроогневым способом.

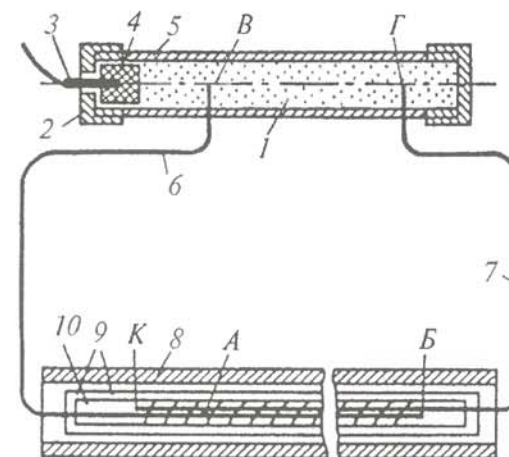


Рис. 5.2. Определение скорости детонации по Дотришу:

1 — заряд ВВ; 2 — торцевые крышки (колпачки); 3 — детонатор; 4 — промежуточный заряд-детонатор; 5 — оболочка заряда; 6, 7 — отрезки ДШ; 8 — защитная труба металлическая; 9 — опорная пластинка; 10 — пластинка-фиксатор; А — точка встречи детонационных волн; Б, К — концы отрезков ДШ

При взрыве детонация распространяется по заряду и по обеим ветвям ДШ длиной L_1 и L_2 . В месте встречи детонационных волн на пластинке образуется углубление (точка A на рис. 5.2). Расчет скорости детонации производят, исходя из равенства времени распространения детонационных волн по обеим ветвям шнура до места встречи, т.е.

$$\frac{L_1 - KB}{v_{\text{дш}}} = \frac{a}{v_{\text{ВВ}}} + \frac{L_2 - KA}{v_{\text{дш}}}.$$

Приняв

$$L_1 - KB = L_1^1 \text{ и } L_2 - KA = L_2^1,$$

получим

$$\frac{L_1^1}{v_{\text{дш}}} = \frac{a}{v_{\text{ВВ}}} + \frac{L_2^1}{v_{\text{дш}}},$$

откуда

$$v_{\text{ВВ}} = v_{\text{дш}} \frac{a}{L_1^1 - L_2^1},$$

где $v_{\text{ВВ}}$ и $v_{\text{дш}}$ — скорости детонации испытываемого ВВ и ДШ, м/с.

В зависимости от цели испытаний заряд ВВ может быть в порошкообразном, гранулированном или прессованном виде. Точность определения скорости детонации по этому методу находится в пределах $\pm 3\%$.

Точные методы определения скорости детонации основаны на определении с помощью электронного осциллографа или частотомера времени прохождения детонационной волной фиксированного расстояния по заряду или на дешифровке кадров скоростной киносъемки свечения детонирующего заряда. Эти методы применяются только при выполнении исследовательских работ.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БРИЗАНТНОСТИ ВВ. По характеру действия взрыва ВВ на массив принято различать бризантное (дробящее) и фугасное (общее) действие.

К бризантным формам работы взрыва относится измельчение породы на контакте и в непосредственной близости от заряда. Эта работа пропорциональна плотности ВВ и квадрату скорости детонации.

Для оценки бризантного действия ВВ применяют пробу на бризантность на свинцовых цилиндрах (метод Гесса) или пробу на дробящее действие взрыва на породных образцах. По методу Гесса из рафинированного свинца отливают и торцуют столбики диаметром 40 и высотой 60 мм, на которые устанавливают стальную прокладку толщиной 10 мм и заряд испытываемого ВВ массой 50 г. Бризантность характеризуют величиной осадки столбика после взрыва в миллиметрах, которое измеряется в четырех взаимно перпендикулярных направлениях. Для мощных ВВ (гексоген, ТЭН) применяют заряд в 25 г. Заряды гранулированных ВВ помещают в стальные кольца. Полученные результаты несопоставимы между собой и служат только как контрольные для каждого типа ВВ.

Эти пробы необходимы для лабораторной сравнительной оценки ВВ.

К фугасным формам работы взрыва относят разрушение породы на большом расстоянии от заряда (за пределами бризантного действия) и движение породы при взрыве.

Это действие взрыва проявляется в объеме, в десятки и сотни раз превышающем объем заряда. Величина фугасной формы работы взрыва пропорциональна общей энергии ВВ или его работоспособности.

Для оценки фугасной работы взрыва определяют работоспособность в свинцовой бомбе (метод Трауцля), приведенной на рис. 5.3, на баллистической mortire или маятнике (рис. 5.4), на породных образцах, по воронке выброса. Результаты сравнительных испытаний ВВ на баллистической mortire используют в США и в других странах для определения переводных коэффициентов при расчете удельных расходов различных ВВ. Для этого на mortire подбирают величину заряда Q_x применяемого

ВВ, который дает такое же отклонение mortarы, как заряд Q_0 стандартного ВВ. Поправочный коэффициент на расход ВВ: Q_x / Q_0 .

Свинцовая бомба представляет собой цилиндр высотой 200 мм и диаметром 200 мм, изготавливаемый из рафинированного свинца, имеет отверстие диаметром 25 мм и глубиной 125 мм для помещения заряда ВВ массой 10 г с электродетонатором (рис. 5.3, а).

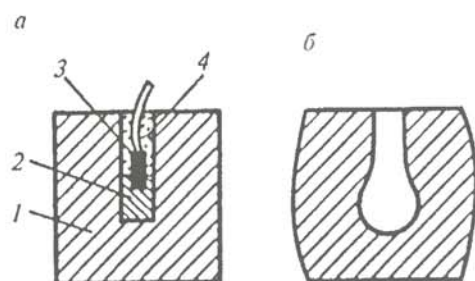


Рис. 5.3. Определение работоспособности ВВ в свинцовой бомбе:

а — до взрыва; б — после взрыва; 1 — свинцовый цилиндр; 2 — заряд ВВ; 3 — детонатор; 4 — забойка;

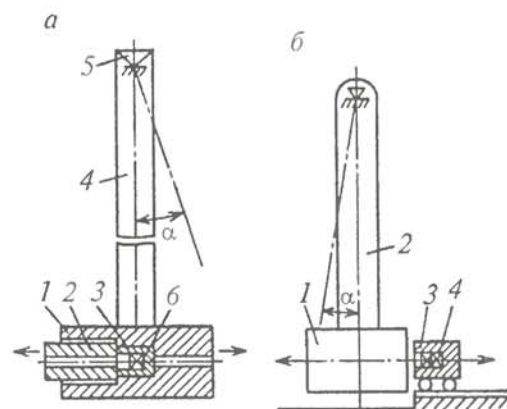


Рис. 5.4. Определение работоспособности:

а — в баллистической mortarе; 1 — mortar; 2 — снаряд; 3 — вкладыш; 4 — подвеска; 5 — опора; б — заряд ВВ; б — с помощью баллистического маятника; 1 — маятник; 2 — подвеска; 3 — mortar; 4 — заряд

Забойка песчаная. После взрыва (рис. 5.3, б) в бомбе образуется раздутие, его величина за вычетом объема отверстия ($61—62 \text{ см}^3$) и расширения, производимого электродетонатором ($\sim 30 \text{ см}^3$), и является мерой относительной работоспособности ВВ.

Л.И. Бароном взамен испытаний в свинцовой бомбе предложено испытание ВВ производить в кубических блоках из горной породы или песчано-цементного раствора с размером ребра 200 мм с размещением в центре блока в шпуре заряда 10 г. Дробящее действие ВВ характеризуют выходом мелких кусков (фракции до 7 мм) на 1 кг его массы.

Баллистическая mortarа представляет собой (см. рис. 5.4, а) массивный цилиндр, подвешенный на тягах в виде маятника. В корпусе имеются взрывная камера, в которой подбивается заряд (обычно величиной 10 г), и расширительная камера, в которой помещается массивный поршень-снаряд. При взрыве поршень-снаряд выбрасывается из mortarы, а сама mortarа отклоняется на некоторый угол, фиксируемый специальным устройством.

По углу отклонения mortarы оценивают эффективность ВВ. За стандарт принимают отклонение mortarы зарядом тротила массой 10 г. Для сравнительной оценки другого ВВ определяют заряд, вызывающий такое же отклонение mortarы.

При определении работоспособности на баллистическом маятнике, имеющем большую массу (несколько тонн), вплотную по рельсам подкатывается mortarа (рис. 5.4, б) с зарядом 200 г. После взрыва фиксируют угол отклонения маятника и сравнивают с результатами, полученными при испытаниях другого ВВ.

Главный недостаток всех испытаний на работоспособность — в малых величинах и диаметрах зарядов, не достигших критических. Поэтому эти испытания носят только качественный относительный характер и должны быть обязательно дополнены полигонными и промышленными испытаниями зарядов при диаметрах более критических, таких, как применяют на производстве.

В настоящее время все шире на подземных и открытых работах применяют существенно менее чувствительные гранулированные и водосодержащие ВВ, однако стандартных (гостированных) методов оценки их характеристик (оценок) до сих пор не разработано. Созданием указанных методик, некоторые из которых уже опубликованы, занимается Институт химфизики РАН (г. Черноголовка), однако следует указать, что разработка новых рецептур ВВ (гранулированные, водосодержащие, льющиеся, эмульсионные, смеси эмульсий и гранул) опережает разработки гостированных методов их испытаний. Поэтому в учебнике они не приведены, а сведения о них можно получить в специальной литературе.

5.4. РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВВ

Рассмотренные выше характеристики дают относительную качественную оценку ВВ, не выраженную в размерностях энергии, объема, температуры, давления. Это затрудняет использование приведенных характеристик при количественной оценке эффективности ВВ. Поэтому в дополнение к вышеприведенным применяют характеристики теплоты и работы газов взрыва, температуры, объема и давления газов взрыва, определяемые расчетным или экспериментальным методом. Эти величины характеризуют параметры идеализированного процесса взрыва и не учитывают коэффициента полезного использования энергии. Тем не менее они дают объективную энергетическую характеристику взрыва и могут быть использованы на практике.

Определение теплоты взрыва является одной из основных оценок эффективности ВВ при разрушении пород. Зная затраты энергии на разрушение единицы объема породы и энергию, выделяемую при взрыве единицы массы ВВ, можно оценить эффективность действия данного ВВ.

Объемная концентрация энергии ВВ, характеризующая количество энергии в единице объема ВВ и определяемая произ-

ведением удельной энергии ВВ на его плотность, дает более объективную энергетическую оценку ВВ, плотность которых существенно отличается от единицы.

Теплота взрыва определяется теоретически или экспериментально.

В качестве стандартных условий принимают температуру (по Цельсию) 0° , 15° (иногда 25°) и давление в $9,8 \cdot 10^4$ Па.

Теплота взрыва вычисляется на основе закона Гесса, согласно которому тепловой эффект химического превращения системы зависит только от начального и конечного ее состояния и не зависит от промежуточных состояний, т.е. индексы 1, 2, 3 означают соответственно начальное, промежуточное и конечное состояния системы:

$$Q_{1-2} + Q_{2-3} = Q_{1-3}.$$

Расчет теплоты взрыва (кДж/кг) может быть выполнен, если известны теплоты образования ВВ Q_1 , продуктов взрыва Q_3 из элементов и уравнение взрыва:

$$Q_2 = Q_3 - Q_1.$$

Для расчетов термохимических параметров взрыва составлены таблицы теплоты образования веществ при постоянном объеме (см. табл. 4.1).

Для определения теплоты взрыва 1 кг ВВ (кДж) без учета расширения газов пользуются формулой

$$Q_2^I = \frac{Q_2 1000}{M},$$

или с учетом расхода тепла Q_p на расширение продуктов взрыва:

$$Q_2^{II} = \frac{Q_2 - Q_p}{M} 1000,$$

где M — молекулярная масса ВВ.

Экспериментальное определение теплоты взрыва производят в специальной калориметрической бомбе.

