

Кафедра «Технологии и оборудование разработки  
месторождений полезных ископаемых»

Б.А.Волков

## **РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ВЗРЫВОМ**

Учебно-методическое пособие  
по курсовому проектированию  
для студентов направлений специальности  
1-51 02 01-02 «Разработка месторождений полезных ископаемых  
(подземные горные работы)»,  
1-51 02 01-03 «Разработка месторождений полезных ископаемых  
(обогащение полезных ископаемых)»

*Учебное электронное издание*

Солигорск 2010

УДК 622.235.001.63:378.244

**Автор:**

*Б.А. Волков*, кандидат технических наук

**Рецензенты:**

*Б.И. Петровский*, зам. директора по научной работе ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения с опытным производством», доктор технических наук;

*В.Н. Плескунов*, зам. главного инженера ОАО «БЕЛГОРХИМПРОМ», кандидат технических наук

В учебно-методическом пособии изложены методы проектирования параметров буровзрывных работ при проведении подземных горных выработок. Рассмотрены типы взрывчатых веществ и даны рекомендации по их выбору. Освещены современные способы бурения шпуров и бурильные установки.

Белорусский национальный технический университет  
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел.(017) 293-91-97 факс (017) 292-91-37  
Регистрационный № БНТУ/филСол – 2.2010

© Волков Б.А., 2010

© БНТУ, 2010

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА .....	5
2. ВЫБОР ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ .....	5
3. ВЫБОР СРЕДСТВ ВЗРЫВАНИЯ .....	7
4. ВЫБОР БУРОВОЙ УСТАНОВКИ .....	8
5. ПАРАМЕТРЫ БУРЕНИЯ ШПУРОВ .....	12
6. КОНСТРУКЦИЯ ШПУРОВЫХ ЗАРЯДОВ .....	15
7. РАСЧЕТ ЗАРЯДОВ ВВ .....	16
7.1. Масса заряда ВВ в шпуре .....	16
7.2. Удельный расход ВВ .....	16
7.3. Расход ВВ на цикл .....	17
8. ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА, РЕЖИМА, СРЕДСТВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЗРЫВАНИЯ .....	18
9. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОЙ СЕТИ .....	19
10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ .....	20
11. СВОДНАЯ ВЕДОМОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЕКТА .....	21
12. СЕЧЕНИЕ ВЫРАБОТКИ И РАСПОЛОЖЕНИЕ ШПУРОВ В ЗАБОЕ ....	23
ЛИТЕРАТУРА .....	24

## ВВЕДЕНИЕ

Дальнейшее развитие горнодобывающей промышленности предполагает рост объемов горно-подготовительных выработок, проведение которых, особенно по крепким и очень крепким породам, производится в настоящее время преимущественно при помощи буровзрывных работ.

Буровзрывные работы также широко применяются при разработке полезных ископаемых на отбойке руд, сооружении подземных хранилищ, строительстве транспортных коммуникаций и гидротехнических сооружений, обработке металлов взрывом.

Для ведения взрывных работ в массиве пород бурят скважины или шпуры, в которых размещают, а затем взрывают заряды взрывчатых веществ (ВВ). Трудоемкость буровзрывных работ составляет 10-20 % общей трудоемкости добычи. С увеличением крепости пород относительная трудоемкость буровзрывных и, в первую очередь, буровых работ возрастает.

За последние годы при проведении подземных выработок буровзрывным способом обновляется ассортимент промышленных ВВ заводского изготовления и изготавливаемых на месте применения, все шире внедряется механизированное зарядание и забойка скважин. Вместе с тем, в шахтах опасных по газу и пыли применение ВВ ограничивается специальными предохранительными ВВ.

В связи с вышесказанным, повышение эффективности в горнодобывающих отраслях промышленности и капитального строительства в значительной мере определяется уровнем развития техники и технологии буровзрывных работ.

Курсовой проект «Паспорт буровзрывных работ при проведении горно-подготовительной выработки» выполняется студентами специальностей направления специальности 1-51 02 01-03 «Разработка месторождений полезных ископаемых (обогащение полезных ископаемых)», при изучении дисциплины «Разрушение горных пород взрывом».

**Целью курсового проекта** является освоение студентами навыков расчета буровзрывных работ при проведении подземной горной выработки в соответствии с действующими нормативными документами и «Едиными правилами безопасности при взрывных работах».

## 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

**Тема курсового проекта:** «Разработка паспорта буровзрывных работ при проведении горно-подготовительной выработки».

Исходные данные:

- коэффициент крепости по М.М. Протодяконову;
- форма сечения выработки;
- сечение выработки в проходке;
- параметры выработки:
  - ширина, м;
  - высота, м;
- угол наклона, град.;
- категория шахты по газу;
- плотность пород, т/м<sup>3</sup>.

Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень вопросов, которые подлежат разработке в проекте):

- выполнение выбора ВВ, СВ и типа буровой установки;
- определение параметров бурения шпуров, расхода ВВ;
- обоснование способа, режима, средств и показателей взрывания;
- указания по соблюдению правил безопасности при проведении выработки буровзрывным способом.

Паспорт БВР должен также содержать:

- схему расположения шпуров в забое (в трех проекциях);
- таблицу, содержащую выбранные параметры взрыва;
- порядок взрывания шпуров, в т.ч. схему монтажа взрывной сети, таблицу параметров и очередность взрывания шпуров;
- конструкцию зарядов.

## 2. ВЫБОР ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

При выборе ВВ определяющее значение имеет категория опасности шахты по газу (пыли) (табл. 2.1).

Если шахта является опасной по газу и пыли, то выбор ограничивается только предохранительными ВВ типа Т-19 и ПЖВ-20. Если шахта опасна по газу, но не опасна по пыли, то принимают ВВ типа АП-5ЖВ.

