

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

**Кафедра строительства горных предприятий  
и подземных сооружений**

**СТРОИТЕЛЬСТВО  
ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ  
БУРОВЗРЫВНОЙ СПОСОБ ПРОВЕДЕНИЯ  
ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

*Методические указания к практическим занятиям  
для студентов специальности 21.05.04*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2019**

УДК 622.2(073)

**СТРОИТЕЛЬСТВО ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ. Буровзрывной способ проведения горизонтальных горных выработок.** Методические указания к практическим занятиям / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *О.В. Трушко, Д.А. Потемкин, П.К. Тулин.* СПб, 2019. 23 с.

Методические указания содержат материал по расчету и построению паспорта буровзрывных работ, расчету электровзрывной сети и информацию о средствах механизации, используемых при проведении горизонтальных горных выработок буровзрывным способом.

Полученные студентами на практических занятиях знания и навыки необходимы в дальнейшем при выполнении курсовых и дипломных проектов по специальным дисциплинам.

Предназначены для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализаций «Подземная разработка пластовых месторождений», «Подземная разработка рудных месторождений».

Научный редактор проф. *А.Г. Протосеня*

Рецензент канд. техн. наук *А.Б. Максимов* (ООО «Геотехническое бюро»)

## **ВВЕДЕНИЕ**

Практические занятия предназначены для более глубокого усвоения лекционного материала по теме «Проведение горизонтальных горных выработок буровзрывным способом».

В процессе занятий студенты изучат методы и способы буровзрывных работ (БВР); технику и технологию безопасного ведения БВР; характеристики взрывчатых веществ (ВВ); общие принципы проектирования буровзрывных работ и средства механизации; нормативную документацию; инженерные мероприятия по обеспечению промышленной и экологической безопасности при ведении буровзрывных работ; основы охраны труда и безопасности при работе с ВВ.

По окончании курса «Строительство горных предприятий» студенты смогут выбирать с учетом свойств горных работ оптимальную технологию и механизацию БВР, тип ВВ и средства взрывания (СВ) при проектировании горных работ; правильно выполнять все процессы взрывных работ; выбирать оптимальную организацию БВР, составлять проектную документацию с учетом промышленной и экологической безопасности; владеть информационными технологиями для обоснования оптимальных и безопасных параметров БВР; терминологией в области буровзрывных работ; основными нормативными документами в области взрывного дела по снижению негативного воздействия на окружающую среду.

## **1. БУРОВЗРЫВНОЙ СПОСОБ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫРАБОТОК**

Параметры буровзрывного комплекса работ должны обеспечить заданную форму, размеры поперечного сечения выработки и равномерное дробление породы. Производительная погрузка породы и высокий коэффициент использования шпуров должны быть достигнуты при минимально возможном количестве шпуров и оптимальной их глубине. [3]

Основными показателями эффективности взрыва являются: подвигание забоя за цикл, удельный расход ВВ, величина разброса и дробимость породы, коэффициент использования шпура (КИШ) и др.

Буровзрывные работы должны проектироваться с соблюдением «Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом». [1]

### **1.1. ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА И СРЕДСТВА ВЗРЫВАНИЯ**

При выборе взрывчатого вещества руководствуются требованиями безопасного производства работ.

Номенклатура ВВ, допущенных для взрывных работ при проведении горных выработок (таблица 1), систематически пересматривается. [5]

Таблица 1

### Характеристика взрывчатых веществ

Класс	Тип	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Работоспособность, см <sup>3</sup>	Бризантность, мм	Диаметр патрона, мм	Масса в патроне, г	Примечание
<i>Для рудников и шахт, не опасных по газу или пыли</i>							
II	Аммонит № 6 ЖВ	1,0-1,2	365-380	14-16	31; 32 36; 37	200; 250 300	ГОСТ 21984-76
	Детонит М	0,95 - 1,3	450-500	17-22	27; 28 31; 32 36; 37	150; 200 200; 250 250; 300	ГОСТ Р 52035-2003
	Динафгалит 100	1,0-1,15	320-350	32	32	250	ГОСТ 14839.5-69
<i>Предохранительные для породных забоев, опасных по метану</i>							
III	Аммонит АП-5ЖВ	1,0-1,15	320-330	14-17	36; 37	200; 300	ГОСТ 21982-76
	Угленит Э-6	1,1-1,15	130-170	15-17	36; 37	200; 250; 300	ГОСТ Р 52036-2003
<i>Предохранительные для угольных забоев в шахтах опасных по газу и пыли</i>							
IV	Аммонит Т-19	1,05-1,2	265-280	15-17	36; 37	200; 300	ГОСТ 21982-76
<i>Повышенной предохранительности для угольных и смешанных забоев в шахтах всех категорий опасности при сульфурном выделении метана</i>							
IV	Угленит Э-6	1,1-1,25	130-170	7-11	38	300	ГОСТ Р 52036-2003
	Угленит 5	1,1-1,35	50-90	4-8	36; 37	150; 200; 250	ГОСТ Р 52036-2003
	Угленит П-12Ц5	1,2-1,25	110-125	8-11	38	300	ГОСТ Р 52036-2003

