

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
Санкт-Петербургский горный университет**

**Кафедра взрывного дела**

# **ТЕХНОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ**

*Методические указания к курсовому проектированию  
для студентов бакалавриата направления 20.03.01*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2019**

УДК 622.235 (073)

**ТЕХНОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ:** Методические указания к курсовому проектированию / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *В.Н. Ковалевский, В.В. Должиков, Г.П. Пармонов*. СПб, 2019. 28 с.

В методических указаниях изложены основные требования к его содержанию и оформлению, даны рекомендации по решению основных вопросов проектирования параметров буровзрывных работ при проведении подземных горных выработок.

Предназначены для студентов бакалавриата направления 20.03.01 «Техносферная безопасность», а также могут быть использованы студентами других горных специализаций.

Научный редактор проф. *О.И. Казанин*

Рецензент канд. техн. наук *О.Н. Таламанова* (ООО «Институт Гипроникель»)

## **ВВЕДЕНИЕ**

Курсовой проект выполняется после изучения студентами дисциплины «Технология и безопасность взрывных работ» и заключается в разработке и составлении паспорта буровзрывных работ при проведении подземных горных выработок.

Задачи курсового проектирования:

1. Закрепление знаний по теоретическим основам курса «Технология и безопасность взрывных работ»;
2. Приобретение инженерных навыков расчета параметров буровзрывных работ (БВР) при проходке горных выработок;
3. Приобретение опыта технико-экономической оценки полученных результатов.

Курсовой проект выполняется в соответствии с заданием для условий конкретного горного предприятия. Сдача курсового проекта осуществляется согласно календарному графику по учебному плану.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

### **Содержание курсового проекта**

Курсовой проект должен включать пояснительную записку объемом на 15-20 страниц и графический материал, представленный на листе формата А1.

С учетом требований «Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах» [1] к содержанию и оформлению паспортов БВР, курсовой проект содержит следующие разделы:

Пояснительная записка:

1. Исходные данные для проектирования (в соответствии с заданием).
2. Определение глубины шпуров.
3. Выбор и обоснование бурового оборудования и инструмента для бурения шпуров; диаметр шпуров.
4. Выбор и обоснование типа взрывчатых веществ, способа взрывания и средств инициирования зарядов.

5. Расчет удельного расхода ВВ.
6. Расчет величины заряда в шпурах.
7. Определение количества шпуров.
8. Выбор типа вруба и обоснование схемы расположения шпуров.
9. Расчет электровзрывной сети и выбор источника тока при электрическом взрывании.
10. Определение границ опасной зоны и установление места укрытия взрывника.
11. Техничко-экономические показатели проходки.
12. Список использованной литературы.

Графическая часть курсового проекта должна быть представлена паспортом БВР на листе формата А1 и содержать:

1. Схему расположения шпуров в трех проекциях (рис. 1) (при проходке стволов шахт - в двух проекциях) в масштабе 1:50 или 1:20;

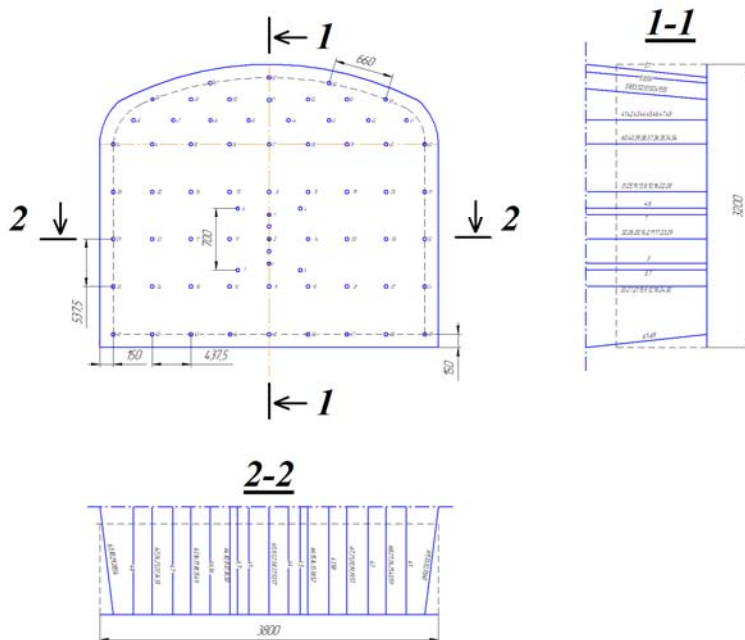


Рис. 1. Схема расположения шпуров в трех проекциях

2. Выкопировку с плана горных работ с указанием местонахождения проектируемой горной выработки относительно других горных выработок (М1:50) с указанием расстановки постов охраны или оцепления, места укрытия взрывника на время производства взрывных работ;

3. Конструкции шпуровых зарядов (М1:5) с указанием положения патрона-боевика, длины и типа забойки; конструкцию патрона-боевика;

4. Таблицу параметров шпуровых зарядов с указанием величины заряда в шпурах, глубины шпуров, очередности взрывания групп зарядов (интервала замедления) и расположения их относительно вертикальной и горизонтальной плоскостей, времени проветривания; коэффициента заполнения шпуров;

5. Схему коммутации взрывной сети;

6. Таблицу технико-экономических показателей взрыва;

7. Таблицу общих данных с указанием в ней величины радиуса опасной зоны;

Кроме того, для шахт опасных по газу или пыли, в паспорте должны быть указаны количество и схема расположения специальных средств по предотвращению взрывов газа (пыли), а также режим взрывных работ.

### **Общие требования к оформлению курсового проекта**

1. Титульный лист установленного образца.
2. Бланк задания установленного образца.
3. Содержание с указанием страниц.
4. Разделы текста пояснительной записки
5. Список литературных источников.
6. Графическая часть проекта согласно нормам технологического черчения.

