

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Донецкий национальный технический университет»

КАФЕДРА «Строительство зданий, подземных сооружений и геомеханика»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ
по дисциплине
«Технология взрывных работ при разработке месторождений подземным
способом»

для обучающихся по специальности 21.05.04 «Горное дело»,
направленность (профиль) «Взрывное дело»
всех форм обучения

РАССМОТРЕНО
на заседании кафедры
строительства зданий, подземных
сооружений и геомеханики
Протокол №10 от 06.05.2025

Донецк
2025

Оглавление

История развития ВВ	3
Шпуровой метод взрывных работ	8
Расчет паспортов буровзрывных работ.....	15
Основные правила составления схемы расположения шпуров.....	27
Особенности расчета паспортов БВР при проходке вертикальных шахтных стволов.....	29
Основные взрывные врубы	35
Короткозамедленное взрывание	47
Сотрясательное взрывание в шахтах, опасных по внезапным выбросам	52
Специальные виды взрывных работ.....	60
Машины и механизмы для ведения взрывных работ.	71
Особенности ведения взрывных работ при подземной отбойке руд.....	80
Взрывные работы в угольных, серных, нефтяных и озокеритовых шахтах	85
Перечень рекомендуемой литературы	89

История развития ВВ

Самое древнее ВВ – черный порох был известен с древних времен в Китае, где его использовали для фейерверков.

В военных целях черный порох был использован арабами в XI веке. В XVI веке черный порох стали применять в Западной Европе и в России.

В 1552 г. русские при осаде Казани взорвали заряд черного пороха -48 бочек, предусмотрев все требования безопасности, войска были отведены на безопасное расстояние.

С 1627 г. начинается применение ВВ в горнодобывающей промышленности на шахтах Венгрии, затем в Германии, Англии и в других странах.

В 1831 г. англичанин У. Бикфорд изобрел огнепроводный шнур.

В середине XIX в. С развитием химической промышленности появляются новые ВВ. В 1832 г. француз Браконно получил пироксилин.

Опыты по инициированию зарядов черного пороха электрической искрой начались в 1751 г. (Франклин, США), но промышленные испытания этого способа были проведены в английских угольных шахтах лишь в 1835—1840 гг. В России известный изобретатель и инженер Шиллинг в 1812 г. успешно провел испытания электрозапала своей конструкции.

В середине XIX в. с развитием химической промышленности стали появляться новые взрывчатые вещества. В 1832 г. по Франции Браконно получил впервые нитроклетчатку (пироксилин) действием азотной кислоты на клетчатку. В 1846 г. Шенбайн, а в 1847 г. и Беттгер вновь получили нитроклетчатку (нитроцеллюлозу – бездымный порох), действуя на хлопок смесью азотной и серной кислот, в подробно изучили условия ее образования и взрывчатые свойства.

Однако промышленное производство нитроцеллюлозы стало возможным лишь в 1869 г., когда научились получать стойкий продукт, пригодный для длительного хранения. С 1879 г. нитроцеллюлозу стали широко применять как взрывчатое вещество (ВВ) в виде спрессованных шашек из чистого пироксилина или его смеси с нитратом бария (топит).

В 1846 г. Собrero (Италия) синтезировал нитроглицерин, который обладал высокими взрывчатыми свойствами. Но, несмотря на это, он долгое время не находил применения из-за своей высокой чувствительности к удару. На возможность практического использования нитроглицерина указал знаменитый русский химик Н. Н. Зинин, который в 1854—1855 гг. во время Крымской войны совместно с военным инженером В. В. Петрушевским изготовил большое количество нитроглицерина и снаряжал им гранаты.

В 1862 г. Н. Н. Зинина посетил шведский инженер Альфред Нобель. Познакомившись с работами Зинина и убедившись в перспективности применения нитроглицерина как взрывчатого вещества, он после возвращения в Швецию в 1863 г. построил завод по производству нитроглицерина.

Первое время нитроглицерин применяли для горных работ в чистом виде, но в 1867 г. Нобель предложил применять нитроглицерин в виде динамита, состоящего из 75% нитроглицерина и 25% кизельгура (инфузорная земля). Динамит был более удобен и менее опасен в обращении. С этого времени

начинается строительство заводов по производству нитроглицерина в большинстве стран Европы.

В 1885 г. была получена взрывчатая желатина, состоящая из 92% нитроглицерина и 8% нитроцеллюлозы. Этот состав получил название «гремучий студень» и стал применяться в качестве ВВ.

В 1873 г. Шпренгель установил, что пикриновая кислота (тринитрофенол) способна взрываться от капсюля детонатора. До этого, открытая еще в 1771 г. Вульфом, пикриновая кислота широко использовалась в качестве желтого красителя для шерсти и шелка; о взрывчатости пикриновой кислоты в то время ничего не было известно.

С 1886 г. пикриновую кислоту стали широко применять для снаряжения артиллерийских снарядов; во Франции это ВВ называлось «мелинит*», в Англии — «лиддит», в Японии — шимоза», в Германии — С/88.

Пикриновая кислота, обладая высокими взрывчатыми характеристиками являясь веществом менее опасным в обращении, чем известные до этого дымный порох, нитроглицерин и пироксилин, быстро нашла широкое применение (например, к концу первой мировой войны в России вырабатывалось ежегодно около 10 ООП т пикриновой кислоты).

Однако пикриновая кислота взаимодействует с металлами и образует высокочувствительные к механическому воздействию соли (пикраты), что привело к снижению объема ее производства и вскоре, пикриновая кислота почти полностью была вытеснена тротилом. Тротил был впервые получен в 1863 г., а в 1891 г. его стали выпускать во многих странах, и уже в первую мировую войну он по объему производства занял первое место среди других ВВ.

В 1877 г. был впервые получен тетрил. Взрывчатые свойства тетрила были изучены в 1885—1886 гг., в результате чего была установлена непригодность его для снаряжения снарядов ввиду высокой чувствительности тетрила к механическим воздействиям. Однако тетрил обладал хорошей восприимчивостью к детонации, поэтому с 1906 г. его стали применять в детонаторах.

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

В 1891 г. был синтезирован тэн, представляющий собой азотнокислый эфир многоатомного спирта пентаэритрита. Из нитроэфиров это наиболее стойкое взрывчатое вещество. Тэн является одним из мощных ВВ, для производства которого имеется практически неограниченная сырьевая база. Однако в настоящее время стоимость тэна еще высока и поэтому его применяют главным образом при производстве электродетонаторов, промежуточных детонаторов и детонирующего шнура.

Гремучая ртуть — одно из самых старых в самых распространенных иницирующих ВВ. Первое письменное указание, о приготовлении гремучей ртути относится к 1690 г. Однако позднее соли гремучей кислоты были забыты и только в 1799 г. гремучая ртуть была, вторично, открыта Говардом. Долгое

время промышленные капсулы-детонаторы снаряжали исключительно гремучей ртутью и лишь недавно ее частично стали заменять азидом свинца.

Азид свинца известен с 1891 г., а применять его в качестве самостоятельного инициирующего ВВ начали с 1907 г.

Высокая инициирующая способность азид свинца дает возможность сократить размеры капсулей-детонаторов. Несмотря на некоторые недостатки, азид свинца все больше и больше вытесняет гремучую ртуть.

Применение во взрывчатых веществах аммиачной селитры было впервые запатентовано в Швеции в 1867 г. Олсоном и Норбином., это предложение было реализовано только во время первой мировой войны, когда воюющие страны испытывали острый недостаток в бризантных ВВ. Кроме того, применение аммиачной селитры в больших масштабах стало возможным лишь после разработки и освоения промышленных методов получения аммиака и азотной кислоты из воздуха.

В настоящее время аммиачная селитра является основным компонентом промышленных ВВ и ее ежегодный расход для этих целей составляет в развитых странах сотни тысяч тонн.

Наибольшее распространение в горнодобывающей промышленности нашей страны получили аммиачно-селитренные ВВ (аммониты, гранулиты, зерногранулиты) и нитроглицериновые ВВ (детониты, углениты), водонаполненные и эмульсионные.

Основные понятия и определения

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

ШПУР – искусственное цилиндрическое углубление в горной породе Ø до 75 мм и глубиной до 5 м.

СКВАЖИНА – ИЦУ в горной породе. Ø>75мм при любой глубине и глубиной >5м при любом диаметре.

КАМЕРА – выработка кубической или удлиненной формы, пройденная в массиве горных пород для размещения сосредоточенных зарядов ВВ большого веса (десятки и тысячи тонн).

БУРЕНИЕ – процесс образования в массиве горных пород шпуров и скважин с помощью буровых машин: перфораторов, сверл, буровых станков.

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 будущей 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.

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

ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ – совокупность технологических операций по подготовке и производству взрыва: составление проекта, доставке ВМ на

заряжаемый блок, зарядание и забойка шпуров, скважин и ли камер с установкой в них детонаторов, монтаж взрывной сети (цепи) и ее инициирование.

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

ВЗРЫВЧАТОЕ ВЕЩЕСТВО (ВВ) – химическое соединение или механические смеси, способные под воздействием внешнего импульса (нагревания, удара) взрываться, т.е. чрезвычайно быстро превращаться в другие соединения с выделением тепла и газообразных продуктов.

ВЗРЫВАНИЕ – процесс детонирования зарядов ВВ в заданной последовательности способами, обеспечивающими безопасность этих работ.

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

ЗАБОЙКА – процесс заполнения свободной 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. Забойкой называют также инертный материал для производства забойки (песок, глина, мелкая порода и т.д.).

ЗАРЯЖАНИЕ – процесс размещения заряда в зарядной камере (шпуре, скважине или камере).

ДЕТОНАЦИЯ – распространение взрыва по ВВ с постоянной для данного ВВ и диаметра заряда сверхзвуковой скоростью, обусловленное прохождением по заряду ВВ детонационной волны.

ДЕТОНАЦИОННАЯ ВОЛНА – ударная волна сжатая, распространяющаяся по заряду ВВ со сверхзвуковой скоростью и обеспечивающая возникновение за фронтом волны химической реакции.

ДЕТОНАЦИЯ ЗАРЯДА ВВ – возбуждается в результате его инициирования с помощью капсюля – детонатора (КД), электро - детонатора (ЭД), детонирующего шнура (ДШ) или капсюля-детонатора неэлектрической системы инициирования (СИНВ).

КАПСЮЛЬ-ДЕТОНАТОР –(КД) небольшой заряд инициирующих ВВ, размещенный в металлической или картонной гильзе и предназначенной для инициирования зарядов промышленных ВВ. Для взрыва КД в гильзу вставляют огнепроводной шнур (ОШ), искрами которого при горении вызывается взрыв первичного и вторичного инициирующих ВВ, размещенных в КД.

ОГНЕПРОВОДНОЙ ШНУР (ОШ) – шнур с сердцевиной из прессованного дымного пороха, окруженный наружной и внутренней оплетками покрытыми влагоизоляционным составом.

ЭЛЕКТРОДЕТОНАТОР (ЭД) – совокупность КД с закрепленными в нем электровоспламенителем. В ЭД ЗД между инициирующим ВВ и электровоспламенителем размещен замедлитель, сгорающий за строго фиксированное время.

ДЕТонирующий Шнур (ДШ) – шнур с сердцевинной из высокобризантного ВВ. ДШ взрывается от КД или ЭД.

ПАТРОН-БОЕВИК – заряд из одного или нескольких патронов мощных ВВ с КД, ЭД или ДШ, размещаемый в верхней или нижней части основного заряда.

Массив горной породы при взрыве разрушается на отдельные, разделяемые по крупности на габаритные куски, которые сразу можно грузить и транспортировать для последующей переработки и негабаритные куски, требующие дополнительной обработки.

При взрыве одиночного заряда в массиве породы образуется углубление, называемое – воронкой взрыва.

Трудность взрывания массива определяется его: трещиновидностью и крепостью (коэффициентом крепости) и оценивается взрываемостью и дробимостью.

ТРЕЩИНОВАТОСТЬ - совокупность трещин в массивах горных пород. Трещины могут быть различного происхождения.

КРЕПОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД - способность пород сопротивляться разрушению от действий внешних усилий, например: бурению, взрыванию, резанию.

КОЭФФИЦИЕНТ КРЕПОСТИ – величина, характеризующая крепость горных пород. $KK \int$ равен частному от деления предела прочности породы одноосному сжатию на 100 кгс/см^2

$$\int = \frac{P_{про}}{100 \text{ кгс/см}^2};$$

БУРИМОСТЬ – сопротивляемость горных пород разрушению при бурении, характеризуемое чистой скоростью бурения при стандартных условиях проведения опыта.

ВЗРЫВАЕМОСТЬ - сопротивляемость горных пород разрушению действием взрыва, характеризуемое расходом ВВ на разрушение единицы объема породы до кусков, определенной крупности при стандартных условиях взрывания.

Шпуровой метод взрывных работ

При проведении горных выработок и добыче полезного ископаемого в угольных шахтах в основном используется шпуровой метод ведения взрывных работ, скважинный метод играет второстепенную роль.

Принцип шпурового метода заключается в том, что в подлежащем разрушению массиве по забою бурят шпуры, в каждый из которых помещают заряд ВВ и забойку с последующим взрыванием зарядов с заданной очередностью.

1.1. Основные параметры шпурового метода

Шпуром называется цилиндрической формы полость диаметром до 75 мм и длиной до 5 м, пробуренная в породе и предназначенная для размещения заряда ВВ. Полости больших размеров называются *скважинами*. Начало шпура называется *устьем*, а конец (торцевая часть) – *забоем* или *дном* шпура, боковая поверхность шпура – *стенками*. Основные параметры шпуров: диаметр $d_{ш}$, длина $l'_{ш}$ и глубина $l_{ш}$ (рис. 1.1).

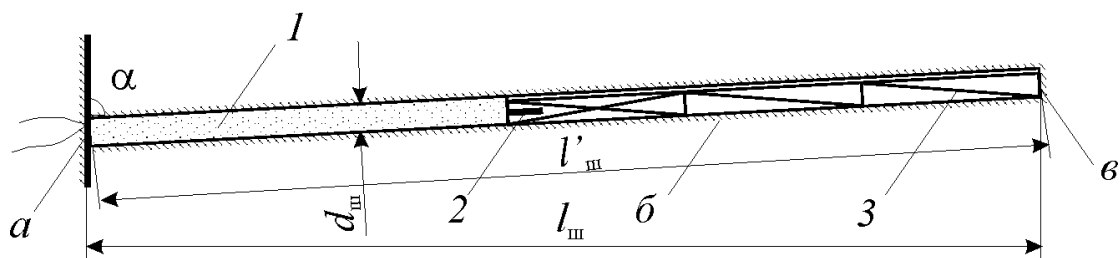


Рис. 1.1. Конструкция шпурового заряда ВВ:

Шпуры не имеют строгую цилиндрическую форму, так как на их стенках неизбежны выступы (до 0,5 ... 1 мм) и пр. На патронах ВВ также есть неровности. Поэтому, если диаметр шпура равен диаметру патрона $d_{п}$, то патроны в лучшем случае не войдут в шпур, а в худшем – дойдут до какого-либо резкого выступа и заклинятся, что приведет к отказу. В то же время, чем больше радиальный зазор, тем меньше начальное давление при взрыве и его полезное действие.

Стандартный диаметр резцов и коронок, а следовательно, и шпуров в угольных шахтах принят равным 41...43 мм для патронов ВВ диаметром 36 и 32 мм и 51...53 мм – для патронов ВВ диаметром 45 мм.

Длина шпура – это расстояние от дна шпура до его устья, измеренное по оси. Глубина шпура – это расстояние от дна шпура до забоя выработки, измеренное по ее

продольной оси, т.е. глубина заложения шпура в горном массиве. Глубину определяют как проекцию его длины на продольную ось выработки:

$$l_{\text{ш}} = l'_{\text{ш}} \sin \alpha, \quad (7.1)$$

где α – угол между забоем выработки и осью шпура.

Например, глубина шпура, пробуренного под углом 62° к забою выработки на длину 2,07 м, $l_{\text{ш}} = 2,07 \cdot 0,883 = 1,83$ м.

Выбор рациональной длины шпуров играет значительную роль, поскольку чем глубже заложены шпуры, тем больше подвигание забоя выработки после каждого взрыва. Применение более глубоких шпуров уменьшает количество проходческих циклов на определенную длину выработки, снижает относительное время, затрачиваемое на зарядание, взрывание и проветривание после взрыва, а также увеличивает производительность уборочных машин. Однако, при прохождении подземных выработок длина шпуров не только не может быть беспредельной, но даже не должна иметь большие числовые значения из-за работы заряда в сильном зажиме.

В практике ведения взрывных работ в забоях с одной открытой поверхностью длина шпуров бывает 1,5...3 м (в стволах – 4...4,5 м), но чаще – 1,5...1,8 м в крепких породах, 1,8...2,2 м – в породах средней прочности и 2,2...2,5 м – в слабых. При взрывных работах в забоях с двумя открытыми поверхностями длина шпуров составляет 1,8...5 м, но чаще применяют шпуры длиной 2,2...3 м. При взрывании по углю и породе длина шпуров должна быть не менее 0,6 м.

1.2. Коэффициент использования шпуров

Шпуровой заряд, особенно если ЛНС совпадает с осью шпура, разрушает породу (уголь) лишь в ближайшей к забою его части. Донная же часть остается в неразрушенной породе в виде так называемого стакана (рис. 7.2). Это приводит к тому, что за одно взрывание забой выработки подвигается не на полную глубину шпуров. Поэтому один из важнейших параметров взрывных работ – длина заходки $l_{\text{зах}}$ – подвигание забоя за одно взрывание (за один цикл), при этом $l_{\text{зах}} < l_{\text{ш}}$.

Отношение подвигания забоя за одно взрывание к глубине шпуров называется *коэффициентом использования шпуров* (сокращенно КИШ),

$$\eta = l_{\text{зах}} / l_{\text{ш}} \rightarrow 1. \quad (7.2)$$

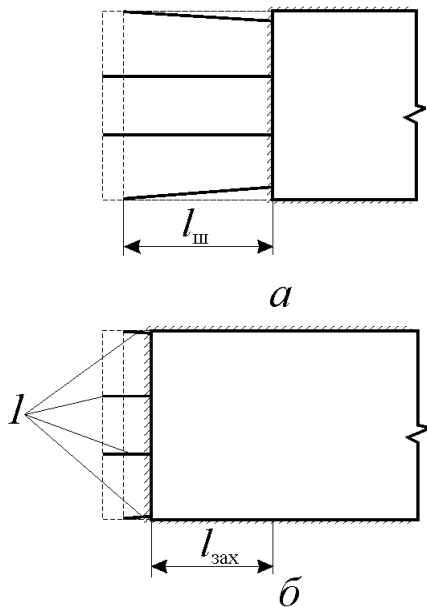


Рис. 7.2. Забой выработки:

a и *б* – до и после

КИШ – это безразмерная величина, характеризующая эффективность действия взрыва шпуровых зарядов ВВ, один из основных критериев качества взрыва, правильности выбранной схемы расположения шпуров и удельных расходов ВВ.

Нормативное значение КИШ равно 0,8. На передовых проходках КИШ достигает 0,90...0,95 и даже 0,97...1 (при слабых породах). Это высокие КИШ. Так, если глубина шпуров 2 м длина заходки при $\eta=0,8$ составляет 1,6 м; глубина стаканов в этом случае будет 0,4 м. В некоторых стаканах могут быть остатки ВВ. Поэтому нельзя бурить шпуров последующего цикла через стаканы, т. е. запрещается их разбуривать – возможен несанкционированный взрыв ВВ с трагическими последствиями.

Рекомендуются следующие значения КИШ при проектировании БВР: на одну открытую поверхность – 0,80...0,85; на две открытые поверхности – 0,90...0,95.

При проведении промышленных испытаний новых типов ВВ и новых технологий ведения взрывных работ КИШ устанавливают по подвиганию забоя за определенный период времени, как правило, за 10 взрываний (циклов):

$$\eta = L_{\text{заб}} / n_{\text{ц}} l_{\text{ш.ср}}, \quad (7.3)$$

где $L_{\text{заб}}$ – подвигание забоя выработки за заданный период времени (устанавливают маркшейдерскими замерами), м;

$n_{\text{ц}}$ – количество взрываний за этот контрольный период;

$l_{\text{ш.ср}}$ – средняя глубина шпуров, м.

1.3. Классификация шпуров по назначению

Серийное взрывание зарядов ВВ обеспечивает разрушение горного массива в объеме проектного контура выработки или же образование проектного объема горной массы (в очистных забоях и на открытых горных работах). Эффективность взрывных работ (получение высоких КИШ) во многом зависит от правильного расположения одного шпура относительно другого и по отношению к открытой поверхности. В связи с этим в забоях подготовительных выработок с одной открытой поверхностью шпуры располагают с таким расчетом, чтобы взрыванием зарядов в нескольких из них образовывать дополнительную открытую поверхность и облегчить тем самым работу остальных зарядов.

По назначению различают шпуры (рис. 7.3):

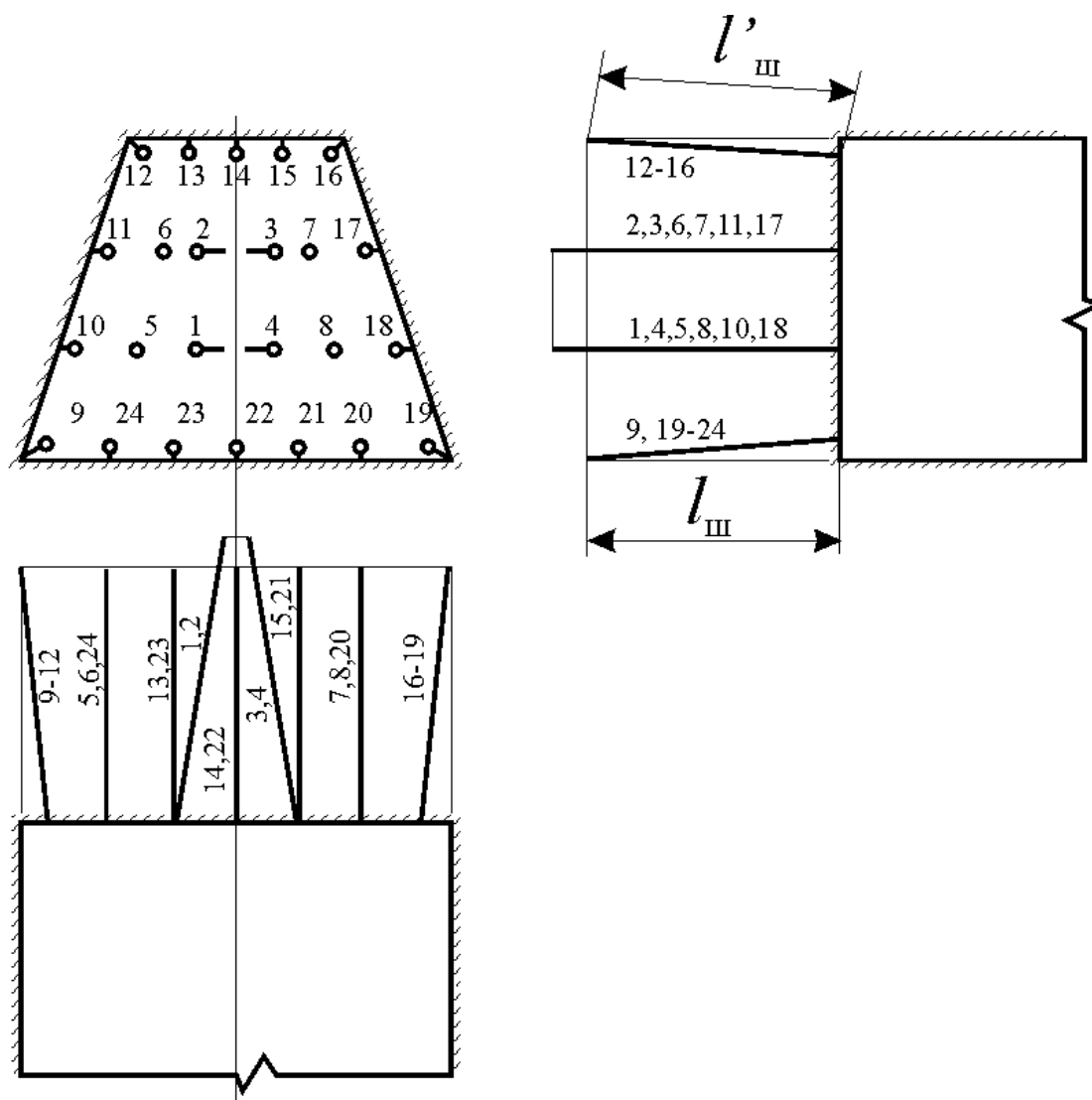


Рис. 1.3. Принципиальная схема расположения шпуров в забое

врубные (1...4) – для образования второй (дополнительной) открытой поверхности (полости) за счет разрушения и частичного выброса некоторого объема породы, бурятся по специальным схемам;

вспомогательные или промежуточные (5...8) – расширяющие врубовую полость, их располагают, как правило, перпендикулярно к проектному контуру забоя выработки;

оконтуривающие (9...24) – для отбойки породы по контуру выработки; бурятся наклонно для придания ей поперечного сечения проектных размеров и формы.

В выработках с малой площадью поперечного сечения вспомогательных шпуров может и не быть, а их роль выполняют оконтуривающие. В выработках с большой площадью поперечного сечения между вспомогательными и оконтуривающими шпурами в случае необходимости дополнительно размещают предконтурные.

Шпуровые заряды взрывают в следующей последовательности: врубовые – вспомогательные – предконтурные – оконтуривающие.

Короткие одиночные шпуры, предназначенные для выравнивания площади поперечного сечения выработки, называются *подбурками*.