Объем газов при взрыве определяют по реакции взрывчатого разложения ВВ на основе закона Авогадро, согласно которому объем, занимаемый грамм-молекулой различных газов при температуре 0 °С и давлении 10⁵ Па, равен 22, 42 л.

Для определения объема газов v_r , образуемых при взрыве 1 кг ВВ (л/кг), пользуются формулой

$$v_r = \frac{22,42(n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_n)1000}{m_1M_1 + m_2M_2 + \dots + m_nM_n},$$

где $n_1, \dots, n_n$ — количество грамм-молекул газообразных продуктов взрыва; $m_1, \dots, m_n$ — количество грамм-молекул составных частей ВВ; $M_1, \dots, M_n$ — молекулярная масса составных частей ВВ.

Объем газов, образуемых какой-либо смесью компонентов, определяют как сумму объемов газов, образуемых отдельными компонентами смеси.

Для опытного определения объема продуктов взрыва взрывают некоторое количество ВВ (обычно до 100 г) в калориметрической бомбе. Объем охлажденных до комнатной температуры газообразных продуктов измеряется при помощи газомера.

Давление газов в зарядной камере (Па) при взрыве может быть определено, исходя из объединенных законов Бойля-Мариотта и Гей-Люссака с поправкой Ван-дер-Ваальса:

$$P = \frac{p_0 v_0 T}{273(v - \alpha)},$$

где p_0 — атмосферное давление газов при температуре 0 °С; v_0 — объем газов взрыва ВВ при 0 °С; T — температура взрыва, считая от абсолютного нуля, К; v — объем зарядной камеры, м³; α — собственный объем молекул (коволум) продуктов взрыва (для практических расчетов $\alpha = 0,001 v_0$).

Подставив в формулу определения давления величину $v = 1/\rho_{ВВ}$, где $\rho_{ВВ}$ — плотность заряда ВВ, получим

$$P = \frac{p_0 v_0 T}{273(v - \alpha)} = \frac{p_0 v_0 T \rho_{ВВ}}{273(1 - \alpha \rho_{ВВ})}.$$

Несмотря на введение поправочного коэффициента α , эта формула не дает точных результатов при плотности заряда $\rho_0 > 0,6$ г/см³.

5.5. ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВВ

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ВВ — степень восприимчивости к определенному внешнему импульсу, вызывающему детонацию заряда. Она зависит от свойств ВВ, его состояния (порошкообразное, гранулированное, литое и т.д.), температуры, влажности, степени ограничения заряда и т.д.

Для оценки чувствительности ВВ проводят испытания: на удар, трение, нагревание (в том числе действие открытого пламени), воздействие ударной воздушной волны, передачу детонации на расстояние, на воздействие детонатора.

Чувствительность к инициированию принято оценивать минимальным зарядом, который необходим для возбуждения детонации (табл. 5.1).

Чувствительность ВВ к удару определяют на специальных копрах. При испытаниях на навеску ВВ, заключенную между двумя металлическими поверхностями, сбрасывают груз определенной массы.

Таблица 5.1

Восприимчивость ВВ к инициированию

ВВ	Минимальный инициирующий заряд, г	
	Гремучая ртуть	Азид свинца
Тротил (порошкообразный)	0,36	0,09
Аммонит 6ЖВ	0,3	—
Тетрил	0,29	0,025

При испытании инициирующих ВВ используют рычажный копер с грузом массой 0,5—1,8 кг. Для бризантных ВВ применяют вертикальные копры с грузами 5—20 кг и высотой их падения до 3 м. Навеска ВВ принимается 3 г.

В качестве критерия чувствительности принимают процент взрывов из 25, 50 или 100 испытаний при сбрасывании груза 10 кг с высоты 0,25 м.

Этими испытаниями установлено, что наиболее чувствительными к удару являются ВВ, содержащие гексоген, жидкие нитроэфиры (30—80 % взрывов); обычные, предохранительные аммониты, аммоналы дают 10—30 % взрывов, гранулиты (измельченные) 0—12 %. Наименьшую 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. 5.2).

Испытания на чувствительность к трению производят на маятнике трения или растиранием навески в фарфоровой ступке. Испытание на трение (скользящий удар) производят путем сдвига навески ВВ боковым ударом ролика, прижатого с определенной силой к поверхности ВВ.

Чувствительность к удару и трению имеет большое значение при создании машин для механизированного заряжания ВВ.

Таблица 5.2

Характеристика чувствительности некоторых ВВ

ВВ	Температура вспышки, °С	Чувствительность к удару (минимальная высота падения груза 2 кг, при которой происходит взрыв), м
Аммонит 6ЖВ	320	0,6
Гексоген	230	0,29
Нитроглицерин	200	0,4
Тротил	310	0,7
ТЭН	220	0,28

5.6. МЕТОДЫ ПРОВЕРКИ КАЧЕСТВА ВВ

Свойства ВВ могут изменяться в процессе транспортировки и хранения. Поэтому при поступлении на склад и в процессе хранения все ВВ периодически должны испытывать для оценки их пригодности к дальнейшему хранению и безопасному использованию для взрывных работ.

При поступлении ВВ на базисные склады выполняют весь комплекс испытаний. На расходных складах ВВ подвергают только наружному осмотру, если они поступают туда с базисного склада.

Испытания ВВ выполняют взрывники или лаборанты под руководством заведующего складом:

- ♦ ВВ, не содержащие жидких нитроэфиров, — в конце гарантийного срока и каждые три месяца после его истечения;

- ♦ ВВ, содержащие жидкие нитроэфиры, испытывают в конце гарантийного срока и через каждый месяц после его истечения;

- ♦ если возникает сомнение в их доброкачественности, проводят испытания независимо от сроков хранения.

Испытания проводят на территории склада на специально отведенных площадках.

В случае обнаружения дефектов при осмотре или испытаниях всю партию ВВ бракуют и составляют акт, который направляют заводу-изготовителю и в Ростехнадзор РФ. Возможность дальнейшего использования забракованных ВВ на взрывных работах определяется специальной комиссией с участием представителей завода-изготовителя.

Аммиачно-селитренные ВВ и тротил подвергают следующим испытаниям.

Наружный осмотр тары, при котором устанавливают наличие внешних повреждений на ящиках или мешках, проверяют обвязку и пломбировку тары, отсутствие следов подмокания. Такому осмотру подвергают все ВВ, поступающие на склад в упаковке. Ящики с дефектами отбирают в отдельную партию, составляют акт, а затем проверяют внутреннюю упаковку. При

целой внутренней упаковке испытания проводят по обычной методике. При нарушенной упаковке испытанию подвергают каждый ящик.

При наружном осмотре патронов из поступившей партии отбирают и распаковывают пять пачек и все патроны осматривают. На патронах должен стоять штамп с указанием типа ВВ, номера и массы патрона, даты изготовления, марки завода и номера ящика. На патронах не должно быть следов подмокания и увлажнения. Торцы патронов должны быть аккуратно заделаны.

Испытания на полноту детонации проводят для определения детонационной способности одного или нескольких патронов ВВ. Патроны укладывают на полигоне в один ряд торцами встык. Полноту детонации определяют по углублениям в грунте на месте расположения патронов и по отсутствию бумаги и ВВ. Гранулированные ВВ помещают при насыпной плотности в бумажную гильзу заданного диаметра длиной более пяти диаметров заряда. Заряд инициируют КД или ЭД 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.

Проводят испытание на передачу детонации, при котором проверяют соответствие паспортным данным чувствительности ВВ к взрыву другого заряда. Для этого на плотном грунте укладывают по одной оси два патрона ВВ (рис. 5.5) на расстоянии, указанном в паспорте ВВ, и взрывают. О полноте взрыва судят по углублению в грунте, отсутствию остатков бумаги и ВВ. Если при двух взрывах отказов не произошло, то ВВ считают выдержавшим испытания.

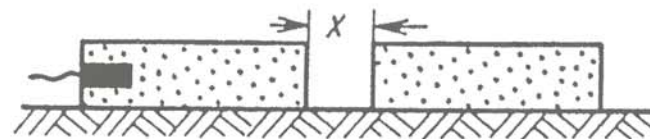


Рис. 5.5. Схема испытаний на передачу детонации

Важность этих испытаний состоит в том, что при зарядании шпуров патронированными ВВ между патронами могут оставаться воздушные промежутки, которые могут быть частично или полностью заполнены буровой мелочью. При взрыве такого заряда детонационная волна на границе ВВ — воздух переходит в ударную и происходит ее интенсивное затухание в воздухе. Если качество ВВ нормальное, то энергии в ударной волне, прошедшей через воздушный промежуток, достаточно для того, чтобы возбудить детонацию в торце следующего патрона.

Взаимные переходы детонационной волны в ударную и обратно при передаче детонации на расстояние схематично показаны на рис. 5.6.

В случае отказа число опытов удваивают. Если при этом повторяются отказы, партию ВВ бракуют. Слежавшиеся патроны аммонита перед испытанием разминают. При испытании ВВ, поступивших на склад в мешках, изготавливают патроны диаметром 31 ± 1 мм массой 200 ± 10 г при плотности ВВ в патроне $0,95—1,05$ г/см³. Затем проводят испытания. Испытание водоустойчивых 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 обычной методике. В характеристиках патронированных ВВ обязательно указывают расстояние, на которое передается детонация между патронами. Эта величина является косвенной мерой чувствительности ВВ к внешнему импульсу. Чем больше расстояние, тем надежнее детонирует заряд.

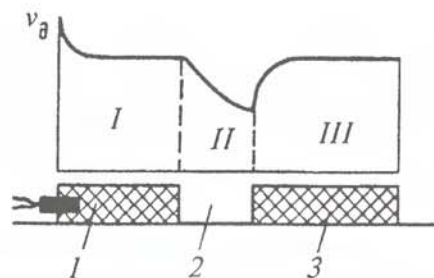


Рис. 5.6. Взаимные переходы детонационной и ударной волны при передаче детонации на расстояние:

1 — активный заряд; 2 — воздушный промежуток; 3 — пассивный заряд; I—III — зоны распространения детонации

Определение влажности ВВ. Из пяти патронов, взятых для осмотра из пяти пачек, после смешивания берут две навески ВВ массой по 10 г, помещают их в термостаты и сушат при температуре +65 °С до получения постоянной массы пробы.

Влажность определяют по формуле

$$B = \frac{m_2 - m_1}{m_2},$$

где m_2 — масса навески до просушки, г; m_1 — масса навески после просушки, г.

Влажность аммонитов не должна превышать 1,5 %. Однако при механизированном пневматическом зарядании гранулированных аммиачно-селитренных ВВ для уменьшения пыления и электризации рекомендуется впрыскивать в подаваемый поток 2—4 % воды.

Испытания бездымных порохов, которые иногда применяют при взрывах на выброс и сброс в грунтах или на карьерах, проводят по специальным методикам. Определяют состояние тары, физико-химическое состояние порохов, способность к детонации и работоспособность. При физико-химической оценке пороха обращают внимание на отсутствие следов его разложения: при разложении изменяется цвет пороха, появляются желтоватые вздутия и трещины. У нитроглицериновых и нитрогликолевых

порохов может наблюдаться выделение жидких взрывоопасных компонентов (нитроглицерина, нитрогликоля) в виде капель (экссудация). Капельку можно промакнуть промокательной бумагой, а затем ударить по ней молотком на наковальне. Взрыв или треск свидетельствует об экссудации пороха. Такие пороха подлежат только уничтожению.

Детонационную способность пороха определяют в зарядах массой 8 кг, располагаемых на глубине 1 м в шурфах 0,5×0,5 м или канавах. Если порох не детонирует от детонатора из заряда аммонита 6ЖВ массой 2 кг, партию бракуют.