### **Требования к тексту пояснительной записки:**

Расчетно-пояснительная записка должна быть оформлена в соответствии с установленными требованиями.

Используемый размер бумаги – А4, Параметры полосы, см: верхнее – 2,5; нижнее – 2,0, левое – 2,5; правое – 1,5. Для текста

используется редактор Word, не ниже версии 7; для формул – Equation или аналог.

Стиль текста: - размер шрифта Times New Roman - 14 кегль, обычный, межстрочный интервал – одинарный, абзацный отступ – 1,25 см; запрет висячих строк; автоматический перенос слов; выравнивание – по ширине; нумерация страниц снизу по центру.

Стиль заголовков: размер шрифта Times New Roman - 14 кегль, полужирный, прописной, по центру, без переносов. Подзаголовки 12 кегль.

Стиль таблиц: размер шрифта Times New Roman - 12 кегль, обычный, в таблицах, не размещающихся на одной полосе, необходимо повторять «головку».

Стиль набора формул: шрифт Times New Roman, расположение – по центру.

В тексте необходимы ссылки на использованные литературные источники. Результаты расчетов сводят в таблицы. При выполнении расчетов необходимо привести общий вид формулы с расшифровкой буквенных обозначений, входящих в нее величин, и указанием единиц величин.

Таблицы, рисунки должны быть пронумерованы, а в тексте пояснительной записки даны ссылки на них. Нумерация разделов, рисунков, таблиц сквозная.

В конце записки помещается библиографический список, составленный в алфавитном порядке и в соответствии с ГОСТом.

# МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ОСНОВНЫХ РАЗДЕЛОВ ПРОЕКТА

## 1. Задание на курсовой проект

Задание на курсовой проект содержит исходные данные для проектирования: сведения о свойствах горных пород, протяженность горной выработки, форма и размеры поперечного сечения; подвигание забоя за цикл (глубина отбойного шпура); характеристика выработки по степени опасности взрыва газа или угольной (сланцевой) пыли; сведения о водопротоке.

## 2. Построение сечения выработки

При проходке горизонтальных и наклонных выработок применяются следующие формы выработок: прямоугольно-сводчатая с полуциркульным сводом, прямоугольно-сводчатая с коробковым сводом, трапециевидная (рис. 2).

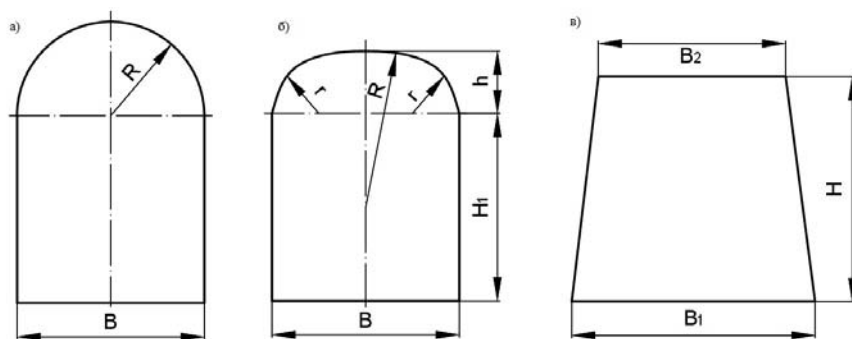


Рис. 2. Формы сечения выработок: а – прямоугольно-сводчатая с полуциркульным сводом, б – прямоугольно-сводчатая с коробковым сводом, в – трапециевидная

Расчетные формулы для определения сечения выработки прямоугольно-сводчатой формы с полуциркульным сводом:

Радиус свода:  $R = 0,5 B$

Площадь сечения выработки:  $S_{св} = B(R + 0,39B)$

Расчетные формулы для определения сечения выработки прямоугольно-сводчатой формы с коробковым сводом:

Высота свода:  $h = 1/3 B$

Большой радиус:  $R = 0,692 B$

Малый радиус:  $r = 0,262 B$

Площадь сечения выработки:  $S = B(H+0,26B)$ , где  $B$  – ширина выработки,  $H$  – высота выработки до свода.

Расчетные формулы для определения сечения выработки трапецевидной формы:

Площадь сечения выработки:  $S = HB_{cp}$ , где  $B_{cp}$  – средняя ширина выработки  $B_{cp} = (B_1 + B_2)/2$

### 3. Определение глубины шпуров

Глубину шпуров следует выбирать с учетом крепости пород, площади забоя, принятой организации работ, подвигания забоя за цикл, применяемых буровых механизмов.

При выборе глубины шпуров следует исходить из значений коэффициента использования шпуров (КИШ)  $\eta = 0,75 \div 0,95$ . КИШ зависит от крепости пород (табл. 1) и определяется опытными взрывами.

Таблица 1

Зависимость КИШ от крепости пород

$f$	1.5-3	4-6	7-15	>15
$\eta$	1,0-0,95	0,95-0,85	0,85-0,8	0,75-0,8

Обычно при проведении горизонтальных и наклонных выработок в крепких породах средняя глубина шпуров может составлять  $1,5 \div 1,8$  м, в породах средней крепости  $1,8 \div 2,2$  м, и в слабых породах -  $2,2 \div 2,5$  м. При использовании буровых кареток глубина отбойных шпуров может достигать  $4 \div 5$  м.

В вертикальных выработках глубину шпуров в зависимости от крепости пород следует принимать в следующих пределах:  $2,5 \div 3$  м при коэффициенте крепости  $f=1,5 \div 3$ ;  $2,2 \div 2,5$  м при  $f=4-6$ ;  $1,5 \div 2,1$  м при  $f>7$ .