Если шахта не является опасной по газу (пыли), то тип ВВ принимают с учетом коэффициента крепости и обводненности пород. При прочих равных условиях, предпочтение отдают ВВ более безопасным и дешевым.

Таблица 2.1

Рекомендуемые ВВ для использования на открытых  
и подземных горных работах

Условия применения зарядов	Коэффициент крепости $f$	Тип ВВ	
		Заводского изгот.	Изгот. на месте
1	2	3	4
Открытые горные работы			
Сухие скважины, шурфы, траншеи	до 12	Гранулиты: М, АС4, АС 4В, Граммонит 79/29	Игданит
	более 12	Аммонит 6ЖВ; Граммониты: 50/50, 30/70; Гранитол 7А	Акватор Т20, Карбатолы, Акванал А10
Сухие шпур	до 12	Гранулиты: М, АС-4, АС-4В	Игданит
	более 12	Аммонит 6ЖВ	Гранулит АС-8, Детонит М, Аммонит скальный № 3
Обводненные скважины, шурфы, траншеи	до 12	Гранулотол, аммонит 6ЖВ (в полиэтилене), Гранитол – 1	Акватор Т-20
	более 12	Гранулотол, Граммониты 30/70, 50/50; Аллюмотол, Аммонит скальн. № 3 (в полиэтилене)	Карбатолы ГЛ- 15Т, ГЛ-10В, Акватор Т20
Подземные горные работы кроме шахт опасных по газу и пыли			
Сухие шпур, скважины	до 12	Гранулиты: М, АС-4, АС-4В; Аммонит 6ЖВ	Игданит
	более 12	Гранулит АС-4В, Детонит М, Аммонит скальный №3, Акванал АРЗ-8Н	-
Подземные горные работы в шахтах опасных по газу и не опасных по пыли			
Сухие шпур и скважины	до 12 и более	Аммонит АП-5ЖВ	-
Обводненные шпур и скважины	до 12 и более	Аммонит АП-5ЖВ (в полиэтилене)	-

1	2	3	4
Подземные горные работы в шахтах опасных по газу и пыли			
Сухие шпурь и скважины	до 12 и более	Аммониты: ПЖВ-20, Т-19	-
Обводненные шпурь и скважины	до 12 и более	Аммониты: ПЖВ-20, Т-19 (в полиэтилене)	-

### 3. ВЫБОР СРЕДСТВ ВЗРЫВАНИЯ

В настоящее время наиболее распространенным является электрический способ взрывания, который обеспечивает возможность:

- взрывать любое количество зарядов с любого расстояния;
- взрывать заряды в любой последовательности и с любыми интервалами между взрывами;
- вести взрывные работы в шахтах опасных по газу и пыли;
- осуществлять перед взрывом проверку правильности монтажа взрывной сети.

Кроме того, при этом способе отсутствуют ядовитые газы, выделяющиеся при горении огнепроводного шнура.

К средствам электрического взрывания относятся электродетонаторы (табл. 3.1), проводники тока, контрольно измерительные приборы и источники тока. Электродетонаторы короткозамедленного и замедленного действия отличаются от ЭД мгновенного действия тем, что у них между зарядом капсуля-детонатора (КД) и электровоспламенителем помещен замедляющий состав, горящий в течение определенного времени. Время замедления зависит от длины такого заряда и его состава.

Все электродетонаторы водоустойчивы и могут включаться как в сеть постоянного, так и переменного тока. Для гарантированного срабатывания через каждый ЭД должен проходить ток определенной силы. Силу гарантийного тока указывают на упаковке ЭД.

Таблица 3.1

Электродетонаторы, рекомендуемые к применению на открытых и подземных горных работах

Тип электродетонаторов	Количество серий замедления	Интервалы замедления
1	2	3
Непредохранительные (для открытых и подземных работ в условиях не опасных по взрыву газа и пыли)		
ЭД-8Ж	-	-
ЭД-1-8-Т	-	-

1	2	3
ЭД-1-3-Т	1-10	20-200 (через 20 мс)
«-«	11-14	225-300 (через 25 мс)
«-«	15-18	350-500 (через 50 мс)
«-«	19-23	600-1000 (через 100 мс)
«-«	24	1,5 сек
«-«	25-29	2-10 (через 2,0 сек)
ЭД-КЗ	1-6	25, 50, 75, 100, 150, 250 мс
ЭД-ЗД	1-9	0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0
Непредохранительные (для открытых и подземных работ в условиях, не опасных по взрыву газа и пыли)		
ЭД-ЗН	1-10	20-200 (через 20 мс)
«-«	11-14	225-300 (через 25 мс)
«-«	15-18	350-500 (через 50 мс)
«-«	19-23	600-1000 (через 100 мс)
Предохранительные (для шахт и рудников, опасных по взрыву газа и пыли)		
ЭД-КЗ-ОП	-	-
ЭД-КЗ-П	1-5	25,50,75,100,125мс
ЭД-КЗ-ПМ	1-7	15,30,45,60,80,100,120мс

В шахтах опасных по газу и пыли допускаются только электрическое взрывание зарядов ВВ с предохранительными ЭД мгновенного и коротко замедленного действия: ЭД-КЗ-ОП, ЭД-КЗ-П, ЭД-КЗПМ. Предохранительные свойства ЭД достигаются нанесением на гильзу ЭД слоя пламягасителя.

#### 4. ВЫБОР БУРОВОЙ УСТАНОВКИ

Для бурения шпуров крепостью менее 6 ( $f < 6$ ) применяется вращательное бурение. В качестве бурильных машин для вращательного бурения применяются ручные или колонковые электрические (табл. 4.1) или пневматические сверла (табл. 4.2). Промышленность выпускает электрические ручные сверла типа ЭР и типа СЭР.