Работоспособность пороха каждой партии определяют проведением сравнительных взрывов с аммонитом 6ЖВ в грунте и находят переводные коэффициенты по объему выброшенного грунта при постоянной массе и глубине заложения зарядов. Если $v_{6ЖВ}$ — объем разрушения от взрыва аммонита 6ЖВ, а v_n — от пороха, то переводной коэффициент для определения расчетного удельного расхода ВВ:

$$k_n = v_{6ЖВ} / v_n.$$

При испытании дымного пороха из 10 % прибывших мешков отбирают навески по 0,5 кг и осматривают. Зерна пороха должны быть сизо-черного цвета с блестящей поверхностью. Не должно быть белых или желтых кристаллов на зернах, а также слипшихся комков пороха.

При высыпании пороха на белом листе не должно оставаться пыли или черных пятен. Если пробы не соответствуют указанным требованиям, партию бракуют.

5.7. ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ВВ

При подготовке к заряданию и в процессе зарядания ВВ подвергается различным механическим воздействиям, которые могут менять его свойства, санитарно-гигиенические условия в

зоне работы, а также уровень опасности выполнения этих работ. С применением механизированного заряжания такие механические воздействия на ВВ значительно возросли. Ниже рассмотрены основные характеристики, определяющие технологическую стойкость ВВ, т.е. способность сохранять свои первоначальные свойства и качество в процессе выполнения с ВВ технологических операций по его подготовке, транспортированию и заряданию.

СЫПУЧЕСТЬ — способность ВВ свободно высыпаться из калиброванных отверстий, полностью заполнять определенные замкнутые объемы (скважины, камеры, бункера, емкости зарядных машин).

Хорошую сыпучесть имеют гранулированные ВВ, плохую — порошкообразные. Последние теряют сыпучесть при содержании влаги — 1,2—2 %, а также при слеживании. Гранулированные ВВ теряют сыпучесть только при увлажнении их до 6 % и выше.

Сыпучесть имеет большое значение при механизированном зарядании, особенно восстающих скважин в подземных условиях.

РАССЛАИВАНИЕ — свойство смесевых, рассыпных ВВ самопроизвольно или в процессе зарядания разделяться на составные компоненты, особенно когда компоненты имеют разную плотность. Например, порошкообразные динамоны — смеси аммиачной селитры с древесной мукой — были запрещены для применения из-за расслаивания заряда в процессе зарядки скважин на карьерах. При расслаивании образовывались участки чистой селитры и прослойки древесной муки, из-за чего детонация в таком заряде прекращалась.

Такое же расслаивание будет наблюдаться при использовании ВВ с добавками вспененного полистирола, т.к. его плотность на два порядка меньше плотности гранул селитры.

У игданита на обычной гранулированной селитре при его длительном нахождении в скважине происходит отекание солярового масла в нижнюю часть заряда, вследствие чего создаются неблагоприятные условия детонации заряда по высоте: в

верхней части вследствие стекания солярового масла энергия взрыва снизится, а количество ядовитых оксидов азота выделится намного больше, а в нижней части будет избыток солярового масла и детонация в этой части заряда может затухнуть. При этом качество взрыва ухудшается (по крупности дробления и образуются пороги в подошве уступа).

У водосодержащих акваторов, если объем раствора больше, чем объем межгранульного пространства твердой фазы, наблюдается постепенное оседание твердых фракций заряда в нижнюю часть скважины, что также неблагоприятно сказывается на детонации верхней части заряда и разрушении взрываемого массива.

ТЕКУЧЕСТЬ — способность водосодержащих ВВ вытекать из емкостей и сквозь рукава и шланги под действием силы тяжести или избыточного давления. Это свойство определяет эффективность механизированного зарядания ВВ этих типов и существенно зависит от температуры ВВ, продолжительности его хранения и начальной консистенции. Это свойство надо учитывать при зарядании скважин в трещиноватых массивах.

ГИГРОСКОПИЧНОСТЬ — способность ВВ поглощать влагу из воздуха или при искусственном впрыскивании в него воды. Это в основном определяется гигроскопичными свойствами аммиачной селитры. Пониженная гигроскопичность гранулированной аммиачной селитры марки ЖВ имеет особенно важное значение при бестарном ее хранении на складах и в пунктах приготовления игданитов, а также при бункерном и бестарном хранении гранулированных ВВ, так как увлажняемость, как правило, связана со слеживаемостью ВВ.

В большинстве районов России при хранении без влагозащитной упаковки ВВ увлажняются, что нарушает их физическую стабильность (увеличивает слеживаемость, ухудшает сыпучесть, водоустойчивость, способствует разрушению гранул) и ухудшает детонационную способность.

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.

Для порошкообразных ВВ водоустойчивость оценивают по величине давления столба воды, необходимого для ее проникновения внутрь заряда в течение определенного времени.

Испытаниями на водоустойчивость предусмотрена выдержка патронов ВВ на глубине 1,0 м 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 водосодержащем состоянии. Повышение водоустойчивости гранулированной аммиачной селитры достигается покрытием гранул водоустойчивыми составами (например, вязкими горючими добавками типа мазута, тротилом, пленкой полиэтилена). Однако при малейшем нарушении покрытия при транспортировке и зарядке происходит вымывание селитры и снижение детонационной способности заряда.

Для водосодержащих ВВ, включая эмульсионные, водоустойчивость определяют способностью к растворению или размыванию сплошной структуры заряда, образованию в нем водных промежутков. Большинство водосодержащих ВВ достаточно водоустойчиво при нахождении заряда в непроточной воде. Однако при зарядании обводненных скважин сквозь слой воды водоустойчивость этих ВВ резко снижается, снижается она также при их нахождении в скважинах с проточной водой.

ПЫЛЕНИЕ — способность сыпучих ВВ при операциях с ними измельчаться и выделять в атмосферу мелкодисперсные частицы. Наиболее пылящими являются порошкообразные ВВ, значительно меньше пылят гранулированные, особенно омасленные составы (игданит, гранулиты), а также гранулотол и алюмотол. Пыление гранулированных ВВ в основном зависит от прочности гранул селитры. У гранулированных ВВ источником пыления является алюминиевая пудра, а у граммонита 79/21 — мелкие фракции чешуйчатого тротила.

Для борьбы с пылением, особенно при механизированном зарядании, ВВ увлажняют до 2—4 %, ограничивают скорость пневмотранспортирования по шлангам и трубам, соблюдают рациональные расстояния между срезом зарядного шланга и торцом заряда ВВ в скважине. Последний параметр имеет важное значение при механизированном зарядании восстающих скважин в подземных условиях.

СЛЕЖИВАНИЕ — способность ВВ терять сыпучесть при хранении и превращаться в прочную камнеобразную массу.

Слежавшиеся ВВ непригодны для зарядания и имеют резко сниженную детонационную способность. Единые правила безопасности требуют обязательного измельчения ВВ перед употреблением. Наиболее склонны к слеживаемости порошкообразный аммонит 6ЖВ, особенно при изменении влажности и температуры окружающего воздуха. Слеживанию способствует внешнее давление на ВВ (при патронировании или хранении в штабелях), а также расфасовке в мешки на заводах-изготовителях недостаточно остывших смесей. Для уменьшения слеживания аммиачно-селитренных ВВ частицы селитры опудривают гидрофобными добавками, добавляют в их состав поверхностно-активные вещества, применяют гранулирование, чтобы уменьшить поверхность контактов между кристаллами, а также омасливание жидкими нефтепродуктами с последующим их покрытием алюминиевой пудрой или органической мукой. ВВ считают неслежавшимся, если куски его рассыпаются при раздавливании рукой.

Гранулированные ВВ обычно слеживаются значительно меньше, и ВВ в мешке приобретает первоначальную структуру при сбрасывании его с высоты в 1 м. Кроме слеживаемости при высокой влажности (>2 %) и низких температурах гранулированные ВВ могут смерзаться, что также нарушает нормальный процесс зарядания 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 электризуемые — бестропиловые 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 в ВВ, его дисперсность, радиус закругления магистралей зарядных шлангов, 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 не 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.

ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЕ ПРИ ЗАРЯЖАНИИ. Основные зарядные машины МЗ-3А, МЗ-3Б, МЗ-8, МЗ-4, применяемые на крупных карьерах, подают гранулированные ВВ в скважины шнеками, самотеком или пневмотранспортом из бункеродозаторов. Скорости транспортирования ВВ в этих машинах

существенно меньше 18 м/с, а потому при их работе электризации взвеси ВВ не происходит. Однако на рабочих местах взрывников-операторов у заряжаемых скважин загрязненность воздуха пылью ВВ может превышать предельно допустимые концентрации: 1 мг/м³ для пыли тротила, 2 мг/м³ для алюминиевой пудры, 1 % / 300* мг/м³ для солярового масла. Пыление ВВ значительно возрастает при низкой влажности воздуха и в холодное время года. В этих случаях взрывники должны обязательно использовать индивидуальные средства защиты дыхательных путей от пыли (респираторы, фильтры-лепестки и т.п.).

На подземных горных работах, карьерах небольшой производительности в транспортном и гидротехническом строительстве, где используются зарядные машины с пневмотранспортированием гранулированных ВВ, предназначенные для пневмозаряжения или оригинальной конструкции, изготовленные непосредственно предприятиями, необходимо соблюдать отмеченные выше мероприятия по снижению пылеобразования и электризации наряду с применением индивидуальных средств защиты и установки тканевых фильтров над устьем заряжаемой скважины.

Водосодержащие ВВ никакой опасности в части пылеобразования и электризации не представляют.

ХИМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ — способность ВВ сохранять неизменными свои химические свойства при длительном хранении, транспортировании и нахождении в скважине.

Все аммиачно-селитренные ВВ имеют достаточно высокую химическую стойкость, в связи с чем их никаким специальным испытаниям не подвергают. ВВ с добавками жидких нитроэфиров (детонит, предохранительные ВВ) имеют меньшую химическую стойкость, особенно если имеются хотя бы незначительные остатки кислот в нитроэфирах.

* Числитель — для паров, знаменатель — для капельно-жидкого аэрозоля.

Следует подчеркнуть, что аммиачно-селитренные ВВ резко снижают свою стойкость при попадании в заряд сульфидов (пирита, колчедана). При этом аммиачная селитра вступает в реакцию с сульфидами с выделением тепла и ядовитых оксидов азота. При этом температура в очаге реакции достигает 1100 °С, что может привести к возгоранию ВВ, а затем к детонации. Поэтому следует исключить контакты зарядов ВВ с сульфидами.

На карьерах, добывающих сульфидные руды, имеются специальные инструкции по безопасности заряжания скважин в таких условиях.

В случае воспламенения заряда в скважине недопустимо пытаться погасить возгорание путем засыпки в нее забойки, т.к. это может привести к взрыву.

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА

6.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВВ

Промышленные ВВ классифицируются по нескольким признакам.

По степени опасности при хранении и перевозке применяемые взрывчатые материалы (ВВ и СИ) делятся на девять групп (см. табл. 3.1) и шесть подклассов (см. табл. 3.2).

По условиям применения все ВВ делятся на две группы (непредохранительные и предохранительные на семь классов). В отдельную группу выделены ВВ специального назначения.

I ГРУППА. НЕПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ ВВ

1-й класс. Для взрывания на земной поверхности (патроны и мешки с ВВ из неокрашенной бумаги).

2-й класс. Для открытых и подземных работ, кроме шахт и рудников, опасных по взрыву газа или пыли (патроны с ВВ из красной бумаги, мешки для ВВ из неокрашенной бумаги с красной полосой).

II ГРУППА. ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ ВВ

3-й класс. Мощные ВВ ограниченного применения для породных забоев угольных шахт, опасных по взрыву газа и угольной пыли; в смешанных проходческих забоях выработок, проводимых по пластам, опасным только по взрыву газа, для вскрытия угольных пластов, опасных по внезапным выбросам угля или газа при наличии пробки из породы с коэффициентом крепости $f = 7$, для сотрясательного взрывания в полевых выработках, опасных по внезапным выбросам породы, для гидроторпедирования угольных пластов, для проходки стволов шахт с выделением метана (патроны с ВВ из синей бумаги).