1.4. Требования, предъявляемые к буровзрывным работам при проведении горных выработок

К буровзрывным работам при проведении горизонтальных, наклонных и вертикальных выработок, а также камер предъявляются следующие требования:

высокая безопасность, т. е. работы надо вести так, чтобы была обеспечена безопасность людей и сохранность применяемого оборудования;

правильное оконтуривание полости горной выработки, т. е. взрывом заряда следует оконтурить полость выработки так, чтобы фактическая форма и размеры ее были близки к проектным. Критерием этого требования является коэффициент излишка сечения (КИС) – отношение фактической площади поперечного сечения выработки в проходке $S_{ф.пр}$ к площади проектного поперечного сечения $S_{вч}$.

$$КИС = S_{ф.пр} / S_{вч}, \quad (7.4)$$

Нормативное значение $КИС = 1,03...1,05$. Забой горизонтальных, наклонных и вертикальных выработок после взрывных работ должен иметь минимум неровностей. Это способствует повышению безопасности, сокращению затрат времени на оборку забоя и повышению производительности труда;

получение высокого значения КИШ;

равномерное дробление породы на транспортабельные куски, т.е. породу надо раздробить так, чтобы степень дробления ее соответствовала параметрам погрузочных машин – это способствует их высокой производительности;

минимальное снижение естественной прочности пород в законтурном массиве;

затраты времени и стоимостные показатели буровзрывных работ, отнесенные к 1 м выработки, т. е. удельные затраты, должны быть минимальными.

Паспорт буровзрывных работ

Заряды взрывают в строгом соответствии с технической документацией (проектами, паспортами и пр.). На каждый забой должен иметься отдельный паспорт буровзрывных работ.

Паспорт БВР представляет собой инструктивную карту, регламентирующую порядок проведения буровзрывных работ. Взрывание зарядов должно осуществляться по паспорту БВР, с которым под роспись должен ознакомиться персонал, осуществляющий буровзрывные работы.

Паспорт БВР составляется на основании результатов расчетов не менее трех опытных взрываний начальником участка, на котором ведутся взрывные работы, или его помощником, согласовывается с начальниками участков БВР и ПВС и утверждается главным инженером шахты.

Паспорт – это технологический закон, который не может быть произвольно изменен. Паспорт БВР должен содержать:

наименование выработки, ее площадь сечения в свету и вчерне, крепость пород (угля);

схему расположения шпуров в трех проекциях в масштабе 1:50 или 1:100; на схеме должны быть указаны все размеры, необходимые бурильщику при разметке шпуров на забое выработки, а также минимальные расстояния между зарядами ВВ;

количество, диаметры, длины и глубины шпуров;

углы наклона шпуров к забою;

наименование ВВ и СИ;

конструкцию шпурового заряда ВВ;

массу и конструкцию заряда ВВ каждого шпура и всего забоя в целом;

схему монтажа взрывной сети;

количество серий замедления и очередность взрывания зарядов;

материал забойки и ее длину;
вид и схему создания предохранительной среды;
указания о месте укрытия мастера-взрывника и рабочих на время производства взрывных работ;
схему и время проветривания выработки после взрывания до начала возобновления работ проходческого цикла;
данные о расположении постов оцепления и место укрытия мастера-взрывника и рабочих.

В отдельных случаях (из-за изменения горно-геологических и других условий) с разрешения лица технического надзора, непосредственно руководящего взрывными работами, допускается уменьшение массы и количества зарядов в сравнении с показателями, предусмотренными паспортом.

Разовые взрывы зарядов в шпурах для доведения контуров выработки до размеров, предусмотренных проектом, удаления навесов, выравнивания забоя, подрывки почвы выработки, расширения выработки при перекреплении, а также в целях ликвидации отказов разрешается производить по схемам. Схемы составляет и подписывает лицо технического надзора, осуществляющее непосредственное руководство БВР. В схеме указываются расположение шпуров, масса и конструкция зарядов, места расположения постов и укрытия мастера-взрывника, меры безопасности.

Расчет паспортов буровзрывных работ

Конечный результат расчета – определение количества шпуров на забой и составление схемы их расположения. Принимается следующее принципиальное положение: количество шпуров на единицу объема взрываваемой массы будет тем больше, чем выше крепость пород, чем слабее ВВ и ниже его плотность и чем меньше площадь сечения выработки.

Количество шпуров в забое находится в прямой зависимости от количества ВВ, требующегося для разрушения данного объема породы.

Академики М.А. Садовский и В.Н. Родионов, внесшие значительный вклад в теорию разрушения горных пород взрывом, считают, что хотя инженерами (военными и гражданскими) накоплен опыт расчета зарядов, однако до сих пор нет ни строгой теории действия взрыва, ни достаточно точных эмпирических формул: даже для взрыва единичного заряда задача о движении среды столь сложна, что расчетом не удастся получить надежные количественные результаты. Картина еще более усложняется, если взрывается группа зарядов.

Поэтому используется упрощенный метод расчета. Его исходные предпосылки: рациональная вместимость ВВ одного шпура, определение которой особой трудности не вызывает, а также установленный практикой взрывного дела удельный расход ВВ, т.е. то его количество, которое требуется для разрушения единицы объема горной породы в массиве.

2.1 Расчет заряда для одиночного шпура

Массу заряда, кг, для одиночного шпура можно определить по формуле

$$q_{\text{ш}} = l'_{\text{ш}} k_{\text{зап}} \gamma_{\text{зар}}, \quad (8.1)$$

где $l'_{\text{ш}}$ – длина шпура, м;

$k_{\text{зап}}$ – коэффициент заполнения шпура взрывчатым веществом (принимается по данным практики, $k_{\text{зап}} = 0,4 \dots 0,6$);

$\gamma_{\text{зар}}$ – масса 1 м шпурового заряда, кг,

$$\gamma_{\text{зар}} = \Delta_{\text{ВВ}} l_{\text{зар}} \pi d_{\text{п}}^2 / 4, \quad (8.2)$$

где $d_{\text{п}}$ – диаметр патрона (заряда) ВВ, м;

$\Delta_{\text{ВВ}}$ – плотность ВВ, кг/м³;

$l_{\text{зар}}$ – длина заряда, м.

При расчетах удобнее пользоваться не длиной шпуров, а глубиной. Так как углы наклона шпуров к забою находятся в пределах 70...90° и большинство из них отбойные, то среднее значение угла наклона для комплекта шпуров составит 80...85° и $\sin \alpha$ в формуле (8.1)

будет равен 0,98...0,99, т. е. близко к единице. Поэтому $l_{ш} \approx l'_{ш}$. Тогда подставим в уравнение (8.1) значение $\gamma_{зар}$ из формулы (8.2) и получим

$$q_{ш} = \Delta_{ВВ} l_{ш} k_{зап} \pi d_{п}^2 / 4 . \quad (8.3)$$

Весьма важен в этой формуле коэффициент заполнения шпура, поскольку от его правильного выбора зависят эффективность и безопасность взрывных работ.

2.2. Расчет параметров взрывных работ для забоев с одной открытой поверхностью

Порядок расчета рассмотрим для забоев полевых выработок, т. е. для забоев с однородными породами. С учетом горно-геологических условий (коэффициента крепости пород, их обводненности, наличия метана и угольной пыли), в которых проводится выработка, определяют взрывчатое вещество и средства инициирования. Расчетным путем на основании результатов опыта или по таблицам (например, по табл. 8.1) находят длину заходки и КИШ. Длину заходки, м, можно установить по организационным факторам, исходя из нормативной (заданной) скорости v_m , м/мес, проведения горной выработки по следующей формуле

$$l_{зах} = \frac{v_m T_{ц}}{n_{дн} T_{сут}} , \quad (8.4)$$

где $T_{ц}$ – продолжительность проходческого цикла (кратна продолжительности смены, равной 6 ч);

$n_{дн}$ – количество рабочих дней проходческой бригады в месяц (принимается 25 дней и для стволов – 30);

$T_{сут}$ – количество часов работы звеньев проходческой бригады в сутки (принимается 24 ч).

Таблица 8.1. Рекомендуемые значения $l_{зах}$ и КИШ

Выработки	f	$l_{зах}$, м	КИШ
Стволы шахтные ($S_{вч} = 20 \dots 50 \text{ м}^2$)	12...3	2,5...3,5	0,80...0,90
Горизонтальные и наклонные выработки ($S_{вч} = 4 \dots 20 \text{ м}^2$)	12...3	1,5...3,0	0,80...0,90
	20...6	1,2...2,0	0,80...0,85

Длина заходки должна быть кратной (по возможности) шагу установки крепи (в стволах – высоте передвижной опалубки).

Определяют глубину шпуров

$$l_{ш} = l_{зах} / \eta , \quad (8.5)$$

где η – КИШ.

Объем породы, разрушаемый за одно взрывание

$$V_{\text{зах}} = S_{\text{вч}} l_{\text{зах}}, \quad (8.6)$$

где $S_{\text{вч}}$ – площадь поперечного сечения выработки в черне, м^2 .

Удельный расход ВВ, т. е. количество ВВ, необходимое для дробления 1 м^3 породы и выброса ее за пределы воронки взрыва, $\text{кг}/\text{м}^3$, можно подсчитать по формулам Протодяконова и Покровского.

Формула М.М. Протодяконова имеет вид

$$q = 0,4 \left(\sqrt{0,2f} + \frac{1}{\sqrt{S_{\text{вч}}}} \right)^2 e^{-1} k, \quad (8.7)$$

где f – коэффициент крепости породы;

$e^{-1} = 525 / P_{\text{ВВ}}$ – коэффициент, учитывающий работоспособность ВВ;

$P_{\text{ВВ}}$ – работоспособность ВВ, принятого для ведения взрывных работ, см^3 ;

525 см^3 – работоспособность 93%-ного динамита, принятого М.М. Протодяконовым за эталонное ВВ;

k – коэффициент увеличения расхода ВВ для более мелкого дробления породы (при погрузке породы тяжелыми погрузочными машинами 1-ППН-5 следует принимать $k = 1 \dots 1,1$, а при погрузке более легкими машинами или машинами типа нагребные лапы – $k = 1,2 \dots 1,3$).

Формула (8.7) дает удовлетворительные результаты в довольно широких пределах крепости пород при площади забоев от 3 до 15 м^2 , но при длине шпуров не более $0,6B$, где B – ширина, м, выработки по низу.

Формула Н.М. Покровского имеет вид:

$$q = q_1 s V e, \quad (8.8)$$

где $q_1 = 0,1f$ – удельный нормативный расход ВВ;

s – коэффициент текстуры породы (при вязких упругих $S=2$; с мелкой трещиноватостью $S=1,4$; со сланцевым залеганием и с напластованием, перпендикулярным направлению шпура $S=1,3$);

V – коэффициент зажима пород,

$$V = 3l_{\text{ш}} / \sqrt{S_{\text{вч}}}, \quad (8.9)$$

$e = 380 / P_{\text{ВВ}}$ – коэффициент, учитывающий работоспособность ВВ;

380 см^3 – работоспособность 62%-ного динамита, принятого Н.М. Покровским за эталонное ВВ.

Удельные расходы ВВ, полученные при подсчетах по формулам Протождяконова и Покровского несколько отличаются один от другого. Их следует сравнить с нормативными (табличными) данными (табл. 8.2) и принимать для дальнейших расчетов ближайшее к табличным значениям расчетное. При отсутствии табличных данных – значение, полученное по более универсальной формуле (8.8) Покровского, или среднее из двух полученных.

Определяют расход ВВ, кг, на заходку

$$Q_{\text{зах}} = qV_{\text{зах}}, \quad (8.10)$$

и рассчитывают количество шпуров на забой

$$N = \frac{1,27qS_{\text{вч}}\eta}{\Delta_{\text{ВВ}}d_{\text{п}}^2k_{\text{зап}}}. \quad (8.11)$$

Полученное значение округляют до целого и увязывают с технологией бурения. Находят:

массу шпуровых зарядов

$$q_{\text{ш.р}} = Q_{\text{зах}} / N. \quad (8.12)$$

и количество патронов ВВ в шпуре

$$n_{\text{п}} = q_{\text{ш.р}} / q_{\text{п}}, \quad (8.13)$$

где $q_{\text{п}}$ – масса одного патрона ВВ, кг.

Довольно часто при делении расчетной массы шпурового заряда на массу патрона получается не целое количество патронов ВВ в шпуре. В связи с тем, что резать патроны ВВ при зарядании шпуров не разрешается, необходимо округлять найденное значение до целого количества, а затем уточнять массу шпурового заряда:

$$q_{\text{ш.ут}} = q_{\text{п}}n_{\text{п.ут}}. \quad (8.14)$$

Если $q_{\text{ш.ут}}$ отличается от $q_{\text{ш.р}}$ более чем на 5%, то следует скорректировать количество шпуров, сохранив расчетный расход ВВ на заходку, т. е.

$$N_{\text{ут}} = Q_{\text{зах}} / q_{\text{ш.ут}}. \quad (8.15)$$

Уточняют расход ВВ, кг, на заходку

$$Q_{\text{зах.ут}} = q_{\text{ш.ут}}N \quad (8.16)$$

и определяют длину забойки, м

$$l_{\text{заб}} = l_{\text{ш}} - l_{\text{зар}} = l_{\text{ш}} - l_{\text{п}}n_{\text{п.ут}}, \quad (8.17)$$

где $l_{\text{п}}$ – длина одного патрона ВВ, м.

При этом в соответствии с “Едиными правилами безопасности при взрывных работах” должно соблюдаться условие: $l_{\text{заб}} \geq 0,5$ м. Если оно не выдерживается, то надо увеличить длину шпуров, оставив прежний заряд в шпурах, либо увеличить количество шпуров и распределить ВВ на все шпуры.

Выбирают тип взрывного вруба в соответствии с крепостью породы, ее текстурой, размерами и конфигурацией забоя, длиной заходки, наличием выделения метана и взрывчатой

угольной пыли (см. гл. 9). Составляют схему расположения шпуров в забое (см. § 8.6). Составляют и уточняют путем проведения не менее трех опытных взрываний паспорт БВР. Если КИШ постоянно меньше нормативного, то изменяют взрывной вруб или уменьшают глубину шпуров.

Расчет параметров для забоев пластовых выработок с одной открытой поверхностью, т. е. проводимых с совместной выемкой угля и породы, осуществляют по этой же схеме, учитывая следующее:

отдельно рассчитывают q и все другие параметры для угольного пласта, верхней и нижней породной подрывки;

при определении параметра q за $S_{вч}$ принимают общую площадь сечения выработки, а не площадь угольного забоя или породных подрывок;

за коэффициент f принимают крепость той части горного массива, для которой выполнятся расчет (угля, пород верхней и нижней подрывок).

2.3. Расчет параметров взрывных работ для забоев с двумя открытыми поверхностями

Порядок расчета рассмотрим на примере проведения пластовых выработок. При проведении пластовой выработки, например, пластового штрека, с отдельной выемкой угля и породы забой подразделяют на два – угольный и породный. В первую очередь вынимают более мягкую породу, т. е. уголь, во вторую – более крепкую (от подрывки уступов). Для рыхления горных пород в штреке применяют предохранительные ВВ не ниже IV класса и электродетонаторы мгновенного (ЭДКЗ-0П) и короткозамедленного (ЭДКЗ-ПМ) действия. Угольный забой имеет одну открытую поверхность, а породные уступы – по две (рис. 8.1).

Порядок и метод расчета паспорта БВР по углю такой же, как и для забоев полевых выработок с одной открытой поверхностью. Однако при определении удельного расхода ВВ в формулах (8.7) и (8.9) за параметр $S_{вч}$ следует принимать площадь угольного забоя.

Таблица 2.2. Нормативные значения удельных расходов ВВ для подземных выработок

Классификация пород по Протодьяконову		Взрывчатое вещество	Площадь сечения в проходке, м ²										
Категория пород	Коэффициент крепости f		горизонтальной и наклонной выработки					вертикального ствола					
			4...6	7...9	10...12	13...15	16...20	21...25	26...30	31...36	36...40	41...45	46...55
I	18...20	Скальный аммонал прессованный №1	3,68	3,38	3,12	2,87	2,63	2,45	2,13	2,00	1,85	1,68	1,5
		Аммонит 6ЖВ	4,8	4,4	4,07	3,74	3,43	3,2	2,79	2,6	2,42	2,2	2,1
II	13...15	Скальный аммонал прессованный №1	3,06	2,8	2,56	2,43	2,30	2,03	1,86	1,73	1,6	1,44	1,35
		Аммонит 6ЖВ	4,0	3,64	3,35	3,17	2,97	2,68	2,42	2,31	2,09	1,87	1,75
III...IIIa	8...10	Скальный аммонал прессованный №1	2,32	2,12	1,94	1,81	1,65	1,52	1,35	1,24	1,15	1,06	
		Аммонит 6ЖВ	3,01	2,75	2,56	2,37	2,16	1,98	1,76	1,62	1,5	1,4	1,0
		Аммониты ПЖВ-20 и Т-19	3,92	3,58	3,29	3,07	-	-	-	-	-	-	1,3
		Аммонит АП-5ЖВ	3,2	2,92	2,68	2,5	-	-	-	-	-	-	-
IV...IVa	5...6	Скальный аммонал прессованный №1	1,04	1,33	1,22	1,14	1,03	0,93	0,86	0,78	0,73	0,68	
		Аммонит 6ЖВ	1,87	1,74	1,6	1,5	1,35	1,21	1,12	1,02	0,95	0,88	0,65
		Аммониты ПЖВ-20 и Т-19	2,43	2,26	2,07	1,95	-	-	-	-	-	-	0,85
		Аммонит АП-5ЖВ	1,98	1,85	1,68	1,58	-	-	-	-	-	-	-
V...Va	3...4	Аммонит 6ЖВ	1,14	1,06	1,0	0,93	0,86	0,77	0,7	0,65	0,6	0,56	
		Аммониты ПЖВ-20 и Т-19	1,49	1,37	1,29	1,2	-	-	-	-	-	-	0,52
		Аммонит АП-5ЖВ	1,36	1,25	1,18	1,1	-	-	-	-	-	-	-

VI...VIa	1,5...2	Аммонит 6ЖВ	0,7	0,64	0,6	0,55	0,51	0,46	0,42	0,37	0,35	0,38	0,35 - -	
		Аммониты ПЖВ-20 и Т-19	0,92	0,83	0,77	0,72	-	-	-	-	-	-		-
		Угленит Э-6	1,6	1,44	1,58	1,25	-	-	-	-	-	-		-

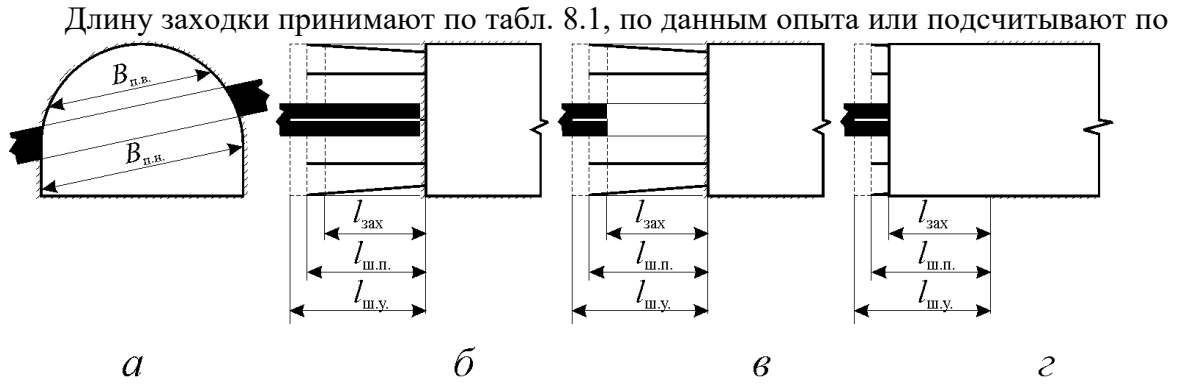


Рис. 2.1. Расчетная схема для определения параметров БВР в пластовом штреке:

a – поперечное сечение штрека; $б, в, г$ – продольное сечение формуле 8.4, исходя из месячной скорости проведения выработки. Во всех случаях длина заходки по углю должна быть, согласно “Единым правилам безопасности при взрывных работах”, не более 2 м. При проведении вентиляционных штреков вслед за лавой она должна быть равна продвижению забоя лавы за один цикл проходки (например, за сутки). Длина заходки по породе принимается равной длине заходки по углю. Так как $l_{зах.п} = l_{зах.у}$, то

$$l_{ш.п} = l_{зах.у} / \eta_{п} . \quad (8.18)$$

Порядок расчета параметров паспорта БВР по породе такой же, как и для забоев полевой выработки с одной открытой поверхностью. Однако метод расчета удельного расхода ВВ несколько отличается.

Удельный расход, кг/м³, ВВ для нижней и верхней подрывок рассчитывают:
 $a)$ по формуле Протоdjeяконова

$$q_{п} = 0,15 \sqrt{f_{п}} \left(\sqrt{0,2 f_{п}} + \frac{1}{B_{п}} \right) e^{-1\kappa} , \quad (8.19)$$

где $f_{п}$ – коэффициент крепости пород подрывки;

$B_{п}$ – ширина породной подрывки, м, определяется графически на эскизе поперечного сечения выработки, параллельно опережающей полости на среднем расстоянии от нее до контура выработки (см. рис. 8.1, а).

Остальные параметры принимают как и в случае полевой выработки.

$б)$ по формуле Покровского

$$q = q_{1п} s_{п} V_{п} e , \quad (8.20)$$

где $q_{1п} = 0,1f_{п}$ – нормальный удельный расход ВВ;

$f_{п}$ – коэффициент крепости пород подрывки (нижней или верхней) по шкале проф. М.М. Протодьяконова;

$s_{п}$ – коэффициент, учитывающий текстуру пород подрывки (принимают, как и в случае забоев полевой выработки);

$V_{п}$ – коэффициент, учитывающий зажим горных пород (для пород почвы, т. е. нижней подрывки $V_{п}=1,6$, для пород кровли $V_{п}=1,2$, для боковых пород на пластах крутого падения $V_{п}=1,4$).

Параметр e определяется, как и в случае расчета для полевой выработки.

2.4. Расчет параметров взрывных работ для забоя лавы

Отбойку угля в забое лавы при помощи буровзрывных работ применяют в основном при выемке антрацитов для получения большего выхода фракции "плита". Она выполняется после машинной подрубки угольного пласта. Чтобы подрубленный уголь местами не обрушался до взрыва и не закрывал зарубную щель, в нее забивают деревянные клинья-подшашки (рис.8.2).

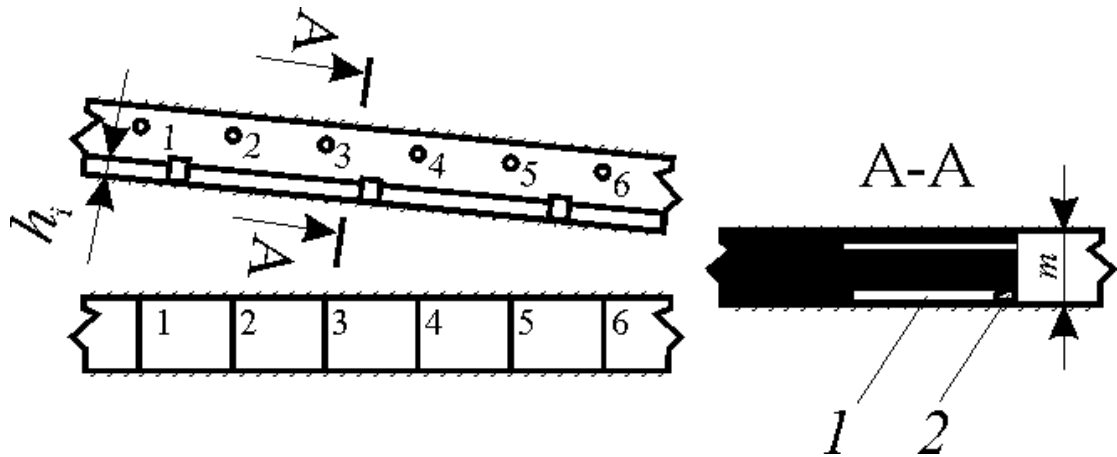


Рис. 8.2. Схема к расчету зарядов для забоя лавы:

Длина заходки принимается численно равной длине бара врубной машины $l_{вр}$ (стандартные длины врубов 1,6; 1,8 и 2,2 м).

Глубина шпуров

$$l_{ш} = l_{зах} / \eta = l_{вр} / \eta .$$

(8.21)

Угольный забой имеет две открытые поверхности и поэтому удельный расход, кг/м³, по углю определяют по формуле Протодяконова для забоев с двумя открытыми поверхностями

$$q_y = 0,15\sqrt{f_y} \left(\sqrt{0,2f_y} + \frac{1}{L_{\text{л}}} \right) e^{-1\kappa},$$

(8.22)

где f_y – коэффициент крепости угля;

$L_{\text{л}}$ – длина забоя лавы, м.

Расход ВВ, кг, на одну заходку определяют из выражения

$$Q_{\text{зах.п}} = q_y V_y = q_y L_{\text{л}} (m - h_1) \nu_{\text{зах}},$$

(8.23)

где V_y – объем угля, отбиваемого на участке заходки, м³;

m – мощность угольного пласта, м;

h_1 – высота зарубной щели, м.

Массу заряда ВВ одного шпура по углю определяют по выражению (8.3), уточняют округлением до целого количества патронов в шпуре $q_{\text{ш.у}}$.

Количество шпуров в забое вычисляют по выражению (8.24) и округляют до целого значения:

$$N = Q_{\text{зах}} / q_{\text{ш.ут}}.$$

(8.24)

Уточняют общий расход ВВ, кг, на лаву:

$$Q_{\text{зах.ут}} = q_{\text{ш.ут}} N.$$

(8.25)

Расстояние между шпурами в забое лавы определяют по формуле

$$a = L_{\text{л}} / N.$$

(8.26)

На практике на антрацитовых пластах без породных прослоек расстояние между шпурами в ряду 1,8...2,5 м.