В смешанных забоях при раздельной выемке угля и породы первоначально производится взрывание угольного забоя с целью создания дополнительной обнаженной поверхности для последующего взрывания (подрывки) породы. Глубина шпуров в угольном и породном забоях принимается в пределах  $1,8 \div 2,5$  м.

При устойчивых породах кровли и раздельной выемке угля и породы иногда проводят два цикла по углю с подвиганием угольного забоя за цикл на  $1,8-2,5$  м, а затем один цикл по породе с подвиганием на  $3,6 - 5$  м, т.е.  $l_{\text{зах}}^{\text{пор}} = 2l_{\text{зах}}^{\text{уг}}$ .

Иногда проводят два цикла по углю с подвиганием угольного забоя за цикл на  $2-2,5$  м.

Формулы для расчета длины шпуров:

- отбойных

$$l_{\text{отб}} = \frac{l_{\text{зах}}}{\eta} \text{ или } l_{\text{отб}} = (0,4 \div 0,5) \cdot B,$$

где  $\eta$  – коэффициент использования шпура,  $B$  – ширина выработки

- оконтуривающих (контурных)

$$l_{\text{окон}} = \frac{l_{\text{отб}}}{\sin \alpha^\circ},$$

где  $\alpha$  – угол наклона оконтуривающих шпуров

- врубовых

$$l_{\text{вруб}} = (1,1 \div 1,2) \cdot l_{\text{отб}}$$

#### **4. Выбор и обоснование бурового оборудования и инструмента для бурения шпуров; диаметр шпуров**

Выбор способа бурения шпуров и соответствующей буровой техники зависит от свойств горных пород (твердости, крепости, абразивности, трещиноватости и т.д.).

На выбор бурового оборудования влияет также характер горной выработки (ее тип, сечение, опасность по газу и пыли, условия снабжения буровых машин энергией и т.д.).

Для бурения по углю (сланцу) и породам с коэффициентом крепости  $f = 1 \div 4$  применяются ручные электросверла ЭР-14-2М,

ЭР-18 Д-2М, СЭР-19М. Для более крепких пород ( $f = 4 \div 6$ ) могут применяться электросверла с принудительной подачей (ЭРП-18Д-2М).

В выработках, где недопустимо применение электрической энергии по правилам безопасности, применяют буровые установки БУ-2, Бур-2.

Для вращательного бурения шпуров в породах небольшой крепости (до  $f = 6 \div 8$ ) применяют колонковые электросверла. Наибольшее распространение получили их типы СЭК-1, СЭК-2, ЭБП-1, которые устанавливаются на распорных колонках, либо на манипуляторах погрузочных машин.

В породах средней крепости и крепких породах ( $f > 6$ ) бурение шпуров, как правило, осуществляется переносными перфораторами марок ПП-54В, ПП-54ВБ, ПП-63В, ПП-63С, устанавливаемыми на пневмо-поддержках П8, П11, П13.

При проведении восстающих выработок шпуры бурят телескопными перфораторами ПТ-29М, ПТ-48А, ПТ-45КВ.

При проходке горизонтальных и слабонаклонных выработок с сечением в проходке более  $5 \text{ м}^2$  применяют передвижные буровые установки типа СБУ-2М, СБКНС-2, СБКН-2П, СБКН-2М, УБН-2П, УБШ-221, УБШ-211Г, оснащенные телескопными (ПТ-36М), колонковыми перфораторами (ПК-60, ПК-75), бурильными головками (1100-1-1М, БГА-1М).

Для бурения шпуров в горизонтальных выработках широко применяются зарубежные буровые установки. Шведская фирма «Сандвик» выпускает буровые проходческие установки типа «Сандвик DD210» для бурения шпуров диаметром 43-64 мм в выработках сечением до  $24 \text{ м}^2$ , «Сандвик DD311» до  $40 \text{ м}^2$ , «Сандвик DD321» до  $49 \text{ м}^2$ , «Сандвик DD421» до  $60 \text{ м}^2$ . Другая шведская фирма «Атлас Копко» выпускает буровые установки: «Бумер T1 D» ( $S_{\text{выр}} = 6-20 \text{ м}^2$ ), «Бумер S1 D» ( $S_{\text{выр}} = 8-31 \text{ м}^2$ ), «Бумер S1 L» ( $S_{\text{выр}} = 6-29 \text{ м}^2$ ), «Бумер 282» ( $S_{\text{выр}} = 8-45 \text{ м}^2$ ), «Бумер L1» ( $S_{\text{выр}} = 10-70 \text{ м}^2$ ), «Бумер L2» ( $S_{\text{выр}} = 15-104 \text{ м}^2$ ) и др. Диаметр бурения у станков «Атлас Копко» составляет 33-76 мм.

При проходке стволов шахт бурение шпуров обеспечивается вращательно-ударными буровыми установками БУКС-1М, БУКС-1МЦ, БУКС-2М.

В качестве породоразрушающего инструмента при бурении шпуров ручными сверлами используются резцы:

- РУ -13 - в мягких породах с  $f = 4$ ;
- РУ-4М - в мягких углях;
- РУ-13М-в породах с  $f = 6$  и крепких углях;

При бурении колонковыми и ручными сверлами в породах с  $f = 6 \div 8$ , рекомендуются резцы РП-7, РП-42. Диаметр резцов составляет 41-43 мм. В качестве буровых штанг используются штанги длиной 1-3 м. Для пневмосверл и колонковых сверл применяются также штанги из круглой (диаметром 32 мм) или шестигранной стали (диаметром 25 мм) длиной 0,7 ÷ 2,2 м.