Таблица 4.1

## Техническая характеристика электросверл

Показатели	Тип электросверла			
	ЭР14-2М	СЭР-19М	ЭР18Д-2М	ЭРП18Д-2М
Номинальная мощность на шпинделе, кВт	1	1,2	1,4	1,4
Частота вращения шпинделя, об/мин	860	600, 750, 960	640	300
Способ подачи сверла на забой	ручной			механический
Усилие подачи на забой, кН	-	-	-	-
Масса, кг	15,4	15,5	17	22,8
Диаметр шпура, мм	< 50			
Глубина шпуров, м	< 4			

Все горные электросверла выпускаются во взрывобезопасном исполнении.

Таблица 4.2

## Техническая характеристика пневмосверл

Показатели	Тип пневмосверла	
	СРЗ	СРЗМ
Диаметр шпура, мм	36-50	36-50
Глубина шпура, м	до 4	до 4
Номинальное давление сжатого воздуха, МПа	0,4	0,4
Крутящий момент на шпинделе, Н·м	65,5	65,5
Эффективная мощность, кВт	2,6	2,6
Удельный расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /(мин·кВт)	1,43	1,43
Номинальная частота вращения под нагрузкой, об/мин	5,6	5,6
Масса, кг		
промывочного устройства	-	2,3
сверла	13,0	13,2

Ручные пневмосверла применяют в шахтах, особо опасных по взрыву метана или пыли для бурения шпуров по породам с  $f < 4$ . Пневмосверло СРЗ предназначено для бурения шпуров без промывки, а СРЗМ с промывкой шпуров водой. Буровым инструментом при вращательном бурении шпуров являются бурильные штанги и съемные резцы.

### ***Бурильные машины ударно-поворотного действия***

В породах средней крепости и крепких применяется ударно-поворотное бурение шпуров. Бурильные машины ударно-поворотного действия называют перфораторами. По виду потребляемой энергии перфораторы подразделяют на пневматические, гидравлические, электрические и перфораторы с двигателем внутреннего сгорания.

По назначению и массе пневматические перфораторы подразделяют на переносные, колонковые и телескопные.

#### ***Переносные перфораторы***

Переносные перфораторы (табл. 4.3) предназначены для бурения шпуров с пневматических поддержек или других установочно-подающих устройств.

Таблица 4.3

Техническая характеристика переносных перфораторов

Показатели	Модели перфораторов						
	ППЗ6В	ПП50В	ПП54В	ПП54 ВБ	ПП63В ПП63ВБ ПП63С	ПП63П	ПП63 СВП
Энергия удара, Дж	36	50	54	54	63,74	63,74	63,74
Частота ударов, об/мин	38,33	33,99	38,33	38,33	30	30	30
Крутящий момент, Н·м	20	20	29,43	29,43	26,93	26,93	26,93
Удельный расход воздуха м <sup>3</sup> /(с·кВт)	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029
Номинальное давление воздуха, МПа	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Размеры хвостовика буровой штанги, мм	22×108	25×108	25×108	25×108	25×108	25×108	25×108
Масса, кг	24	31,5	31,5	33	33	33	25

### ***Колонковые перфораторы***

Колонковые перфораторы (табл. 4.4) имеют большую массу, поэтому устанавливаются для бурения шпуров на манипуляторах бурильных установок или распорных колонках.

Таблица 4.4

Техническая характеристика колонковых перфораторов

Показатели	Модель перфоратора					
	ПК50	ПК60	ПК75	ПК120	ПК150	ПК175
Масса, кг	50	60	75	120	150	175
Энергия удара, Дж	88,26	88,26	147,1	88,26	196,15	245,17
Крутящий момент, Н·м	49	160	255	343	343	343
Частота ударов, об/мин	33,4	45	37	41,7	33,3	33,3
Расход воздуха, м <sup>3</sup> /мин	5,7	9,2	12,7	10,3	15,1	17,9
Удельный расход воздуха, м <sup>3</sup> /(с·кВт)	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029
Номинальное давление воздуха, МПа	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Диаметр шпуров, мм	40-65	40-65	40-85	40-52	65-86	65-85
Глубина бурения, в породах с коэффициентом крепости $f$ :						
10	12	25	50	-	-	-
11-15	8	17	30	-	-	-
16	5	10	15	-	-	-
20	-	-	-	5	50	50

Колонковые перфораторы применяют для бурения шпуров в горизонтальных и наклонных выработках и реже (при установке их на специальные распорные колонки) – при бурении шпуров, направленных вверх, например, при проходке восстающих или, наоборот, вниз при проходке стволов шахт.

Применяют также буровые машины ударно-вращательного и вращательно-ударного действия. Буровые машины этого типа работают на

электрической (БУЭ1, БУЭ2, БКГ2 и др.) или пневматической (БУ 1М, БУР2, СБ42М и др.) энергии.

На каждой буровой установке такого типа монтируется несколько буровых агрегатов (2–4), что позволяет существенно повысить производительность бурения шпуров при проведении горно-подготовительных выработок.

## 5. ПАРАМЕТРЫ БУРЕНИЯ ШПУРОВ

Исходя из выбранного типа буровой машины, выбирают соответствующие ей диаметр и глубину шпуров, при этом принимают во внимание технические возможности машин при их работе в данных горных породах, диаметр патронов ВВ, площадь сечения выработки, требуемая скорость ее проведения т. д.

Диаметр патронов ВВ принимают на 4–7 мм меньше диаметра шпуров.

Глубину шпуров принимают из табл. 5.1.