2.5. Расчет параметров взрывных работ для забоев бутовых штреков

В случае управления кровлей полной или частичной закладкой, а также для поддержания откаточных штреков при сплошной системе разработки без охранных целиков в лаве выкладывают бутовые полосы. Для этого вслед за подвиганием лавы ведут

штреки с подрывкой кровли, а при весьма крепких породах в кровле иногда подрывают почву.

Учитывая параметры бутовой полосы, принятой паспортом управления кровлей в лаве, а также текстурные особенности пород, определяют размеры подрывки из условия равенства объема породы, требующегося для выкладки 1 м бутовой полосы (в разрыхленном состоянии) и объема, получаемого в результате подрывки (рис. 8.3):

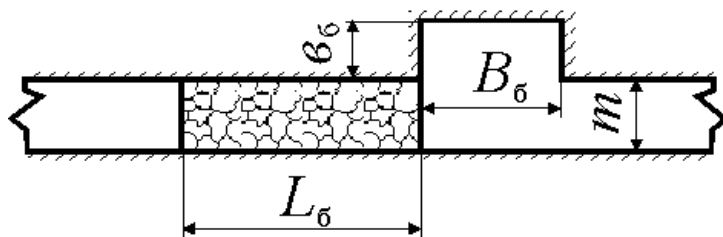


Рис. 8.3. Схема к расчету зарядов для забоя

$$L_б m = B_б v_б k_p, \quad (8.27)$$

где $L_б$ – ширина бутовой полосы, м;
 m – мощность угольного пласта, м;
 k_p – коэффициент разрыхляемости породы;
 $B_б$ – ширина бутового штрека, м;
 $v_б$ – высота подрывки, м.

Задавшись высотой подрывки породы в бутовом штреке, определим его ширину, м (на практике принимается $v_б = 0,6 \dots 1,6$ м).

$$B_б = L_б m / v_б k_p. \quad (8.28)$$

Подвигание забоя, м, бутового штрека за сутки принимают равным суточному подвиганию забоя лавы, м, т.е.

$$l_{\text{зах}} = l_{\text{с.п.л.}}. \quad (8.29)$$

Глубина шпуров, м, для подрывки пород в штреке

$$l_{\text{ш}} = l_{\text{зах}} / \eta = l_{\text{с.п.л.}} / \eta. \quad (8.30)$$

Забой в бутовом штреке имеет две открытые поверхности, поэтому $\eta=0,9$.

Удельный расход ВВ, кг/м³, определяют по формуле Протодяконова как для забоев с двумя открытыми поверхностями (8.19) за параметр $V_{п}$ принимают V_6 ,

Расход ВВ, кг, на заходку

$$Q_{\text{зах.р}} = q_6 V_6 e_6 l_{\text{зах}}.$$

(8.31)

Массу заряда шпура, кг, вычисляют по выражению (8.3) и округляют до целого количества патронов $q_{\text{ш.ут}}$. Количество шпуров определяют по формуле (8.25) и округляют до целого значения.

В зависимости от высоты подрывки, ширины штрека, крепости породы и работоспособности ВВ бурят от двух до четырех шпуров. Уточняют общий расход ВВ на забой

$$Q_{\text{зах.ут.}} = q_{\text{ш.ут}} N.$$

(8.32)

Взрывные работы в бутовых штреках в шахтах, опасных по газу и пыли, особо опасны. В большинстве лав непосредственная кровля оседает, в ней образуются вертикальные и горизонтальные трещины, которые нередко заполнены метановоздушной смесью. При взрыве зарядов, пересекающих такие трещины, смесь может воспламениться, передавая пламя в выработанное пространство. В таких условиях шпуры необходимо располагать так, чтобы они не пересекали видимые трещины и не находились ближе 30 см от них.

Основные правила составления схемы расположения шпуров

Расположение шпуров в забое имеет решающее значение в практике взрывных работ и особенно в забоях с одной открытой поверхностью, в которых условия для разрушения массива горных пород наиболее тяжелые. Поэтому для выполнения требований, предъявляемых к взрывным работам, и получения удовлетворительных результатов – схему расположения шпуров надо выбирать с учетом конкретных условий ведения БВР. Основные правила составления схемы расположения шпуров следующие.

Обычно разрабатывают несколько схем как наиболее соответствующих физико-химическим свойствам взрывааемых пород, и в процессе испытаний выбирают наилучшую схему по расходу ВВ, КИШ и трудовым затратам на бурение.

При построении схемы расположения шпуров найденное по формуле (8.11) или (8.15) значение можно корректировать и изменять исходя из условий более целесообразного их размещения в забое. Заряды, рассчитанные по формуле (8.14), могут быть дифференцированы в зависимости от типа шпуров путем умножения на следующие поправочные коэффициенты: врубовых – на 1,20...1,25; вспомогательных, предконтурных и нижних оконтуривающих – на 1; боковых и верхних оконтуривающих – на 0,8...0,9. Установленные значения округляют до целого числа патронов. Все упомянутые корректировки целесообразно выполнить, сохранив расчетный расход ВВ на заходку, установленный по формуле (8.16).

По площади поперечного сечения выработки на предполагаемой плоскости отрыва породы (на глубине $l_{\text{зах}}$) все шпуры (кроме врубовых) должны располагаться равномерно. Ниже приведен примерный порядок расчетов, выполненных при составлении схемы расположения шпуров для забоя полевой выработки арочной формы поперечного сечения с одной открытой поверхностью.

Вначале определяют площадь, м^2 , поперечного сечения выработки, приходящуюся на один шпур (кроме врубовых):

$$S' = \frac{S_{\text{вч}} - S_{\text{вр}}}{N - N_{\text{вр}}},$$

(8.33)

где $S_{\text{вч}}$ – площадь поперечного сечения выработки вчерне, м^2 ;

$S_{\text{вр}}$ – площадь поперечного сечения врубовой полости (определяют по минимальному расстоянию между врубовыми шпуровыми зарядами), м^2 ;

N – общее количество шпуров на заходку;

$N_{\text{вр}}$ – количество врубовых шпуров.

Затем находят среднее расстояние между шпуровыми зарядами (кроме врубовых) по одной из формул:

$$a_{cp} = \sqrt{4S'/\pi}, \text{ или } a_{cp} = \sqrt{S'}. \quad (8.34)$$

Вычисляют количество шпуров по почве

$$N_{п} = (l_1 / a_{cp}) + 1, \quad (8.35)$$

по контуру выработки (без учета шпуров по почве)

$$N_{к} = (P_{к} / a_{cp}) + 1, \quad (8.36)$$

где l_1 – ширина выработки вчерне по почве, м.

$P_{к}$ – длина линии контура поперечного сечения выработки (без почвы), м.

$$P_{к} = \pi R_{к} + 2(H - R_{к}), \quad (8.37)$$

где $R_{к}$ – радиус кривизны арки вчерне (принимается $B/2$, где B – ширина выработки по низу вчерне, м);

H – высота выработки вчерне, м.

Количество шпуров в предконтурном ряду (без учета шпуров по почве)

$$N_{к} = (P_{пк} / a_{cp}) + 1, \quad (8.38)$$

где $P_{пк}$ – длина линии по которой располагают шпуры предконтурного ряда, м,

$$P_{пк} = \pi(R_{к} - a_{cp}) + 2(H - R_{к}), \quad (8.39)$$

Вспомогательные шпуры располагают в один или два ряда равномерно, ориентируясь на a_{cp} , по оставшейся площади поперечного сечения выработки:

$$N_{всп} = N - (N_{вр} + N_{п} + N_{к} + N_{пк}). \quad (8.40)$$

При составлении схемы учитывают направление слоистости и трещиноватости пород. Если стенки шпура будут одинаковой прочности по всей длине, то образование газов предполагается достаточно полным, а их давление направленным на полезную работу. Если же направление пробуренного шпура совпадет с направлением слоев или трещин, то прочность стенок в местах совпадения будет ослаблена и образующиеся при взрыве газы частично или полностью уйдут между слоями или по трещинам, резко снижая эффект взрыва.

Поскольку плоскость забоя практически никогда не бывает ровной, фактическая длина шпуров может быть неодинаковой. Поэтому независимо от угла наклона шпуры должны заканчиваться на одинаковой глубине в массиве породы и угля. Неправильное расположение шпуров приведет к порче забоя и к образованию больших порогов неправильного сечения. Это снизит эффективность и безопасность взрывных работ, а также повысит их трудоемкость. Только глубину врубовых шпуров можно принимать на 0,1...0,3 м (в зависимости от крепости пород) больше глубины отбойных и оконтуривающих шпуров.

Выбор схемы расположения шпуров, помимо отмеченных факторов, обуславливается удобством размещения бурового оборудования и самого процесса бурения. Надо стремиться к тому, чтобы врубовые, предконтурные и вспомогательные шпуры располагались в соответствующих горизонтальных и вертикальных плоскостях, проведенных через оконтуривающие шпуры. Последние следует размещать и бурить в таком направлении, чтобы исключить бурение подбурков для выравнивания периметра выработки после взрывания основного комплекта шпуровых зарядов и не делать больших переборов породы за проектным периметром выработки. Во всех случаях оконтуривающие шпуры необходимо забуривать примерно в 0,1...0,3 м (как правило, в 0,20...0,25 м) от кровли и боков выработки. Причем в крепких породах дно шпура может выходить за проектный контур выработки не более чем на 0,15...0,20 м. В породах средней крепости дно оконтуривающих шпуров должно находиться на проектной линии контура выработки, а в породах ниже средней крепости их следует располагать почти параллельно контуру.

Для забоев с двумя открытыми поверхностями схему расположения шпуров рекомендуется выбирать графическим методом. На эскизе поперечного сечения выработки по породной подрывке на расстоянии не менее 0,3 м от границы с опережающей полостью проводят линию, на которой размещают шпуры на расстоянии один от другого не менее допустимого Едиными правилами безопасности при взрывных работах (см. табл. 10.1). На практике это расстояние колеблется в пределах 0,4...1,3 м в зависимости от крепости пород, работоспособности ВВ и диаметра патронов. Подобным образом размещают шпуры вдоль контура (нижнего, верхнего или обоих) выработки. Если необходимо и позволяют расстояния, то часть шпуров располагают между этими двумя рядами.

Особенности расчета паспортов БВР при проходке вертикальных шахтных стволов

Осуществление взрывных работ в вертикальных стволах специфично в связи с близостью постоянной крепи и подвешного проходческого оборудования, подтоплением забоя водой со взвешенными мелкими частицами породы, вариациями свойств пересекаемых пород и др. При проходке стволов удельный вес БВР в общем объеме проходческого цикла составляет от 25...30%, если крепость пород до 8, и 40...50%, если более 10 по шкале Протоdjeяконова.

Важнейшие показатели эффективности БВР в вертикальных стволах:

коэффициент использования шпуров (оптимальный 0,85...0,95), определяющий удельные затраты на 1 м подвигания забоя;

коэффициент излишка сечения (КИС) по стволу, увязанный с объемом вынимаемой породы и перерасходом бетона;

гранулометрический состав взорванной породы, влияющий на время ее уборки (рекомендуемый размер наибольшего куска до 40 см).

Главные параметры взрывных работ при проходке и углубке шахтных стволов, как и в горизонтальных выработках: удельный расход ВВ, количество и глубина шпуров. Порядок их расчета аналогичен порядку расчета для полевой выработки, однако имеет некоторые особенности.

В стволах, где наблюдается выделение метана или образуется взрывчатая угольная пыль, применяют ВВ классов III или IV. При подтоплении водой забоев таких стволов перед взрыванием на высоту не менее 20 см, а также при проходке в шахтах, не опасных по газу или пыли, допускается применять ВВ класса II, причем в породах крепостью 8 и выше – аммонал скальный №1 прессованный в патронах диаметром 45 мм, а в породах средней крепости – аммонит 6ЖВ в патронах диаметром 36 мм. В качестве забойки обычно используют граншлак и гидрзабойку путем непосредственной заливки водой шпуров.

Глубина шпуров $l_{ш}$ определяется крепостью пород, уровнем механизации, допустимым значением незакрепляемого отхода. При уменьшении глубины шпуров удельные затраты времени на подвигание забоя на 1 м увеличиваются: от 3,5 ч при $l_{ш} = 4...4,2$ м до 6 ч при $l_{ш} \leq 2$ м. С возрастанием глубины шпуров увеличивается время второй фазы уборки породы, которая маломеханизирована.

Таким образом, на длину шпура влияют как горно-геологические, так и организационно-технические условия. Учитывая, что горно-геологические условия увязаны больше с удельным расходом ВВ, длину шпуров соотносят только с высотой опалубки (обычно 4 м) и допустимым на практике отходом (до 5 м) и принимают 4 м (врубных – 4,2 м). При повышенной крепости ($f \geq 12$), такая длина не оправдывает себя, поэтому ее принимают равной 2,5...3 м.

Удельный расход ВВ рассчитывают по формуле Покровского. Однако чаще всего его определяют по таблицам, составленным на основе обобщения практических данных по взрыванию с учетом крепости пород и сечения ствола (принимают по СНиПу). Отметим, что различные методики дают соотношения удельного расхода ВВ в зависимости от ВВ (аммонала скального №1 прессованного). На практике эффективность всех видов ВВ, кроме аммонала скального №1, крайне низкая, так как в обводненном забое они теряют свои свойства за время намного меньшее, чем время заряжания. Наиболее простая формула имеет вид

$$q = 5,4 / S_{\text{пр}},$$

(8.41)

где q – удельный расход ВВ, кг/м³;

$S_{\text{пр}}$ – площадь сечения ствола в проходке, м².

Для объема породы, подвергающейся воздействию зарядов врубовых шпуров, удельный расход следует увеличивать на 20%. Возрастание удельного расхода до 40...50% не уменьшает кусковатость, а достигается обратный эффект, так как газы, распространяясь по трещинам, возникшим при взрывании первых серий шпуровых зарядов, дробят породу в стволе на крупные блоки.

Коэффициент заполнения шпуров согласовывается с их числом и принимается равным: 0,35...0,45 – в породах крепостью 3...9; 0,45...0,50 – крепостью 10...20.

При скоростных проходках вертикальных шахтных стволов было доказано, что наиболее высокая эффективность БВР достигается при диаметре шпуров 52 мм. При этом расход ВВ снижается на 10...15%, а число шпуров сокращается до 50%. Однако коэффициент использования шпуров возрастает.

Применять шпуры диаметром 42 мм рационально для оконтуривающего ряда, но, это приводит к увеличению времени проходческого цикла. Использование ВВ диаметром 36 мм при диаметре шпура 52 мм недопустимо, так как патроны за счет свободного пространства располагаются несоосно, что вызывает неполную детонацию заряда.

При проходке вертикальных шахтных стволов руководствуются теми же основными правилами расположения шпуров, что и в горизонтальных выработках: все шпуры (за вычетом врубовых) располагают по площади забоя ствола равномерно. В то же время порядок их расположения имеет свои особенности.

Шпуры в забое ствола должны располагаться по трем-четырем концентрическим окружностям, кроме того, врубовые и оконтуривающие могут иметь вспомогательные окружности (рис. 8.4). Диаметры концентрических окружностей НИИОМШС рекомендует рассчитывать, исходя из следующих соотношений:

три окружности – $(0,3; 0,6; 0,95)D_{вч}$;

четыре окружности – $(0,25; 0,48; 0,72; 0,96)D_{вч}$,

где $D_{вч}$ – диаметр ствола вчерне, м.

Количества шпуров, размещаемых на каждой из этих окружностей, соотносятся между собой, начиная от центра ствола, как 1:3:6 и 1:2:3:5.

Количество окружностей отбойных шпуров на практике принимают таким,

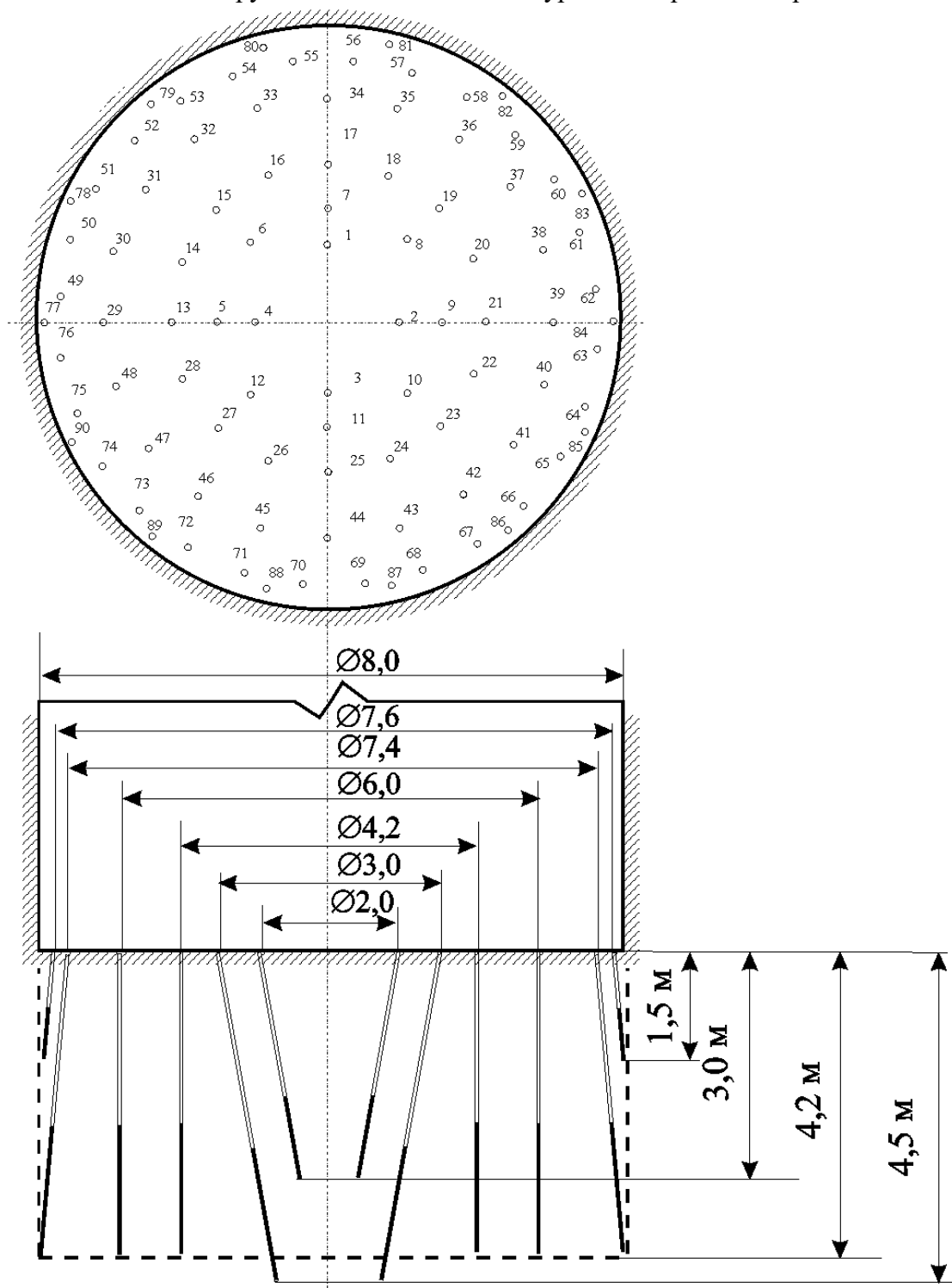


Рис. 8.4. Схема расположения шпуров при проходке

чтобы расстояние между ними составляло 0,6...0,95 м, при применении патронов ВВ увеличенного диаметра оно может быть 1...1,2 м.

Расстояние между шпурами должно исключать возможность подработки одного шпура другим с выбросом патронов ВВ из шпура.

Частые изменения паспортов ухудшают организацию работ в стволе. Рекомендуется число шпуров и их расположение не менять по всей глубине ствола, варьируются лишь их длина, коэффициент заполнения, а также удельный расход ВВ.

Важно, что при малых диаметрах ствола зажим забоя влияет на эффективность БВР сильнее, чем крепость пород.

Пробуренные шпуров должны быть смещены по окружности по отношению к шпурам предыдущего цикла без изменения принципиальной схемы расположения. Разметку удобно проводить с помощью шаблона.

Угол наклона оконтуривающих шпуров $85...87^\circ$. При этом забой шпуров не должен пересекать проектный контур сечения, а их устья следует сместить на $10...15$ см к центру ствола. Учитывая, что выполнению этого требования может мешать опалубка при бурении БУКСом, ручными перфораторами по дополнительной концентрической окружности бурят короткие шпуров (до $1,5$ м), тем самым страхуясь от разборки стенок отбойным молотком (угол наклона шпуров делают меньший, но за контур не выходят из-за малой длины).

Основные взрывные врубы

В забоях с одной открытой поверхностью, чтобы получить высокий КИШ при буровзрывной технологии проведения выработок, необходимо создать вторую открытую поверхность. В виде выемки, называемой *врубовой полостью*, она создается с помощью взрывного вруба, который представляет собой небольшой комплект шпуров, пробуренных по определенной системе наклонно или перпендикулярно к забою, с размещенными в них зарядами ВВ, взрываемыми в заданной последовательности.

Взрывные врубы можно разделить на такие основные группы:

с наклонными шпурами, образуемые шпурами, пробуренными под острым углом к забою;

прямые врубы, образуемые шпурами, пробуренными параллельно друг другу под прямым углом к забою;

комбинированные, образуемые шпурами, пробуренными наклонно и под прямым углом к забою.

Рассмотрим конструкции наиболее распространенных взрывных врубов в каждой из перечисленных групп.

6.1. Взрывные врубы с наклонными шпурами

Эти врубы имеют наиболее широкое применение в угольных шахтах при проведении выработок по породам средней крепости и крепким, а также при выемке угля, поскольку имеют ряд существенных достоинств, а именно: простота конструирования и реализации, небольшое количество серий замедления электродетонаторов, возможность применения как в шахтах, не опасных по газу или пыли, так в и опасных условиях.

По форме и расположению врубовой полости различают: клиновые, воронкообразные, пирамидальные и веерные врубы.

Клиновой вруб. Используют при проведении выработок в породах различной крепости. Врубтовую полость создают взрыванием двух-четырёх пар шпуров, наклоненных один к одному. В зависимости от расположения и направления врубовой полости различают вертикальные и горизонтальные клиновые врубы.

Вертикальные одинарные клиновые врубы (рис. 9.1, а, б) и двойные (рис. 9.1, в, г) получили широкое распространение при проведении полевых горизонтальных и наклонных выработок в шахтах как неопасных, так и опасных по газу или пыли. Как правило, одинарные врубы применяют, если $l_{ш} \leq 1,7...1,8$ м, двойные – при большей. Шпуры наружного ряда называют *основными*, а внутреннего – *вспомогательными*.

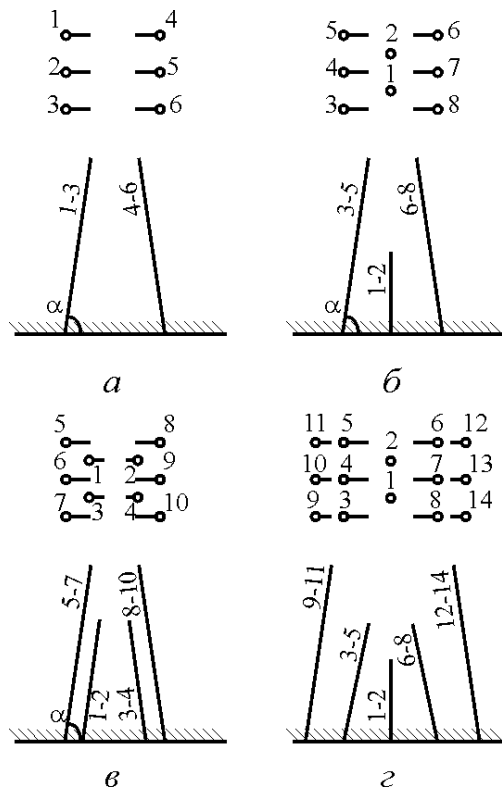


Рис. 6.1. Вертикальные клиновые врубы:

Клиновые врубы хорошо вписываются в общую схему расположения шпуров, для них требуется небольшое число серий замедления электродетонаторов, отличаются простотой разметки шпуров, отрываема взрывом порода легко выбрасывается из клинообразной формы врубовой полости, достигается высокое значение КИШ.

Недостатки вертикальных клиновых врубов: большой разброс породы (25...30 м), глубина шпуров, следовательно, и длина заходки лимитируются шириной выработки, возможны деформации крепи.

Наблюдения показывают, что при клиновых врубах, если шпуры пробурены симметрично относительно продольной оси выработки, породу, отрываемую взрывом зарядов во врубовых шпурах, отбрасывает вдоль выработки на значительное расстояние (25...30 м) от забоя без повреждения крепи. Если же шпуры будут пробурены несимметрично относительно продольной оси (что наблюдается весьма часто), породу выбрасывает не вдоль оси, а в одну либо в другую сторону. При этом замечены повреждения крепи. Чтобы исключить при крепких монолитных породах ($f > 7...8$) повреждения крепи, необходимо применять разрезные шпуры (см. рис. 9.1, б, г) и инициировать их электродетонаторами мгновенного действия. Заряды в таких шпурах будут взрываться несколько раньше зарядов в остальных и разобьют блок на небольшие куски. Энергией взрыва зарядов порода из врубовой полости будет выброшена не в виде

монолитного блока (объемом до 2,5 м³), а небольших кусков, которые не смогут деформировать крепь. Расстояния между врубовыми шпурами и углы наклона врубовых шпуров следует принимать в соответствии с данными, приведенными в табл. 9.1.

Таблица 6.1. Параметры для построения клиновых врубов

Коэффициент крепости f по шкале проф. М.М. Протодяконова	Расстояния по вертикали между зарядами ВВ каждой пары шпуров, м	Угол наклона, ...°, не более		Число пар шпуров, не менее
		α	α'	
4...6	0,5...0,4	75...65	60...50	2...3
6...10	0,4...0,3	65...60	60...50	3...4
10...20	0,3...0,2	60...50	60...50	4...6

Расстояния между шпуровыми зарядами в забоях выработок, в которых наблюдается выделение метана или образование взрывчатой угольной пыли, должны быть не менее допустимых Едиными правилами безопасности при взрывных работах (гл. 10, табл. 10.1).