В качестве породоразрушающего инструмента при бурении шпуров перфораторами используются съемные коронки:

- а) для монолитных вязких пород
  - долотчатые пластинчатые КДП и БКПМ (КДП-40-25, КДП-43-25, БКПМ-9, БКПМ-36-22, БКПМ-40-25);
- б) для вязких трещиноватых пород средней и высокой крепости
  - крестовые ККП и БКПМ-КМ (КДП-40-25, КДП-43-25, БКПМ-36-25 КМ, БКПМ-40-25КМ, БКПШ-42-25КМ);
- в) для хрупких трещиноватых пород средней крепости и высокой абразивности
  - трехперые штыревые КТШ (КТШ-40-25; КТШ-43-25).

Буровые штанги для перфораторов изготавливаются из шестигранной стали 22, 25, 28, 32 мм и круглой стали диаметрами 32, 38 мм с шагом 600, 900 мм.

## **5. Выбор и обоснование типа взрывчатых веществ, способа взрывания и средств инициирования зарядов**

Тип ВВ выбирается, исходя из свойств горных пород, величины водопритока в выработку и степени опасности выработки по взрыву газа и пыли.

При этом надо руководствоваться действующим Перечнем взрывчатых материалов, оборудования и приборов взрывного дела, допущенных к применению в Российской Федерации [4]. Взрывчатые вещества для конкретных условий следует выбирать на основе их характеристик с учетом стоимости.

Наиболее важными характеристиками ВВ являются: удельная теплота взрыва, работоспособность, скорость детонации. Чем выше крепость пород, тем более высокими значениями параметров должно обладать ВВ.

Так, для пород с  $f > 12$  следует применять ВВ с плотностью  $1,2 \div 1,45 \text{ г/см}^3$  и скоростью детонации  $4 \div 6,5 \text{ км/с}$ , для пород с  $f < 12$  - ВВ с плотностью  $1,0 \div 1,1 \text{ г/см}^3$  и скоростью детонации меньше  $4 \text{ км/с}$ .

При зарядании шпуров следует использовать следующие ВВ:

а) при ручном зарядании

- патронированные ВВ (аммонит № 6ЖВ, аммонал М-10, аммонал скальный №1, Детонит М, Аммонит АП-5ЖВ, Угленит - 6 Аммонит Т - 19 и др. (табл. 2))

б) при механизированном пневмозарядании

- гранулированные ВВ (гранулит АС-4, гранулит АС-8, гранулит М, гранулит-игданит П и др. (табл. 3)).

- эмульсионные ВВ («Сабтэк»)

В крепких, вязких и трудновзрываемых породах следует применять мощные патронированные ВВ (аммонал скальный № 1, детонит М), либо возможно использование комбинированных зарядов, состоящих из патронов мощных ВВ, размещенных у дна шпура, и менее мощных, занимающих 30-50% от общей длины заряда.

При проходке и углубке стволов шахт, не опасных по газу и пыли, широко применяется аммонал скальный № 1 с диаметром патронов 36 и 45 мм.

Для выработок опасных по взрыву газа и пыли следует применять предохранительные ВВ с учетом категоричности выработки (табл. 4).

Выбирая ВВ для проходки стволов шахт следует обращать внимание на водоустойчивость.

Таблица 2

Непредохранительные патронированные ВВ

Наименование ВВ	Аммонит 6ЖВ	Аммонал М-10	Аммонал скальный № 1	Детонит М
Удельная теплота взрыва, кДж/кг	4312	4940	5409	5786
Фугасность, см <sup>3</sup>	365	410	460	450
Скорость детонации, км/с	3,6 – 4,8	4,0 – 4,5	4,8 – 6,5	4,2 – 5,0
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,0 – 1,2	0,95 – 1,15	1,4 - 1,5	0,95 - 1,3
Диаметр патрона, мм	32 36	32	36 44	28 32 36
Масса патрона, г	200,250 300	200,250	250 400	150, 200 200, 250 250, 300
Класс по условиям применения	II	II	II	II

Таблица 3

Непредохранительные непатронированные ВВ

Наименование ВВ	Гранулит АС-4	Гранулит АС-8	Гранулит М
Удельная теплота взрыва, кДж/кг	4522	4522	3852
Фугасность, см <sup>3</sup>	400	420	325
Скорость детонации, км/с	2,6 - 3,5	3,0 – 3,6	2,5 – 3,8
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,0 – 1,15	1,1 – 1,2	1,0 – 1,15
Класс по условиям применения	II	II	II

Таблица 4

## Предохранительные ВВ

Наименование ВВ	Аммонит АП-5ЖВ	Аммонит Т-19	Угленит Э-6
Удельная теплота взрыва, кДж/кг	3797	3404	2680
Фугасность, см <sup>3</sup>	320	265	130
Скорость детонации, км/с	3,6 – 4,6	3,5 – 4,0	2,1 – 2,5
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,0 – 1,15	1,05 – 1,2	1,15 – 1,3
Диаметр патрона, мм	36	36	36
Масса патрона, г	200 300	200 300	200,250,300
Класс по условиям применения	III	IV	V

Средства инициирования применяются в соответствии с принятым способом взрывания. При проектировании предпочтение следует отдавать электрическому способу взрывания, как наиболее безопасному и надежному. Однако не исключено и применение неэлектрического способа взрывания, принятие которого в проекте должно быть обосновано.

При выборе способа взрывания следует иметь в виду, что значительным преимуществом обладает короткозамедленное взрывание шпуровых зарядов. Это условие наиболее полно реализуется при электрическом взрывании путем применения электродетонаторов типа ЭД-3-Н, либо при использовании неэлектрических систем инициирования типа ИСКРА-Ш, Эксель, Коршун.

При взрывных работах в выработках, опасных по взрыву газа и пыли, необходимо использовать предохранительные электродетонаторы марок ЭД-КЗ-ОП, ЭД-КЗ-ПКМ.