При электрическом способе взрывания в качестве средств взрывания используют электродетонаторы (ЭД) мгновенного (ЭД-8Э, ЭД-8-ПМ), короткозамедленного (ЭДКЗ, ЭДКЗ-15ПМ, ЭДКЗ-25ПМ) и замедленного (ЭДЗД) действия.

В шахтах, не опасных по газу и пыли, применяют предохранительные электродетонаторы мгновенного действия ЭД-8Э и замедленного действия ЭДЗД с интервалом замедления от 0,5 до 10 с (длина проводов 2-4 м).

В шахтах опасных по газу или пыли, допускаются предохранительные электродетонаторы ЭД-КЗ-ОП, ЭД-КЗ-П, ЭД-КЗ-ПМ (ГОСТ 21806-76).

При огневом способе взрывания в качестве средств взрывания используют капсули-детонаторы (КД) и огнепроводные шнуры (ОШ) трех марок: ОША – асфальтированный, ОШЭ - экструзионный и ОШП – пластиковый.

Средствами взрывания огнепроводного шнура являются электророзжигательные трубки ЭЗТ-2, зажигательный патрон ЗП-Б.

Детонирующие шнуры марок ДША, ДШВ и ДШЭ-12 используют для детонации заряда ВВ на взрывных работах, кроме шахт, опасных по газу и пыли.

## **1.2. РАСЧЕТ ПАСПОРТА БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ**

### ***1. Коэффициент использования шнуров (КИШ)***

$$\eta = l_{\text{зах}} / l_{\text{шп}}, \quad (1.1)$$

где  $l_{\text{зах}}$  – подвигание забоя за цикл, м;  $l_{\text{шп}}$  – глубина шнура, м.  
Коэффициент использования шнуров находится в пределах: 0,8-0,95.

### ***2. Коэффициент излишка сечения (КИС)***

$$\mu = S_{\text{пр}} / S_{\text{вч}}, \quad (1.2)$$

где  $S_{\text{пр}}$  – площадь выработки в проходке, м<sup>2</sup>;  $S_{\text{вч}}$  – площадь выработки в вчерне, м<sup>2</sup>.

Коэффициент излишка сечения находится в пределах: 1,03-1,12.

### **3. Коэффициент заряжения (заполнения) шпуров (КЗШ)**

$$a = l_{\text{зар}} / l_{\text{шп}}, \quad (1.3)$$

где  $l_{\text{зар}}$  – длина заряда, м;  $l_{\text{шп}}$  – длина шпура, м.

Коэффициент заряжения (заполнения) шпуров  $a$  при проведении выработок в шахтах, не опасных по газу и пыли, зависит от крепости породы и диаметра патрона ВВ:

$f$	$\leq 3$	3-6	$\geq 6$
$a$	0,55-0,65	0,65-0,75	0,75-0,85

В шахтах опасных по газу и пыли  $a \leq 0,66$

### **4. Выбор типа взрывчатого вещества (ВВ)**

Выбор взрывчатого вещества производится согласно таблице 1.

### **5. Определение глубины шпуров**

Глубина шпуров зависит от физико-механических свойств горных пород, площади забоя, типа бурового оборудования и общей организации работ в забое.

При проведении горизонтальных и наклонных выработок рациональная глубина шпуров составляет от 1,6 до 2,6 м.

Меньшая длина приводит к значительному увеличению удельного веса подготовительно-заключительных операций при бурении. Большая длина снижает скорость бурения шпуров.

Забои шпуров не должны выходить за границу максимальных сжимающих напряжений, расположенной на расстоянии  $(0,4 \div 0,6) \cdot B$  от плоскости забоя.