4-й класс. Предохранительные ВВ средней мощности для взрывания при проходке и выемке угля в шахтах, опасных по взрыву газа и угольной пыли, а также для сотрясательного взрывания (патроны с ВВ из желтой бумаги).

5-й класс. Предохранительные ВВ для взрывания угля и породы в особо опасных условиях, в том числе в выработках с машинным врубом, в восстающих, в тупиковых угольных забоях, в бутовых штреках, в забоях с суфлярным выделением метана и интенсивным его выделением из пробуренных шпуров, для распыления воды взрывом при создании водяных завес (патроны с ВВ из желтой бумаги).

6-й класс. Предохранительные ВВ для отбойки мягкого угля в лавах, при посадке кровли, для разбучивания (разрушения угольных пробок) в дучках и печах (патроны с ВВ из желтой бумаги).

7-й класс. Предохранительные ВВ и изделия из ВВ 5—6-х классов для ведения специальных взрывных работ (распыление ингибиторов, перебивание деревянных стоек, ликвидация зависаний) в забоях, где возможно образование взрывоопасных концентраций горючего газа и угольной пыли.

Специальный класс (С). Непредохранительные и предохранительные взрывчатые вещества и изделия из них, предназначенные для специальных взрывных работ, кроме забоев подземных выработок, в которых возможно образование взрывоопасной концентрации горючего газа и угольной (сланцевой) пыли.

С-1 — Взрывные работы на земной поверхности: импульсная обработка металлов; инициирование скважинных и сосредоточенных зарядов; контурное взрывание для заоткоски уступов; разрушение мерзлых грунтов; дробление негабаритных кусков горной массы; сейсморазведочные работы в скважинах; создание заградительных полос при локализации лесных пожаров; другие специальные работы (патроны с ВВ из неокрашенной бумаги).

С-2 — Взрывные работы в забоях подземных выработок, не опасных по газу и (или) угольной (сланцевой) пыли; взрывание сульфидных руд; дробление негабаритных кусков горной массы; контурное взрывание; другие специальные работы (патроны из красной бумаги).

С-3 — Прострелочно-взрывные работы в разведочных, нефтяных, газовых скважинах (патроны черного цвета).

С-4 — Взрывные работы в серных, нефтяных и других шахтах, опасных по взрыву серной пыли, водорода и паров тяжелых углеводородов (патроны зеленого цвета).

В отдельную группу выделяются инициирующие ВВ, применяемые для изготовления средств инициирования (см. гл. 7). Промышленные ВВ по названию основного компонента делятся на аммиачно-селитренные (аммониты, динамоны, гранулиты, граммониты, игданит), водосодержащие ВВ (акватолы, порэммиты, сибириты), ВВ на основе жидких нитроэфиров (детониты, углениты), нитросоединения (тротил, гексоген), оксиды, хлоратные и перхлоратные ВВ, дымные и бездымные пороха (гранипоры).

По характеру воздействия на окружающую среду ВВ делят: на высоkobризантные, имеющие скорость детонации $v_d > 4,5$ км/с;

бризантные, $v_d = 3,5 - 4,5$ км/с;

низкобризантные, $v_d = 2,0 - 3,5$ км/с;

метательные со скоростью взрывного горения до 2 км/с.

По физическому состоянию применяемые промышленные ВВ классифицируют на порошкообразные, гранулированные, прессованные, литые, пластичные, водосодержащие, текучие, льющиеся, эмульсионные.

В настоящее время в качестве промышленных используют следующие ВВ.

1. Сухие порошкообразные и гранулированные ВВ

Аммониты — порошкообразные смеси аммиачной селитры с тротилом (реже с гексогеном и динитронафталином) и не-взрывчатыми горючими добавками.

Предохранительные аммониты содержат, кроме того, пламегасители, а некоторые — жидкие нитроэфиры (нитроглицерин, нитроглицоль).

Аммоналы — аммониты с добавками алюминиевой пудры.

Скальный аммонит — аммонал с добавкой гексогена.

Граммониты — гранулированные аммониты, состоящие из гранулированной селитры и гранулированного или чешуйчатого тротила.

Граммоналы — гранулированные аммоналы.

Динамоны — порошкообразные смеси аммиачной селитры с невзрывчатыми горючими добавками.

Гранулиты — механическая смесь гранулированной аммиачной селитры, жидких (соляровое масло) и порошкообразных горючих добавок (древесная мука, алюминий).

Игданит — стехиометрическая смесь гранулированной аммиачной селитры и дизельного топлива.

Угленит — игданит с добавками крупного угольного порошка.

Гранулотол — гранулированный тротил.

Алюмотол — гранулированный сплав тротила с алюминиевой пудрой.

Гранитол — гранулированный сплав тротила с аммиачной селитрой.

Эмулин — игданит с добавками эмульсии.

2. Водосодержащие ВВ

Акватолы — водосодержащие ВВ текучей (медообразной) консистенции, состоящие из гранул граммонита или граммонала и насыщенного загущенного раствора аммиачной селитры.

Акваниты и акваналы — водосодержащие ВВ пластичной консистенции, состоящие из порошкообразных аммонитов или аммоналов с добавками кальциевой или натриевой селитры, воды и пластифицирующих добавок.

Горячельющиеся ВВ (ГЛТ) — суспензионные ВВ, изготавливаемые в зарядных машинах на месте заряжания, состоящие из смеси горячего раствора аммиачной селитры, загустителей с добавками 10—20 % тротила, что производится непосредственно на месте заряжания скважин. После охлаждения заряд затвердевает, приобретает гипсоподобную структуру.

Ифзаниты — водосодержащие ВВ, состоящие из смеси гранул аммиачной селитры и тротила, в которую на месте заряжания добавляется насыщенный раствор аммиачной селитры с

загустителем в объеме, равном межгранульному пространству в твердой фазе.

Карботолы — горячельющиеся ВВ, изготавливаемые на месте заряжания, состоящие из гранул тротила и эвтектического расплава карбамида и аммиачной селитры с малым содержанием воды, а также добавками алюминия.

Порэмиты и сибириты — эмульсионные ВВ из смеси горячего раствора аммиачной и натриевой селитр с добавками горячего (минеральное масло) и эмульгатора. После обработки смеси в диспергаторе (миксере) смесь превращается в обратную эмульсию (капли раствора селитр окружены пленкой масла) с размерами капель в несколько микрон. Активизацию эмульсии производят введением в нее стеклянных или полых микросфер или газогенерирующей добавки (нитрид натрия), которые создают в массе эмульсии газовые микрополости, повышающие чувствительность эмульсии к детонации.

Эмульсолиты — патронированные эмульсионные ВВ.

Гранэмиты — смесь эмульсии с 30—70 % игданита, заряжание ведется механизированным способом.

В отдельную группу выделяются нитроэфировые ВВ, содержащие 4—10 % жидких нитроэфиров.

Детониты — порошкообразные смеси аммиачной селитры, тротила, алюминиевой пудры и нитроэфиров.

Предохранительные ВВ — победит, углениты, серный и нефтяной аммониты, аналогичны по составу аммонитам с добавками пламегасителей и жидких нитроэфиров.

Динамиты — многокомпонентные смеси на основе желатинированных нитроглицерина и нитрогликоля, содержат 30 % и более нитроэфиров.

Оксиликвиты — органические вещества (поглотители) с большой удельной поверхностью (торф, опилки древесины и т.п.), пропитанные жидким кислородом. Последние два типа ВВ в настоящее время на горных предприятиях нашей страны не применяются.

6.2. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОМЫШЛЕННЫМ ВВ

а. Для взрывания на земной поверхности

Объекты на земной поверхности, где применяются взрывные работы, могут быть разделены на две группы: горные и промышленные.

Горные объекты по характеру и объему выполнения взрывных работ делятся на крупные с объемом потребления ВВ более 1000 т в год и небольшие с меньшим потреблением ВВ. Кроме того, имеются постоянные (карьеры) и временные объекты (дороги, гидротехнические, мелиоративные сооружения, нефтяные скважины и т.д.).

На всех промышленных объектах производят валку зданий, труб и других сооружений, дробление фундамента, ремонты в доменных и мартеновских печах и т.д. По характеру выполненных работ их относят к временным, потребляющим небольшое количество ВМ.

На каждом типе объектов применяют свои методы ведения взрывных работ и может быть рекомендован наиболее отвечающий специфическим требованиям объекта ассортимент промышленных ВВ.

В настоящее время на карьерах основной объем породы отбивается зарядами, размещенными в вертикальных и наклонных скважинах диаметром 100—320 (400) мм. Для вторичного взрывания и вспомогательных работ применяются шпуровые и накладные заряды.

ВВ, применяемые на карьерах, должны отвечать следующим требованиям:

ВВ могут иметь большой критический диаметр (100 мм), т.е. пониженную детонационную способность в зарядах малого диаметра. Это могут быть грубодисперсные гранулированные и водосодержащие ВВ с широкой зоной химической реакции. Такие ВВ обеспечивают получение более равномерного дробления породы при взрыве за счет уменьшения зоны переизмельчения вблизи заряда;

при отбойке на карьерах обоснованно не предъявляются к ВВ жесткие требования в части количества ядовитых газов, выделяемых при взрыве ВВ, поэтому пока возможно использование рецептов, имеющих кислородный баланс, отличный от нулевого. Однако при применении ВВ с отрицательным кислородным балансом, особенно при имеющейся тенденции увеличения масштабов взрыва и интенсивном углублении карьеров, удаление вредных газов из зоны карьера осложняется. ВВ с отрицательным кислородным балансом выбрасывают в атмосферу при взрыве много ядовитых газов, что может отрицательно сказываться на экологическом равновесии района расположения карьера. 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 ВВ с отрицательным кислородным балансом должно уменьшаться.

Для снижения вредного воздействия газов взрыва на окружающую инфраструктуру района объем взрывов надо уменьшить с тем, чтобы снизить объем одновременно выделяемых ядовитых газов, уменьшить их концентрацию при распространении до районов воздействия.

Перспективно применение водосодержащих суспензионных и эмульсионных ВВ, часть из которых имеет хорошую водоустойчивость и кислородный баланс, близкий к нулевому, и выделяет при взрыве меньше ядовитых газов, чем тротилсодержащие ВВ.

Большие объемы взрывов, применяемые на карьерах, требуют одновременного заряжания большого количества скважин. Поэтому ВВ должны обладать хорошей сыпучестью, минимальной слеживаемостью при хранении, минимальным пылением при пересыпке и быть малочувствительными к механическим воздействиям с тем, чтобы работы по заряданию скважин могли выполняться зарядными машинами, резко увеличивающими производительность труда на этих работах.

При применении водосодержащих суспензионных и эмульсионных ВВ должны использоваться зарядные устройства

(машины, зарядчики), обеспечивающие их подачу под столб воды в скважине высотой 15—18 м с производительностью не ниже 150—200 кг/мин.

При этом может осуществляться как синхронная подача ВВ и подъем зарядного шланга, чтобы обеспечить постоянство его заглубления в заряд, так и последовательная процедура заряжания, когда подается 3/4 или 4/5 общей величины заряда при неподвижном шланге, а затем извлекают шланг с постоянной скоростью с одновременной подачей оставшейся части заряда. Недостаток последнего метода в необходимости применения больших давлений подачи ВВ, преимущества — в простоте механизмов управления подъемом зарядного шланга.

Важным при заряжании больших объемов ВВ на блоке является сохранение постоянства их свойств при нахождении ВВ в скважинах в течение длительного времени (7—10 и более суток), а также минимальное агрессивное воздействие их на средства инициирования (ДШ, шашки-детонаторы), а также взаимодействия ВВ с окружающими породами (стенками скважин и трещинами, с которыми имеет контакт заряд ВВ).