Таблица 5.1

Глубина шпуров в зависимости от крепости пород  
и сечения выработок

Коэффициент крепости $f$	Глубина шпуров для выработок сечением	
	$S < 12$	$S > 12$
3 – 6	2,0 – 2,5	2,5 – 3,0
Более 6	1,5 – 2,0	2,0 – 2,5

Все шпуры в забое выработки подразделяются на врубовые, отбойные и оконтуривающие и находятся примерно в соотношении 1 : 2 : 3.

Глубину и коэффициент заполнения врубовых шпуров ВВ принимают на 10–15 % больше, а коэффициент заполнения оконтуривающих шпуров на 15–20 % меньше, чем отбойных шпуров. Причем, длина оконтуривающих шпуров на проекциях выработки соответствует средней длине отбойных шпуров и рассчитывается с учетом угла наклона шпуров к плоскости забоя.

Врубовые шпуры в забое взрываются первыми. Они предназначены для создания дополнительной обнаженной поверхности, что облегчает работу отбойных (основных) шпуров. Совокупность врубовых шпуров называют врубом.

Тип вруба и число вспомогательных шпуров для образования врубовой полости зависят от площади забоя, длины заходки, крепости и текстуры пород.

Врубы для образования врубовой полости подразделяются на три типа:

- с наклонными шпурами к плоскости забоя (воронкообразные, пирамидальные, клиновые, веерные);
- с перпендикулярно направленными шпурами (прямые врубы);

- комбинированные.

Врубы с наклонными шпурами применяют в породах любой крепости.

Вертикальный клиновой вруб (рис. 5.1) применяют в породах однородного строения, а также при вертикальных трещинах и напластованиях. Горизонтальный клиновой вруб (рис. 5.2) применяют в выработках большого сечения, а также при горизонтальных трещинах и напластованиях.

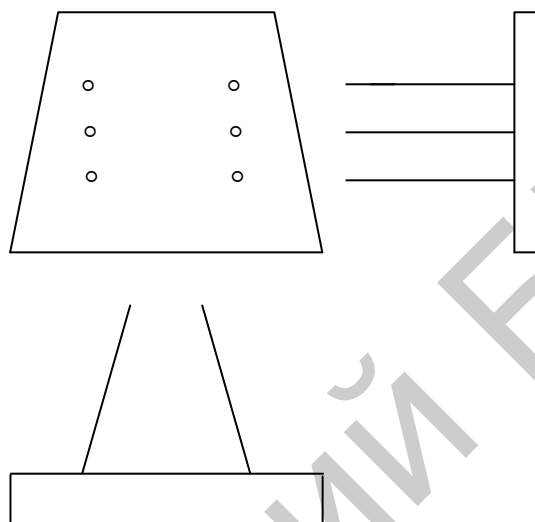


Рис. 5.1. Вертикальный клиновой вруб

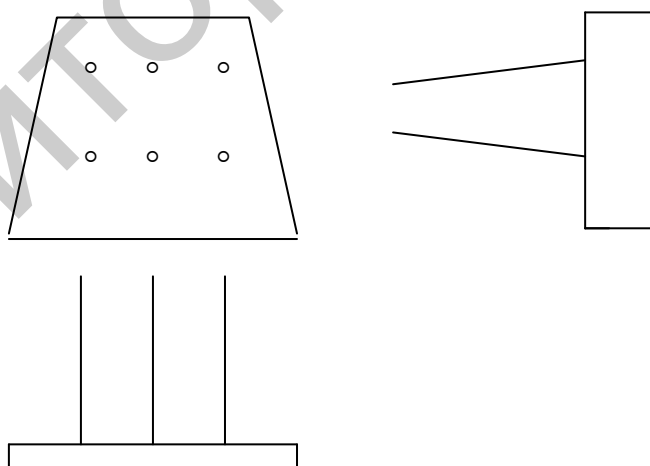


Рис. 5.2. Горизонтальный клиновой вруб

Рациональная длина врубовых шпуров 1,8–2,6 м, угол наклона к плоскости забоя 65–75 градусов, число шпуров от 2 до 10 в зависимости от площади забоя, глубины вруба и крепости пород. Подвигание забоя за один взрыв при этом составляет 1,5–2,2 м.

Одним из основных параметров бурения шпуров, определяющим расположение шпуров в забое и оптимальное расстояние между ними, является линия наименьшего сопротивления (ЛНС) отбойного шпура  $W_{от}$ .

$$W_{от} = 47 K_m K_3 d_3 \sqrt{\Delta / \rho e}, \text{ м}$$

где  $K_m$  – коэффициент местных геологических условий. Принимается в зависимости от категории трещиноватости пород от 0,9 до 1,1;

$K_3$  – коэффициент зажима, принимается при  $S < 4 \text{ м}^2$   $K_3 = 0,6$ ; при  $S = 4 - 60 \text{ м}^2$   $K_3 = 0,7 - 0,8$ ; при  $S > 60 \text{ м}^2$   $K_3 = 0,9$ ;

$d_3$  – диаметр заряда, м;

$\Delta$  – плотность заряжения,  $\text{т/м}^3$ ;

$\rho$  – плотность породы,  $\text{т/м}^3$ ;

$e$  – относительная работоспособность ВВ.

ЛНС отбойного шпура можно также рассчитать по формулам:

$$W_{от} = \sqrt{P / q_p};$$

$$W_{от} = 28 d_3 \sqrt{\Delta / q_p};$$

где  $P$  – вместимость 1 м шпура (патрона ВВ),  $\text{кг/м}$ ;

$q_p$  – удельный расчетный расход ВВ,  $\text{кг/м}^3$ .