Глубина вспомогательных шпуров взрывных врубов должна быть равной 0,4...0,6 глубины основных, а глубина разрезных – 2/3 глубины вспомогательных или основных при отсутствии вспомогательных (см. рис. 9.1, б, з).

Горизонтальные клиновые врубы преимущественно используют в квершлагах небольшой площади сечения: верхний вруб (рис. 9.2 *а*) при падении пород от забоя, а

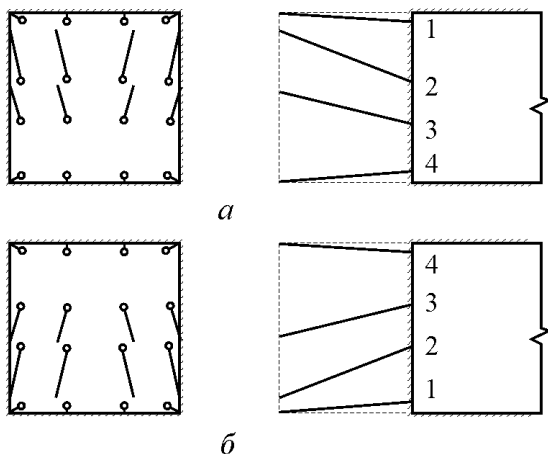


Рис. 6.2. Схемы расположения в квершлагах шпуров горизонтального клинового вруба:

а и *б* – верхнего и нижнего; *1* и *2* – врубовые шпуры; *3* и *4* – шпуры вспомогательные
нижний (рис. 9.2, *б*) – на забой.

Воронкообразный вруб (рис. 9.3, *а*). Применяют, когда проходят стволы круглого поперечного сечения в породах различной крепости. Врубовую полость образуют взрыванием пяти-восьми шпуров, расположенных по окружности и направленных в сторону оси ствола под углом $60...80^\circ$ к плоскости забоя. Она облегчает работу зарядов во вспомогательных шпурах, которые взрывают вслед за врубовыми. Затем взрывают заряды в предконтурных и оконтуривающих шпурах. В зависимости от общего числа шпуров, диаметра ствола и крепости породы они могут быть расположены по трем-шести концентрическим окружностям (см. § 8.7).

В крепких породах в центре врубовой воронки бурят еще один шпур глубиной 0,7 глубины врубовых шпуров. Его заряд способствует дроблению породы в верхней части воронки и уменьшению высоты выброса породы врубовыми зарядами. Некоторые паспорта БВР предусматривают отсутствие заряда в центральном шпуре, создающего дополнительную плоскость обнажения.

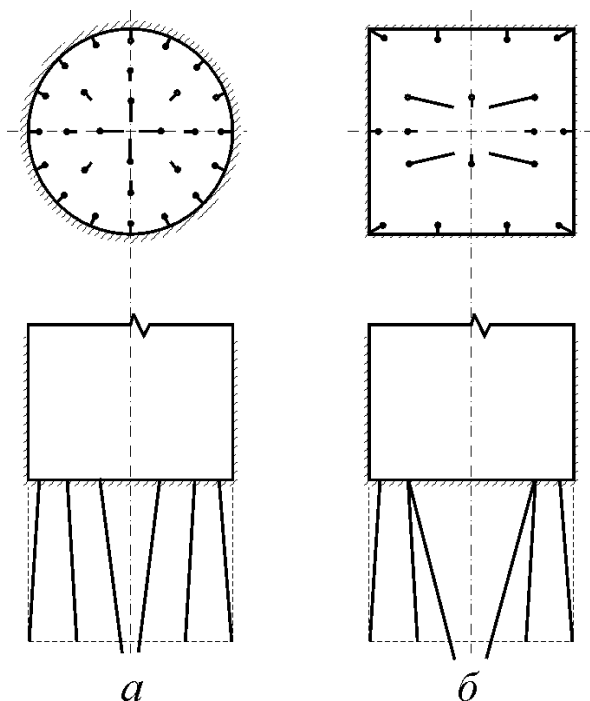


Рис. 6.3. Схемы расположения шпуров в забоях вертикальных выработок при врубах:

В глинистых сланцах и в песчаниках средней крепости при мощных ВВ и патронах большого диаметра (45 мм) врубовые шпуровые заряды дают достаточно хороший эффект даже в случае, если пробурены под углом 90° . Вертикальные шпуровые заряды легче бурить, чем наклонные, поэтому при скоростных проходках стволов предпочитают пробурить несколько дополнительных вертикальных шпуров, вместо наклонных.

Пирамидальный вруб. (рис. 9.3, б). Представляет собой разновидность воронкообразного. Врубную полость образуют взрыванием четырех шпуровых зарядов, расположенных по углам прямоугольника и направленных к оси выработки. После взрыва шпуров получается полость пирамидальной формы, создающая дополнительную открытую поверхность, облегчающую работу взрыва зарядов вспомогательных и оконтуривающих шпуров. При значительной площади сечения выработки, а также в крепких породах между врубовыми и оконтуривающими шпурами располагают до трех рядов вспомогательных.

Этот вруб применяется довольно часто при проведении стволов и шурфов прямоугольного сечения в породах различной крепости.

Веерный вруб. Осуществляется одним-двумя рядами шпуров, угол наклона и длина которых постепенно увеличиваются (рис. 9.4). Применяется при проведении подготовительных выработок по пластам малой мощности. Шпуровые заряды инициируют электродетонаторами короткозамедленного действия в порядке нумерации, например указанном на рис. 9.4.

Хорошие результаты были получены при применении встречного веерного вруба в выработках шириной более 4,5 м в породах (коэффициент крепости по шкале Протодяконова $f=5\dots20$). Этот вруб представляет собой сочетание двух веерных врубов, разворачивающихся от оси выработки в противоположные стороны. На рис. 9.5 приведена схема расположения шпуров с применением встречного веерного вруба в шахте “Красноармейская - Капитальная”. Наблюдался незначительный отброс породы, деформации крепи не замечены, КИШ – 0,8...0,9.

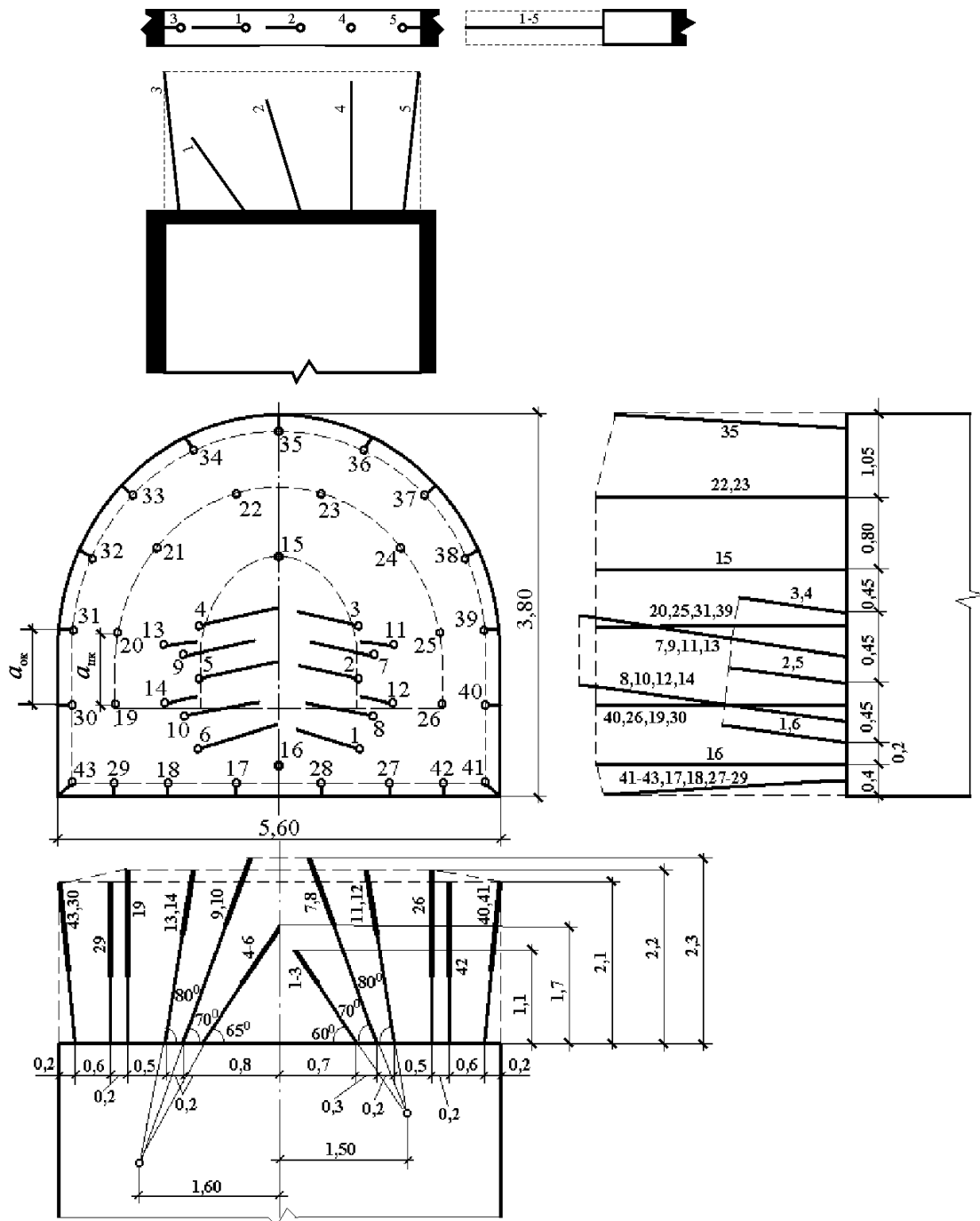


Рис. 6.5. Схема расположения шпуров с применением встречного веерного вруба (размеры в м): 1...43 –

6.2. Прямые врубы

Такие врубы целесообразны в крепких породах, а также в породах любой крепости в выработках малой площади сечения, т. е. там, где клиновые врубы малоэффективны или их невозможно применить. Достоинства: длина шпуров не ограничивается поперечными размерами выработки, высокий КИШ (0,90...0,95). Недостатки: из-за необходимости сближенного расположения шпуров и бурения

"холостых" шпуров применяют только в выработках, в которых отсутствуют выделения метана и взрывчатая угольная пыль.

Наибольшее распространение получили врубы призматический, щелевой и спиральный шагающий.

Призматический вруб (рис. 9.6) применяют в породе средней крепости и выше

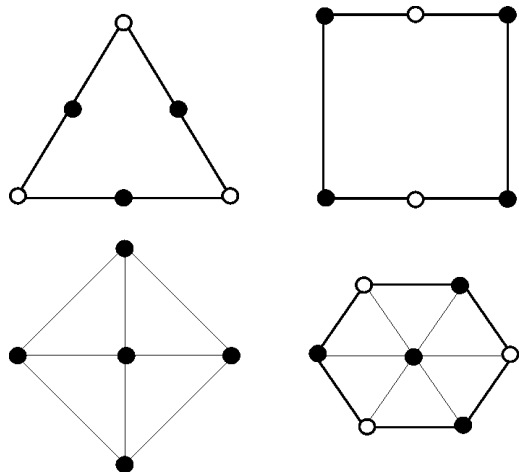


Рис. 9.6. Схемы взаимного расположения шпуров призматического вруба:

в выработках малой площади сечения (4...8 м²). Он образуется бурением пяти-шести сближенных шпуров, расположенных обычно в центре забоя в виде треугольника, квадрата, шестиугольника. Недостаток – в необходимости бурения холостых шпуров или скважин.

Для увеличения выброса породы из врубовой полости целесообразно бурить центральный шпур глубиной на длину одного патрона ВВ больше остальных, в который закладывается вышибной заряд, взрывааемый последним.

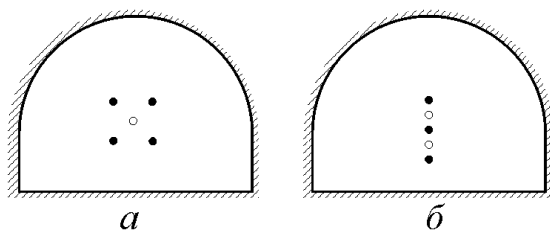


Рис. 6.7. Схемы расположения прямых врубов:

Призматический вруб со скважиной используют при проведении выработок по породам различной крепости. Скважину диаметром 80...100 мм бурят приблизительно в центре забоя, вокруг нее на разных расстояниях – четыре врубовых шпура (рис. 9.7, а) нормального диаметра (42 мм). Расстояние между скважинами и врубовыми шпурами

зависит от диаметра скважины, крепости пород и мощности ВВ. Например, при взрывных работах аммонитами по породам с $f = 8 \dots 12$ расстояние от скважины до шпура 1 м.

В угольных забоях, в которых выделяется метан и образуется взрывчатая угольная пыль, необходимо выдерживать минимально допустимые расстояния между зарядами (см. табл. 9.1) и отказаться от бурения холостых шпуров или скважин.

Щелевой вруб. Получается взрыванием в нескольких зарядах параллельных шпуров, расположенных в один-два ряда, пробуренных перпендикулярно к забою выработки (рис. 9.7, б). Шпуры заряжают через один. Незаряженные создают дополнительные открытые поверхности, облегчающие работу соседним заряженным. При очень крепких породах расстояние между шпурами не должно превышать диаметра холостого шпура (в сторону которого действует взрыв), а при слабых может быть не более двух-трех диаметров. Целесообразны мощные ВВ, которыми заполняют шпуры почти на всю глубину. Во время бурения шпуров необходимо использовать направляющие устройства.

Щелевой вруб применяют в породах средней крепости в шахтах, неопасных по газу, при проведении выработок преимущественно небольшой площади сечения, где врубы с наклонными шпурами не годятся. Рациональная длина щели $0,8 \dots 1,1$ м. Вспомогательные врубовые шпуры по два с каждой стороны щели бурят на расстоянии от нее, не превышающем $0,9$ ее длины. КИШ – $0,85 \dots 0,95$. В мелкослоистых и трещиноватых породах щелевой вруб неэффективен.

Спиральный шагающий вруб. Шпуры располагают по спирали (рис. 9.8).

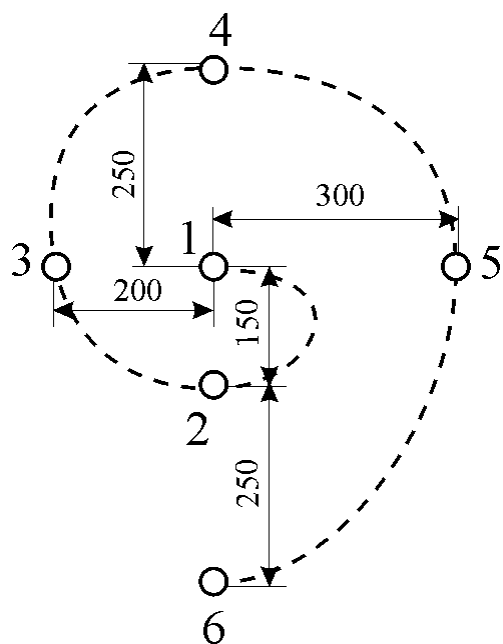


Рис. 9.8. Схема спирального шагающего вруба

Глубина первого шпура принимается равной $1 \dots 1,1$ м, второго – на $0,2 \dots 0,3$ м больше

глубины первого, третьего и последующих также на 0,2...0,3 м больше глубины предыдущего.

Заряд первого шпура составляет 1...2 патрона ВВ. В каждом последующем заряд возрастает на один патрон по сравнению с предыдущим. Очередность взрывания зарядов соответствует порядковым номерам шпуров.

Спиральный шагающий вруб был испытан на многих шахтах Донбасса, получены высокие показатели. Однако выявлены и серьезные недостатки. Так, можно использовать только прессованные ВВ, поскольку при работе с порошкообразными ВВ этот вруб по причине весьма близкого расположения соседних шпуров применять нельзя из-за возможности переуплотнения ВВ, а следовательно, случаев затухания детонации и выгорания ВВ. Кроме того, сложно выдержать заданную разметку шпуров.

6.3. Комбинированные врубы

Наиболее эффективный вруб этой группы – **шагающий пирамидально-клиновой**. Он состоит из девяти шпуров (рис. 9.9). Центральный шпур № 1 имеет

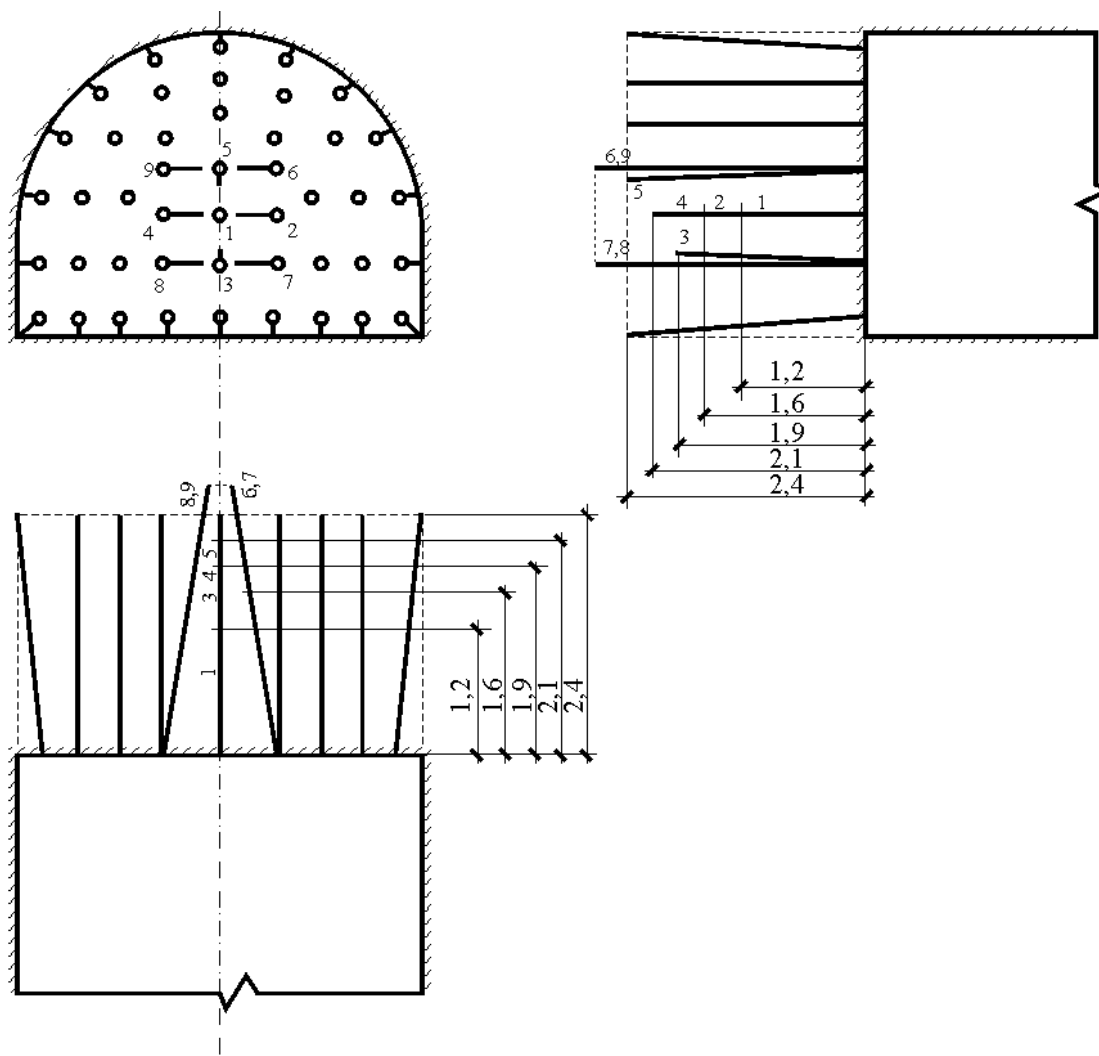


Рис. 9.9. Схема расположения шпуров с применением шагающего пирамидально-клинового вруба (размеры в м): 1 – наименьшие глубину (1...1,2 м) и заряд (один патрон ВВ). Бурится перпендикулярно к поверхности забоя. Шпуры № 2, 3, 4, 5 расположены на равных расстояниях от № 1. Глубина этих шпуров, считая от центрального, постепенно увеличивается с интервалом 0,20...0,33 м. Заряды также увеличиваются на один патрон, т.е. на 0,25...0,30 кг в каждом последующем шпуре по сравнению с предыдущим. При ведении взрывных работ в песчаниках для облегчения выброса разрушенной породы из образующейся полости целесообразно шпуры № 2, 3, 4, 5 бурить с некоторым наклоном к оси шпура № 1. Углы следует принимать небольшими, произвольного размера, но такими, чтобы расстояния между зарядами в парах шпуров 2–1, 3–1 и 3–2; 4–1 и 4–3; 5–1 и 5–4; 5–2 соответствовали требованиям Единых правил безопасности при взрывных работах (см. табл. 10.1) и в породах с $f < 7$ составляли не менее 0,45 м, а в более крепких ($f \geq 7$) – не менее 0,30 м. Таким образом, можно применять не только прессованные, но и порошкообразные ВВ.

В сланцах шпуры № 2, 3, 4, 5 можно бурить перпендикулярно к поверхности забоя. Эффективность взрывных работ при этом не снижается.

Очередность взрывания зарядов в шпурах от № 1 до № 5 включительно соответствует порядковым номерам шпуров. Затем через 15...30 мс взрывают заряды в шпурах № 6, 7, 8, и 9.

Короткозамедленное взрывание

10.1. Физическая сущность

До 1958 г. в Донбассе и других бассейнах взрывные работы в угольных шахтах, опасных по газу или пыли, велись только мгновенными электродетонаторами. При этом применялось одноприемное взрывание, когда весь забойный комплект шпуровых зарядов взрывается от одного электрического импульса (за один прием). Это наиболее простой и безопасный вид взрывания.

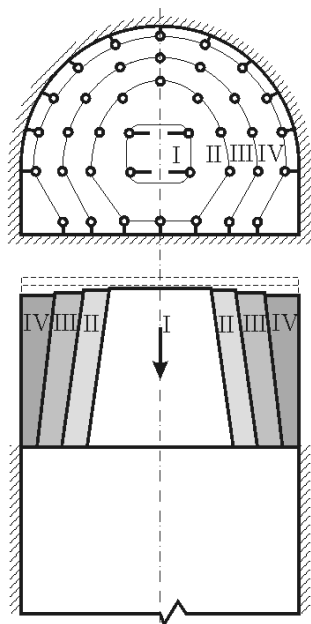
Однако метод взрывания всех шпуровых зарядов за один прием при использовании только электродетонаторов мгновенного действия не оправдал себя на практике. Эффективность его очень низкая, а вероятность повреждения крепи горных выработок высока. К тому же, применявшиеся в то время электродетонаторы мгновенного действия имели большой разброс во времени срабатывания, достигавший в ряде случаев 100 мс и более, а также низкую иницирующую способность, не обеспечивая возбуждение нормальной детонации зарядов ВВ. Это, в свою очередь, приводило к неуправляемой очередности взрывания отдельных шпуровых зарядов в забое выработки со значительными временными замедлениями и к отказам.

Поэтому было распространено многоприемное взрывание, при котором забойный комплект шпуровых зарядов взрывается в два или несколько приемов, что, однако, создавало опасность воспламенения метана и угольной пыли. Главная причина опасности состояла в том, что требования ЕПБ относительно порядка зарядания шпуров и взрывания зарядов нередко нарушались. Требованиями ЕПБ допускается заряжать такое количество шпуров, заряды в которых будут взорваны за один прием и с расчетом, чтобы между очередными взрываниями было обеспечено проветривание, замер газа, уборка отбитого угля и ряд других мер. Поскольку на выполнение этих операций требуется время и дополнительные материальные затраты, иногда в нарушение требований правил и пренебрегая опасностью, взрывник и лица, ответственные за организацию взрывных работ, в ряде случаев опасно упрощали: заряжали все пробуренные шпуры, а шпуровые заряды взрывали по очереди: сначала врубовые, а затем отбойные, причем через промежутки времени, которых было недостаточно для проветривания, а содержание газа между взрываниями замеряли не всегда. В этих условиях осмотр забоя после предыдущего взрывания не мог быть достаточно тщательным. Наблюдались случаи обнажения заряда или части зарядов в шпурах взрывами предыдущих шпуровых зарядов ВВ. Такое упрощение в отдельных случаях являлось причиной воспламенения газа или пыли, так как обнаженный заряд взрывался в загазированной среде при обильном образовании угольной пыли.

Кроме того, многоприемная технология взрывания приводила к значительным потерям времени, а темпы проведения выработок были низкие (25...35 м в месяц). Резервов по увеличению скорости практически не было. Поэтому следовало разработать для шахт, опасных по газу или пыли, такой способ взрывания, который по простоте и безопасности не уступал бы одноприемному взрыванию, а по эффективности разрушения пород приближался бы к многоприемному.

В 1952-1953 гг. на основании результатов фоторегистрации с использованием скоростной киносъемки процессов и осциллографирования явлений взрыва в массиве, а также результатов натурных экспериментов по влиянию различных факторов на эффективность и безопасность разрушения горных пород взрывом был разработан способ, получивший название **короткозамедленного или миллисекундного взрывания**.

Короткозамедленное взрывание (КЗВ) – одноприемное последовательное взрывание отдельных зарядов или отдельных групп зарядов с заранее заданными миллисекундными промежутками времени (рис. 10.1). Миллисекундные интервалы между



**Рис. 10.1. Принципиальная схема
разрушения горных пород
при короткозамедленном
взрывании**

взрывами – важнейший фактор обеспечения безопасной в отношении воспламенения метана и угольной пыли работы всех взрывающихся в забое зарядов, а также принципиальное отличие этого метода от многоприемного взрывания.