При больших значениях ЛНС и диаметров заряда основное влияние на интенсивность дробления пород при взрыве оказывает трещиноватость пород. Величина удельной энергии ВВ при больших диаметрах (≥ 250 мм) зарядов играет меньшую роль, чем при отбойке шпурами и скважинами малого диаметра (70—100 мм). Поэтому основная масса ВВ может иметь относительно невысокую теплоту взрыва (до 4000 кДж/кг). Такие ВВ обеспечивают в большинстве случаев хорошее дробление породы при относительно невысокой стоимости самих ВВ.

Такие ВВ особенно эффективны, если за счет увеличения плотности заряжания в скважинах удастся повысить объемную концентрацию энергии, т.е. количество энергии в единице объема, занимаемого зарядом. Примерно 15 % от общего количества ВВ должно обладать высокими взрывчатыми характеристиками с теплотой взрыва не ниже 5000 кДж/кг. Эти ВВ должны быть предназначены для взрыва крупноблочных трудновзрываемых и обводненных пород.

Значительная часть россыпных ВВ (~50 %) должна быть водоустойчивой и иметь плотность более 1 г/см³, чтобы при заряжании обводненных скважин ВВ хорошо тонуло в воде. Смесь ВВ и воды должна устойчиво детонировать.

Перспективно создание жидких ВВ плотностью более 1 г/см³ из смеси селитры, пудры или порошка алюминия и воды с загустителем. Целесообразно для заряжания скважин при небольших объемах взрыва использовать ВВ с меньшей водоустойчивостью в эластичных рукавах-пакетах, диаметр которых больше диаметра скважин, а общая плотность более 1 г/см³. Опущенные в скважину рукава с ВВ под действием столба ВВ и забоечного материала полностью заполняют все сечение скважины, обеспечивая тем самым высокую плотность заряда. Заряжание обводненных скважин зарядами ВВ в жестких оболочках может быть эффективно только в случае создания его плотности в скважине не меньшей, чем при россыпных ВВ, а также обеспечения механизации процесса заряжания.

Это направление работ заслуживает внимания, т.к. в оболочках можно применять в обводненных условиях гораздо более дешевые ВВ, чем гранулотол или алюмотол.

С применением на карьерах двухбункерных зарядных машин и использовании машин для откачки воды из обводненных скважин требования крупных карьеров к ассортименту ВВ, получаемых базисным складом, могут существенно измениться. На склад можно поставить отдельно гранулотол и аммиачную селитру, которую размещают в другом хранилище, примыкающем к стационарному узлу подготовки селитры для зарядных машин. Заполнение бункеров селитрой, гранулотолом и размещение на машине емкости с соляровым маслом позволяет создавать на предприятии любое ВВ: игданит, граммонит и т.д., применять гранулотол в скважинах с проточной водой или вести их заряжание неводоустойчивыми ВВ в полиэтиленовых рукавах.

Это позволит крупным горным предприятиям, использующим механизированные пункты подготовки ВВ и зарядные машины, получить большую экономию средств и уменьшить по-

требление тротила и других дорогих тротилсодержащих ВВ, так как после откачки воды до 70 % скважин могут быть заряжены более дешевыми, менее водоустойчивыми ВВ. Кроме того, доставка на предприятие отдельно гранулола и селитры стоит дешевле, чем доставка смесового ВВ, т.к. аммиачная селитра перевозится по регламенту обычных грузов, а не взрывоопасных.

В связи с высокой стоимостью тротила и алюминия объем применения тротилсодержащих ВВ будет снижаться и в ближайшее время они будут заменены бестротиловыми ВВ.

В целом на крупных карьерах с механизацией взрывных работ объем применения игданита, изготавливаемого на стационарных пунктах подготовки ВВ, должен существенно возрасти, особенно после создания маслоустойчивых детонирующих шнуров для его взрывания и широкого выпуска пористой селитры, обеспечивающей стабильность свойств заряда в течение 7—10 сут.

Широкое применение на крупных карьерах получили водосодержащие ВВ акватола и эмульсионные с плотностью 1,3—1,5 г/см³. Эти ВВ, особенно эмульсионные, обеспечивают их длительное нахождение в скважинах с проточной водой без размывания селитры (эмульсии) и потери зарядами детонационной способности.

Проблема создания дешевых по стоимости на уровне неводоустойчивых ВВ, пригодных для механизированного заряжания и взрывания обводненных скважин с проточной водой, является важнейшей народнохозяйственной задачей.

На карьерах небольшой производственной мощности, так же как и на других горных и промышленных объектах с небольшим объемом потребления ВВ (100—1000 т/год), проще применять ВВ только заводского изготовления. На карьерах будут значительно шире, чем в настоящее время, применять не содержащие тротил гранулиты. Все шире внедряется доставка на такие объекты эмульсии в зарядных машинах и заряжание скважин гранулитами.

При зарядании обводненных скважин должны также применяться полиэтиленовые рукава для размещения в них зарядов малоустойчивых ВВ при условии обеспечения целостности рукавов в процессе зарядания.

На временных промышленных объектах для выполнения взрывных работ в основном будут применять патронированные, в том числе в полиэтиленовых оболочках, неприхоронительные ВВ, т.к. простота и универсальность их применения являются основными критериями выбора.

Более высокая стоимость ВВ не играет решающей роли, особенно учитывая небольшой объем их использования.

В настоящее время крупные и особенно небольшие предприятия все еще заказывают неоправданно большое количество тротила и ВВ с высоким содержанием тротила. При правильном выборе ассортимента ВВ с учетом взрываемости подлежащих разработке массивов пород и их обводненности можно значительно снизить объем потребления тротила и тротилсодержащих ВВ.

Для суровых климатических условий Севера, где взрывают в основном сухие скважины, целесообразно шире использовать бестротиловые гранулиты и игданиты. На крупных карьерах по добыче скальных пород фактически уже работают несколько лет пункты для приготовления водосодержащих горячельющихся и особенно эмульсионных ВВ.

На многих угольных разрезах, рудных и нерудных карьерах построены и эксплуатируются пункты приготовления гранулированных бестротилового игданита, угленитов и т.п. В ряде случаев такие ВВ изготавливают с помощью зарядных машин.

Наиболее широкое применение для взрывных работ на земной поверхности получают в дальнейшем разные сорта гранулированных бестротилового ВВ, а также водосодержащие и льющиеся ВВ с необходимым диапазоном энергетических характеристик.

Для взрывания негабарита будут использоваться накладные заряды из порошкообразных или пластичных ВВ с небольшим критическим диаметром, а также конверсионные ВВ.

б. Для взрывания на подземных рудниках и в шахтах, не опасных по взрыву газа или пыли

Условия взрывания в подземных рудниках можно разделить на два класса:

- ♦ взрывные работы при отбойке руд скважинами диаметром 80—100 (150) мм глубиной до 50 м;
- ♦ взрывные работы при проходе выработок и отбойке руд шпурами и скважинами диаметром до 40—60 мм и глубиной от 4,0 до 20 м.

При отбойке руд все шире применяют механизированное (в основном пневматическое) зарядание с использованием гранулированных ВВ. Требования к ВВ с учетом этой тенденции будут в значительной степени повторять требования к ВВ для механизированного зарядания на карьерах:

- ♦ ВВ должны содержать минимальное количество мелких пылевидных фракций, так как пыль из скважин попадает в рабочую зону взрывников, создает опасность вспышки и недопустима по санитарным требованиям;
- ♦ ВВ должны при перевозках и пневмотранспортировании образовывать минимальное количество мелких пылевидных фракций, т.к. это способствует пылеобразованию при зарядании и повышает уровень электризации ВВ;
- ♦ ВВ должны обладать возможно меньшей склонностью к электризации при пневмотранспортировании;
- ♦ ВВ должны быть пригодны для пневмотранспортирования, пневмозарядания и способны удерживаться в восходящих скважинах;
- ♦ ВВ должны устойчиво детонировать в зарядах диаметром 60 мм любой длины при добавлении в заряд до 3 % воды. Вода в количестве 2—4 % добавляется в гранулированные ВВ с целью снижения пыления и электризации при пневмозарядании, а также получения слипаемости гранул в восстающих скважинах для надежного удержания в них зарядов;
- ♦ основная часть ВВ должна иметь средние энергетические характеристики на уровне 4000 кДж/кг. Примерно 15 % ассорти-

тимента должны составлять ВВ с энергией 5000 кДж/кг для взрывания наиболее труднодробимых руд и проходки выработок. Все ВВ должны быть относительно водоустойчивыми, устойчиво детонировать при попадании в них до 6 % воды.

Чувствительность ВВ должна обеспечивать их надежное инициирование с помощью патрона — шашки массой до 200 г или ДШ с навеской ВВ в 1 м шнура 20 г и выше.

В наибольшей степени этим требованиям удовлетворяют граммонит 79/21, а также простейшие гранулиты с добавками алюминия в виде пудры разной тонкости размол. Проблематично использование для зарядки скважин (преимущественно восходящих) водосодержащих ВВ. Заслуживает разработки технология использования бестротиловых ВВ для отбойки руд особенно на основе пористой селитры.

Порошкообразные патронированные ВВ при подземной отбойке скважинами будут применяться в весьма ограниченных объемах.

ВВ для проходки выработок должны удовлетворять следующим требованиям:

- ♦ патронированные ВВ для врубовых и отбойных шпуров должны быть полупластичными и пластичными, иметь плотность 1,2—1,5 г/см³ для обеспечения высокой плотности зарядания шпуров и размещения возможно большей величины заряда в 1 м шпура;
- ♦ ВВ должны обладать энергией на уровне 4000—5000 кДж/кг и устойчиво детонировать от применяемых детонаторов;
- ♦ целесообразно выпускать патронированные ВВ в эластичных водоустойчивых оболочках, чтобы исключить операцию продольного надрезания патронов перед введением их в шпур;
- ♦ до 10—15 % ВВ должно выпускаться в специальных патронах для контурного взрывания;
- ♦ целесообразно выпускать патронированные ВВ в патронах диаметром 25, 32, 36, 45 мм с учетом разнообразия условий ведения взрывных работ;
- ♦ наиболее чувствительные гранулированные ВВ могут использоваться для механизированной зарядки шпуров при про-

ходке выработок; инициирование их должно обеспечиваться патроном штатного ВВ.

В наибольшей степени перечисленным требованиям удовлетворяют детониты, граммонит 79/21, гранулиты с содержанием алюминия 3—6 %. Определенный объем проходки по породам невысокой крепости будет выполняться порошкообразным патронированным аммонитом 6ЖВ.

С увеличением глубины шпуров (3 м и более) и сечения выработок, необходимого числа шпуров на забой (40 шт. и более) целесообразность применения гранулированных ВВ и механизированного их заряжания возрастает.

в. Для взрывания в шахтах, опасных по взрыву газа или пыли

Применение этих ВВ необходимо рассматривать в совокупности с возможностью инертизации призабойной зоны ведения взрывных работ в выработках, исключаяющей воспламенение метана и угольной пыли или локализующей возникшую вспышку. Если не учитывать последнего фактора, то с учетом все усложняющейся пылегазовой обстановки угольных шахт требуется все большее количество безопасных и, следовательно, более слабых ВВ, что в конечном счете потребует перехода на менее эффективные методы беспламенного взрывания или невзрывные способы разрушения угля и породы.

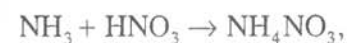
Если же будут созданы надежные методы инертизации призабойной зоны, то целесообразно использовать для взрывания угля и мягких пород мощные породные предохранительные ВВ, а в средних и крепких породах — не предохранительные ВВ. Это резко улучшит технико-экономические показатели проходки выработок в угольных шахтах.

6.3. ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВВ

1. АММИАЧНАЯ СЕЛИТРА (азотнокислый аммоний) NH_4NO_3 является компонентом большинства промышленных ВВ. Один грамм селитры при разложении выделяет 0,2 г кисло-

рода, который при взрыве используется для окисления водорода, углерода, алюминия, содержащихся в других компонентах смесового ВВ. Дешевизна и простота ее получения, неограниченность сырьевой базы (воздух + вода), полный переход в газообразные продукты при взрыве обусловили широкое ее применение для промышленных ВВ.