Общее число шпуров в забое ( $N$ ) следует определять по формуле, рекомендованной Строительными нормами и правилами (СНиПами):

$$N = 1,27 q S / d^2 \rho_{ВВ} k_3,$$

где  $q$  – удельный расход ВВ,  $\text{кг/м}^3$ ;

$S$  – площадь поперечного сечения выработки,  $\text{м}^2$ ;

$d$  – диаметр патронов ВВ или диаметр шпура (при использовании порошкообразных или гранулированных ВВ), м;

$\rho_{ВВ}$  – плотность ВВ в патроне или в заряде,  $\text{кг/м}^3$ ;

$k_3$  – коэффициент заполнения шпуров.

Общее число шпуров в забое можно также определить по формуле:

$$N = 12,7 q_p S \eta / \Delta d_n^2 K_3, \text{ шт.},$$

где  $\eta$  – коэффициент использования шпуров (КИШ), обычно  $\eta = 0,8 - 0,9$ ;

Коэффициент плотности заряжения шпуров  $\Delta$ , в зависимости от диаметра патронов и крепости пород можно определить из табл. 5.2.

Таблица 5.2.

Коэффициент плотности заряжения шпуров в зависимости  
от крепости пород и диаметра патронов ВВ

Диаметр патронов, мм	Значения крепости пород $f$	
	2 – 9	10 – 20
28, 32	0,7 – 0,8	0,75 – 0,85
36	0,5 – 0,6	0,5 – 0,65
40	0,54 – 0,5	0,5 – 0,55

Количество оконтуривающих шпуров ( $N_{ок}$ ):

$$N_{ок} = P_k / a_k,$$

где  $P_k$  – периметр контура выработки в поперечном сечении, м;  
 $a_k$  – расстояние между контурными шпурами, м.

$$a_k = (0,5 - 0,8) \cdot W, \text{ м.}$$

Число и расстановку контурных шпуров определяют графически на эскизе поперечного сечения выработки, вычерченном в соответствующем масштабе.

Устья контурных шпуров размещают на проектном контуре в пределах забоя на расстоянии 15–20 см от края контура. При  $f < 10$  концы контурных шпуров размещают на проектном контуре. При  $f > 10$  концы контурных шпуров выводят за проектный контур на 5–10 см.

Число отбойных шпуров определяется как разница между общим количеством шпуров в забое и суммой контурных и врубовых шпуров.

## 6. КОНСТРУКЦИЯ ШПУРОВЫХ ЗАРЯДОВ

При проведении буро-взрывных работ применяется конструкция шпуровых зарядов двух видов: сплошная (рис. 6.1, а) и рассредоточенная (рис. 6.1, б).

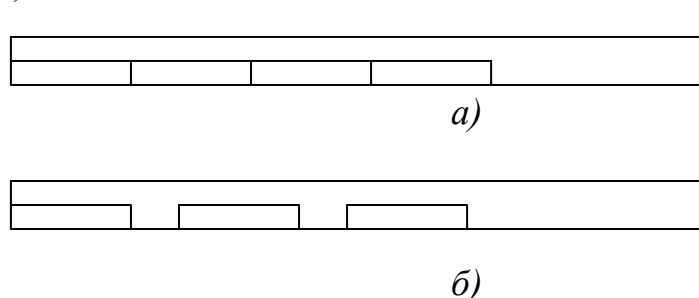


Рис. 6.1. Конструкция шпуровых зарядов

При проходке выработок обычно применяют сплошную конструкцию зарядов. Патрон-боевик размещают первым от устья заряда, реже последним.

## 7. РАСЧЕТ ЗАРЯДОВ ВВ

### 7.1. Масса заряда ВВ в шпуре ( $Q_3$ )

$$Q_3 = Q_{\text{ц}} / N,$$

где  $Q_{\text{ц}}$  – расход ВВ на цикл, кг;  
 $N$  – общее количество шпуров на цикл.

При сплошной конструкции заряда количество патронов в шпуре ( $n$ ) округляем до целого.

$$n = Q_3 / m, \text{ шт.}$$

Уточненная масса заряда в одном шпуре ( $Q_3^1$ ):

$$Q_3^1 = n \cdot m, \text{ кг,}$$

где  $m$  – масса одного патрона ВВ, кг.

Корректировку зарядов ВВ до целого числа патронов в шпурах производим в сторону увеличения массы ВВ во врубовых и отбойных шпурах и в сторону уменьшения массы ВВ в оконтуривающих шпурах. После чего уточняют величину общего расхода ВВ на цикл ( $Q_{\text{ц}}^1$ )

$$Q_{\text{ц}}^1 = Q_{\text{в}} N_{\text{в}} + Q_{\text{от}} N_{\text{от}} + Q_{\text{к}} N_{\text{к}}; \text{ кг.}$$

А также уточняют средний удельный расход ВВ на цикл

$$q^1 = Q_{\text{ц}}^1 / S L_{\text{ш}}^1 \eta, \text{ кг/м}^3,$$

где  $\eta$  – КИШ,  $\eta = 0,8-0,9$ ;  
 $L_{\text{ш}}$  – общая длина шпуров на цикл, м.

### 7.2. Удельный расход ВВ

Для выработок, площадь поперечного сечения которых не превышает  $20\text{ м}^2$ , удельный расход ВВ определяется по формуле

$$q = 0,213 \sqrt{f} (\sqrt{0,2 f} + 1 / \sqrt{S})^2 K_{\text{к}} \epsilon, \text{ кг/м}^3,$$



где  $f$  – коэффициент крепости пород по М.М. Протодяконову;  
 $S$  – площадь поперечного сечения выработки,  $\text{м}^2$ ;  
 $K_k$  – коэффициент учитывающий требуемую степень дробления породы, ( $K_k = 1,1 - 1,3$ );  
 $e$  – коэффициент относительной работоспособности применяемого ВВ по отношению к эталонному ВВ (аммонит 6ЖВ).