При КЗВ разрушение массива зарядами первой очереди аналогично разрушению взрывом одиночного заряда. В результате взрыва призма выброса оказывается раздробленной, а под действием остаточного давления газообразных продуктов происходит ее сдвигание. Массив в этот период находится в напряженном состоянии. Когда взрываются заряды второй и последующих очередей с малыми интервалами замедления, в массиве возникает сложная картина интерференции волн напряжений (прямых и отраженных от взрыва последующих зарядов). Время нахождения участка массива в напряженном состоянии увеличивается. Снижается сейсмическое действие взрыва на окружающие сооружения в результате одновременного взрыва меньшего числа зарядов, уменьшается трещинообразование в законтурном массиве. Происходит взаимодействие взрывов зарядов смежных серий.

Таким образом, получаемый при КЗВ эффект определяется интерференцией волн напряжений от соседних зарядов; образованием дополнительных открытых поверхностей, соударением разлетающихся кусков при взрыве соседних зарядов.

Если интервалы малые, наблюдается интерференция волн напряжений, средние – образование дополнительных открытых поверхностей, большие – также соударение кусков. Перечисленные факторы следует рассматривать как составные элементы единого процесса взаимодействия зарядов при КЗВ.

Интерференция волн напряжений происходит в случае, когда направление смещения частиц от предыдущего и последующего взрывов совпадают. При этом увеличиваются суммарные смещения, напряжения и интенсивность разрушения массива.

В результате исследований, проведенных МакНИИ, было установлено время начала сдвижения массива после взрыва, которое равно: для песчаников 4,3...10 мс при одной открытой поверхности, 0,4...12 мс при двух открытых поверхностях; для глинистых сланцев соответственно – 6...87 и 3...27 мс; для угля при одной открытой поверхности – 9...23 мс.

Волновые процессы в массиве после взрыва заряда массой 0,6...0,9 кг завершаются в среднем за 4...6 мс. Скорость разлета пород переднего фронта составляет 60...70 м/с, а при последующих – 3...6 м/с.

Дополнительные открытые поверхности при взрыве предыдущих серий зарядов обеспечивают образование в массиве дополнительных отраженных волн растяжения от взрыва последующих серий. Это увеличивает эффект разрушения, ослабляет массив и облегчает его окончательное разрушение давлением газов взрыва. В сторону открытых поверхностей происходит сдвижение породы. Перемещающиеся при взрыве куски породы соударяются вследствие того, что участки массива при взрыве имеют разные скорости и направления движения.

10.2. Параметры для шахт, опасных по газу или пыли

Основные параметры, определяющие условия безопасного применения короткозамедленного взрывания в шахтах, опасных по газу или разрабатывающие пласты, опасные по взрывам пыли: общее время взрыва всего комплекта шпуровых зарядов ВВ в забое; интервал замедления между взрывами смежных шпуровых зарядов; расстояние между шпуровыми зарядами; расстояние от зарядов ВВ до открытой поверхности. Рассмотрим эти параметры.

Общее время взрыва всего комплекта шпуровых зарядов в забое. Это время замедления взрывания последней ступени ЭД с учетом разброса по времени срабатывания. Оно должно быть таким, чтобы в процессе взрывания шпуровых зарядов ВВ в призабойном пространстве не образовалась взрывчатая метановоздушная смесь.

Результаты экспериментальных исследований динамики концентрации метана свидетельствуют, что через 270...520 мс после взрывания зарядов вблизи забоев появляются угрожающие концентрации метана (2,5...4,2%), а через 1...5 с концентрация метана может достигать взрывоопасного предела и удерживаться в течение нескольких (до 10) минут. Поэтому общее время взрыва: при применении взрывчатых веществ III и IV классов не более 220 мс, V и VI классов – 320 мс.

Интервал замедления между взрывами смежных шпуровых зарядов ВВ.

Второй не менее важный параметр – максимальный интервал замедления между отдельными сериями взрывания смежных шпуровых зарядов. *Смежными* называют шпуровые заряды ВВ, расстояние между которыми не превышает двукратного минимально допустимого. Это время должно быть таким, чтобы исключалась возможность бокового обнажения шпурового заряда к моменту его взрывания. Оно весьма опасно, так как ужесточает на одну-две и даже на три ступеньки условия взрывания зарядов ВВ, т. е. требует применение ВВ класса VI вместо III, IV или V. Кроме того, в процессе бокового обнажения возможна деформация шпурового заряда ВВ, что может привести к его отказу.

Установлено, что время начала образования дополнительных поверхностей 25...46 мс. Из результатов эксперимента замедление между взрывами смежных шпуровых зарядов принимают равным не более 40 мс.

Величина этого времени имеет решающее значение для эффективности разрушения горных пород взрывом. Ведь при малых интервалах имеет место только интерференция волн напряжения, при средних – и образование дополнительных отрывных поверхностей, при больших – также соударение кусков. Поэтому, например, в Бельгии минимально допустимое время между взрывами врубовых шпуровых зарядов (они взрываются всегда первыми) и вспомогательных (второй серией) для высокопредохранительных ВВ увеличено до 60...80, а в США – до 100 мс. В нашей стране решили снижать допустимые расстояния между шпуровыми зарядами и открытой поверхностью.

Расстояния между шпуровыми зарядами ВВ. Важнейшим показателем, влияющим на безопасность и эффективность взрывных работ, является устойчивость детонации ВВ. В то же время одновременное взрывание шпуровых зарядов ВВ, в том числе с миллисекундными интервалами между отдельными взрывами, может при определенных условиях воздействовать на соседние шпуровые заряды, взрывающиеся в последующих сериях. Например, количество неполных детонаций непредохранительных ВВ класса II в породных и угольных забоях на шахтах Донбасса достаточно велико.

Исследования МакНИИ доказали, что одна из основных причин неполных детонаций – уплотнение ВВ соседними, ранее взорвавшимися сближенными зарядами. Установлено, что аммонит 6ЖВ в мягких породах дает неполные детонации при расстоянии между зарядами до 40 см, в породах средней крепости – до 30 и в крепких – до 20. Почти все затухания наблюдались в стыках между патронами. Аммонал скальный №1 не давал затуханий детонации. Эти процессы в свою очередь – основные технологические причины выгорания шпуровых зарядов ВВ, а именно:

переуплотнение патронов ВВ до плотности выше критической (остаточное давление в соседних шпурах может достигать 30 МПа);

раздвижка патронов в шпуре вплоть до выбрасывания патрона-боевика из шпура (в горизонтальных и наклонных выработках средняя скорость выбрасывания равна 3,8 м/с, максимальная – 10 м/с);

образование угольных и породных пересыпок между отдельными патронами за счет откольных явлений.

Минимально допустимые расстояния между шпуровыми зарядами a_{\min} , при которых исключается отрицательное действие взрыва одного заряда на другой, установлены экспериментально (табл. 10.1).

Таблица 10.1. Минимально допустимые расстояния между шпуровыми зарядами ВВ

Условия взрывания	a_{\min} , мм, в зависимости от класса ВВ			
	II	III-IV	V	VI
По углю	0,60	0,60	0,50	0,40
По породе, если:				
$f < 7$	0,50	0,45	0,30	0,25
$f = 7 \dots 10$	0,40	0,30	–	–
$f > 10$	Определяется нормативами, разработанными по согласованию с МакНИИ			

Расстояние от шпурового заряда ВВ до открытой поверхности. За это расстояние принимается минимальная угольная или породная перегородка между шпуровым зарядом ВВ и какой-либо плоскостью в горном массиве, через которую взрыв заряда ВВ не воспламенит взрывчатую метано- или пылевоздушную смесь.

Для установления расстояния заряды ВВ взрывали в углещементных блоках и в стальных канальных мортирах, размещенных во взрывчатой смеси. Результаты позволили установить, что расстояние от заряда ВВ до ближайшей открытой поверхности должно быть по углю не менее 0,5 м при применении ВВ классов IV и V и не менее 0,3 м – класса VI; по породе – не менее 0,3 м.

Сотрясательное взрывание в шахтах, опасных по внезапным выбросам

Наряду со взрывами метана и угольной пыли грозное явление в шахтах – выбросы породы, угля и газа. Они характеризуются быстропротекающим (от одной до нескольких десятков секунд) самопроизвольным разрушением призабойной части угольного или породного массива и повышенным газовыделением. Скорость перемещения потока горной массы при выбросе составляет 4,3...8,7, а отдельных кусков – до 20 м/с.

Опасными последствиями выбросов могут быть: травмирование людей, выделение большого количества газа, способное привести к удушью людей, образование взрывоопасной атмосферы, что может вызвать взрывы метана и угольной пыли. При максимальном в истории горного дела внезапном выбросе (длился 32 с), который произошел в 1971 г. при вскрытии пл. *тз* “Мазурка” в шахте им. Гагарина ПО “Артемуголь”, было выброшено 14 тыс. т угля и свыше 250 тыс. м³ газа.

Внезапные выбросы возможны в особых горно-геологических условиях, в основном при производстве взрывных работ, а также при выполнении операций, связанных с проведением горных выработок или с добычей угля. Поэтому взрывные работы на выбросоопасных пластах ведутся в режиме сотрясательного взрывания, направленного на защиту людей от опасных последствий внезапных выбросов за счет снижения их частоты и интенсивности или провоцирования при отсутствии людей в проводимой выработке и в опасной зоне.

Впервые сотрясательное взрывание применили в 1890 г. во Франции, в отечественной практике – в 1917 г. в шахте “Красный Профинтерн” (г. Енакиево) при вскрытии пл. ”Дерезовка” на гор. 340 м; сопровождалось выбросом угля и газа интенсивностью 200 т.

Сотрясательное взрывание характеризуется:

- специальным режимом и организацией производства взрывных работ;
- нетрадиционными (особыми) схемами расположения и взрывания шпуровых зарядов;
- повышенным удельным расходом ВВ;
- специальными технологиями вскрытия выбросоопасных пластов.

Сотрясательное взрывание должно обеспечить отбойку угля и породы точно в соответствии с проектными размерами и формой выработки с тем, чтобы в дальнейшем исключить применение в призабойном пространстве ручных инструментов, которые могут вызвать запоздалый выброс. Если не достигнуто достаточное разрушение угля и не получена требуемая конфигурация выработки, то следует провести повторное сотрясательное взрывание по ее оконтуриванию.

Шпуры по углю бурят только машинами вращательного действия, по породе допускается ударное бурение. Для взрывания допущены ВВ класса IV . Разрешается при определенных условиях, оговоренных «Едиными правилами безопасности при взрывных работах», для торпедирования и взрывных работ по выбросоопасным песчаникам применять ВВ класса III , а также непродохранительные ВВ класса II .

Инициирование зарядов при сотрясательном взрывании в угольных и смешанных забоях и по выбросоопасным породам следует выполнять предохранительными электродетонаторами мгновенного и короткозамедленного действия со временем замедления не более 220 мс. При вскрытии пластов до их обнажения сотрясательным взрыванием время замедления последней ступени электродетонаторов короткозамедленного действия допускается увеличивать до 320 мс.

11.1. Организация и режим производства

Для подготовки и проведения сотрясательного взрывания приказом назначаются руководители в выработке и с поверхности шахты. Руководство подготовкой и проведением взрывания в забое должны осуществлять инженерно-технические работники участка, на котором проводятся работы.

Для каждого забоя должна быть составлена Инструкция по сотрясательному взрыванию в забое, устанавливающая порядок и технологию выполнения в конкретных горно-геологических условиях выработки, а также меры безопасности, направленные на защиту людей от последствий выброса. Паспорт БВР – составная часть этой Инструкции. С паспортом БВР и с Инструкцией должны быть ознакомлены (под роспись) лица технического надзора и рабочие соответствующих участков.

Порядок проведения сотрясательного взрывания и лица, ответственные за его выполнение, также утверждаются приказом по шахте. В случае производства работ специализированными шахтостроительными организациями такой порядок устанавливается совместным приказом шахтостроительного управления и эксплуатационной шахты.

Сотрясательное взрывание допускается производить только в специально выделенные междусменные перерывы, продолжительность которых определяется хронометражными наблюдениями, или в смены при отсутствии людей в опасной зоне. Данные о времени и месте в виде объявления должны выставляться не позже чем за смену до начала взрывания на специальной доске объявлений в ламповой и у стволов (шурфов), по которым производится спуск и подъем людей.

Необходимо вести “Журнал проведения сотрясательного взрывания на шахте”, утверждаемый руководителем взрывания с поверхности.

При проведении взрывания устанавливают опасную зону, в которую включают выработки, расположенные по ходу движения исходящей вентиляционной струи от места взрывания, а также выработки с поступающей свежей струей воздуха от забоя до места укрытия мастера-взрывника. Перед началом зарядания шпуров в выработках, расположенных в пределах опасной зоны, электроэнергия должна быть отключена. Включение допускается только после проверки содержания метана в атмосфере выработки после взрывания.

Люди, не связанные со взрывными работами, должны находиться на свежей струе воздуха на расстоянии не менее 1000 м от места слияния исходящей от взрываемого забоя струи воздуха со свежей, считая против направления ее движения.

Не допускается отключение вентиляторов местного проветривания, а также приборов автоматического контроля содержания метана и датчиков, используемых для контроля выбросоопасных зон угольных пластов. В забоях выработок, в которых нельзя отключить электроэнергию до начала зарядания шпуров (в связи с их возможным затоплением), обесточивание необходимо выполнить перед началом монтажа взрывной сети. В угольных и смешанных забоях выработок, проводимых по выбросоопасным угольным пластам, при взрывании зарядов по углю или по углю и породе одновременно, а также по породе без опережающей выемки, расстояние до укрытия мастера-взрывника должно быть не менее 600 м от забоя, но не ближе 200 м от места слияния исходящей струи воздуха со свежей.

При взрывании зарядов по породе в забоях, где произведена опережающая выемка выбросоопасного угольного пласта, расстояние до места укрытия мастера-взрывника должно быть не менее 200 м от места слияния исходящей из взрываемого забоя струи воздуха со свежей струей.

Сотрясательное взрывание при вскрытии пластов производится с места нахождения людей, не связанных с взрывными работами, т. е. с 1000 м, а при вскрытии особовыбросоопасных пластов – с поверхности при полном отсутствии людей в шахте.

Места укрытия, из которых производится взрывание при вскрытии выбросоопасных и угрожаемых угольных пластов при углубке вертикальных стволов с действующих горизонтов, должны находиться: на участке пересечения пласта – на поверхности в 50 м от ствола, на участке приближения и удаления (см. § 11.2.1) – на действующем горизонте, но не ближе 200 м от углубляемого ствола при условии обеспечения изолированного отвода исходящей струи воздуха. При невозможности выполнения указанных условий, взрывать надо с поверхности.

Взрывать должен мастер-взрывник в присутствии лица технического надзора по должности не ниже заместителя начальника участка. Мастера-взрывники и лица технического надзора снабжаются индивидуальными светильниками со встроенными датчиками метана и изолирующими самоспасателями.

Взрывание должно производиться от стационарного взрывного пункта, размещенного в месте укрытия мастера-взрывника и представляющего собой закрытый на ключ металлический ящик, в который введена взрывная магистраль. К забоям вскрывающих, подготовительных и очистных выработок прокладывают постоянные взрывные магистрали из специальных кабелей, допущенных Госнадзорохрантруда Украины для производства взрывных работ. Их прокладывают на стороне выработки, свободной от силовых, телефонных и других кабелей или на расстоянии не менее 0,3 м от них.

После взрывания осмотр выработки разрешает руководитель с поверхности после получения им сведений о содержании метана в забое, но не ранее чем через 30 мин после взрыва, и содержании метана менее 2%. Осмотр выполняют лица технического надзора и мастер-взрывник. Лицо технического надзора, измеряющее содержание метана при продвижении к забою для осмотра его после взрывания, должно находиться на расстоянии 3 м впереди мастера-взрывника. При обнаружении концентрации метана 2% и более они обязаны возвратиться в выработку со свежей струей воздуха.

На случай возможного выброса угля (породы) и газа, руководителем шахты заблаговременно должны быть утверждены мероприятия по разгазированию выработки.

В случае отказа зарядов, ликвидация их должна производиться с выполнением требований, предъявляемых к ликвидации отказов (см. § 18.1.3) и к сотрясательному взрыванию.

Все служебные разговоры обязан фиксировать руководитель сотрясательного взрывания с поверхности на магнитофонную ленту, которую хранят не менее трех суток.

11.2. Технология производства

В зависимости от назначения, области и условий эффективности применения сотрясательное взрывание можно условно разделить на пять видов (табл. 11.1), каждый из которых характеризуется специфическими параметрами ведения взрывных работ.

Таблица 11.1. Виды сотрясательного взрывания и их назначение

Вид (область)	Назначение
Вскрытие выбросоопасных пластов	Отбойка породы и угля в зонах приближения, пересечения и удаления
Угольные и смешанные забои подготовительных и очистных выработок, проводимых по выбросоопасным пластам	Полная отбойка угля или угля и породы в заданном сечении выработок, снижение интенсивности и частоты выбросов угля и газа
Забои выработок, проводимые по выбросоопасным породам	Отбойка породы в заданном сечении выработок

Торпедирование (гидровзрывная обработка) призабойной части угольного пласта в подготовительных и очистных выработках	Предотвращение выбросов угля и газа
Передовое (внепластовое) торпедирование вмещающих пород на выемочных участках впереди очистных забоев	Предотвращение или снижение интенсивности и частоты выбросов угля и газа

11.2.1. Вскрытие выбросоопасных пластов сотрясательным взрыванием.

Под *вскрытием пластов* понимается комплекс работ, связанных с приближением к ним забоя вскрывающей выработки, их обнажением, пересечением и удалением от пластов.

При вскрытии крутых пластов участком приближения следует считать участком вскрывающей выработки с 4 до 2 м перед вскрываемым пластом, а участком удаления – с 2 до 4 м за пластом (рис. 11.1, а).

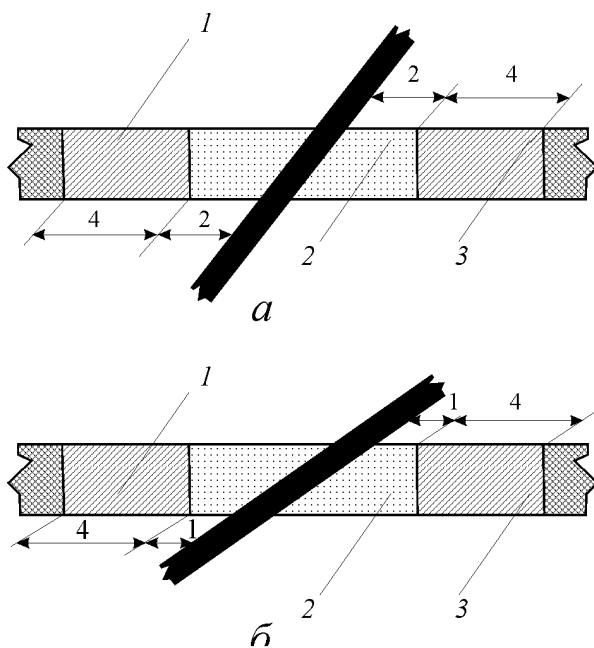


Рис. 11.1. Схемы вскрытия пластов

квершлагами (размеры в м) :

а — крутых и крутопадающих;

При вскрытии пологих и наклонных угольных пластов участком приближения следует считать участок вскрывающей выработки с 4 до 1 м перед вскрытием пласта и участок удаления – с 1 до 4 м за пластом (рис. 11.1, б). Все расстояния следует принимать по нормали к пластам.

Вскрытие угольных пластов сотрясательным взрыванием, кроме мощных крутых допускается производить полным проектным сечением выработки.

Режим сотрясательного взрывания в забое вводится с расстояния не менее 4 м и отменяется после удаления забоя выработки на расстояние не менее 4 м по нормали от пласта.

Обнажение и пересечение пластов при помощи буровзрывных работ проводят при породной пробке между забоем выработки и крутым пластом (пропластком) не менее 2 м, а для пологих и наклонных – не менее 1 м по нормали к пласту.

Для вскрытия крутого пласта за одно взрывание необходимо (рис. 11.2):

использовать двухъярусные (рассредоточенные) заряды;

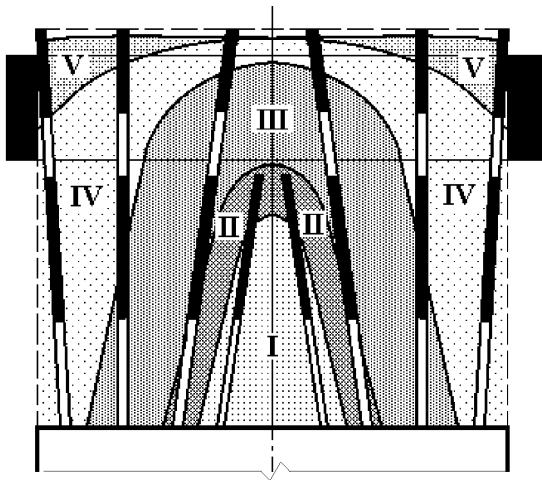


Рис. 11.2. Схема расположения шпуров и зарядов при вскрытии пласта:

I...V — последовательность разрушения горного

применять двойной клиновой вруб, при этом шпуры первого (вспомогательного) ряда бурят до пласта, а шпуры второго (основного) — за пласт на 0,4...0,5 м; заряд ВВ во вспомогательных шпурах взрывного вруба принимают 0,9...1,2, а в основных шпурах — 1,5...3 кг;

располагать заряды ВВ отбойных и оконтуривающих шпуров как в породной подрывке, так и в угольном массиве (во вскрываемом пласте);

перебуривать породы, располагаемые за пластом, на расстояние 0,4...0,5 м;

в шпурах с рассредоточенными зарядами замедление в донном заряде (2-й ряд) должно быть больше, чем в первом от устья заряде (1-й ряд) на 30...45 мс (по номиналу);

при использовании допущенных для соответствующих условий ВВ III и IV класса длины забойки между рассредоточенными зарядами должны быть не менее 0,75 м, а масса первого от устья шпурового заряда — не более 1,2 кг; при использовании ВВ II класса соответственно не менее 1 м не более 1 кг.

11.2.2. Проведение выработок и ведение очистных работ по выбросоопасным угольным пластам. Проведение подготовительных выработок сотрясательным взрыванием на пластах пологого и наклонного падения может осуществляться по двум схемам: с опережающей отбойкой угля или одновременной отбойкой угля и породы. В местах геологических нарушений взрывание по углю и породе должно производиться одновременно.

З а п р е щ а е т с я применять ручные ударные инструменты для оформления забоя после сотрясательного взрывания.

При сотрясательном взрывании в угольных забоях подготовительных выработок на пластах пологого падения количество шпуров по углю определяют по формуле

$$N_y = \left(\frac{B_y + 0,5}{0,6} + 1 \right) k_{ш},$$

(11.1)

где B_y — ширина угольного забоя в сечении штрека, м;

0,6 м – минимально допустимое расстояние между шпуровыми зарядами;

$k_{ш}$ – коэффициент расположения шпуров, определяющий количество рядов по мощности пласта.

Мощность пласта, м.....	0,40...0,75	0,76...1,20	1,21...1,80	1,81 и более
$k_{ш}$	1	2	3	4

Общий расход ВВ на заходку, кг

$$Q_{\text{зах}} = \frac{N_y l_{ш} \gamma}{2},$$

(11.2)

где $l_{ш}$ – глубина шпуров для сотрясательного взрывания, м;

γ – масса 1 м заряда шпура по углю (принимается равной для порошкообразных аммонитов 1,1...1,2 кг/м).

При сотрясательном взрывании по породе в подготовительных выработках и в очистных забоях порядок расчета параметров паспорта БВР такой же, как и при обычном взрывании (см. гл. 8), но при более высоком удельном расходе ВВ его следует принимать на основании практических данных или расчетным способом по эмпирическим формулам.

При одновременном взрывании по углю и породе в этих же условиях удельный расход ВВ, кг/м³, для породной части забоя может рассчитываться по следующей формуле

$$q_{п} = 0,7 + 0,12 f_{п} + 0,1 l_{ш} - 0,02 S_{п},$$

(11.3)

где $S_{п}$ – площадь поперечного сечения породного забоя, м²;

$f_{п}$ – крепость породы по Протоdjяконову.

В угольных и смешанных забоях подготовительных выработок, проводимых на крутых пластах по углю или по углю и породе, удельный расход ВВ рекомендуется уменьшить примерно на 20% по сравнению с расчетными данными по формуле (11.3). Удельный расход в забоях очистных выработок также целесообразно определять на основании данных практики или расчетным способом.

Для условий применения ВВ класса IV в нишах и лавах

$$q_{н} = 0,7 + 0,1 f_y + 0,01 l_{ш} - 0,01 S_y, \quad (11.4)$$

где S_y – площадь поперечного сечения угольного забоя, м²;

f_y – крепость угля по шкале Протоdjяконова.

Для обеспечения эффективности взрывных работ глубина шпуров должна быть на 0,5 м больше подвигания забоя лавы за цикл (длины заходки).

Применение веерных врубов считается целесообразным в первую очередь в угольных забоях, проводимых на устойчивых пластах мощностью до 0,7 м. На пластах мощностью 0,8 м и более, представленных некрепкими углями, рациональны призматические врубы.

11.2.3. Проведение выработок по выбросоопасным породам. Выбросоопасные песчаники по прочностным свойствам относятся к крепким породам с коэффициентом крепости по шкале Протодяконова равным 7...10 или больше.

Экспериментально установлено, что выбросы песчаника могут произойти только из тех частей забоя, где имеется избыточное давление газа (более 0,02 МПа). Эта особенность выбросоопасных песчаников положена в основу принятой технологии проведения выработок буровзрывным способом.