Здесь  $B$  – наибольшая ширина выработки в проходке. Длина врубовых шпуров увеличивается на 10-15% по сравнению со средней длиной шпура.

$$l_{\text{шп}} = \frac{V \cdot T_{\text{ц}}}{v \cdot m \cdot \eta}, (\text{м}) \quad (1.4)$$

где  $V$ - месячная скорость проведения выработки, для кваршлагов и полевых штреков, м/мес ( $\geq 70$  м/мес);  $T_{\text{ц}}$  – продолжительность цикла (1-2 смены);  $v$  – количество смен в сутки по проходке выработки (4 смены);  $m$  – количество рабочих дней для проходческой бригады в месяц (25 дней);  $\eta$  - КИШ (0,8 – 0,95).

$$l_{\text{зах}} = \eta \cdot l_{\text{шп}}, (\text{М}) \quad (1.5)$$

### **6. Определение удельного расхода ВВ**

Удельный расход - количество ВВ необходимого для дробления и выброса из забоя  $1 \text{ м}^3$  породы.

Из эмпирических формул для определения удельного расхода ВВ более точные результаты дает формула Н.М. Покровского:

$$q = q_1 \cdot f_0 \cdot v \cdot e \cdot m, (\text{кг/м}^3) \quad (1.6)$$

где  $q_1 = 0,1 \cdot f$  – нормальный удельный расход,  $\text{кг/м}^3$ ;  
 $f$  – средняя крепость пород в забое выработки;

$f_0$  – коэффициент структуры породы;

$$f = 10-12 \Rightarrow f_0 = 2,0;$$

$$f = 7-10 \Rightarrow f_0 = 1,4;$$

$$f = 4-6 \Rightarrow f_0 = 1,3;$$

$$f = 2-4 \Rightarrow f_0 = 0,8.$$

$v$  – коэффициент зажима породы при одной обнаженной поверхности забоя выработки ( $v=1,1-1,5$  при двух обнаженных поверхностях);



$$v = \frac{6,5}{\sqrt{S_{вч}}}, \quad (1.7)$$

$e$  – коэффициент работоспособности ВВ;

$$e = \frac{380}{P}, \quad (1.8)$$

где  $P$  – работоспособность принятого ВВ, см<sup>3</sup>; 380 – работоспособность эталонного ВВ – Аммонит 6 ЖВ.

$m$  – коэффициент учитывающий диаметр патрона ВВ.

$$d_{п}=24 \text{ мм} \Rightarrow m=1,1;$$

$$d_{п}=32 \text{ мм} \Rightarrow m=1,0;$$

$$d_{п}=36 \text{ мм} \Rightarrow m=0,97;$$

$$d_{п}=40 \text{ мм} \Rightarrow m=0,95.$$

### 7. Расход ВВ на взрыв (теоретический расход ВВ)

$$Q_T = V_{г.п.} \cdot q = S_{вч} \cdot l_{шп} \cdot q, \text{ (кг)} \quad (1.9)$$

где  $V_{г.п.}$  – объем пород, который планируется раздробить в результате взрыва, м<sup>3</sup>;  $q$  – удельный расход ВВ, кг/м<sup>3</sup>.

### 8. Определение количества шпуров

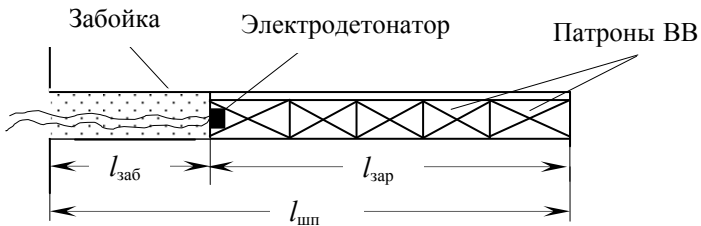
$$N = \frac{1,27 \cdot q \cdot S_{пр}}{\Delta \cdot d_{п}^2 \cdot a \cdot k}, \text{ (шп)} \quad (1.10)$$

где  $q$  – удельный расход ВВ, кг/м<sup>3</sup>;  $S_{пр}$  – площадь выработки в проходке, м<sup>2</sup>;  $\Delta$  – плотность ВВ в патроне, кг/м<sup>3</sup>;  $a$  – КЗШ (значения КЗШ по СНиП 3.02.03-84);  $k$  – коэффициент учитывающий уплотнение ВВ в шпуре = 1.

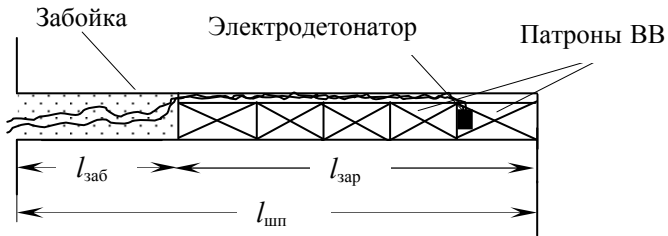
Окончательно количество шпуров уточняется при выполнении графического построения паспорта БВР.