### **Относительная работоспособность ( $e$ ) некоторых ВВ**

Аммонит 6ЖВ – 1,0; Гранулит М – 1,11; Игданит – 1,13; Аммонал М-10 – 0,8; Аммонит скальный № 1 – 0,8; Граммонал А-8 – 0,8; Аммонал скальный № 3 – 0,8; Детонит М – 0,82.

Расчетный удельный расход ВВ ( $q$ ) можно определить также по формуле

$$q = q^1 \cdot e; \text{ кг/м}^3,$$

где  $q^1$  – удельный расход эталонного ВВ (аммонит 6ЖВ) (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Удельный расход эталонного ВВ (аммонит 6ЖВ)  
в зависимости от крепости пород и сечения выработки

Коэффициент крепости	Сечение выработки в проходке			
	4 – 6	7 – 9	10 – 15	16 – 20
1 – 1,5	0,7	0,7	0,6	0,6
2 – 3	0,9	0,9	0,8	0,8
4 – 6	1,2	1,1	1,0	1,0
7 – 9	1,5	1,4	1,3	1,2
10 – 14	1,9	1,8	1,7	1,6
15 – 20	2,2	2,2	2,1	1,9

### **7.3. Расход ВВ на цикл ( $Q_{\text{ц}}$ )**

$$Q_{\text{ц}} = q_p \cdot S \cdot L_{\text{ш}}, \text{ кг},$$

где  $q_p$  – расчетный удельный расход ВВ,  $\text{кг/м}^3$ ;  
 $S$  – площадь поперечного сечения выработки,  $\text{м}^2$ ;  
 $L_{\text{ш}}$  – общая длина шпуров, м.

## 8. ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА, РЕЖИМА, СРЕДСТВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЗРЫВАНИЯ

Для проведения горно-подготовительной выработки преимущественно применяют электрическое мгновенное и короткозамедленное взрывание.

Первыми обычно взрывают заряды во врубовых шпура, затем, через интервал замедления, взрывают заряды в отбойных шпурах, которые делят на группы, взрывающиеся с интервалом. Заряды в контурных шпурах взрывают одновременно после отбойных.

Интервал замедления ( $t$ ) между взрывами отдельных групп зарядов при короткозамедленном взрывании можно определить по формуле

$$t = 31,5 W / \sqrt[4]{1,3 f} - 6 \sqrt[4]{1,3 f} + 9,6, \text{ мсек,}$$

где  $W$  – линия наименьшего сопротивления, м;  
 $f$  – коэффициент крепости пород.

При электрическом способе взрывания применяют средства взрывания: электродетонаторы мгновенного короткозамедленного действия (см. табл. 3.1), провода (табл. 8.1.) и источники тока (табл. 8.2).

Таблица 8.1

Провода, используемые для монтажа взрывной сети

Марка провода	Материал жил	Кол-во жил	Диаметр жил, мм	Площадь сечения жил, мм <sup>2</sup>	Сопротивление 1 м провода, Ом/м	Назначение провода
ЭВ и ЭП	медь	1	0,5	0,2	0,10	концевые и участковые
ЭВЖ	сталь	1	0,6	0,28	0,52	то же
ЭПЖ	сталь	1	0,6	0,28	0,52	то же
ВМВ	медь	1	0,8	0,5	0,04	магистральные и соединительные
ВМП	медь	1	0,8	0,5	0,04	то же
ВМВЖ и ВМПЖ	сталь	2	1,2	1,13	0,14	то же

Таблица 8.2

## Взрывные машинки

Параметры	КПМ-3	ВМК-500	ПИБ-100М	КВП-1/100М
Исполнение	нормальное	нормальное	РВ	РВ
Напряжение на конденсаторе-накопителе, В	1600	3000	600	600
Емкость конденсатора-накопителя, мкФ	2	3,3	10	10
Максимально допустимое сопротивление последовательной взрывной сети ЭД-8Ж, ЭД-8Э и др., Ом	600	2100	320	320
Длительность подключения конденсатора к сети, сек	Не ограничивается	Не ограничивается	2 – 4	2 – 4
Первичный источник тока	Минигенератор	Минигенератор	три сухих элемента	три сухих элемента
Масса, кг	2,3	11	2,7	2,0

## 9. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОЙ СЕТИ

Рассмотрим электрический способ взрывания при последовательной схеме инициирования, как наиболее часто применяемой на практике. Электровзрывная сеть состоит из электродетонаторов с проводами, соединяющих их между собой и источника тока или минной станции. Расчет электровзрывной сети сводится к определению ее полного сопротивления и силы тока, проходящего через каждый электродетонатор.

Величина сопротивления сети без электродетонаторов определяется по формуле

$$R = R_m + R_c + R_y + R_k, \text{ Ом,}$$

где  $R_m$ ,  $R_c$ ,  $R_y$ ,  $R_k$  – сопротивление магистральных, соединительных, участковых и концевых проводов соответственно.

Полное сопротивление электрической цепи, при установке одного ЭД в боевике ( $R_{\text{общ}}$ ):

$$R_{\text{общ}} = R_{\text{м}} + R_{\text{с}} + R_{\text{у}} + N R_{\text{э}} = L_{\text{м}} r_{\text{м}} + L_{\text{с}} r_{\text{с}} + L_{\text{у}} r_{\text{у}} + N R_{\text{э}}, \text{ Ом},$$

где  $L_{\text{м}}, L_{\text{с}}, L_{\text{у}}$  – длина соответствующих участков проводов, м;

$N$  – число последовательно соединенных боевиков;

$R_{\text{э}}$  – сопротивление одного ЭД, Ом;

$r_{\text{м}}, r_{\text{с}}, r_{\text{у}}$  – сопротивление 1 м магистральных, соединительных и участковых проводов, соответственно.