Аммиачная селитра — белый кристаллический порошок с плотностью в зависимости от формы кристаллов 1,56—1,74 г/см³. Насыпная плотность аммиачной селитры 0,86—1,74 г/см³. Получается селитра реакцией соединения аммиака с азотной кислотой по уравнению



выпускается в виде порошка, гранул, чешуек и кристаллов. В настоящее время налажен выпуск пористой селитры.

Обычная кристаллическая аммиачная селитра обладает высокой гигроскопичностью. При изменении влажности воздуха она слеживается, превращаясь в камнеобразную массу. Поэтому сейчас изготавливают менее слеживающуюся кристаллическую и гранулированную селитру марки ЖВ с добавками железных солей жирных кислот, покрывающих кристаллы селитры мономолекулярной пленкой и снижающих тем самым ее гигроскопичность, слеживаемость и повышающих водостойчивость.

Аммиачная селитра может существовать в нескольких кристаллических модификациях. При охлаждении или нагревании при температуре -16° , $+32^\circ$, $+85^\circ$, $+125^\circ\text{C}$ она переходит из одной модификации в другую. При таких переходах слеживаемость селитры резко увеличивается. Температура плавления аммиачной селитры 169°C . При наличии влаги температура плавления селитры значительно снижается.

Аммиачная селитра хорошо растворяется в воде. Растворение происходит со значительным поглощением тепла: при растворении 6 частей селитры в 10 частях воды температура понижается на 27° .

Реакция взрывного разложения селитры



сопровождается выделением тепла Q и избыточного кислорода.

Теплота взрыва селитры всего 1400 кДж/кг по сравнению с 3400—5000 кДж/кг для аммонитов.

Примеси органических веществ, даже в небольших дозах, значительно повышают энергию взрыва аммиачной селитры и делают ее более чувствительной. Парафин и подобные ему вещества, являющиеся флегматизаторами для ВВ, имеющих обычно отрицательный или нулевой баланс, по отношению к аммиачной селитре в небольших количествах (до 5 %) выполняют роль сенсibilизаторов, так как, участвуя в реакции и повышая энергию взрыва, они повышают и восприимчивость селитры к детонации при положительном и нулевом кислородном балансе смеси. Если кислородный баланс смеси становится отрицательным, то добавки флегматизируют смесь и она теряет детонационную способность.

Считалось, что чистая селитра не способна взрываться. Однако в 1921 г. в Германии произошло несколько крупных взрывов при рыхлении слежавшейся в штабеле селитры взрывным способом (гг. Кривальде, Оппау). За последние 50 лет произошло более 25 аварийных взрывов и пожаров на транспортных судах, перевозивших селитру в трюмах. Большинство взрывов произошло в результате загорания или термического разложения селитры в замкнутом пространстве, когда достаточно быстро повышаются давление и температура. Пожаро- и взрывоопасность селитры резко увеличивается при наличии в селитре горючих примесей, а также при ее упаковке в горючие материалы. Поэтому при хранении и транспортировке селитры необходимо создавать условия, исключающие появление очагов разогрева.

Аммиачная селитра активно вступает в реакцию с серой, сульфидами, азотной, серной, фосфорной кислотами, а также с металлами (цинк, медь, никель, магний). Особенно опасны примеси азотной кислоты, т.к. это может привести к самовоспламенению селитры. Алюминий и железо не вступают в реакцию с

селитрой. Добавки, способствующие нейтрализации азотной кислоты (мочевина, дифениламин), увеличивая термическую стойкость смеси аммиачной селитры с горючими веществами (древесная мука, крахмал, бумага и др.), уменьшают вероятность самовозгорания таких смесей. Изучением взрывчатых свойств селитры установлено, что критический диаметр сухой тонкоизмельченной селитры плотностью 0,8 г/см³ в открытых зарядах, по данным А.Ф. Беляева, — 100 мм. Критический диаметр обычной (товарной) селитры 200—250 мм. Толщина слоя селитры, по которому может устойчиво распространяться детонация, составляет 30—50 мм, а слоя из пыли селитры — всего 15—20 мм. При наличии прочной (неразрушаемой) оболочки возможна детонация сухой чистой тонкоизмельченной селитры от обычного детонатора в заряде диаметром 7 мм. Скорость детонации обычной селитры в металлической трубе диаметром 40 мм 1,95 км/с, водоустойчивой селитры — 2,6 км/с, а ее пыли — 3,4 км/с.

Работоспособность в свинцовой бомбе чистой селитры 180 см³, а с добавкой 5,5 % парафина — 325 см³. В чистом виде селитра не детонирует от взрыва детонатора или ДШ. Для ее детонации нужен промежуточный детонатор из прессованного тротила массой не менее 50 г, при влажности селитры 1 % масса детонатора должна быть 100—150 г.

Гранулированная или чешуйчатая селитра в мешках не взрывается от шашки тротила величиной 0,5 кг.

Раньше селитру иногда применяли как самостоятельное ВВ при крупных массовых взрывах. В настоящее время она используется только в смеси с горючими добавками (жидкими и твердыми) или в составе смесевых ВВ.

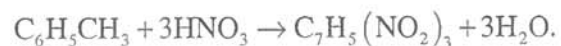
Учитывая низкую детонационную способность селитры, она по условиям хранения и транспортировки не относится к ВВ.

Пористая селитра обладает повышенной поглощающей способностью к жидким горючим добавкам. На ее основе созданы более работоспособные бестротилловые и тротилсодержащие ВВ с существенно меньшими критическими диаметрами.

Натриевая, калиевая и кальциевая селитры (NaNO_3 ; KNO_3 ; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) содержат более чем в 2 раза больше кислоро-

да, чем аммиачная, и имеют положительный кислородный баланс (более 40 %), плотность кристаллов более 2 г/см³. Но при взрывчатом разложении они образуют мало газов и много твердых оксидов, стоимость их выше. Смеси этих селитр с горючими более чувствительны к механическим воздействиям и к воспламенению. Эти селитры имеют ограниченное применение для приготовления водосодержащих ВВ. Добавки этих селитр повышают плотность ВВ, снижают температуру его замерзания, хорошо удерживают воду в составе ВВ, препятствуя его высыханию.

ТРИНИТРОТОЛУОЛ (тротил или тол $C_7H_5(NO_2)_3$) является одним из самых распространенных однокомпонентных ВВ. Тротил получают путем нитрации толуола смесями азотной и серной кислот по реакции



Серная кислота в реакции не участвует и добавляется для поглощения воды и более активного протекания процесса.

Чистый тротил состоит из кристаллов светло- или темно-желтого цвета с температурой плавления 80 °С. В порошкообразном виде тротил имеет насыпную плотность 0,9 г/см³ и хорошо прессуется под давлением около 4000 кгс/см² до 1,6 г/см³. Литой тротил имеет плотность 1,54—1,59 г/см³. Плотность гранул или чешуек 1,5 г/см³ (из-за наличия усадочных раковин) меньше плотности литого тротила.

Тротил практически не растворим в воде, имеет высокую химическую стойкость. Температура вспышки тротила 310 °С. Вспышка обычно не сопровождается взрывом. Переход горения в детонацию наблюдается только при горении тротила в замкнутом пространстве или в очень больших количествах.

Применяется тротил в порошкообразном, прессованном, чешуйчатом, гранулированном виде, а иногда в виде кусков и литых шашек. Тротил входит в состав аммиачно-селитренных ВВ как сенсibilизатор и как активная горючая добавка, т.к. имеет много лишних молекул горючих (углерода). Содержание тротила в смесевых ВВ изменяется от 6 до 70 %. Для патрони-

рованных ВВ применяется порошкообразный тротил, для грубодисперсных — гранулированный и чешуйчатый. При попадании в тротил песка или других твердых примесей резко возрастает его чувствительность к механическим воздействиям, что необходимо учитывать при зарядании скважин. Наиболее восприимчив к инициированию порошкообразный тротил, наименее — литой. Критический диаметр сухого порошкообразного тротила — 8—10 мм.

Тротил имеет большой отрицательный кислородный баланс (74 %), из-за чего при его взрыве выделяется мало газообразных и значительное количество твердых продуктов (сажа).

Порошкообразный и прессованный тротил взрывается от штатного детонатора или нескольких витков ДШ. Литой тротил требует более мощного промежуточного детонатора из прессованных тротильных шашек или патронов аммонита.

Тротил токсичен, особенно в тонкоизмельченном состоянии, вызывает раздражение кожи и болезнь глаз, а также тротильную интоксикацию организма. Предельно допустимая концентрация тротильной пыли в воздухе 1 мг/м³.

ГРАНУЛОТОЛ (гранулированный тротил) с размером гранул 3—5 мм применяется как самостоятельное ВВ для взрывания обводненных скважин и в качестве компонента в составе граммонитов и водосодержащих ВВ. В сухом состоянии гранулотол имеет теплоту взрыва 3450 кДж/кг, а водонаполненный — 4200 кДж/кг в пересчете на 1 кг сухого ВВ. Работоспособность водонаполненного гранулотола на баллистическом маятнике и в свинцовой бомбе (с промежуточным детонатором) на 10—13 % выше работоспособности сухого тротила в тех же условиях.

Критический диаметр гранулотола в открытых зарядах 60 мм, водонаполненного 25—30 мм, а скорость детонации изменяется от 4,5 до 6,5 км/с.

Гранулотол абсолютно водостойчив, хорошо тонет в воде, имеет хорошую сыпучесть в сухом и мокром состоянии. При хранении не слеживается и не спекается, обладает высокой стабильностью взрывчатых свойств. Его заряды могут продолжительное время находиться в воде, в том числе и проточной, без

потери взрывчатых свойств. Для инициирования гранулолота необходим промежуточный мощный детонатор, так как он недостаточно чувствителен к обычным СИ.

Гранулотол рекомендуется применять в водонаполненном состоянии, так как вода, заполняя промежутки между гранулами, увеличивает плотность заряжания до 1,3—1,35 г/см³, за счет чего повышается скорость детонации, и улучшает эффект взрыва. Водная оболочка вокруг гранул способствует дополнительному выделению тепла (q) за счет смещения реакции в сторону образования углекислого газа.



Кроме того, вода, испаряясь, также увеличивает объем газов взрыва, но на ее испарение требуется тепло, из-за чего снижается общая энергия взрыва водонаполненного тротила. Применение этого ВВ в сухих скважинах нерационально, так как из-за малого объема газов взрыва эффект разрушения получается хуже, чем при аммонитах, выделяющих большой объем газов при взрыве. Гранулотол удобен для механизированного заряжания скважин. Взрывчатые характеристики гранулолота приведены в табл. 6.1. Для повышения энергетических показателей гранулолота в тротил добавляется алюминиевая пудра.

АЛЮМОТОЛ представляет собой гранулированный сплав с гранулами до 5 мм серого цвета, состоящий из 85 % тротила и 15 % алюминиевой пудры, с теплотой взрыва 5600 кДж/кг. Плотность гранул 1,5—1,7 г/см³. Алюмотол, как и гранулотол, абсолютно водостойчив, хорошо сыпуч в сухом и мокром состоянии, не слеживается, пригоден для механизированного заряжания скважин, обладает высокой стабильностью и высокими взрывчатыми свойствами (см. табл. 6.1). Предназначен для применения в обводненных скважинах, в том числе с проточной водой. Для его инициирования необходимы мощные промежуточные детонаторы.