## 6. Расчет удельного расхода ВВ

Удельный расход ВВ зависит от физико-механических свойств пород, площади поперечного сечения выработки и числа обнаженных плоскостей, свойств ВВ, глубины и диаметра шпуров, требуемой степени дробления породы и т.д.

Удельный заряд ВВ  $q_0$ , кг/м<sup>3</sup> при наличии достаточных сведений о структуре горного массива и технологии выполнения ВР может быть определен:

- для выработок с одной плоскостью обнажения забоя, площадь сечения которых меньше 15-20 м<sup>2</sup>, по формуле проф. П.Я. Таранова

$$q_0 = 0,4 \cdot \left( \sqrt{0,2 \cdot f} - \frac{1}{S} \right)^2 \cdot \frac{K'}{e'}$$

- для выработок с одной плоскостью обнажения забоя сечением более 20 м<sup>2</sup> по формуле ЦНИИСа

$$q_0 = \left( 0,3 \cdot \sqrt{f} + \frac{2}{\sqrt{S}} \right)^2 c \cdot K \cdot e \cdot \psi \cdot k_c$$

где  $f$  - коэффициент крепости породы по М.М. Протодяконову;  $S$  - площадь сечения выработки, м<sup>2</sup>;  $K'$  - коэффициент, учитывающий дополнительный расход ВВ для более мелкого дробления породы: в выработках сечением до 15 м<sup>2</sup>  $K'=1,2-1,3$ , при большем сечении (до 20 м<sup>2</sup>)  $K'=1-1,1$ ;  $e'$  - коэффициент относительной работоспособности ВВ.

$$e' = \frac{525}{P}$$

где  $P$  - работоспособность принятого ВВ, см<sup>3</sup>;  $c$  - коэффициент, учитывающий влияние диаметра патрона ВВ (табл. 5)  $K$  - коэффициент, учитывающей влияние принятой глубины комплекта шпуров (табл. 6);  $e$  - коэффициент относительной работоспособности ВВ;  $\psi$  - коэффициент плотности заряжения (табл. 7);  $k_c$  - коэффициент, учитывающий трещиноватости и характер напластования породы (табл. 8)

Таблица 5

Значения коэффициента  $c$ 

$d_{п}, \text{мм}$	28	30	32	36	40	42	45
$c$	1,2	1,15	1,1	1,0	0,95	0,92	0,9

Таблица 6

Значения коэффициента  $K$ 

$f$	Значение коэффициента $K$ при следующих глубинах шпуров, м					
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
4	1,15	1,1	1,05	1,0	1,05	1,1
4-8	1,1	1,08	1,05	1,0	1,05	1,1
8-10	1,08	1,05	1,0	1,05	1,1	1,15
10-16	1,05	1,0	1,05	1,1	1,15	1,2

Таблица 7

Значения коэффициента  $\psi$ 

Способ заряжания	Коэффициент $\psi$
Пневмозарядка порошкообразным ВВ	1,0
Заряжание с раздавливанием пластичных патронов	1,05
Ручное заряжание	1,1

Таблица 8

Значения коэффициента  $k_c$ 

Характеристика скального массива	Коэффициент $\omega$
Монолитный плотный	1,9-2,0
Монолитный с жильными включениями, ослабляющими массив в зонах контакта	1,8-1,9
Нетрещиноватый с напластованием, перпендикулярным к продольной оси выработки	1,6-1,8
Без видимых трещин с параллельными или наклонными (до $70^\circ$ ) напластованиями к продольной оси выработки	1,4-1,6
Слаботрещиноватые (до 2 трещин на $1\text{м}^2$ забоя)	1,0-1,4
Трещиноватые (от 2 до 5 трещин на $1\text{м}^2$ забоя)	0,8-1,0
Сильнотрещиноватые (более 5 трещин на $1\text{м}^2$ забоя)	0,6-0,8



Наибольшее распространение при определении удельного расхода взрывчатого вещества получила формула проф. Н.М. Покровского, являющаяся наиболее универсальной

$$q = q_0 \cdot k_c \cdot k_d \cdot v \cdot e,$$

где  $q_1$  – нормальный удельный расход ВВ, кг/м<sup>3</sup>

$$q_1 = 0,1 \cdot \left( \frac{f}{3} + \sqrt{\frac{10 \cdot f}{3}} \right),$$

где  $f$  – коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протодьяконова;

$k_c$  – коэффициент, учитывающий структуру породы. Принимается по данным таблицы 7.

$k_d$  – коэффициент, учитывающий диаметр патрона ВВ (для патронов диаметром 24, 32, 36 мм соответственно 1,1; 1,0; 0,95);

$v$  – коэффициент сопротивления породы отрыву от массива (коэффициент зажима породы):

для выработок с площадью поперечного сечения не более 10м<sup>2</sup>

$$v = \frac{6,5}{\sqrt{S_{np}}},$$

для горизонтальных выработок при  $l_{ин} / \sqrt{S_{np}} = 0,5 \div 1,5$

$$v = \frac{3l_{ин}}{\sqrt{S_{np}}},$$

где  $l_{ин}$  – средняя глубина шпуров;

$e$  – коэффициент относительной работоспособности ВВ

$$e = \frac{380}{P},$$

где  $P$  – работоспособность применяемого ВВ,  $\text{см}^3$ .

## 7. Расчет величины заряда в шпурах

После определения удельного расхода ВВ рассчитывается величина заряда на цикл и величина заряда в шпуре [3]. Величина заряда в шпуре будет зависеть от заряда (патронированный или состоящий из гранулированного ВВ), глубины шпура, величины коэффициента заполнения шпура  $K_{\text{зап}}$  и плотности ВВ в патроне.