Общее сопротивление ( $R_{\text{общ}}$ ) электровзрывной сети для обеспечения безотказного взрыва должно соответствовать неравенству

$$R_{\text{общ}} < R_{\text{ном}},$$

где  $R_{\text{ном}}$  – номинальное, паспортное (допустимое) сопротивление сети для выбранного типа взрывной машин.

Общая сила тока в сети:

$$I_{\text{общ}} = U / R_{\text{общ}}, \text{ А},$$

где  $U$  – напряжение в электровзрывной сети, В.

Общая сила тока, проходящего через ЭД должна быть больше гарантийного тока. В соответствии с требованиями ЕПБ при ВР, при использовании постоянных источников тока в каждый ЭД должен поступать гарантийный ток не менее 1 А, если одновременно взрывается до 100 ЭД, не менее 1,3 А – до 300 ЭД, не менее 2,5 А при взрывании переменным током независимо от количества ЭД. При инициировании зарядов от взрывных приборов в электровзрывную сеть поступает импульсный ток, поэтому условие безотказного взрыва проводят только по допустимому сопротивлению.

## 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Объем бурения на цикл:

$$L = N_{\text{вр}} L_{\text{вр}} + N_{\text{от}} L_{\text{от}} + N_{\text{к}} L_{\text{к}}, \text{ м}.$$

Подвигание забоя за один цикл:

$$L_{\text{п}} = L_{\text{ср}} \eta, \text{ м},$$

где  $L_{\text{ср}}$  – средняя длина шпуров, м;  
 $\eta$  – КИШ,  $\eta = 0,8 - 0,9$ .  
 Объем разрушенной породы за цикл:

$$V = S \cdot L_{\text{ср}} \cdot \eta, \text{ м}^3.$$

Расход ВВ на 1 м<sup>3</sup> взорванной породы ( $q^1$ ) и на 1 м проходки выработки ( $q^{11}$ ):

$$q^1 = Q^1 / V, \text{ кг/м}^3; \quad q^{11} = Q / L_{\text{ср}}, \text{ кг/м},$$

где  $Q^1$  – уточненный расход ВВ на забой, кг;  
 $V$  – объем разрушенной породы за цикл, м<sup>3</sup>.

Расход бурения на 1 м<sup>3</sup> породы ( $L^1$ ) и на 1 погонный метр выработки ( $L^{11}$ ):

$$L^1 = L / V, \text{ м/м}^3; \quad L^{11} = L / L_{\text{ср}}, \text{ м/м}.$$

Удельный расход ЭД на 1 м<sup>3</sup> взорванной породы ( $N^1$ ) и на один погонный метр выработки ( $N^{11}$ ):

$$N^1 = N / V, \text{ шт/м}^3; \quad N^{11} = N / L_{\text{ср}}, \text{ шт/м},$$

где  $N$  – число шпуров (электродетонаторов) на один цикл.  
 Расход забоечного материала

$$V = N \pi d^2 / 4 L_{\text{заб.ср}}, \text{ м}^3$$

где  $d$  – диаметр шпуров, м;  
 $L_{\text{заб.ср}}$  – средняя длина забойки в 1 шпуре на цикл, м.

## 11. СВОДНАЯ ВЕДОМОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЕКТА

Горнотехнические условия и показатели проекта сводятся в табл. 11.1, и 11.2 и дополняются чертежами забоя в 3-х проекциях врубовых, отбойных и оконтуривающих шпуров, а также конструкцией зарядов.

Таблица 11.1

Горнотехнические условия и основные показатели проекта

№ п/п	Наименование	Единица измерения	Кол-во, тип
1	2	3	4
1	Категория шахты по газу		
2	Площадь сечения выработки	м <sup>2</sup>	

Окончание табл. 11.1

1	2	3	4
3	Плотность породы	т/м <sup>3</sup>	
4	Диаметр шпуров	мм	
5	Подвигание забоя за цикл	м	
6	КИШ		
7	Количество шпуров на забой	шт	
8	Тип ВВ		
9	Удельный расход ВВ	кг/м <sup>3</sup> кг/м	
10	Расход ВВ за цикл	кг	
11	Тип и количество ЭД врубные отбойные оконтуривающие	шт шт шт	
12	Удельный расход ЭД	шт/м <sup>3</sup> шт/м	
13	Тип взрывной машинки		
14	Объем взорванной породы за цикл	м <sup>3</sup>	
15	Выход взорванной массы с 1 п.м. шпура	м <sup>3</sup> /м	
16	Объем бурения за цикл	м	
17	Удельный объем бурения	м <sup>3</sup> /м м/м	
18	Расход забойки на цикл	м <sup>3</sup>	

Таблица 11.2

Параметры и очередность взрывания шпуров

Номера шпуров, в которых взрывание производится за один прием	Длина шпуров, м	Величина заряда в каждом шпуре, кг	Угол наклона шпура к плоскости забоя, град.		ЭД и очередность взрывания
			горизонт.	вертик.	
1, 2, 3, 4, 5, 6	2,3		90	80	ЭД-8-ПМ
11, 12, 13, 19, 20, 21	2,2		90	85	ЭДКЗ-ПМ-15
14, 7, 8, 9, 18	2,2		90	90	- « -
15, 16, 17	2,3		85	85	- « -
10, 25, 24, 23, 22, 26	2,3		85	90	- « -

## 12. СЕЧЕНИЕ ВЫРАБОТКИ И РАСПОЛОЖЕНИЕ ШПУРОВ В ЗАБОЕ

Сечение выработки с расположением шпуров в забое (рис. 12.1) является обязательной составной частью графического приложения курсового проекта, выполненного в масштабе с соблюдением и обозначением расчетных показателей проекта (длины, углов наклона и нумераций шпуров в забое).