По выбросоопасным породам выработка проводится с опережающим забоем уменьшенного сечения (рис. 11.3). Взрывание шпуровых зарядов в обоих забоях выполняют одновременно (за один прием)

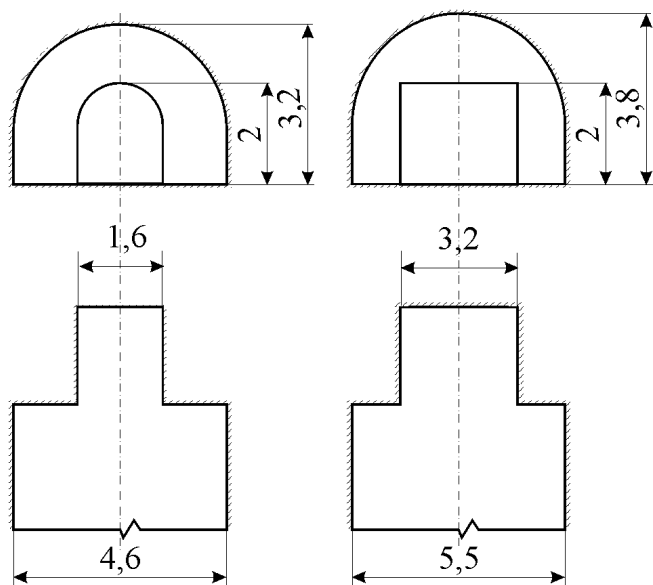


Рис. 11.3. Схемы проведения выработок с опережающим забоем в зонах высокой (а)

с замедлением от проектного к уменьшенному сечению (шпуровые заряды в опережающем забое взрывают после взрыва зарядов в проектном).

Сечение опережающего забоя должно быть таким, чтобы отбитая взрывом порода основного забоя полностью перекрывала сечение опережающего забоя. Идея способа состоит в том, чтобы основной комплект шпуровых зарядов взорвать в дегазированном (до давления газа менее 0,02 МПа) массиве и одновременно локализовать возможный выброс в напряженном опережающем забое перемычкой взорванной горной массы.

В зонах высокой степени выбросоопасности рекомендуется в опережающем забое бурить не более 12 шпуров, располагая при этом оконтуривающие шпуров по эллиптическому как наиболее устойчивому контуру. В зонах невысокой и средней выбросоопасности бурение оконтуривающих шпуров в передовом забое по эллиптическому контуру не обязательно, причем количество их может быть увеличено до 21. Глубина шпуров должна быть 1,6...1,8 м. Удельный расход ВВ составит 0,8...1,5 кг/м³ (предохранительных – на 25...30% больше).

Вокруг контура каждой выработки существует зона естественной разгрузки на глубине, не превышающей 0,6...0,8 м. Поэтому в забое проектного сечения шпуров располагают в один ряд на расстоянии не более 0,6 м от стенок опережающей полости. Если одного ряда недостаточно для доведения выработки до

проектного сечения, взрывание шпуровых зарядов в отстающем забое необходимо произвести несколько раз, соблюдая изложенные выше требования к расположению шпуров.

Специальные виды взрывных работ

12.1. Контурное взрывание

Различают два метода взрывных работ при проведении горных выработок – обычное взрывание и контурное. *Обычное взрывание* получило чрезвычайно широкое распространение, несмотря на серьезные недостатки. Так, фактические контуры полостей выработок, как правило, не соответствуют проектным. Имеют место большие переборы и чрезмерные нарушения трещинами законтурного массива. Переборы породы являются причиной увеличения объемов работ по погрузке и транспортировке породы и забутовке закрепного пространства, а при монолитной бетонной крепи – больших перерасходов бетона. Фактический коэффициент излишка сечения (КИС) достигает 1,25...1,30 при нормативном 1,03...1,05.

Трещины, возникающие в законтурном массиве, оказывают отрицательное воздействие на горные породы. Естественные прочность и устойчивость их значительно снижаются. Учащаются случаи деформации крепи и перекрепления выработок, на что затрачивается много времени и средств. В зависимости от типа и диаметра патронов ВВ, диаметра шпуров, прочностных показателей пород трещины распространяются в законтурный массив на глубину до 1,2...1,6 м в песчаниках и 1,6..2,2 – в сланцах.

Трещинообразование в законтурном массиве отрицательно влияет не только на прочность и устойчивость пород кровли и стенок горных выработок, но на безопасность работ, особенно в призабойном пространстве. Трещины также аккумулятор ядовитых газов, образующихся при взрывных работах.

Для большинства ВВ количество газов, выделяющихся при взрыве 1 кг ВВ, составляет 600...1000 дм³, в состав которых входит от 100 до 150 дм³ ядовитых примесей в виде оксидов углерода, азота и др. При применении ВВ, содержащих нитроэфиры, например, детонита М (10% нитроэфиров), в продуктах взрыва, кроме перечисленных, имеются не менее токсичные газы – пары нитроэфиров.

Ядовитые газы, образующиеся при взрывных работах и проникшие в трещины законтурного массива на значительную глубину, постепенно выделяются и в течение значительного времени содержатся в рудничной атмосфере в то время, когда забой считается проветренным и безопасным для персонала, выполняющего в призабойном пространстве работы по погрузке породы, возведению крепи, бурению шпуров. По этой причине нередко имели место случаи с признаками отравления проходчиков, жалующихся на тошноту и головные боли.

При проведении горных выработок с применением контурного взрывания недостатки, присущие обычному, исключаются.

Контурное взрывание – это технологический прием, заключающийся в установлении таких параметров зарядов и расположения оконтуривающих шпуров, при которых достигаются незначительные переборы породы и минимальное воздействие взрыва на законтурный массив. В результате воздействия создается сравнительно гладкая поверхность боков и кровли выработок и малая глубина нарушения законтурного массива, а полость приобретает правильную форму. Кроме того, повышаются устойчивость обнажений, безопасность работ и технико-экономические показатели.

Контурное взрывание впервые выполнили в Швеции при строительстве гидротехнических сооружений для получения выработок с ровными гладкими стенами. В качестве ВВ использовался динамит в патронах диаметром 32...36 мм. В оконтуривающих шпурах применяли полупатроны. Их разрезали вдоль на две половинки. Эти полупатроны привязывали с промежутками (длина равна длине полупатрона) к деревянным планкам. Чтобы ВВ детонировало, к планкам привязывали также детонирующий шнур. Заряды в шпурах помещали так, чтобы планка находилась со стороны массива, а ВВ было направлено в сторону полости. Расстояние между оконтуривающими шпурами было значительно меньше, чем между остальными. После взрывных работ получалась выработка с очень ровными стенками без трещин и достаточно устойчивая.

Для проведения горных выработок контурным взрыванием необходимо выполнять следующие мероприятия:

а) высокоточная реализация параметров, указанных в паспортах буровзрывных работ, т. е. надо точно размечать шпуры, а при бурении строго выдерживать углы наклона шпуров к поверхности забоя выработки;

б) уменьшение в 2...4 раза против обычной энергии взрыва в оконтуривающих шпурах. Последнее достигается применением патронов ВВ уменьшенного диаметра (в случае аммонитов Т-19, ПЖВ-20, АП-5-ЖВ – патроны диаметром 27...28 мм, детонита М – 21...22 мм) или же использованием патронов ВВ малой мощности (угленита Э-6) диаметром 36 мм;

в) применение особого метода расчета параметров зарядов и расположения шпуров.

В качестве исходных данных для разработки паспорта буровзрывных работ на контурное взрывание можно использовать действующий паспорт для обычного метода ведения буровзрывных работ для этой выработки с внесением в него скорректированных данных для шпуров контурного и предконтурного рядов. Массы, кг, шпуровых зарядов контурного $q_{ш.к}$ и предконтурного $q_{ш.пк}$ рядов следует подсчитывать по формулам

$$q_{ш.к} = l_{ш} k_{зап.к} \gamma_{к}, \quad (12.1)$$

$$q_{ш.пк} = l_{ш} k_{зап.пк} \gamma_{пк}, \quad (12.2)$$

где $k_{зап.к} = 0,6...0,7$ – коэффициент заполнения шпура контурного ряда;

$k_{зап.пк} = 0,4...0,6$ – коэффициент заполнения шпура предконтурного ряда;

$\gamma_{к}$ и $\gamma_{пк}$ – масса, кг, 1 м заряда ВВ в оконтуривающих и предконтурных шпурах,

$$\gamma_{к} = \frac{\pi d_{к}^2}{4} \Delta_{ВВ}, \quad (12.3)$$

$$\gamma_{пк} = \frac{\pi d_{пк}^2}{4} \Delta_{ВВ}, \quad (12.4)$$

$d_{к}$ – диаметр патронов ВВ в шпурах контурного ряда (принимается при применении аммонитов 27...28 мм, детонита М – 21...22 мм);

$d_{пк}$ – диаметр патронов ВВ в шпурах предконтурного ряда (36 мм или 32 мм).

Подсчитанные массы зарядов шпуров контурного и предконтурного рядов уточняются округлением до целого количества патронов в шпуре. Глубина шпуров при

переходе на контурное взрывание остается равной глубине, принятой в данной выработке при обычном взрывании.

Расстояния, m , между контурными a_k и предконтурными $a_{пк}$ шпурами (рис. 12.1), также ЛНС, m , для этих шпуров W_k и $W_{пк}$ следует подсчитывать по формулам:

$$a_k = \sqrt{\frac{K_{зап.к} \gamma_k m}{q_k}}, \quad W_k = \sqrt{\frac{K_{зап.к} \gamma_k}{q_k m}},$$

(12.5)

$$a_{пк} = \sqrt{\frac{K_{зап.пк} \gamma_{пк} m}{q_{пк}}}, \quad W_{пк} = \sqrt{\frac{K_{зап.пк} \gamma_{пк}}{q_{пк} m}},$$

(12.6)

где m – коэффициент сближения зарядов при слоистых породах в выработках, проводимых по простиранию

($m = 0,8$ у стенок выработки и $m = 1 \dots 1,2$ у кровли);

q_k и $q_{пк}$ – удельный расход ВВ, $кг/м^3$, для зоны контурных и предконтурных шпуров

$$q_k = 0,15 \sqrt{f} \left(\sqrt{0,2f} + \frac{1}{B_k} \right) e^{-1k},$$

(12.7)

$$q_{пк} = 0,15 \sqrt{f} \left(\sqrt{0,2f} + \frac{1}{B_{пк}} \right) e^{-1k},$$

(12.8)

где B_k и $B_{пк}$ – длины линий, м, по которым расположены оконтуривающие и предконтурные шпуров.

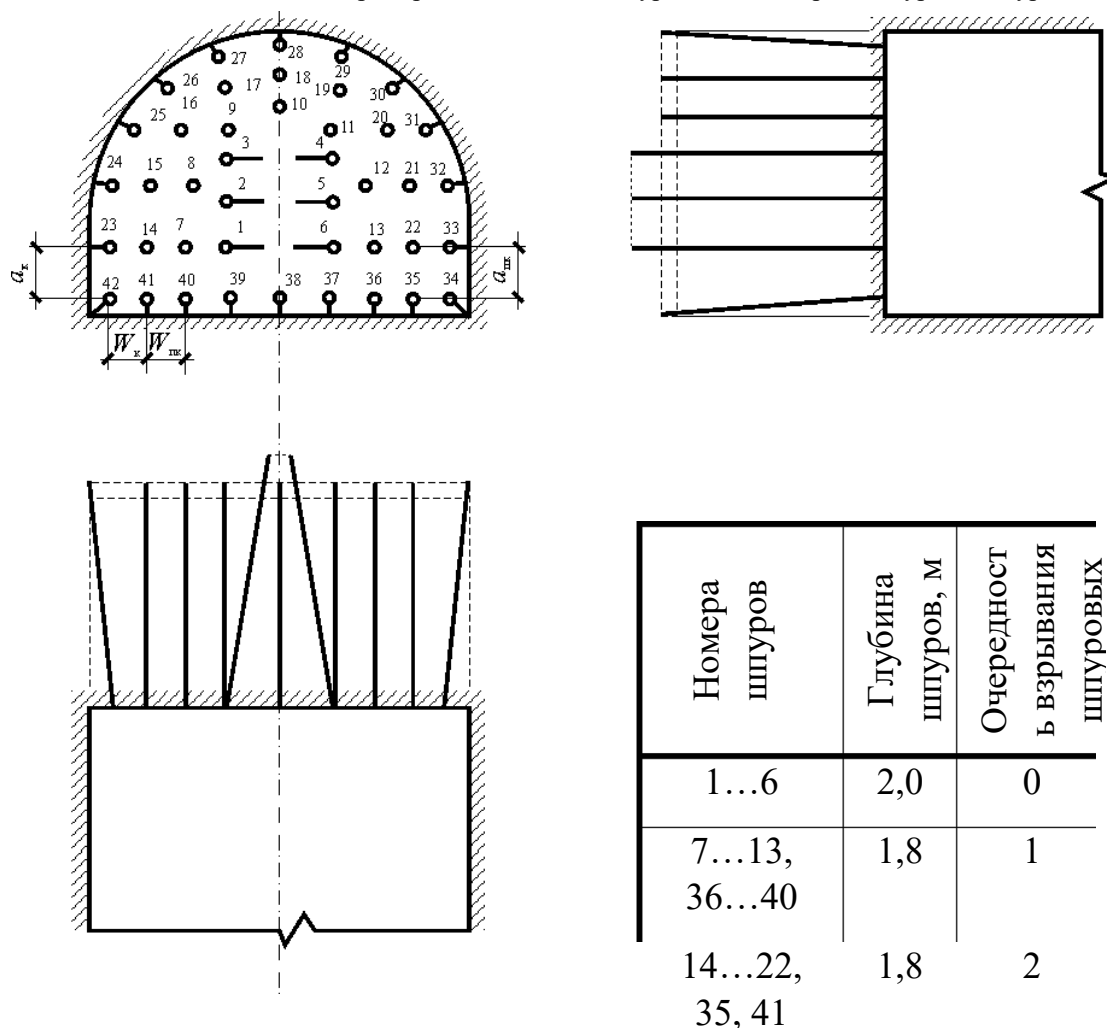


Рис. 12.1. Схема к определению расстояния между оконтуривающими a_k и предконтурными $a_{пк}$ шпуровыми

Перед началом работ по проведению выработки контурным взрыванием должен быть разработан и скорректирован паспорт буровзрывных работ.

При участии научных сотрудников кафедры “Строительства шахт и подземных сооружений” Донецкого политехнического института было проведено несколько десятков тысяч метров выработок на шахтах крутого падения (№5 им. В.И. Ленина, им. Карла Маркса, “Кочегарка”, “Комсомолец”, “Северная”, “Александр - Запад”, “Кондратьевская - Западная” и др.) и пологого (“Чайкино – Глубокая №1”, “Пролетарская Глубокая”, “Октябрьский рудник”) с применением метода контурного взрывания.

Опыт свидетельствует, что в ряде случаев требуется увеличение количества шпуров по забою. Кажется, что некоторое возрастание объема работ по бурению шпуров вызовет рост продолжительности проходческого цикла в целом. Однако это не так. Например, внедрение контурного взрывания на шахтах треста “Горловскуглестрой” свидетельствует, что темпы проведения выработок в среднем возросли на 10...15%, в забоях переборы породы сведены к минимуму, почти исчез непроизводительный вид работ по оборке кровли и боков выработок от отслаивающихся кусков породы, отсутствовал травматизм, так как порода не отслаивалась, выработки не имели нарушений крепи и не перекреплялись, снизились затраты на эксплуатацию.

Появилась возможность отказаться от тяжелых крепей из монолитного бетона и металлических арок, а вместо них применить набрызг-бетон и анкерную крепь.

На шахте им. Румянцева при проведении выработок контурным взрыванием околоствольного двора на горизонте 700 м был установлен всесоюзный рекорд: за месяц проведено 2530 м³ горной выработки в свету. На шахте “Пролетарская Глубокая”, чтобы ускорить подготовку новых добычных участков, было решено пластовые выработки, северный уклон и ходок северного уклона по пласту l'_8 Софиевский проводить скоростными методами. В кровле и почве пласта залегали глинистые сланцы. Первоначально выработки проводили обычным взрыванием с использованием аммонита ПЖВ-20 в патронах диаметром 36 мм. В сутки выполнялся один проходческий цикл. При глубине шпуров 2,8 м обеспечивалось подвигание забоя на 2,5 м. Такая скорость была явно недостаточной. Попытка увеличить глубины шпуров не привели к увеличению скорости проходки из-за значительных нарушений взрывными работами пород кровли выработок и плохой их устойчивости.

Применение контурного взрывания практически ликвидировало процессы трещинообразования в законтурном массиве, устойчивость которого резко возросла. Это позволило увеличить глубину шпуров до 4 м, а подвигание забоя – до 3,6 м при той же продолжительности проходческого цикла и том же количественном составе проходческой бригады. Скорости проведения северного уклона и ходка северного уклона возросли с 70...80 до 110...120 м в месяц.

Контурное взрывание рекомендуется при проведении всех типов горных выработок: горизонтальных, наклонных и вертикальных, полевых и пластовых, капитальных и подготовительных.

Наряду с описанным, известно *контурное взрывание с предварительным оконтуриванием*. Его применяют в породах с коэффициентом крепости $f < 4$. По проектному контуру выработки бурят шпуры (скважины диаметром до 100 мм – на открытых работах) и заряжают их через один. Расстояние между рабочими и холостыми шпурами и заряд должны обеспечивать щель (тонкую трещину) между шпурами. В данном случае это расстояние должно быть в 3...4 раза больше, чем между шпурами щелевого вруба, т. е. расстояние между соседними скважинами или шпурами принимают равным четырем – шести их диаметрам. На остальной площади забоя выработки располагают шпуры и заряды обычного диаметра. Оконтуривающие шпуры взрывают в первую очередь. Продукты взрыва, действуя на породу (хотя и слабую, но находящуюся в условиях многоосного сжатия), не вызывают в ней сильных нарушений, но прорезают между шпурами (скважинами) тонкую щель. Эта щель является экраном, препятствующим прохождению в законтурный массив ударных волн и напряжений, возникающих при взрыве основных шпуровых зарядов. Оконтуривающие шпуровые заряды должны быть взорваны не менее чем за 100 мс до взрыва первой серии основных зарядов. В подземных выработках данный метод применяют редко.

12.2. Пластовое и внепластовое торпедирование

Торпедирование – взрывные работы скважинным методом в целях увеличения трещиноватости горного массива, чтобы предотвратить внезапные выбросы угля и газа. Осуществляют в режиме сотрясательного взрывания.

12.2.1. Торпедирование угольного массива. Торпедирование как способ борьбы с внезапными выбросами угля и газа применяется на пологих, тонких и средней мощности пластах. Выполняется как с предварительным нагнетанием воды в пласт, так и без него.

Параметры торпедирования: диаметр скважин 45...60 мм; длина скважин $L = 8...13,5$ м, расстояние между ними 2...2,5 м.

Массу заряда, кг, в скважине определяют по формуле

$$Q = \gamma(L - l_3),$$

(12.9)

где l_3 – общая длина забойки, м (принимают $l_3=3,5$ м, если $L = 8...8,5$ м; $l_3=4$ м, если $L = 8,5...9$ м и $l_3=5$ м, если $L \geq 10$ м);

γ – масса 1 м заряда, кг.

Неснижаемое опережение забоя скважинами должна быть не менее 2 м. Необходимо, чтобы скважины, расположенные в кутках забоя, выходили за контур выработки не менее чем на 2 м.

Скважины для пластового торпедирования бурят с наклоном $4...7^\circ$, что обеспечивает заполнение их водой. Время от заливки скважин водой до инициирования зарядов ВВ не должно превышать 45 мин. В качестве ВМ используют ВВ класса II (скальный аммонал №1), детонирующие шнуры (ДШ) и электродетонаторы мгновенного действия.

Применяют сплошной монозаряд. Его изготавливают в выработке в специально отведенном месте. Патроны ВВ укладывают в один ряд торец к торцу, вплотную друг к другу. Вдоль патронов по длине заряда прокладывают две нити детонирующего шнура, а если заряд более 3 кг – дополнительно пеньковую веревку. Патроны ВВ вместе со шнуром и веревкой обвязывают шпагатом или помещают в специальный рукав шириной 60 мм (в сложенном виде), сшитый из суровой бязи. Заряды инициируют двумя последовательно расположенными патронами-боевиками. Соединение ЭД в одном заряде параллельное, а подсоединение во взрывную сеть – последовательное.

Скважины диаметром 55...60 мм заряжают составными свинченными металлическими досыльниками (забойниками), изготовленные из стального прута диаметром 10 мм, имеющим вилку на конце для захвата петли веревки, на которой монтируется заряд ВВ при досылке его в скважину. Скважины диаметром 45 мм – с помощью свинчивающихся деревянных забойников, когда вода нагнетена. После заряжания устья всех скважин герметизируют на глубину 0,2 м песчаноглинистой забойкой, в которой оставляют отверстие диаметром 10...15 мм для заливки водой. Зарядов взрывают за один прием, их количество не должно превышать 10.

12.2.2. Передовое торпедирование. Для предотвращения внезапных выбросов угля и газа, снижения интенсивности оседания труднообрушаемых пород основной кровли в очистных забоях и в ряде других случаев нередко возникает необходимость взрывания скважинных зарядов, масса которых достигает несколько сотен килограмм (рис. 12.2, а).

Параметры скважинного метода взрывания при передовом торпедировании: диаметр скважины – 76...112 мм, длина скважин – 30...110 м и более, диаметр монозаряда – 55...70 мм, длина монозаряда – 10...55 мм и более, масса заряда в скважине – 50...210 кг и более.

Схема заряжания, принятая в шахтах Донбасса, состоит в следующем. Из патронов ВВ изготавливают монозаряд диаметром на 20...25 мм меньше диаметра скважины. Для этого патроны помещают в полиэтиленовый рукав (через карманы) вплотную друг к другу. Монозаряд закрепляют к металлическому тросу, переброшенному через блок

стопорного элемента, размещенного у забоя скважины. Этим тросом его с помощью пневматической лебедки затягивают в скважину до проектной отметки.

Передовое торпедирование – сложная и весьма опасная операция. Взрывание в шахтах, опасных по газу и пыли, скважинных зарядов большой массы требует применения специальных технических средств и мероприятий по предупреждению воспламенения пылеметановоздушных смесей. В связи с тем, что взрывание скважинных зарядов производится в глубине монолитного нетрещиноватого массива, воздействие источников

высокой температуры, сопровождающих детонацию ВВ, на шахтную атмосферу возможно

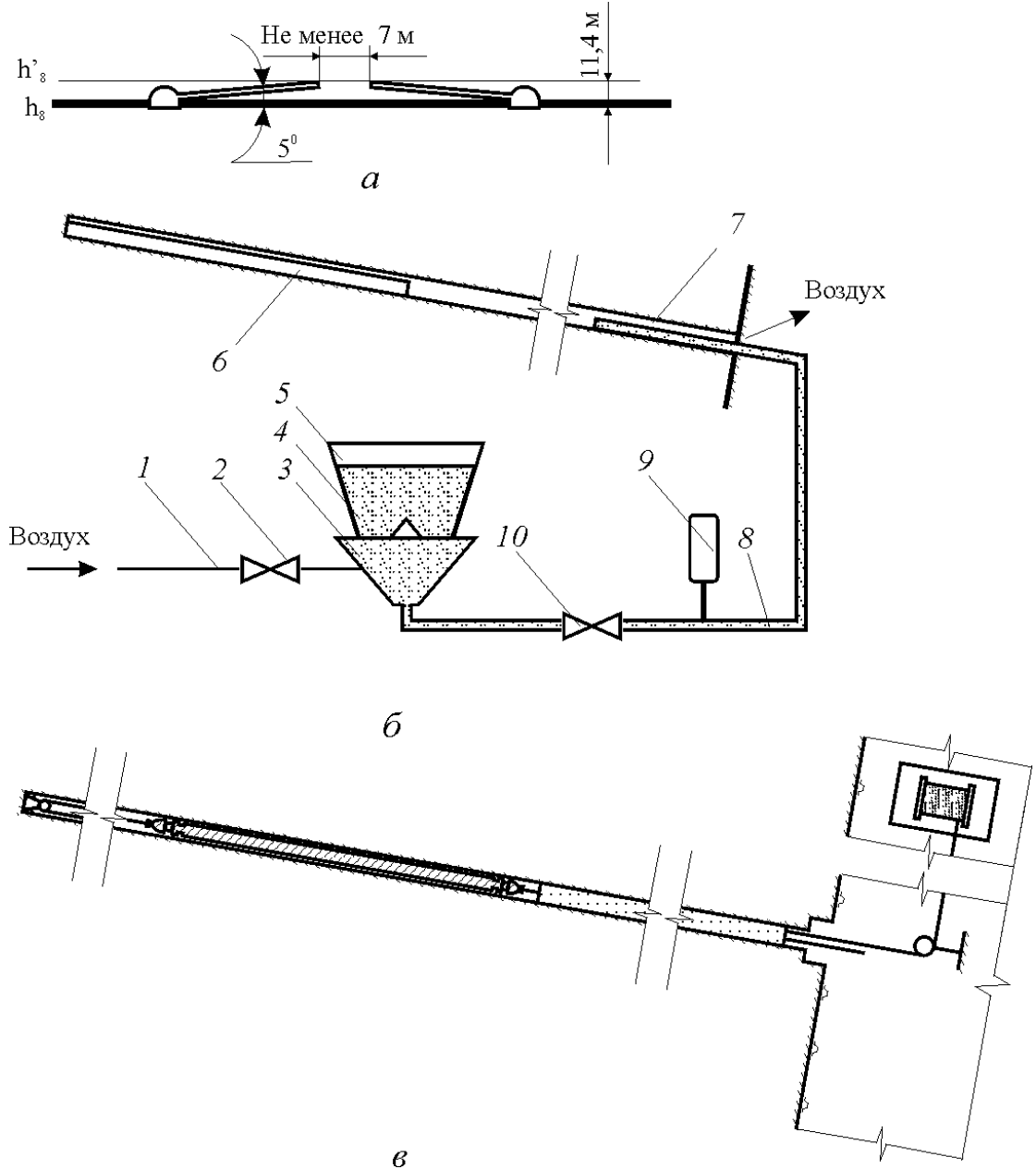


Рис. 12.2. Схема заряджання свердловин при передовому торпедуванні:

а – схема розташування свердловин над вугільним пластом;
б – схема формування набійки в свердловині при камуфлетному підриванні; *в* – конструкція свердловинного монозаряду ВР:

только со стороны устья скважины. В этих условиях особое значение приобретает забойка, размещаемая в свободной от заряда части скважины. Для охлаждения продуктов детонации, различного рода раскаленных частиц, выбрасываемых из устья, наиболее эффективный по теплофизическим свойствам забоечный материал – вода. Поэтому на первом этапе применялась гидрозабойка. В этих целях одновременно с монозарядом в скважину затягивалась специальная полиэтиленовая ампула (шланг), которая затем заполнялась

водой. Устье скважины герметизировалось с помощью глиняной пробки или гидрозатвора. Однако конструкция забойки обладала низкой взрывозащитной эффективностью из-за того, что полиэтиленовые ампулы разрывались (при зарядании или заполнении) и вода вытекала из скважин, или из-за простого незаполнения ампул водой на всю их длину. Технология зарядания и взрывания скважинных зарядов характеризовалась повышенной опасностью возникновения аварий, связанных со взрывами и пожарами в шахтах. Об этом свидетельствуют случаи воспламенения пылегазовоздушных смесей, происшедших при взрыве скважинных зарядов аммонита Т-19 на шахте “Молодогвардейская” ПО “Краснодонуголь” и ш/у “Донбасс” ПО “Донецкуголь”. В выработках со свежей струей воздуха, с которых бурились скважины, обнаруживались следы воздействия высокотемпературных продуктов взрыва (оплавленный телефонный кабель, обугленная деревянная крепь, обгоревшие вентиляционные трубы), “кокстик” на крепи, свидетельствующий о взрыве угольной пыли, а также открытое пламя (оранжевого цвета) у устья скважины.