Наиболее распространена колонковая сплошная конструкция заряда ВВ. Обратное инициирование заряда повышает коэффициент использования шпуров на 8-15 % и качество дробления породы, уменьшает её разброс по выработке.

На шахтах опасных по газу и пыли применяется прямое инициирование.



На шахтах не опасных по газу и пыли может применяться обратное инициирование.



Минимальная длина забойки шпуров в шахтах, опасных по газу или пыли, регламентируется: при глубине шпуров 0,6-1,0 м – не более половины длины шпура; при глубине шпуров более 1 м – не менее 0,5 м; при применении скважин – не менее 1,0 м.

## **9. Распределение ВВ по шпурам**

а. Средняя величина заряда в шпуре:

$$q_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{T}}}{N}, (\text{кг}) \quad (1.11)$$

где  $Q_{\text{T}}$  – расход ВВ на взрыв (теоретический), кг;  $N$  – количество шпуров, шт.

б. Величина заряда во врубовых, отбойных и контурных шпурах:

$$\begin{aligned} q_{\text{вр}} &= 1,2 \cdot q_{\text{ср}}, (\text{кг}) \\ q_{\text{отб}} &= q_{\text{ср}}, (\text{кг}) \\ q_{\text{кон}} &= 0,9 \cdot q_{\text{ср}}, (\text{кг}) \end{aligned} \quad (1.12)$$

$q_{\text{вр}} >$  на 15-20% средней величины заряда.

$q_{\text{кон}} <$  на 10-15% средней величины заряда.

в. Масса заряда в шпуре должна быть кратна массе патрона (в шпуре должно быть целое число патронов).

$$\begin{aligned} q_{\text{вр}}^n &= \frac{q_{\text{вр}}}{m}, \\ q_{\text{отб}}^n &= \frac{q_{\text{отб}}}{m}, \\ q_{\text{кон}}^n &= \frac{q_{\text{кон}}}{m}. \end{aligned} \quad (1.13)$$

где  $m$  – масса патрона, (кг) (см. таблицу 1).

### **10. Определение длины заряда, коэффициента заряжения и длины забойки**

а. Определение длины заряда:

$$\begin{aligned}
 l_{\text{зар}}^{\text{вр}} &= \frac{q_{\text{вр}}}{\Delta \cdot S_{\text{патр}}}, \text{ (см)} \\
 l_{\text{зар}}^{\text{отб}} &= \frac{q_{\text{отб}}}{\Delta \cdot S_{\text{патр}}}, \text{ (см)} \\
 l_{\text{зар}}^{\text{кон}} &= \frac{q_{\text{кон}}}{\Delta \cdot S_{\text{патр}}}, \text{ (см)}
 \end{aligned}
 \tag{1.14}$$

где  $q_{\text{вр}}$  – величина заряда, г;  $\Delta$  - плотность ВВ в патроне, (г/см<sup>3</sup>);  $S_{\text{патр}}$  - площадь поперечного сечения патрона, см<sup>2</sup>.

б. Определение коэффициента заряжения (заполнения) шпуров.

$$\begin{aligned}
 a_{\text{вр}} &= \frac{l_{\text{зар}}^{\text{вр}}}{l_{\text{шп}}^{\text{вр}}}; \\
 a_{\text{отб}} &= \frac{l_{\text{зар}}^{\text{отб}}}{l_{\text{шп}}^{\text{отб}}}; \\
 a_{\text{кон}} &= \frac{l_{\text{зар}}^{\text{кон}}}{l_{\text{шп}}^{\text{кон}}};
 \end{aligned}
 \tag{1.15}$$

в. Определение длины забойки (см).

$$\begin{aligned}
 l_{\text{заб}}^{\text{вр}} &= l_{\text{шп}}^{\text{вр}} - l_{\text{зар}}^{\text{вр}}, \text{ (см)} \\
 l_{\text{заб}}^{\text{отб}} &= l_{\text{шп}}^{\text{отб}} - l_{\text{зар}}^{\text{отб}}, \text{ (см)} \\
 l_{\text{заб}}^{\text{кон}} &= l_{\text{шп}}^{\text{кон}} - l_{\text{зар}}^{\text{кон}}, \text{ (см)}
 \end{aligned}
 \tag{1.16}$$

### 11. Уточненный (фактический) общий расход ВВ на заходку

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{ф}} &= q_{\text{вр}} \cdot N_{\text{вр}} + q_{\text{отб}} \cdot N_{\text{отб}} + q_{\text{кон}} \cdot N_{\text{кон}}, \text{ (кг)} \\
 Q_{\text{ф}} &\geq Q_{\text{т}}
 \end{aligned}
 \tag{1.17}$$