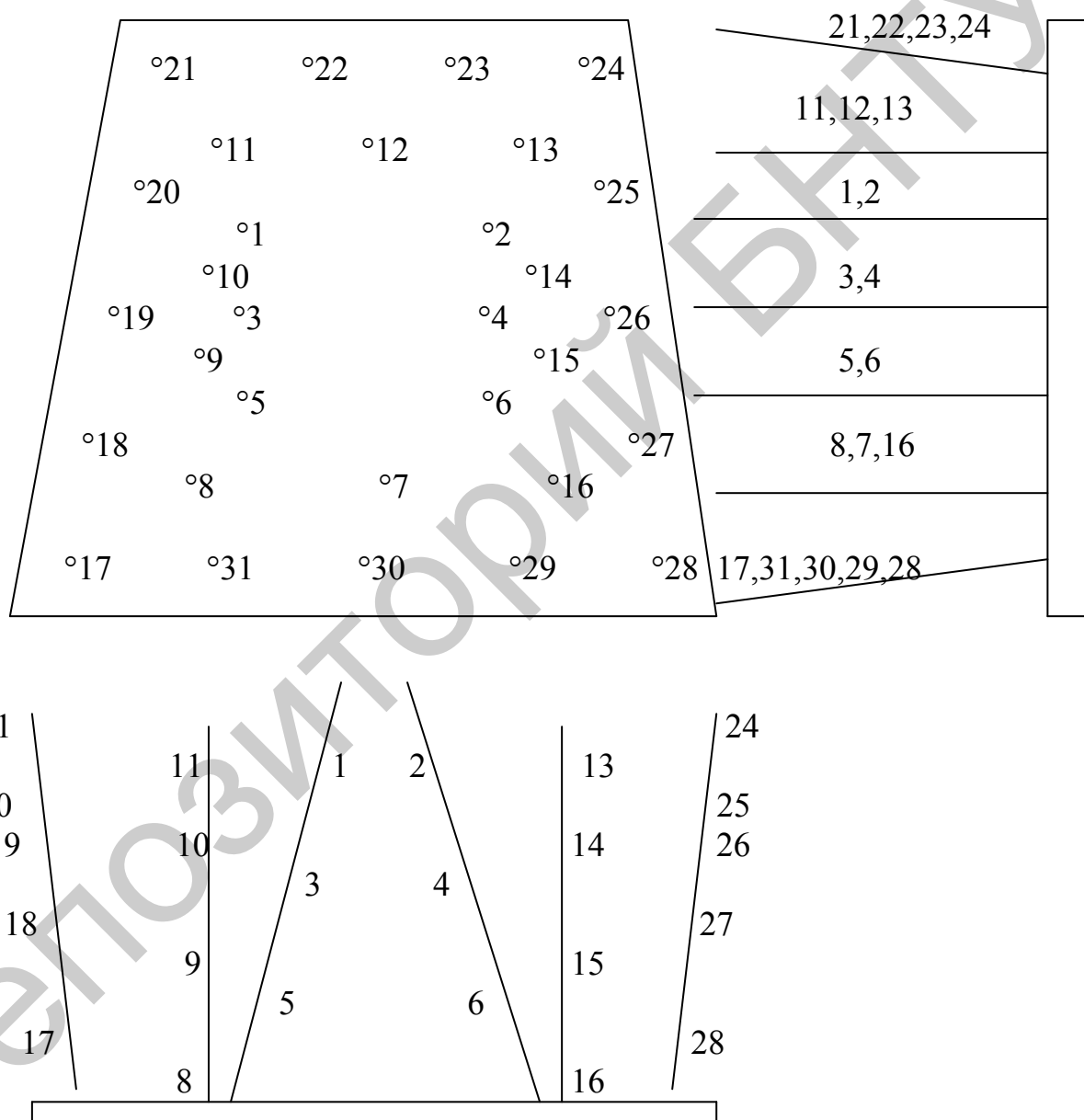


Рис.12.1. Сечение выработки и расположение шпуров в забое

## ЛИТЕРАТУРА

1. Афонин, В.Г. Справочное руководство по взрывным работам в промышленности / В.Г. Афонин, Л.М. Гейман, В.М. Комир. – Киев: Будівельник, 1979. – 176 с.
2. Гушин, В.И. Задачник по взрывным работам: учеб. пособие для профессионального обучения рабочих на производстве / В.И. Гушин. – М.: Недра, 1990. 174 с.
3. Единые правила безопасности при взрывных работах. – Киев: Норматив, 1992. – 171 с.
4. Кутузов, Б.Н. Взрывные работы: 3-е изд., перераб. и дополн. / Б.Н. Кутузов. – М.: Недра, 1988. – 383 с.
5. Проектирование взрывных работ в промышленности / Э.Б. Башкуев [и др.]. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Недра, 1983. – 359 с.
6. Суханов, А.Ф. Разрушение горных пород взрывом. Учебник для вузов / А.Ф. Суханов, Б.Н. Кутузов. – 2-е изд. – М.: Недра, 1983. – 344 с.
7. Туренский, Н.Г. Проектирование паспорта буровзрывных работ на проходку подземной горной выработки / Н.Г. Туренский. – М.: МИИЖТ, 1985. – 42 с.
8. Федоренко, П.И. Буровзрывные работы: учебн. для вузов / П.И. Федоренко. – М.: Недра, 1991. – 272 с.