Возникновение аварийных ситуаций обуславливается выбросом в горные выработки продуктов детонации, содержащих 25...35 м³ горючих газов (11...13% общего объема), в которых присутствуют в основном водород, оксид углерода и метан. В результате происходит свободное горение газов в выработке, что само по себе представляет значительную опасность для людей и как источник возможного пожара, а также чревато воспламенением метано- и пылевоздушной смесей.

К тому же наличие полиэтиленовой пленочной оболочки вокруг заряда ВВ и стального троса в скважине значительно увеличивает размеры пламени и дальность разлета искр. Кроме того, при взрыве значительных масс ВВ в призабойном пространстве выработки формируется ударная волна и выбрасываются продукты взрыва, что приводит к повреждению крепи и оборудования. Комплексное решение этой было достигнуто за счет взрывания скважинных зарядов в режиме полного камуфлета, т. е. взрывания без выброса забойки из скважины в выработку, из которой она пробурена.

Камуфлетное взрывание было обеспечено за счет применения сыпучей забойки ВМК-1, представляющей собой увлажненную смесь гранулированного карбамида и порошкового хлорида калия в соотношении 3:1. Забойка ВМК-1 подается в скважину сжатым воздухом по гибкому зарядному трубопроводу с внутренним диаметром 25...32 мм с помощью порционного зарядчика ЗМК-1 (рис. 12.2, б). Она способна удерживаться в скважине большого диаметра (до 112 мм), в том числе восстающих (с углом восстания до 60°), без применения дополнительных герметизирующих средств (рис. 12.2, в).

После взрывания заряда такая забойка уплотняется (особенно средняя ее часть) до монолитного состояния и благодаря этому не выбрасывается из скважины. Продукты взрыва постепенно истекают из камуфлетной полости через трещины в массиве и через пористую забойку, и уже через 30...40 мин избыточное давление в скважине отсутствует (установлено теоретически и подтверждено экспериментально путем искусственного вымывания забойки и выдерживания стального троса после взрывания).

Для случая взрывания аммонита 6ЖВ или Т-19 в скважинах длиной 30...110 м с забойкой ВМК-1 длиной 15...45 м при соотношении между диаметрами заряда этих ВВ и скважины ($d_{зар}/d_{скв}$) равных 55:76, 65:93, 70:105 и 70:112 можно пользоваться для определения длины забойки, при которой достигается камуфлет, следующей эмпирической формулой

$$l_{з.кам} = 1,27l_{зар}(d_{зар} / d_{скв})^2$$

(12.10)

Подчеркнем, что, кроме запирающей эффективности, забойка ВМК-1 обладает высокими теплофизическими и флегматизирующими свойствами. Поэтому даже в случае выбрасывания из скважины (в результате нарушения параметров взрывания), она способна надежно предотвратить воспламенение пылегазовоздушных смесей. Вместе с тем, для безопасного взрывания скважинных зарядов требуется выполнять ряд дополнительных требований ЕПБ в соответствии с инструкцией по передовому торпедированию.

12.3. Особенности выполнения взрывных работ в искусственно замороженных породах и в зацементированной зоне

Строительство горных выработок в сложных горно-геологических условиях ведется специальными способами. В частности, в рыхлых, неустойчивых, водонасыщенных породах (пльвунах) применяют искусственное замораживание горных пород, а в крепких, сильнопористых и трещиноватых породах с большими притоками воды предварительно заполняют поры материалом, способным затвердевать в присутствии воды и перекрывать ее движение вокруг выработки, например, цементируют.

В связи с опасностью нарушения защитного ледопородного или зацементированного цилиндра (ограждения), а также замораживающих колонок, выемку породы взрывным способом в этих зонах следует производить с соблюдением следующих предосторожностей:

расход ВВ на 1 м³ породы – 0,3...0,5 кг;

опасную зону проходить короткими заходками с применением шпуров глубиной 1...1,5 м;

расстояние окружности расположения оконтуривающих шпуров от стенок ствола – не менее 0,3 м, а от замораживающих колонок – не менее 1,1...1,2 м;

в качестве предохранительной среды (если она необходима) применять только аэрозольные порошковые завесы (см. гл.13).

12.4. Особенности принудительного обрушения кровли в очистных забоях взрыванием шпуровых зарядов

В шахтах, опасных по газу или разрабатывающих пласты, опасные по взрыву пыли, принудительное обрушение кровли в очистных забоях взрыванием шпуровых зарядов разрешается производить при строгом выполнении специальных мероприятий. Этот способ применяют в лавах, имеющих в кровле пласта труднообрушаемые породы мощностью 3...6 м. Надо помнить, что это очень опасная, с позиции возможного воспламенения взрывоопасных смесей, операция – в выработанном пространстве практически всегда есть метан!

Основные мероприятия:

шпуров бурят в кровле пласта со стороны забоя лавы под углом 60...65° к горизонтальной плоскости в один или два параллельных забоя лавы ряда.

Расстояние между шпурами в ряду следует принимать кратным интервалу между стойками крепи по длине лавы в пределах 0,9...2 м, расстояние между рядами шпуров – кратным шагу посадки кровли в пределах 1...4 м;

посадочную крепь передвигают только после завершения бурения шпуров. Однако в выработанном пространстве оставляют специально установленные стойки, чтобы предотвратить деформацию шпуров и зарядов. Расстояние от устья шпуров до вновь установленного ряда посадочной крепи должно быть равно половине мощности пласта;

если принудительное обрушение кровли производится отдельными участками по длине лавы (в несколько приемов), то взрывные работы выполняют только снизу вверх (участки разделяются органной крепью);

при взрывании по породе крепостью до 6 надо применять ВВ класса V, а при большей крепости пород – класса IV;

расстояние от шпуров до ближайших заколов и трещи должно быть не менее 0,3 м;

работы следует производить в режиме сотрясательного взрывания;

необходимо создавать предохранительную среду, а также применять гидрозабойку, причем одну ампулу целесообразно разместить у дна шпура, а вторую – со стороны устья (донно-устьевая забойка) (см. гл. 13).

Машины и механизмы для ведения взрывных работ.

Комплекс механизмов применяемых для ведения взрывных работ состоит из:

- машин для заряжания скважин заводскими ВВ и приготовления игданита,
- механизмов для растаривания ВВ и загрузки зарядных машин,
- оборудование для приготовления и заряжания водосодержащих и эмульсионных ВВ, забойки скважин, погрузки перевозки на складах и машин для осушения скважин.

Зарядные машины изготавливаются 2х видов:

1. для заряжания скважин игданитом и гранулированными ВВ заводского производства,
2. для заряжания скважин водосодержащими ВВ.

Тип зарядной машины	Техническая производительность не менее кг/мин	Грузоподъемность по ВВ не менее, тонн	Диаметр заряжаемой скважины, мм
МЗ-1	180	3	105
МЗ-2	180	5	105
МЗ-3	300	10	125
МЗ-4	450	25	160
МЗ-5	630	40	200
МЗ-2 В	180	5	105
МЗ-3 В	300	10	125
МЗ-4 В	450	25	160
МЗ-5 В	630	40	200
МЗ-8, МЗ-12	630	Более 40	Более 200

Машины для водосодержащих и эмульсионных ВВ

В смесительно-зарядные машины «Акватол-1У» - 10 тонн; «Акватол-3» - 30 тонн; «Поремит-1У» - 6 тонн – для транспортирования эмульсии и газогенерирующей добавки, их смешивания для получения эмульсионного ВВ (поремита) и заряжания обводненных скважин под столб воды.

Механизация заряжания шпуров и скважин на подземных и горных работах.

Пневматические зарядные механизмы классифицируются:

Принцип действия	Эжекторные	Нагнетательные	Нагнетательные - эжекторные
Рабочий орган (питатель)	Эжектор с соплом	Камерный, порционный, барабанный	Шпуров и скважины

Заряжаемые полости	Шпуры, загрузка бункеров - зарядчиков	Шпуры и скважины	Шпуры и скважины
--------------------	---------------------------------------	------------------	------------------

В эжекторных зарядчиках транспортирование осуществляют за счет разряжения, а в нагнетательных и нагнетательно-эжекторных за счет избыточного давления. Первый тип (эжекторный) отличается простотой конструкции, но имеет малую дальность транспортирования.

Второй тип (нагнетательные) и третий (нагнетательно-эжекторный) более сложны и громоздки, но позволяют транспортировать ВВ по трубопроводам на значительное расстояние до 300 м. по горизонтали при высоте подъема до 150 м.

По назначению механизмы подразделяются:

- для заряжания шпуров,
- для транспортирования,
- для заряжания скважин,
- для вспомогательных работ.

Зарядчики инжекторного типа:

К ним относятся «Курама-7»; «Курама-8» и «Ульба-10».

Пневмозарядчики типа : «Курама-7» предназначены для заряжания гранулированными ВВ горизонтальных, наклонных, «Курама-8» вертикальных (шпуров) скважин на рудниках и шахтах, не опасных по газу и пыли. Их применяют в подготовительных забоях с небольшим кол-м шпуров.

Зарядные машины в условиях шахт.

Условие применения		Число шпуров и скважин за взрыв, шт.	Тип механизмов
Шпуры на проходческих работах	< 20		РПЗ-06; Ульба-10; «Курама-8»
	> 20		ЗП-2; ЗМК-1; Ульба-50
Шпуры в очистных забоях: Н-3,5 м.	< 20		ЗП-2; Ульба-10; Курама
	> 20		ЗП-2; ЗМК-1; Ульба-50
Н-3,5-5 м.	> 20		Ульба-400 С
Н- больше -5 м.	> 20		ПМЗШ-2
Шпуры в забоях с самоходным оборудованием на проходческих работах	< 40		ЗП-2;
	> 40		Ульба-400 С; СЗМ-Ф
Скважины для массовых взрывов	d=50-65мм	> 20	ЗДУ-50; ЗП-5; Ульба-50; ЗМБС-2
	d=60-70мм	< 20	Ульба-150; ЗБУ-Каратау; ЗП-12; ЗМБС-2
	d=(70;105;125-165)мм	> 20	Ульба-400; ЗДУ-50 (Каратау)
Скважины с применением самоходного оборудования		любое	Ульба-400-С; ЗДУ-50;
Применение водосодержащих ВВ	При проходке стволов	< 100	ЗС-1;
	В других случаях	< 40	КПЗП

Характеристика зарядчиков типа «Курама»

Тип зарядчика		«Курама-7»	«Курама-8»
Длина заряжения шпуров	мм	< 3	< 3
Диаметр шпуров	мм	< 46	< 46
Угол наклона шпуров к горизонтали	град	< 7	-
Угол наклона шпуров к вертикали	град	-	< 7
Вместимость бункера	кг	7	9
Рабочее давление	атмосфер	0.5-0.6	0.5-0.7
Расход воздуха	м ³ /мин	< 3	-
Производительность	кг/мин	< 18	< 12
Масса зарядчика	кг	2.2	2.5

Порционные зарядчики

Порционные зарядчики типа ЗП и РПЗ (ЗП-2, ЗП-5, ЗП-12, ЗП-25, РПЗ-0.6) предназначены для заряжения шпуров и скважин любого направления порциями гранулированного ВВ, соответственно по 0.6; 0; 7; 2.5; 25 кг.

Зарядчики ЗП –предназначены для заряжения шпуров и скважин в очистных и проходческих забоях при одновременном взрывании > 20 шпуров.

Зарядчики типа ЗП-5; ЗП-12; ЗП-25 предназначены для заряжения скважин различного диаметра и применяют в шахтах, не опасных по газу и пыли.

Ранцевый зарядчик РПЗ-0.6 относят к зарядчикам нагнетательного типа и предназначен для заряжения шпуров гранулированными ВВ в забоях небольшого сечения, в отдаленных местах.

Пневмозарядчик ЗМК-1 – предназначен для увлажнения и заряжения гранулированными ВВ шпуров и скважин в горной промышленности и на строительстве специальных сооружений.

Зарядная машина ЗМК-25 - вместо ранее выпускаемых аналогичных машин типа ЗМК и предназначена для заряжения шпуров и скважин гранулированными ВВ на открытых работах и в подземных выработках шахт, не опасных по газу и пыли.

Зарядчики нагнетательного типа ЗДУ предназначены для заряжения скважин и транспортирования в процессе заряжения гранулированных ВВ по трубопроводу на расстояние до 300 м.

Зарядчик ЗДУ-50 предназначен для пневматического транспортирования гранулированных ВВ с откаточных выработок на подэтажи, заряжения скважин и минных камер в шахтах, не опасных по газу и пыли.

Зарядная машина ЗМБС – предназначена для водонапорных ГВВ, доставки их с очистного горизонта до буровых выработок и зарядания скважных и минных камер при подземной разработке.

Пневмозарядчик типа ПЗЛ предназначен для механизированного зарядания шпуров (ПЗЛ-25) и скважин (ПЗЛ-100) гранулированной ВВ на подземных и открытых работах. Они аналогичны по конструкции, но отличаются друг от друга вместимостью зарядного бака. Камерные пневмозарядчики КПЗП (Кавказ) предназначены для зарядания шпуров и скважин гранулированными и пластичными ВВ, а так же для одновременного приготовления в зарядании простейших ВВ типа игданита.

4 типа размера по вместимости камеры:
0,04; 0,063; 0,1; 0,16 м³.

Эжекторно-нагнетательные зарядчики

В типоразмерный ряд зарядных машин «Ульба» входят:

- эжекторный пневмозарядчики «Ульба -10», «Ульба -50»,
- зарядная машина - «Ульба -150»,
- зарядная машина на рельсовом ходу «Ульба – 400».

Пневмозарядчик «Ульба -10» относят к эжекторному типу, его применяют в небольших забоях с ограниченным расходом ВВ.

«Ульба -5-» ; «Ульба -150» ; «Ульба - 400» по принципу работы незначительно отличаются друг от друга.

Зарядно-доставочная автоматизированная установка «ЗДАУ-Ульба» предназначена для зарядания шпуров и скважин любого диаметра и направления россыпными ВВ при проведении массовых взрывов более 2тн.

Зарядчики нагнетательно-эжекторного типа «Вахш»: «Вахш 5» и «Вахш-УДН» предназначены для зарядания скважин диаметром 56-105 мм длиной до 30 м и транспортирования ВВ на расстояние.

Самоходные зарядно-доставочные машины разработаны для зарядания забоев с самоходным оборудованием.

Подземная машина зарядания шпуров ПМЗШ-2

Предназначена для транспортирования и механизированного зарядания шпуров россыпными гранулированными ВВ в шахтах, не опасных по газу и пыли.

Зарядная машина «Ульба -400С» предназначена для доставки ВВ в забой и зарядания скважин и шпуров гранулированными ВВ в очистных и проходческих забоях при использовании самоходного оборудования.

Механизмы для зарядания пластичными и водонаполненными ВВ.

Установка механизированного заряжания УМЗ-1 предназначена для механизированного заряжания шпуров и неглубоких (до 30 м) скважин водонаполненными ВВ типа Акванит.

Камерный зарядчик ЗС-1 предназначен для заряжания шпуров водонаполненными ВВ при проходке шахтных стволов.

Технологический процесс производства ВР на подземных работах.

Он производится по следующей схеме:

- разгрузка ж.д. вагонов с ВВ иСВ.
- доставка и укладка гранулированных ВВ в хранилища базисного склада,
- доставка гранулированных ВВ до пункта механизированной переработки,
- растаривание гранулированных ВВ,
- загрузка транспортных и транспортно-доставочных машин гранулированными ВВ,
- уборка пустых мешков из под гранулированных ВВ,
- доставка гранулированных ВВ до промплощадки шахты,
- спуск гранулированных ВВ в шахту,
- доставка гранулированных ВВ до подземного расходного склада ВМ,
- доставка гранулированных ВВ до забоя,
- заряжание шпуров и скважин.

Технологический процесс производства ВР на карьерах.

Производится по следующей схеме:

- разгрузка гранулированных ВВ,
- доставка и укладка мешков (пакетов) с гранулированными ВВ в хранилища базисного склада ВМ,
- доставка гранулированных ВВ до пункта механизированной переработки,
- подготовка гранулированных ВВ к загрузке (растаривание),
- загрузка транспортно-зарядных машин,
- уборка мешкотары ,
- доставка гранулированных ВВ на карьер,
- заряжание скважин,
- забойка скважин.

Безопасность работ при перевозке и хранении ВМ.

Перевозка ВМ, а также приемка ВМ должна осуществляться в соответствии с инструкциями по перевозке ВМ всевозможными видами транспорта (ж.д.; авиа; море; речной; автомобильный; гужевой) согласно требований ЕПБ при взрывных работах с учетом местных условий.

Такие инструкции утверждаются руководителями предприятий.

Доставка ВМ производится по установленным маршрутам.

Их устанавливает руководитель предприятия.

Доставка ВМ осуществляется проинструктированными рабочими под наблюдением взрывников или сопровождающих лиц.

Порядок получения ВМ от взрывника и отчета об их доставке определяется руководителем предприятия.

ВВ и средства инициирования доставляют и перевозят отдельно в сумках, кассетах, заводской упаковке.

Средства инициирования и патроны-боевики переносятся только взрывниками (кроме погрузочно-разгрузочных операций).

Боевики с детонаторами переносят в сумках с жесткими ячейками (кассетах, ящиках), покрытых внутри мягким материалом.

При совместной доставке средств инициирования и ВВ взрывник может переносить не > 12 кг ВВ.

Масса боевиков , переносимых взрывником не должна быть > 10 кг.

При переноске ВВ без средств инициирования норма может быть увеличена до 24 кг.

При перевозке ВМ в заводской упаковке их количество должно быть в пределах действующих норм при переноске тяжестей.

Доставка ВМ в подземных условиях разрешается всеми видами и средствами шахтного транспорта, специально оборудованного для этих целей и отвечающих требованиям ПБ.

Запрещается транспортирование ВМ по стволу шахты во время спуска и подъема людей.

При погрузке ,разгрузке , перемещении ВМ по стволу шахты, в околоствольном дворе и надшахтном здании допускается присутствие

Взрывника, раздатчика , нагружающих и разгружающих ВМ рабочих, рукоятчика , стволового и лица технического надзора , ответственного за доставку ВМ.

Спуск (подъем) ВМ по стволу шахты производится только после того, как диспетчер (дежурный по шахте)известит об этом лицо технического надзора , ответственного за подъем (спуск) ВМ .

Ящики и мешки с ВМ должны занимать не более 2/3 высоты этажа клетки, но не выше высоты дверей клетки.

При спуске в вагонетках ящики и мешки с ВМ не должны выступать выше бортов вагонетки, а сами вагонетки необходимо прочно закреплять в клетки.

Средства инициирования опускают (поднимают) отдельно от ВВ.

В людских вагончиках на каждом сиденье может находиться не более 1 взрывника или подносчика ВМ.

Разрешается одновременно спуск (подъем) в одной клетке нескольких взрывников с сумками ВМ и подносчиков с сумками с ВВ из расчета 1м² пола клетки на одного человека.

Спуск и подъем взрывников с ВМ и подносчиков с ВВ должен производиться без очереди.

Транспортирование ВМ по подземным выработкам транспортными средствами должно осуществляться со скоростью не более 5 м/сек.

Хранение ВМ на местах работ.

ВМ доставленные к местам работ должны храниться в сумках , кассетах или заводской упаковке.

При этом ВВ и средства инициирования при хранении необходимо размещать отдельно.

ВМ на местах работ, а также заряженные шпуры или скважины запрещается оставлять без надзора (охраны).

Порядок охраны (надзора) устанавливается руководителем предприятия.

Допускается хранение ВМ без надзора (охраны) при условии размещения их в специальных местах хранения (участковые пункты, металлических ящиках или контейнерах (сейфах) закрытых на замки.

Хранение ВМ на предприятиях.

ВМ должны храниться в предназначенных для этих целей помещениях и местах, отвечающих требованиям хранения ВМ.

Организация хранения ВМ должна исключать их утрату , а в условиях хранения их порчу.

Распакованные ящики , мешки , коробки и контейнеры с ВМ в местах хранения должны быть закрыты крышками или завязаны.

На складах ВМ хранилища с ВМ должны запираются на замки, опломбированы и опечатаны.

В складах ВМ с круглосуточным дежурством раздатчиков опломбирование и опечатывание может не производиться.

Общие правила безопасности ведения взрывных работ, техническая документация и ответственность за ведение взрывных работ.

Взрывание зарядов ВВ должно осуществляться и проводится по технической документации (проекты, паспорта и т.д.).

С такими документами персонал , осуществляющий БВР, должен быть ознакомлен под роспись.

Проекты необходимо составлять для взрывания скважинных, камерных, котловых зарядов, а также для выполнения взрывных работ на строительных объектах, валке зданий и сооружений, простреливания скважин, ведении донно-углубительных и ледоходных работ, работ на болотах , подводных взрывных работах, при взрывании горячих массивов, выполнении

прострелочно-взрывных, сейсморазведочных, производстве иных специальных работ.

Другие взрывные работы, за исключением особо-оговоренных в ЕПБ случаев, могут выполняться по паспортам.

Предприятие, ведущее ВР с применением массовых взрывов:

Массовым взрывом следует считать:

- **на подземных работах** – взрыв, при осуществлении которого требуется время для проветривания и возобновления работ в руднике, шахте, участке большее, чем это предусмотрено в расчете при повседневной организации работ.

- **на открытых работах** - взрыв смонтированных в общую взрывную сеть двух и более скважинных, котловых или камерных зарядов, независимо от протяженности взрываемой выработки, а так же единичных зарядов в выработках протяженностью более 10м.

Должен иметься типовый проект производства БВР, являющийся базовым документом для разработки паспортов и проектов, в том числе и проектов массовых взрывов выполняемых в конкретных условиях.

Проекты БВР подлежат утверждению руководителем предприятия (рудника, шахты, карьер) и в числе общих вопросов должны содержать решение по:

- безопасной организации работ с указанием основных параметров БВР;
 - способами инициирования зарядов.
- Расчеты взрывных сетей
- Конструкциям и зарядам боевиков
- Предполагаемому расходу ВМ
- Определение опасной зоны и охране этой зоны с учетом объектов, находящихся в ее пределах
 - Проветривание района взрывных работ
 - Другие меры безопасности, дополняющие в конкретных условиях требования ЕПБ.

При попадании в эту зону объектов другого предприятия его руководитель должен письменно извещать не менее чем за сутки о месте и времени производства ВР

Паспорта должны утверждаться руководителем того предприятия, которое ведет ВР.

Паспорт должен включать:

- Схему расположения шпуров или наружных зарядов
- Наименование ВМ

- Данные о способе заряжания
- Число шпуров
- Глубину шпуров
- Диаметр шпуров
- Масса и конструкции зарядов и боевиков
- Последовательности и количество приемов взрывания зарядов
- Материал забойки и ее длин
- Длину зажигательных и контрольных трубок
- Схему монтажа взрывной сети с указанием:
 - длины,
 - сопротивления,
 - замедления.
- Схема и время проветривания забоев
- Величину радиуса опасной зоны
- Указания о местах укрытия взрывников и рабочих на время производства взрывных работ
 - Указания о расстановке постов охраны при оценивании расположения предохранительных устройств, предупредительных и запрещающих знаков, ограждающих доступ в опасную зону и месту взрыва.

Для шахт опасных по газу и пыли

Должны быть указаны:

- Количество и схема расположения специальных средств по предотвращению взрыва газа (пыли)
 - 1) заслоны с пылью;
 - 2) водяные запоры;
 - 3) водяные оросители.
- Режим взрывных работ

Должностные лица и персонал взрывных работ предприятия несут предусмотренную законодательством ответственность за нарушение настоящих ЕПБ и разработаны в соответствии с ними инструкции по безопасным методам работы и по охране труда.

Выдача должностными лицами указаний или распоряжений, вынуждающих подчиненных нарушать требования настоящих ЕПБ, самовольное возобновление работ, остановленных, контролируемые органами, а так же непринятие мер по устранению нарушений, которые допускаются в их присутствии, являются грубейшими нарушениями установленного порядка хранения, транспортировки, учета ВМ и ведения ВР не соответствующих требованиям паспорта при проекта БВР.