Для выработок, не опасных по газу и пыли,  $K_{\text{зап}} = 0,4 \div 0,8$ . При применении прямых врубов  $K_{\text{зап}} = 0,7 \div 0,8$ . Если используются ВВ в патронах диаметром 45 мм, то  $K_{\text{зап}} = 0,4 \div 0,5$  при плотности ВВ в патроне  $1,4 \div 1,5 \text{ г/см}^3$  и  $K_{\text{зап}} = 0,5 \div 0,6$  при плотности  $1,05 \div 1,25 \text{ г/см}^3$ .

При применении наклонных врубов  $K_{\text{зап}} = 0,4 \div 0,5$  при глубине шпуров до 2,5 м, если глубина шпуров более 2,5 м, то  $K_{\text{зап}} = 0,6 \div 0,65$ .

Средняя величина коэффициента заполнения шпуров для выработок, опасных по взрыву газа и пыли, при взрывании по углю должна быть не менее  $0,3 \div 0,5$ , по породе -  $0,4 \div 0,5$ .

Требуемое количество ВВ на заходку или цикл определяем по эмпирической формуле:

$$Q_{\text{цикла}} = S_{\text{пр}} \cdot l_{\text{шп}} \cdot q \cdot \eta$$

Величину заряда в шпуре обычно устанавливают опытным путем в конкретных условиях. Приблизенно величину одиночного шпурового заряда определяют по формуле:

$$Q_{\text{шп}} = \frac{l_{\text{шп}} \cdot m \cdot K_3}{l_{\text{пат}}} \quad \text{или} \quad Q_{\text{шп}} = 0,785 \cdot l_{\text{отб}} \cdot d_3^2 \cdot \rho_{\text{ВВ}} \cdot K_3,$$

где  $l_{\text{пат}}$  – длина патрона ВВ,  $m$  – масса патрона ВВ,  $\rho_{\text{ВВ}}$  – плотность ВВ в патроне,  $d_z$  – длина заряда,  $K_3$  – коэффициент заполнения шпура (таблица 9)

## 8. Определение количества шпуров

Определив величину заряда на цикл и среднюю величину заряда в шпуре, рассчитывают количество шпуров на забой [2,3].

На стадии проектирования опытных взрывов число шпуров рекомендуется определять по эмпирическим формулам:

$$N = 2,7 \cdot S \cdot \sqrt{\frac{f}{S}},$$

$$N = \frac{12,7 \cdot q \cdot S \cdot \eta}{d_n \cdot \gamma_0 \cdot K_3 \cdot \psi},$$

где  $q$  – удельный заряд ВВ, кг/м<sup>3</sup>;  $S$  – площадь сечения выработки, м<sup>2</sup>;  $d_n$  – диаметр патрона (шпура – для гранулированных ВВ), см;  $\psi$  – коэффициент плотности заряжания;  $\gamma_0$  – плотность ВВ в заряде, г/см<sup>3</sup>

для выработок с площадью 20-50м<sup>2</sup>

$$N_{\text{отб}} = \frac{q(S - S_{\text{вруб}})}{\bar{\gamma}},$$

где  $S_{\text{вруб}}$  – площадь забоя, занимаемого врубом, м<sup>2</sup>.

Таблица 9

Значения коэффициента $K_3$					
$f$	2-3	4-6	7-9	10-14	15-20
$K_3$	0,4-0,55	0,6-0,65	0,65-0,7	0,7-0,75	0,75-0,8

Окончательное число шпуров определяется графическим методом. Если число шпуров, определенное расчетом и графически, будут различны, то проводится перерасчет величины заряда в шпурах. При этом величину заряда в отдельных шпурах необходимо уточнить с учетом их назначения. Величина заряда врубового шпура обычно на 10-20% превышает среднюю величину заряда; величина заряда отбойного шпура, как правило, равна средней величине заряда, величина заряда оконтуривающего шпура (за исключением почвенных) принимается на 10-15% меньше средней величины. Необходимо учитывать, что в каждом шпуре должно размещаться целое число патронов (при патронированном заряжении).

После уточнения числа шпуров (определенных графически) и величины заряда в каждом шпуре определяют фактическую величину заряда на цикл и фактический удельный расход.

$$Q_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{цикла}}}{N_{\text{шп}}^{\text{факт}}}$$

$$Q_{\text{вр}} = (1,1 \div 1,2) \cdot Q_{\text{ср}}$$

$$Q_{\text{оконт}} = (0,85 \div 0,9) \cdot Q_{\text{ср}}$$

Фактическая величина заряда ВВ на цикл составляет:

$$Q_{\text{цикл}}^{\text{факт}} = N_{\text{вр}}^{\text{факт}} \cdot Q_{\text{вр}}^{\text{факт}} + N_{\text{отб}}^{\text{факт}} \cdot Q_{\text{отб}}^{\text{факт}} + N_{\text{оконт}}^{\text{факт}} \cdot Q_{\text{оконт}}^{\text{факт}}$$

Фактический удельный расход ВВ на м<sup>3</sup> составляет:

$$q = \frac{Q_{\text{цикл}}^{\text{факт}}}{l_{\text{зах}} \cdot S_{\text{пр}}}$$

## 9. Выбор типа вруба и обоснование схемы расположения шпуров

Наклонные врубы (рис. 3) (пирамидальный, клиновые) целесообразно применять в выработках сравнительно больших поперечных сечений при небольшой крепости пород ( $f < 12$ ). Угол наклона врубовых шпуров в зависимости от крепости пород принимается в пределах  $55 \div 75^\circ$ , а расстояние между парами врубовых шпуров при клиновом врубе обычно составляет  $0,3 \div 0,6$  м.