Таблица 6.1

Взрывчатые характеристики водостойчивых ВВ

Показатели	Гранулотол	Алюмотол	Граммонит 50/50	Граммонит 30/70
Теплота взрыва, кДж/кг	$\frac{3450^*}{4100}$	$\frac{5200^*}{5600}$	3700	3450
Работоспособность, см ³	290	430	450	380
Объем газов, л/кг	$\frac{750^*}{1945}$	$\frac{675^*}{815}$	870	800
Бризантность ВВ в водосодержащем состоянии, мм	32—34	Разрушение	23—25	24—27
Критический диаметр, мм	5—10	5—10	40—50	40—60
Скорость детонации в стальной трубе, км/с	5,5—6,5	5,5—6,0	3,6—4,2	5,2—5,6
Плотность насыпная, г/см ³	0,95—1,0	0,95—1,0	0,9—0,95	0,9—0,95
Кислородный баланс, %	—74	—76,2	—27,2	—45,2
* Числитель — в сухом; знаменатель — в водонаполненном состоянии.				

При взрывании гранулолота или алюмотола в больших зарядах наблюдается явление вторичных взрывов (хлопков), когда через некоторый промежуток времени (от нескольких секунд до часов) после взрыва в массе взорванной породы происходят довольно сильные хлопки, которые иногда сопровождаются выбросом пламени. Сила вторичного взрыва незначительна, и разброса породы обычно не происходит. В этом случае происходит вспышка горячих газов, содержащих оксид углерода, метан и другие горючие, образовавшиеся при взрыве и достигшие в смеси с воздухом взрывоопасной концентрации. После взрыва ВВ горение газов, выходящих из взорванной горной массы, может продолжаться несколько часов.

ГЕКСОГЕН $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6\text{O}_6$ (циклотриметилентринитрамин) — продукт нитрации уротропина азотной кислотой представляет собой белый кристаллический порошок плотностью 1,8 г/см³ и насыпной плотностью 1,1 г/см³. Температура плавления 203 °С, не

растворим в воде, ядовит, имеет высокую химическую стойкость. Разложение гексогена начинается при температуре 200 °С. В небольшом количестве сгорает без взрыва.

Ввиду высокой чувствительности гексогена к механическим воздействиям его применяют только во флегматизированном виде, что достигается покрытием его кристаллов 5 % воска или парафина.

Гексоген — одно из наиболее мощных ВВ. Работоспособность в свинцовой бомбе 475 см³, бризантность при заряде 25 г составляет 16 мм. При заряде 50 г свинцовый столбик разрушается. Скорость детонации 8,4 км/с при плотности 1,7 г/см³, теплота взрыва 5450 кДж/кг.

В последнее время гексоген используют в качестве сенсibilизирующего компонента мощных промышленных ВВ (скальных аммонитов), вторичного инициирующего ВВ (вместо тетрила) для ЭД, а также для изготовления некоторых ДШ и промежуточных детонаторов для инициирования малочувствительных ВВ.

НИТРОГЛИЦЕРИН $C_3H_5(ONO_2)_3$ (тринитроглицерин, глицеринтринитрат) — тяжелая, маслянистая, бесцветная жидкость плотностью 1,6 г/см³. Технический нитроглицерин имеет желтовато-коричневый цвет.

Нитроглицерин получают тройной нитрацией чистого глицерина смесью серной и азотной кислот:



Жидкий нитроглицерин затвердевает при температуре +13,2 °С, в составе ВВ он затвердевает при температуре около +10 °С. Поэтому при изготовлении ВВ его смешивают с труднозамерзающими нитроэфиром (нитроглицерин и др.).

При растворении в 100 г нитроглицерина 2,5 г коллодионного хлопка образуется студенистообразная масса (желатин), чувствительность которой к механическим воздействиям ниже чувствительности нитроглицерина. Чувствительность нитроглицерина к механическим воздействиям и восприимчивость к де-

тонации очень высоки. Замерзший нитроглицерин менее чувствителен к удару, чем жидкий, но в полужаменном состоянии он обладает наибольшей чувствительностью к механическим воздействиям и очень опасен.

Нитроглицерин — мощное ВВ с теплотой взрыва 6040 кДж/кг, имеет две скорости детонации (2 и 7,6 км/с), бризантность его при испытании в жестком цилиндре равна 18,5 мм. Работоспособность в свинцовой бомбе 550 см³. Нитроглицерин ядовит, при контакте с кожей человека он вызывает сильную головную боль. Через несколько дней постоянной работы с нитроглицерином у человека вырабатывается иммунитет и головные боли проходят.

НИТРОГЛИКОЛЬ $C_2H_4(ONO_2)_2$ по свойствам похож на нитроглицерин. Это прозрачная жидкость плотностью 1,5 г/см³, хорошо растворяется в большинстве органических растворителей, летучесть его примерно в 3 раза выше летучести нитроглицерина, желатинизируется более активно. Нитроглицерин затвердевает при температуре -20 °С. С нитроглицерином образует растворы, имеющие температуру затвердевания от -17 до -23 °С.

Нитроглицерин имеет невысокую химическую стойкость, чувствительность его к механическим и тепловым воздействиям ниже, чем у нитроглицерина. Теплота взрыва нитрогликоля 7120 кДж/кг, скорость детонации 7,4 км/с, работоспособность в свинцовой бомбе 600 см³.

Токсическое действие нитрогликоля аналогично действию нитроглицерина, однако иммунитет у человека не вырабатывается, поэтому при работе с ним нужна особая осторожность, недопустим контакт открытых частей кожи рабочих с нитроглицерин.

Нитроэфиры применяются в качестве сенсibilизаторов при изготовлении детонита М, некоторых предохранительных ВВ: угленитов, серного и нефтяного аммонитов.

Горючие и другие добавки аммиачно-селитренных ВВ

Кроме перечисленных основных взрывчатых компонентов, в состав аммиачно-селитренных ВВ входят невзрывчатые органические горючие добавки, богатые горючими элементами

(водородом и углеродом), которые окисляются избыточным кислородом аммиачной селитры с выделением тепловой энергии.

Твердые горючие добавки входят в состав ВВ в тонкоизмельченном виде, чтобы увеличить поверхность соприкосновения с селитрой (древесная мука, мука хлопкового жмыха и т.д.). Эти добавки выполняют в составе ВВ также функцию разрыхлителя, снижая слеживаемость ВВ при хранении.

В качестве горючей добавки в составе карботолов — горячелюющих ВВ с минимальным содержанием воды — применяют карбамид (мочевина).

Карбамид с аммиачной селитрой (48:52) образует смесь с температурой плавления 48 °С, а при 15 % карбамида смесь плавится при температуре 75 °С. Плотность смеси селитры — карбамид 1,4—1,6 г/см³ значительно превышает плотность водных растворов селитры, поскольку плотность кристаллов карбамида 1,3 г/см³.

Карбамид участвует в реакции взрыва с селитрой



с выделением тепла $q = 3200$ кДж/кг и газов ν_r в количестве 970 л/кг. Замена воды в составе водосодержащих ВВ на карбамид увеличивает теплоту взрыва на 345—380 кДж/кг. Простейшие смеси — селитра-карбамид — взрываются в зарядах диаметром 40 мм от детонатора со скоростью 2,2—2,5 км/с. Это позволяет уменьшить содержание тротила в составе карботолов до 15 %.

Из жидких горючих добавок применяется соляровое масло всех выпускаемых марок (до 5 %). Комбинация жидкой и твердой горючих добавок в гранулах заводского изготовления обеспечивает лучшее удержание солярового масла в составе ВВ на поверхности гранул аммиачной селитры. В акватолах предложено ИГД УРО РАН заменить до 10 % тротила соляровым маслом без снижения их взрывчатых свойств.

В качестве металлической горючей добавки все шире применяется алюминий в виде пудр и порошков, которые повыша-

ют теплоту взрыва за счет большого количества тепла, выделяемого при окислении алюминия, и повышает объемную концентрацию энергии ВВ благодаря увеличению плотности ВВ.

Дефицитный алюминий в составе ВВ можно заменить недорогими ферросплавами, содержащими кремний, ферросилиций (ФС) и силикокальций (СК). Ферросилиций содержит кремний (20—80 %), алюминий (1—3 %), хром (0,2—0,4 %) и марганец (0,2—0,6 %), а силикокальций содержит кальций (10—30 %), алюминий (1—2 %), железо (6—25 %). Как показывают расчеты и эксперимент, у ВВ, состоящего из 58 % селитры, 25 % тротила, 15 % алюминия и 2 % загустителя, замена алюминия другими порошками (табл. 6.2) позволяет получить ВВ с близкими энергетическими характеристиками.

В состав водоустойчивых ВВ входят гидрофобные добавки (парафин, асфальтит, стеарат кальция и т.п.), которые также выполняют роль горючих.

Для загущения растворов аммиачной селитры в водосодержащих ВВ и карботолах применяют натриевую соль карбоксиметил-целлюлозы (КМЦ), полиакриламид (П) и изредка гуаргам, так как последний получают только по импорту.

КМЦ выпускается в виде мелкозернистого материала или порошка. Хорошо растворяется в воде и в растворах аммиачной селитры. При растворении образуются вязкие гели, которые структурируются небольшими добавками некоторых солей трехвалентных металлов (например, сульфат хрома). При этом насыщенный раствор селитры приобретает вязкость, за счет чего снижается его вытекание по трещинам из скважины и оседание тротила, гранулы которого имеют большую, чем раствор, плотность.

Таблица 6.2

Горючая добавка	Теплота взрыва веществ, кДж/кг	
	сухих	водосодержащих
Алюминий	6150	5400
Кремний	6160	5400
Силикокальций СК-25	5800	4750
Ферросилиций ФС-75	5750	4450

ПОЛИАКРИЛАМИД выпускается в виде высоковязкого водного раствора или в виде порошка. По загущающей способности превосходит КМЦ, но используется реже, т.к. имеются сложности в равномерном размешивании высоковязких растворов в растворе селитры. Порошок растворяется хуже, чем КМЦ, и более пригоден для загущения ВВ в заводских условиях.

ГУАРГАМ — белый порошок с сероватым оттенком, получается размолом бобов тропической акации. Является эффективным загустителем с добавками буры, оксидов сурьмы и висмута.

СТРУКТУРООБРАЗУЮЩИЕ ДОБАВКИ (сшивки) применяют для создания поперечной связи макромолекул загущающих полимеров. Для этой цели применяют сульфат хрома, бихромат натрия, серпокислый алюминий, буру, калиевые квасцы хрома и т.п.

6.4. ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА, НЕ СОДЕРЖАЩИЕ ВЗРЫВЧАТЫХ КОМПОНЕНТОВ, ДЛЯ ОТКРЫТЫХ И ПОДЗЕМНЫХ РАБОТ

ДИНАМОНЫ — двухкомпонентные порошкообразные ВВ, не содержащие тротила. Эти ВВ начали применять в СССР с 1934 г., широкое распространение они получили в период Великой Отечественной войны. В качестве горючих добавок в динамоны вводились торф, древесная мука, мох, измельченная сосновая кора, отходы хлопка и т.п. Взрывчатые свойства динамонов целиком определялись составом и технологией их изготовления. Серьезными недостатками динамонов являлись их расслаиваемость при зарядке и гигроскопичность. В 1953 г. производство динамонов было прекращено и возобновлено в середине 60-х годов в виде трехкомпонентных металлизированных составов (аммиачная селитра, соляровое масло, алюминиевая пудра) марок АМ-8 и АМ-10, производство которых в настоящее время прекращено из-за недостаточной эффективности.

ИГДАНИТ (по названию б. Института горного дела АН СССР, где были начаты разработки этого ВВ) представляет собой смесь 94 % гранулированной аммиачной селитры и 6 % солярового масла, изготавливаемую непосредственно на карьере в зарядных машинах или на стационарных пунктах. Он предназначен для использования в сухих забоях или заряжания сухой части скважины при комбинированных зарядах.

При содержании дизельного топлива более 6 % у игданита резко снижается чувствительность к детонации и даже от мощного инициатора он не взрывается. При меньшем содержании солярового масла (2—3 %) смесь наиболее чувствительна и может детонировать от ЭД или КД.