Особенности ведения взрывных работ при подземной отбойке руд

Месторождения полезных ископаемых, разрабатываемые подъемным способом, различаются горно-геологическим строением и горно-техническими условиями, которые в конечном счете и определяют технологию отбойки.

Подземные горно-добывающие предприятия цветной металлургии применяют практически все известные системы разработки с открытым очистным пространством и шпуровой отбойкой руды (<(>0 %). Шпуры бурят с помощью мощных самоходных пневматических и гидравлических кареток, ручными и телескопными перфораторами.

При применении систем разработки с обрушением руды и вмещающих пород, а также с этажно-камерной закладкой выработанного пространства применяют глубокие скважины диаметром 105-125 мм (22 %) и 52-85 мм (78 %), бурят их с помощью погружных пневмоударников и мощных колонковых перфораторов с независимым поворотом бура.

На рудниках черной металлургии широкое распространение получили системы разработки с этажным принудительным и под- ггажным обрушением руды и вмещающих пород. Принятая система разработки определила выбор скважин глубокого заложения диаметром 105 мм (90 %) и 52-85 мм (8 %).

С учетом проведения подготовительно-нарезных и горно-капи- гальных выработок шпуры (скважины) могут быть расположены в различных плоскостях, в соответствии с которыми осуществляется ют или иной способ отбойки.

Диаметр шпуров (скважин) в основном определяется типом выбранного бурового оборудования с учетом горно-геологических и горно-технических условий конкретного месторождения. От выбранного диаметра зависит концентрация энергии и удельный расход ВВ на отбойку руды.

Удельный расход ВВ на отбойку руды является основным параметром для управления качеством отбитой горной массы. Этот параметр изменяется в зависимости от горно-геологических и горно-технологических условий разрабатываемого месторождения и зависит: от заданного качества дробления, размера кондиционного куска, крепости отбиваемой горной массы, типа применяемого ВВ, плотности заряжания, интервалов замедления, диаметра и конструкции применяемых зарядов.

§ 2. ТИПЫ ЗАРЯДОВ, СПОСОБЫ И СХЕМЫ ИХ ИНИЦИИРОВАНИЯ, РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВНЫХ СЕТЕЙ И ИНТЕРВАЛОВ ЗАМЕДЛЕНИЯ

Применяемые заряды ВВ при отбойке руд в подземных рудниках и шахтах по своей конструкции подразделяют на: сосредоточенные (камерные), удлиненные, рассредоточенные (разделенные воздушными или инертными промежутками).

Наибольшее применение при подземной отбойке руд получили сплошные удлиненные заряды, располагаемые в одинарных, параллельных, параллельно'сближенных (пучковых) и веерных скважинах (рис. 7.1 - 7.3).

По способу инициирования заряды классифицируют на:

1) одинарные нисходящие и восходящие скважинные заряды ВВ, взрывающиеся от патрона-боевика с применением электродетонаторов, капсульдетонаторов;

2) параллельно-сближенные (пучковые) нисходящие или восходящие скважинные заряды ВВ, инициируемые от патронов- боевиков с применением ЭД.

Выбор способа инициирования и конструкции заряда в каждом случае зависит от конкретных условий разрабатываемого месторождения.

Инициирование восходящих скважин в слабонарушенных и малообводненных массивах производят без прокладки нитей ДШ по колонке заряда.

При применении параллельно-сближенных пучковых скважин инициирование зарядов ВВ выполняется с помощью одного патрона-боевика, устанавливаемого в одной из взрывающихся скважин, с обеспечением полного инициирования всех остальных скважин одним мощным инициирующим импульсом. Во избежание повреждения взрывных сетей (ВС) от взрыва предыдущих серий при короткозамедленном взрывании (КЗВ) принимают следующие меры защиты взрывной сети: установку патронов-боевиков в несколько скважин в пучке, применение осевой полости в зарядах.

По времени замедления различают мгновенное, короткозамедленное и замедленное инициирования, осуществляемые с помощью электродетонаторов и детонирующего шнура в комбинации с электродетонаторами короткозамедленного действия. Для взрывания зарядов применяют детонирующие шнуры марок ДША, ДШЭ, ДШВ.

Кроме того, при взрывании скважинных зарядов на рудниках применяют внутрискважинное замедление, при котором различные участки скважинного заряда инициируют с различными интервалами замедления, что обеспечивает увеличение длительности действия ПД на разрушаемый массив.

Для инициирования нижнего боевика используют нить ДШ, прокладываемую по заряду и детонирующую от участковой ВС.

Схемы коммутации взрывной сети. Для инициирования зарядов с помощью электродетонаторов и ДШ на рудниках применяют различные схемы ВС и их дублирование.

При использовании только ДШ наиболее целесообразно применять параллельно-ступенчатую и параллельно-пучковую схемы коммутации ВС.

При параллельно ступенчатой схеме коммутации ВС магистральную линию из ДШ прокладывают вдоль линии взрывающихся зарядов, а к ней присоединяют отрезки шпуров, выходящих из отдельных зарядов. Целесообразно применять такую схему при взрывании зарядов, расположенных на значительном расстоянии друг от друга.

Параллельно пучковая схема заключается в сборке в единый пучок отдельных отрезков ДШ, выходящих из отдельных зарядов, и соединение их с магистральным ДШ. Эту схему соединения применяют при взрывании скважинных и камерных зарядов, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга.

Для надежного дублирования взрывной сети применяют встречное инициирование магистральных нитей детонирующего шнура, при этом сеть закольцовывается.

При электрическом или комбинированном инициировании зарядов с использованием ДШ в ЭВС применяют три основных способа соединения зарядов: последовательное, параллельное и смешанное.

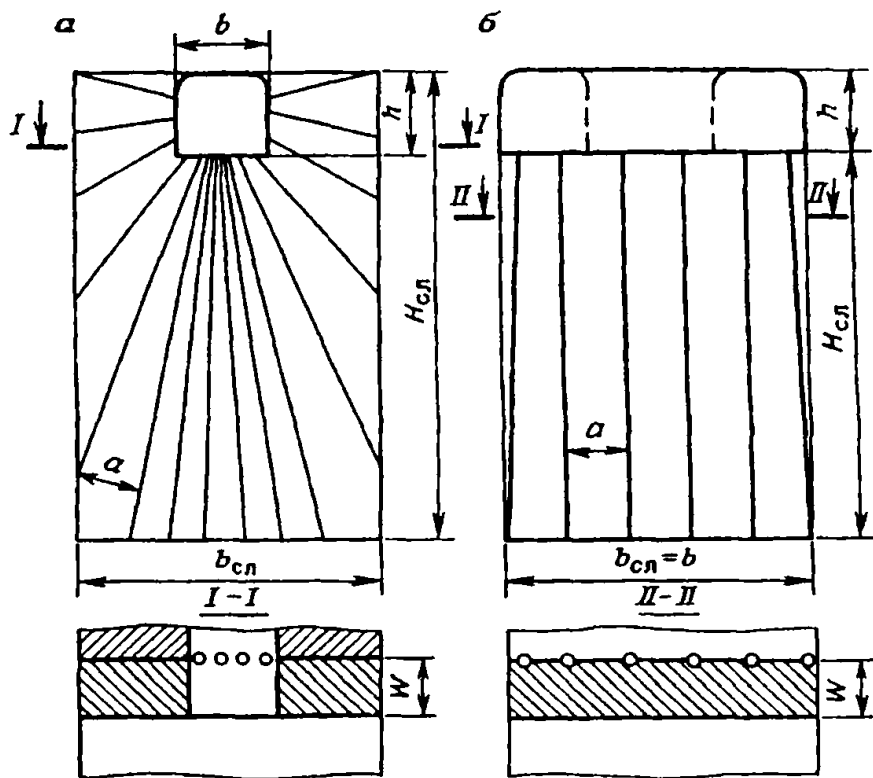
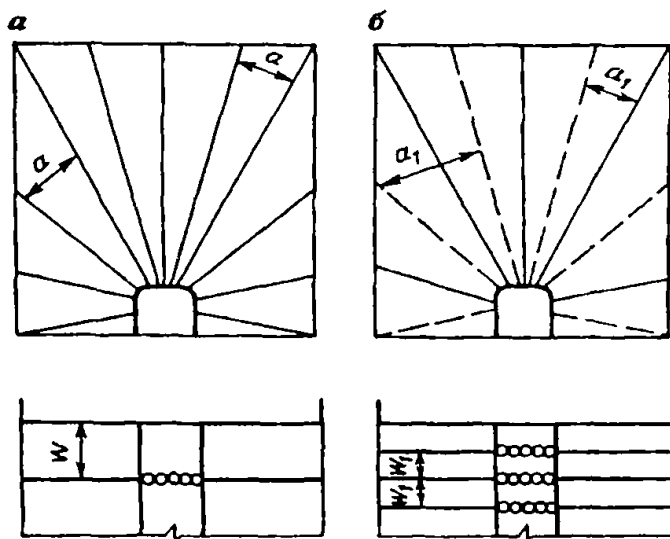


Рис. 7.1. Схемы веерного (а) и параллельного (б) расположения скважин в слое отбиваемой руды:

a – расстояние между концами скважин в ряду; h – высота буровой выработки; $H_{сл}$ – высота обуриваемого слоя; b – ширина буровой выработки; $b_{сл}$ – ширина обуриваемого слоя; при параллельном расположении скважин $b_{сл} = b$; W – линия наименьшего сопротивления

Рис. 7.2. Порядная (а) и шахматная (б) схемы расположения вееров скважин:

W, W_1 – линии наименьшего сопротивления соответственно при порядном и шахматном расположении скважин; a, a_1 – расстояния между концами скважин соответственно при порядном и шахматном расположении скважин



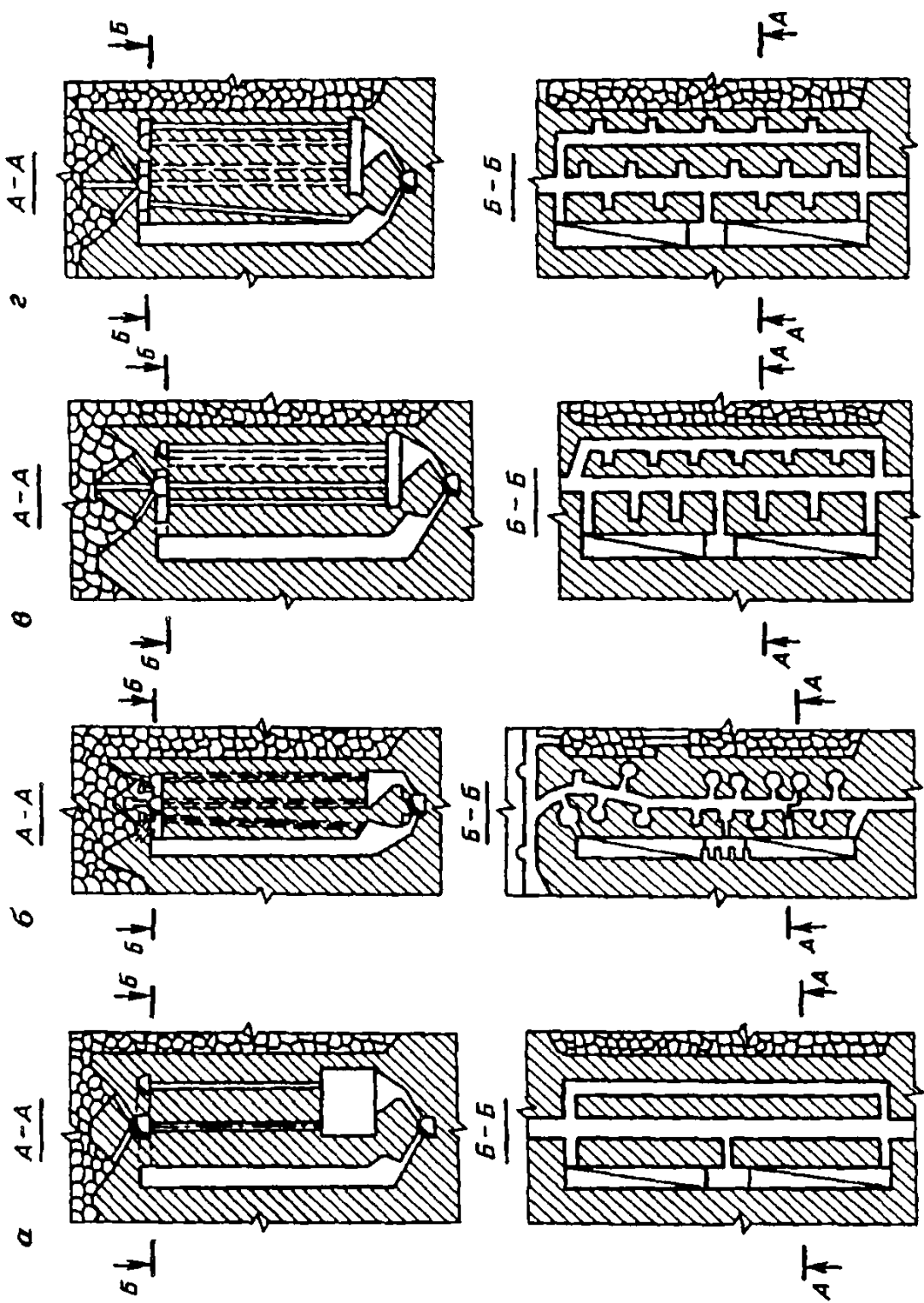


Рис. 7.3. Схемы расположения групп параллельно-сближенных скважинных зарядов:
 а, б, в, г – соответственно двух-, трех-, четырех- и пятирядная

Взрывные работы в угольных, серных, нефтяных и озокеритовых шахтах

§ 1. ШАХТНАЯ АТМОСФЕРА ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Атмосфера подземных горных выработок содержит горючие газы и пыль, при определенном соотношении которых с воздухом образуются взрывчатые смеси. В выработанное пространство угольных шахт выделяется в основном метан, но кроме него в нем содержатся предельные и непредельные углеводороды (этан, бутан, пропан, этилен), азот, углекислый и сернистый газы, сероводород, водород.

Природный газ, выделяющийся из угольных пластов, содержит: 80-83 % метана, 1-4 % тяжелых углеводородов, 10 % азота, 5 % углекислого газа, менее 1 % других газов.

В массиве горных пород различают свободное и связанное состояние газов. Свободный газ находится в основном в порах, трещинах и пустотах естественного или искусственного происхождения. Связанный газ адсорбирован породой. Высокая сорбционная способность угольных пластов обусловлена высокоразвитой поровой поверхностью, достигающей до 200 м² на 1 кг, при этом около 75 % газа находится в связанном состоянии. На основе исследований А.А. Скочинский и В.Б. Комаров установили, что 1 т угля может сорбировать в своем объеме до 100 м³ метана. Выделение метана в подземное выработанное пространство происходит как из угольного и породного массивов, так и из разрушенного (нарушенного) механическим или взрывным способом угля или породы (выбросоопасные песчаники).

Различают три вида газовыделений:

- обыкновенные из видимых пор и трещин;
- из невидимых пор и трещин;
- суффлярное выделение газа, в результате чего происходит внезапный прорыв (выброс) газа в атмосферу выработок в течении короткого времени с выбросом угля и породы.

Давление газа в угольных и породных массивах превышает 10 МПа и зависит от глубины залегания. Добываемые в шахтах угли классифицированы по газоносности в зависимости от объема газа, выделяющегося на 1 т суточной добычи. Наиболее газоносными являются антрациты и коксующиеся угли.

По относительной газообильности угольные шахты классифицируются следующим образом:

- 1 категория - не более 5 м³/т;
- 2 категория - 5-10 м³/т;
- 3 категория - 10-15 м³/т.

Сверхкатегорийными называются шахты с относительной газообильностью более 15 м³/т, а также шахты, разрабатывающие пласты, опасные по выбросам породы, угля и газа и по суффлярным выделениям.

Интенсивное образование пылевых аэрозолей в угольных шахтах происходит при работе машин и механизмов, производстве взрывных работ. Газы могут находиться в воздухе (в виде пылевых аэрозолей) или оседать на почву и стенки выработок. Возникающие при взрывных работах мощные УВВ поднимают осевшую пыль в атмосферу подземных горных выработок, в

результате чего в призабойном пространстве образуется пылевая аэрозоль взрывчатой концентрации. Угольная пыль взрывчатой концентрации может взорваться (воспламениться) от различных источников, в том числе и от УВВ. Ее взрывчатость оценивается по содержанию летучих веществ - продуктов газификации, образующихся при нагреве угля без доступа кислорода при температуре 850 °С.

В составе летучих веществ содержатся: метан, оксид углерода, водород и некоторые другие газы. При содержании в угольных пластах более 10 % летучих веществ угольные шахты, согласно классификации, считаются опасными по пыли.

ОСОБЕННОСТИ ВЕДЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ И ПЛАСТАХ, ОПАСНЫХ ПО ГАЗУ ИЛИ ВЗРЫВАМ ПЫЛИ

Безопасность взрывных работ в угольных шахтах, опасных по пылегазовому режиму, зависит в первую очередь от интенсивности проветривания забоев, контроля за процентным содержанием метана перед каждым заряданием шпуров, их взрыванием, при осмотре забоя после взрывных работ. Перед выполнением указанных технологических операций мастер-взрывник обязан производить замер концентрации метана в забое. Взрывание зарядов запрещается при содержании метана в забое и на протяжении 20 м в примыкающих к нему выработках 1 % и более.

Замер концентрации метана в месте укрытия мастера-взрывника следует производить перед подключением электровзрывной сети к взрывному прибору.

Взрывные работы производят только в непрерывно проветриваемых выработках, при соблюдении требований правил безопасности в угольных и сланцевых шахтах и выполнении мероприятий по борьбе с взрывчатой угольной пылью. При электрическом взрывании зарядов в выработках с повышенным содержанием метана к применению допускаются только взрывные приборы в искробезопасном исполнении.

Запрещается производить частичное разбуривание газоносных угольных пластов в тупиковых забоях подготовительных выработок, а также предварительное рыхление угольного массива в очистном забое впереди комбайна.

Выбор соответствующих ВМ производится с учетом степени опасности забоя, условий взрывания, обязательным выполнением мероприятий, связанных с предотвращением воспламенения пылегазовых смесей взрывчатых концентраций, и утверждается руководителем предприятия (шахты, шахтостроительного управления). Непредохранительные ВМ применяют при проведении горизонтальных, наклонных восстающих и вертикальных выработок, углубке стволов шахт с действующих горизонтов при соблюдении следующих условий:

- отсутствие выделений метана в забое угольных пластов и пропластков;
- подтопление забоя ствола перед взрыванием зарядов на высоту не менее 20 см от высшей его точки;

- отставание любой точки забоя по нормали от угольного пласта не менее 5 м и после его пересечения и удаления от него на расстояние не менее 20 м;
- подтопление забоев, проводимых с поверхности шурфов или стволов шахт, опасных по газу и пыли, включая зоны пересечения забоями опасных угольных пластов, водой на высоту не менее 20 см от наивысшей точки забоя;
- производство сотрясательного взрывания в забоях выработок, проводимых по выбросоопасным породам, с обязательным применением водораспылительных завес, полиэтиленовых сосудов с водой в сочетании с туманообразователями.

Взрывание зарядов производят из камер убежищ или с поверхности при:

- сотрясательном взрывании забоев, проводимых по выбросоопасным породам;
- торпедировании опасных угольных пластов; участках, подверженных прорыву глины или пульпы;
- предварительном разупрочнении труднообрушаемой кровли в очистных забоях.

При ведении ВР в забоях шахт, опасных по пылегазовому режиму, используют ВМ, допущенные к применению ЕПБ при ВР. В забоях, где выделяется метан или имеется взрывчатая пыль, применяют только предохранительные электродетонаторы мгновенного и короткозамедленного действия.

Максимальное время замедления для ВВ 4 класса не должно превышать 220 мс, а 5 класса - 320 мс.

При длине угольного забоя более 5 м разрешено раздельное взрывание его отдельных участков.

Взрывание зарядов в подготовительных выработках, проводимых с подрывкой боковых пород по углю и породе, производят как раздельно, так и одновременно (одним забоем или с опережением не более 5 м), причем раздельное взрывание допускается по письменному разрешению руководителя шахты при числе циклов не более одного по углю и одного по породе.

Запрещается выдача мастеру-взрывнику для производства взрывных работ одновременно ВВ различных классов, а также предохранительных и неприродоохранительных электродетонаторов. Места укрытия взрывников должны быть оборудованы на свежей струе воздуха, хорошо проветриваться и располагаться от зон взрывания на расстоянии не менее:

- для горизонтальных и наклонных выработок с углом падения до 10° - 150 м;
- в наклонных и восстающих с углом падения более 10° - 100 м;
- в лавах с углом падения пластов более 18° - 50 м, но не более 20 м от сопряжения лавы со штреком;
- в очистных забоях камерного типа и при погашении угольных целиков - 200 м;
- в щитовых забоях - 50 м, но не ближе 20 м от ходовой печи;
- при выпуске угля и породы в восстающих выработках - 100 м;
- при проходке стволов и шурфов с поверхности - 50 м.

В породных и смешанных забоях подготовительных выработок, где имеются газовыделения, необходимо применять электродетонаторы мгновенного и короткозамедленного действия с интервалом замедления не более 320 мс. При этом взрывание комплекта зарядов разрешается проводить раздельно, но не более чем в три приема с соблюдением мер, исключающих воспламенение пылегазовых смесей.

Электродетонаторы замедленного действия применяют в забоях, в которых допущено применение ВВ 2-го класса, при отсутствии газовыделения и взрывчатой пыли.

Запрещено применение в одном шпуре ВВ различных классов и наименований, а при сплошном колонковом заряде более одного патрона-боевика.

Расстояние от зарядов до ближайшей свободной поверхности по углю должно быть 0,5 м и более, по породе - 0,3 м и более.

В случаях применения ВВ 5-го класса для взрывания по углю это расстояние должно быть 0,3 м и более.

Перечень рекомендуемой литературы

1. Эквист, Б. В. Технология и безопасность взрывных работ [Электронный ресурс]: учебник. - Москва: Издательский Дом МИСиС, 2021. - 175 с. – Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/116992.html>
2. Белин, В. А., Горбонос, М. Г., Коротков, Р. Л. Технология и безопасность взрывных работ [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Москва: Издательский Дом МИСиС, 2019. - 74 с. – Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/98913.html>
3. Катанов, И. Б. Управление безопасностью при буровзрывных работах в карьерах [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. - 164 с. – Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/115184.html>
4. Шевцов Н.Р., Таранов П.Я., Левит В.В., Гудзь А.Г. Разрушение горных пород взрывом [Электронный ресурс] [Электронный ресурс]: учебник для вузов. - Донецк: ДонНТУ, 2003. - 1 файл – Режим доступа: <http://ed.donntu.ru/books/cd3551.pdf>
5. Шевцов, Н.Р. Взрывозащита горных выработок: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. – Донецк: Норд-Пресс, 2002. – 280 с
6. Калякин С.А., Глебо В.В., Барсук Н.Д. Методические указания к проведению практических занятий по дисциплине " Технология взрывных работ при разработке месторождений подземным способом " [Электронный ресурс] [Электронный ресурс]: для обучающихся уровня профессионального образования "специалист" по специальности 21.05.04 «Горное дело», направленность (профиль) «Взрывное дело» всех форм обучения. - Донецк: ФГБОУ ВО «ДонНТУ», 2025.
7. Калякин С.А., Глебо В.В., Барсук Н.Д. Методические рекомендации по курсовому проектированию по дисциплине «Технология взрывных работ при разработке месторождений подземным способом» [Электронный ресурс]: для обучающихся уровня профессионального образования "специалист" по специальности 21.05.04 «Горное дело», направленность (профиль) «Взрывное дело» всех форм обучения. - Донецк: ФГБОУ ВО «ДонНТУ», 2025
8. Кутузов, Б. Н. Методы ведения взрывных работ Ч. 2. Взрывные работы в горном деле и промышленности: учебник для студентов вузов. – Москва: Горная книга, 2008. – 512 с.
9. Кутузов, Б. Н. Методы ведения взрывных работ Ч. 1. Разрушение горных пород взрывом: учебник для студентов вузов, 2-е изд., стер. – Москва: Горная книга, Изд-во Москов. гос. горн.ун-та, 2009. – 471 с.
10. Умнов, А.Е / Предупреждение и локализация взрывов в подземных условиях. / А.Е. Умнов, А.С. Голик, Д.Ю. Палеев, Н.Р. Шевцов – Н.Р.М.: Недра, 1990. – 286 с.
11. Водяник, В.И. Взрывозащита технологического оборудования. – М.: Химия, 1991. – 156 с.

12. Качан, В.Н. Предупреждение взрывов угольной пыли в глубоких шахтах./ В.Н. Качан, В.И. Саранчук, А.Т. Данилов – К.: Техника, 1990. – 120 с.

13. Булгаков, Ю.Ф. Тушение пожаров в угольных шахтах. – Донецк: НИИГД, 2001. – 280 с.

14. Калякин, С.А. Безопасность взрывных работ в газоносных массивах угольных шахт. Взрывозащита горных выработок при взрывных работах в угольных шахтах – PalmariumAcademicPublishing, 2012 г. – 435 с.

15. ФЕДЕРАЛЬНЫЕ НОРМЫ И ПРАВИЛА В ОБЛАСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ "ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ". Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 декабря 2020 г. № 507

16. «ФЕДЕРАЛЬНЫЕ НОРМЫ И ПРАВИЛА В ОБЛАСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ "ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ, ХРАНЕНИИ И ПРИМЕНЕНИИ ВЗРЫВЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ". Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 3 декабря 2020 г. № 494

17. Мангуш С.К., Крюков Г.М., Фисун А.П. Взрывные работы при подземной разработке полезных ископаемых: Учебник для вузов / Под общей ред. С.К. Ман-гуша. ~ М.: Издательство Академии горных наук, 2000. - 280 стр.: ил. ISBN 5-7892-0048-6

Электронно-информационные ресурсы

ЭБС НТБ ДОННТУ – <http://donntu.ru/library> .

ЭБС IPR SMART – <http://www.iprbookshop.ru>