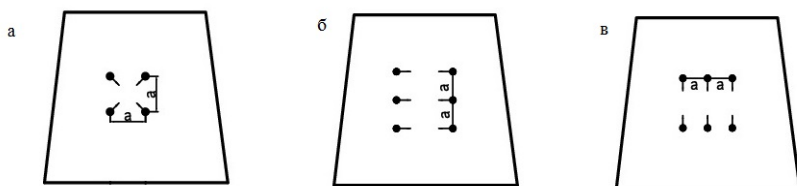


Рис. 3. Наклонные врубы: а – пирамидальный, б – клиновой вертикальный, в – клиновой горизонтальный

Прямые врубы (рис. 4) применяют в горизонтальных, наклонных и восстающих выработках любого поперечного сечения при ручном бурении, при проходке стволов шахт, а также при использовании самоходного бурового оборудования. Глубина врубовых шпуров должна быть больше глубины остальных шпуров на 10-20%.

При проходке горизонтальных и наклонных выработок наиболее широко применяют призматические, щелевые, спиральные врубы. При проведении стволов шахт предпочтение отдается цилиндрическому и воронкообразному врубам.

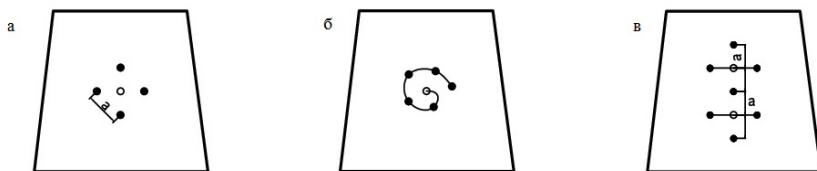


Рис. 4. Прямые врубы: а – призматический, б – спиральный, в – щелевой

В выработках со смешанным забоем врубовые шпуров бурят только в угольном забое. При этом, как правило, применяют клиновые, веерные врубы, вруб «ножницы», а также призматические врубы.

Отбойные шпуров располагают на расстоянии, равном величине линии наименьшего сопротивления, равномерно по всей площади забоя. Устья оконтуривающих шпуров следует располагать на расстоянии 0,15-0,2 м от контура выработки. Расстояние между ними обычно составляет 0,6-0,9 м. Их концы в крепких породах могут выходить за пределы проектного контура выработки на 0,1-0,15 м, в мягких породах и породах средней крепости они должны доходить до контура выработки.

В соответствии с Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах» [1] расстояние между соседними шпуровыми зарядами должно быть не менее:

- по углю:

0,6 м - при использовании ВВ II-IV классов,

0,5 м - при использовании ВВ V класса,

0,4 м - при использовании ВВ VI класса;

- по породе  $f < 7$ :

0,5 м - для ВВ V класса,

0,45 м - для ВВ III-IV классов,

0,3 м - для ВВ V класса,

0,25 м - для ВВ VI класса;

- по породе с  $f = 7 \div 10$ :

0,4 м - для ВВ II класса,

0,3 м - для ВВ III-IV классов.

## 10. Расчет электровзрывной сети и выбор источника тока

При проходке горизонтальных и наклонных выработок чаще всего применяется последовательный способ соединения электродетонаторов (рис. 5), а при проходке стволов шахт - параллельно-пучковый (рис. 6а) или параллельно-ступенчатый (рис 6б).

В стволах взрывание зарядов может производиться по следующим параллельно-ступенчатым схемам: с двумя замкнутыми антенными кольцами, «три кольца», с двумя разомкнутыми антенными кольцами [2].

При использовании взрывных машинок в качестве источника тока расчет электровзрывной сети сводится к определению общего сопротивления взрывной сети и сопоставлении этой величины с паспортной характеристикой взрывной машинки [2].

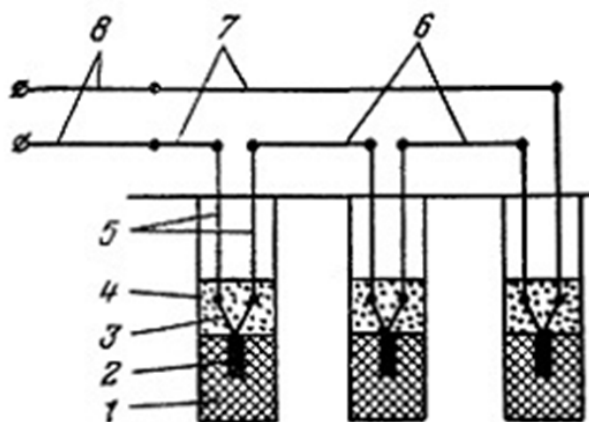


Рис. 5. Последовательное соединение ЭД: 1 - заряд ВВ; 2 - ЭД; 3 - концевик ЭД (выводной провод); 4 - забойка; 5 - концевые провода; 6 - участковые провода; 7 - соединительные провода; 8 - магистральные провода

При расчете электровзрывных сетей, инициируемых от силовых линий, следует определять общее сопротивление взрывной сети, затем - силу тока, проходящего через каждый электродетонатор. Ее величина должна быть не менее гарантийной силы тока, равной 2,5 А, при использовании источника переменного тока и не менее 1А (1,3А) - при источнике постоянного тока.