Игданит может изготавливаться несколькими способами: соляровое масло заливают непосредственно в мешки с селитрой или в специальные патроны на месте взрыва, после чего производят зарядание; используют смесительно-зарядные автомашины для приготовления и зарядки игданита, используют стационарные пункты приготовления, а машины применяют только для доставки игданита к месту взрыва и зарядки скважин. Практическое распространение получили последние два способа механизированного приготовления и заряжания игданита.

Игданиты безопасны в обращении, имеют низкую стоимость, удобны для механизированного заряжания.

Недостатками игданитов являются: возможность применения только в сухих скважинах, частичная потеря взрывчатых свойств при длительном зарядании (более 5—6 часов) из-за стекания солярового масла в нижнюю часть заряда с гладких гранул аммиачной селитры, флегматизация сердцевины шнура марки ДША соляровым маслом, разрушение оболочки ДШ, изготовленного из маслостойчивого полиэтилена, из-за чего происходят отказы, низкое качество дробления крепких крупноблочных пород, недостаточный запас энергии для дробления таких массивов.

Введение в состав игданита аэросила (тонкодисперсный аморфный диоксид кремния) путем его предварительного смешивания с соляровым маслом в количестве 0,05—2 % резко повышает удерживающую способность гранул и исключает стекание горючей добавки в течение 3—5 суток.

Игданит относится к ВВ с невысокими энергетическими параметрами (табл. 6.3) и предназначен преимущественно для взрывания некрепких пород и средней крепости. Область его применения расширяется. С выпуском гранулированной пористой селитры, способной длительно удерживать соляровое масло, качество игданитов повысилось, а область применения существенно расширилась как на открытых, так и на подземных работах.

В настоящее время созданы детонирующие шнуры, устойчивые в течение 5—7 суток (время подготовки и производства крупного массового взрыва) к воздействию солярового масла, содержащегося в игданите.

За счет механизированного заряжания игданитов на крупных карьерах можно значительно уменьшить объем использования гранулированных тротилсодержащих и эмульсионных ВВ и снизить стоимость взрывных работ.

В последние годы Институтом проблем комплексного освоения недр (ИПКОН) РАН разработан игданит с добавкой 6 % алюминия, получивший название ИПКОНИТ. Это ВВ мощнее, чем игданит, обладает стабильными свойствами при нахождении в скважине в течение суток и предназначен для заряжания сухих (сухой части частично обводненных) скважин в массивах любой крепости и трещиноватости. Это ВВ успешно применяют при подземных работах.

ГРАНУЛИТЫ — бестротилловые ВВ заводского изготовления, состоящие из гранулированной аммиачной селитры, омасленной минеральным маслом и опудренной твердой мелкодисперсной горючей добавкой (табл. 6.3). Гранулиты мощнее игданита, жидкое горючее лучше удерживается на гранулах, за счет чего повышается стабильность свойств заряда. Гранулиты используют как при механизированном, так и при ручном заряжании, что позволяет расширить область применения бестротилловых ВВ как на крупных, так и на небольших карьерах с ручным заряжением.

Характеристика гранулированных ВВ, не содержащих взрывчатых компонентов

Показатели	Гранулиты					Игданит 94/6
	АС-4 АС-4В*	АС-8 АС-8В	С-6М	М	С-2	
Состав, %:						
аммиачная селитра гранулированная	92	90	94	95	95	94
соляровое масло	4	2	6	5	5	6
алюминиевая пудра	4	8	—	—	—	—
Взрывчатые характеристики:						
теплота взрыва, кДж/кг	4500	5200	3850	3850	3900	3800
объем газов, л/кг	907	847	980	980	850	990
бризантность в стальном кольце, мм	22—24	24—28	18—22	18—22	14—16	15—20
скорость детонации, км/с	2,6—3,2	3,0—3,6	2,5—3,6	2,5—3,6	2,0—2,6	2,2—2,7
насыпная плотность, г/см ³	0,80—0,85	0,95	0,95	0,95	0,85	0,85
кислородный баланс, %	+0,41	+0,34	—1,3	+0,14	+0,06	+0,12

* Индекс «В» в марке ВВ означает «водоустойчивое».

Гранулиты имеют низкую чувствительность к механическим воздействиям, могут детонировать при влажности до 3 %, имеют хорошую сыпучесть и низкую слеживаемость. Невысокая водоустойчивость гранулитов не позволяет их использовать в обводненных скважинах. Гранулиты АС-8 и АС-8В, как более мощные, пригодны для взрывания крепких пород в сухих и влажных забоях (без наличия воды). У водоустойчивых грану-

литов АС-4В, АС-8В гранулы селитры покрыты пленкой гидрофобного воскового состава. Частицы алюминия хорошо закрепляются на этой пленке, благодаря чему повышается стабильность свойств этих ВВ. Гранулиты М, С-6М, С-2 используют при взрывании пород ниже средней и средней крепости в сухих забоях.

Для детонации зарядов простейших ВВ необходимо применять промежуточные детонаторы из патронов аммонита 6ЖВ или специальных прессованных тротильных шашек промежуточных детонаторов массой 400 г.

В процессе механизированного пневмозаряжания все простейшие ВВ уплотняются до 1,1—1,15 г/см³. Это обеспечивает увеличение объемной концентрации энергии (произведение теплоты взрыва на плотность ВВ) в заряде до уровня тротилсодержащих ВВ типа граммонита 79/21. Простейшие ВВ имеют кислородный баланс, близкий к нулевому, и допущены для взрывания на открытых и подземных работах. При использовании гранулитов на подземных работах с пневмозаряжением их увлажняют для борьбы с зарядами статического электричества (2—3 % воды) и применяют средства для улавливания пыли.

6.5. ТРОТИЛСОДЕРЖАЩИЕ ГРАНУЛИРОВАННЫЕ ВВ ДЛЯ ОТКРЫТЫХ И ПОДЗЕМНЫХ РАБОТ

ГРАММОНИТЫ. Наша промышленность выпускает следующие граммониты, называвшиеся ранее зерногранулитам: 50/50 (только для открытых работ); 79/21 и 82/18 (для подземных и открытых работ). Числитель дроби в марке ВВ означает процентное содержание селитры, а знаменатель — содержание тротила. Характеристики граммонитов приведены в табл. 6.4.

Таблица 6.4

Характеристика граммонитов

Показатели	Граммониты		Акванал
	50/50	79/21	AP3-8H
Состав, %:			
аммиачная селитра водоустойчивая, гранулированная	50	79	—
тротил гранулированный или чешуйчатый	50	21	—
Взрывчатые характеристики:			
теплота взрыва, кДж/кг	4250	4300	5230
объем газов, л/кг	1070	895	850
работоспособность, см ³	325	360	340
бризантность в стальной оболочке, мм	24—27	22—28	20—25
критический диаметр, мм	40—60	40—60	70—100
скорость детонации, км/с	5,0—5,5	3,5—4,2	3,0—3,6
плотность, г/см ³	0,95	0,9—1,0	0,85
кислородный баланс, %	35,0	+0,02	-3,3

Граммониты с гранулолом имеют хорошую сыпучесть, не пылят, не слеживаются, пригодны для механизированного заряжания. От аммонитов они отличаются меньшей чувствительностью к механическим воздействиям, к пламени и к начальному импульсу.

Внешне граммониты представляют собой хорошо сыпучую смесь из гранул размером 2—3 мм. Заряд граммонита взрывается от промежуточного детонатора в виде патрона аммонита 6ЖВ или шашки промежуточного детонатора массой 200, 400 г.

Граммониты 50/50 представляют собой хорошо сыпучие ВВ, не слеживаются и не пылят при зарядке, пригодны для механизированной зарядки.

ГРАММОНИТ 50/50 используется для заряжания скважин только с непроточной водой, срок пребывания в воде до шести суток. Зарядка обводненных скважин граммонитами ведется через столб воды, что приводит к частичному растворению селитры и отрицательно сказывается на результатах взрывов.

ГРАММОНИТ 50/50 пригоден для заряжания скважин только с непроточной водой с высотой столба воды, равной $1/3$ длины заряда. Это рассчитано исходя из возможности полного растворения селитры, находящейся в составе граммонита в воде, и заполнения этим раствором пространства между гранулами тротила. Заряд гранулолота длиной 1 м поглощает столб воды 0,35 м. Через некоторое время после засыпки его в обводненную скважину образуется суспензия гранулолота в растворе селитры, что увеличивает плотность заряжания до 1,30—1,35 г/см³. Это способствует его детонации с высокой скоростью — 5,0—5,5 км/с. При правильной технологии применения он превосходит гранулолот по эффективности, но может применяться только в монолитных породах, чтобы исключить утечки раствора селитры.

ГРАММОНИТ 79/21 имеет нулевой кислородный баланс, одинаковый по составу с порошкообразным аммонитом 6ЖВ и может применяться также и в подземных условиях.

В последние годы с целью экономии тротила выпускается граммонит 82/18, содержащий его на 3 % меньше, чем 79/21. Практически взрывчатые характеристики и кислородный баланс не изменились в ощутимых пределах. Это решение аналогично принятому для предохранительных ВВ: в аммонит ПЖВ-20 с целью увеличения его детонационной способности добавлено 3 % тротила и он выпущен под маркой Т-19. Для инициирования всех граммонитов требуется промежуточный детонатор.

Граммонит 79/21 является хорошо сыпучей механической смесью гранулированной селитры с чешуйчатым тротилом. При механизированном зарядании образуется много взрывчатой пыли, поэтому его перед заряданием увлажняют, добавляя 3—6 % воды. Зарядание вручную не сопровождается существенным пылением. Зарядание этим граммонитом возможно сухих и влажных шпуров и скважин.

Выпускаются граммониты 79/21 и 82/18 с чешуйчатым тротилом. Они обладают повышенной склонностью к пылению, из-за чего при зарядании нисходящих скважин их надо увлажнять

до 10—12 %, а восходящих до 3—5 %. В увлажненном состоянии увеличивается плотность заряжания, но снижается чувствительность к детонации.

В настоящее время запрещено применять в подземных условиях граммониты на чешуйчатом тротиле. Выпущены граммониты на гранулолите, которые заменяют ранее применявшиеся. Граммонит на чешуйчатом тротиле предназначен преимущественно для взрывания на земной поверхности для сухих скважин.

Объем применения неводоустойчивых граммонитов должен быть уменьшен, т.к. они должны быть в основном заменены на большинстве объектов бестротильными гранулированными сухими с добавками эмульсии (эмулиты) и эмульсионными ВВ.

Граммониты на пористой селитре с содержанием гранулолота 5—20 % и солярового масла разработаны НТФ «Взрывтехнология»; применяют вместо граммонитов на плотной селитре как более эффективные.

ГРАММОНАЛЫ — гранулированная затвердевшая смесь аммиачной селитры и алюминия в расплавленном тротиле. Выпускали два сорта этих ВВ для открытых работ: граммоналы А-45 и А-50 и один сорт А-8 для подземных работ.

Граммонал А-45 содержит 45 % тротила, 15 % алюминиевой пудры и 40 % селитры. Он представляет собой крупные гранулы размером 5—7 мм светло-серого цвета, пригоден для механизированного заряжания.

ГРАММОНАЛ А-50 представляет собой гранулированный состав с меньшим содержанием алюминиевой пудры (3 %) и увеличенным до 50 % содержанием тротила. Размер гранул сербристого цвета 2—5 мм.

ГРАММОНАЛ А-8 — неслеживающееся, наиболее мощное из гранулированных ВВ, допущенное для взрывания в подземных условиях. По эффекту действия мало уступает скальному аммониту № 1 и детониту М. В сухом состоянии устойчиво детонирует от детонатора, в увлажненном — от промежуточного детонатора. Разрешалось механизированное зарядание. Для исключения пыления и электризации при пневмозарядании в граммонал добавляли 3—5 % воды. В настоящее время выпуск граммоналов прекращен.