#### Расчет последовательной сети ЭВС

$$R_{\text{общ}} = 2L_{\text{м}} \cdot r_{\text{м}} + L_{\text{с}} \cdot r_{\text{с}} + L_{\text{у}} \cdot r_{\text{у}} + N(L_{\text{к}} \cdot r_{\text{к}} + r_{\text{ЭД}}),$$

где  $L_{\text{м}}$ ,  $L_{\text{с}}$ ,  $L_{\text{у}}$  - длина магистрального, соединительного, участкового проводов;  $r_{\text{м}}$ ,  $r_{\text{с}}$ ,  $r_{\text{у}}$  - линейное сопротивление магистрального,

соединительного, участкового проводов;  $N$  - количество ЭД,  $r_{\text{ЭД}}$  - сопротивление одного ЭД, Ом/м.

$$r = \rho \frac{l}{S},$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление материала провода,  $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ ;  $l$  - длина провода, м;  $S$  - сечение провода, мм<sup>2</sup>.

$$I_{\text{ЭД}} = \frac{U}{R_{\text{общ}}} \geq I_{\text{Г}},$$

где  $U$  - напряжение источника тока,  $I_{\text{Г}}$  - гарантийный ток

### *Расчет параллельной сети ЭВС*

При одинаковом сопротивлении ветвей:

$$R_{\text{общ}} = R_{\text{м}} + R_{\text{с}} + \frac{R_{\text{вет.}}}{N_{\text{вет}}},$$

где  $N_{\text{вет}}$  - число параллельно подключенных ветвей,

$$I_{\text{ЭД}} = \frac{I_{\text{общ}}}{N_{\text{вет}}} \geq I_{\text{Г}}, \text{ проверка при взрывании от любого источника тока,}$$

кроме взрывной машинки.

При разном сопротивлении ветвей:

$$\sum R_{\text{общ}} = R_{\text{м}} + R_{\text{с}} + \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{в}_1}} + \frac{1}{R_{\text{в}_2}}}, \dots,$$

где  $R_{\text{в}_1}$ ,  $R_{\text{в}_2}$  - сопротивление отдельных ветвей, Ом;

$$R_{\text{д}} \leq \frac{R_{\text{п.м.}}}{n^2}, \text{ проверка при взрывании от взрывной машинки.}$$

где  $R_{\text{п.м.}}$  - сопротивление взрывной машинки по паспорту,  $n$  - число параллельно подключенных ЭД.



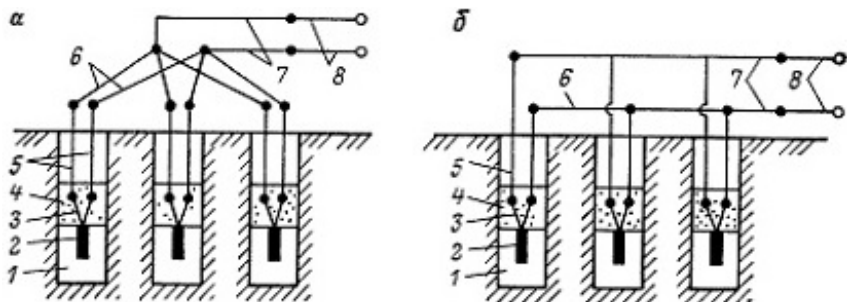


Рис. 6. Параллельное соединение ЭД: а - пучковое; б - ступенчатое

В качестве источника тока для инициирования электровзрывных сетей следует применять:

- в выработках, не опасных по взрыву газа и пыли:  
взрывные машинки КПМ-4А, КПМ-3,  
взрывные приборы ПИВ-100М, КВП-2/200.
- в выработках, опасных по газу и пыли:  
только взрывные приборы КВП-1/100М, ПИВ-100М, ВПА,  
взрывное устройство ЖЗ-2460 программируемое;

## 11. Определение границ опасной зоны

При взрывании шпуровых зарядов в подземных выработках необходимо устанавливать безопасное расстояние по разлету кусков взорванной породы и по действию ударной воздушной волны [8]

В любом случае, согласно Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах» при взрывных работах укрытие для взрывника должно располагаться на свежей струе воздуха за поворотами выработки на расстоянии не менее 150 м от места взрыва

При проходке стволов шахт минимальный радиус опасной зоны составляет 50 м от устья ствола.

Посты оцепления опасной зоны должны находиться на 10 метров дальше места нахождения укрытия взрывника только на свежей струе воздуха.

## **12. Техничко-экономические показатели проходки**

Основными технико-экономическими показателями проходки горной выработки буровзрывным способом являются: фактический расход взрывчатых веществ, электродетонаторов (капсюлей-детонаторов), детонирующего шнура, шпурометров, забойки, магистральных проводов на цикл, на  $1 \text{ м}^3$ , на 1 м выработки. Все эти расчетные данные сводятся в таблицу. Кроме того, рассчитывается объем взорванной породы с учётом коэффициента разрыхления.

## РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

### *Основной*

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности при взрывных работах". М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2015.

2. *Кутузов Б.Н.* Справочник взрывника. М : Недра, 1988. 511 с.

3. *Очкуров В.И.* Буровзрывная технология проведения горизонтальных выработок. СПб. 2008. 163 с.

4. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 сентября 2011 г. N 537 "Об утверждении Перечня взрывчатых материалов, оборудования и приборов взрывного дела, допущенных к применению в Российской Федерации"

5. *Кутузов Б.Н.* Разрушение горных пород взрывом. МГГУ, М., 2018. 512 с.

### *Дополнительный*

6. *Шехурдин В.К.* Задачник по горным работам, проведению и креплению горных выработок М.: Недра, 1985. 240 с.

7. *Вяльцев М.М.* Технология строительства горных предприятий в примерах и задачах. М.: Недра, 1989. 240 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
Организация курсового проектирования .....	3
Методические рекомендации по выполнению основных разделов проекта.....	7
Рекомендуемый библиографический список.....	27

## **ТЕХНОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ**

*Методические указания к курсовому проектированию  
для студентов бакалавриата направления 20.03.01*

Сост.: *В.Н. Ковалевский, В.В. Должииков, Г.П. Парамонов*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой  
взрывного дела

Ответственный за выпуск *В.Н. Ковалевский*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 18.03.2019. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 1,6. Усл.кр.-отг. 1,6. Уч.-изд.л. 1,3. Тираж 75 экз. Заказ 218. С 81.

Санкт-Петербургский горный университет  
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета  
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2