Таблица 2

### Данные о шпурах и зарядах

NN, шпур	Кол-во шпуров	Длина шпура, м	Масса заряда, кг	Угол наклона, град		Коеф. заряжения	Длина забойки, м	Степень замедления, мс	Очередность взрывания
				гор.	верт.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Врубов.									
Отбойн.									
<i>Отбойн.</i>									
Контур.									
Шпур на канавку									

Таблица 3

### Показатели БВР

N/N	Показатель	Ед. изм.	Количество
1	2	3	4
1	Крепость пород	-	
2	Кол-во ВВ на взрыв	кг	
3	Удельный расход ВВ на 1 м	кг/м	
4	Удельный расход ВВ на 1 м <sup>3</sup>	кг/м <sup>3</sup>	
5	Расход ЭД (.....)	шт.	
6	КИШ	-	
7	Тип взрывной машинки (.....)	шт.	

### 1.3. РАСПОЛОЖЕНИЕ ШПУРОВ

Схему расположения шпуров в забое выбирают в зависимости от крепости и структуры пород, формы и размеров поперечного сечения выработки, количества обнаженных поверхностей, применяемого бурового оборудования и способа взрывания.

Шпуры должны располагаться так, чтобы исключить подрыв одного шпурового заряда другим и обеспечить качественное оконтуривание выработок и компактный разброс породы. [7]

Устья оконтуривающих шпуров отстоят от контура выработки на 10-25 см, забой этих шпуров выводят на проектный контур выработки, а в крепких породах ( $f \geq 9$ ) – за проектный контур на 10-15 см.

Минимальное расстояние между шпуровыми зарядами должно быть:

- не менее 0,6 м в угольном забое;

- в породном забое 0,3 м при крепости пород  $f \geq 7$  и 0,45 м при  $f < 7$ .

Прямые врубы позволяют применять более глубокие шпуры (2,5-3м) даже в крепких породах, что обеспечивает более полное использование бурильных машин и снижение расхода шпурометров на  $1 \text{ м}^3$  взорванной породы.

Число врубовых шпуров составляет от 2 до 10. Чаше вруб размещают в центральной части забоя или несколько смещают к почве выработки.

Отбойные шпуры бурят по нормали (реже под углом) к поверхности забоя, располагая их между врубовыми и оконтуривающими по линии подобной поперечному сечению выработки.

Ряд отбойных шпуров должен отстоять от врубовой полости на расстоянии не превышающим величины линии наименьшего сопротивления (ЛНС).

$$W_{\text{отб}} = \frac{32d_{\text{п}}}{4\sqrt{f}} \sqrt{n} \cdot \sqrt[3]{e}, \quad (1.18)$$

где  $n$  – число поверхностей обнажения ( $n=1$  для врубовых шпуров;  $n=2$  для отбойных шпуров).

Расстояние между врубовыми шпурами:  $a_{\text{вд}} = (0,9 \div 1,0) \cdot W_{\text{вд}}$ .

Расстояние между отбойными шпурами в ряду принимают равным:  $a_{\text{отб}} = (0,8 \div 1,0) \cdot W_{\text{отб}}$ .

Расстояние между смежными оконтуривающими шпурами в боках и кровле выработки принимается:  $a_{\text{кон}} = (0,75 \div 0,9) \cdot W_{\text{отб}}$

Расстояние между оконтуривающими шпурами в почве выработки принимается:  $a_{\text{кон. почв.}} = (0,6 \div 0,7) \cdot W_{\text{отб}}$ .

#### 1.4. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОЙ СЕТИ

Выбранная схема соединения электродетонаторов проверяется расчетом общей силы тока в сети и тока, проходящего через каждый электродетонатор.

При выборе источника тока определяют общее сопротивление сети и минимальную силу тока в цепи, обеспечивающую безот-

казное взрывание всех электродетонаторов, затем вычисляют необходимое напряжение, по которому и подбирают источник тока.

Источником тока для электродетонаторов с нихромовыми мостиками накаливания в шахтах, опасных по газу или пыли, служат машинки конденсаторного типа ВМК, КПМ-1А, ПИВ-100М; КВП-1/100М и другие или постоянный ток. Электродетонаторы соединяют последовательно.

С учетом изгибов длина проводов принимается на 10 % больше расчетной.

Сопротивление электродетонаторов при расчете цепи принимается равным 2 Ом.

При электрическом способе вызывания в каждый электродетонатор сети должен поступать постоянный ток силой  $>1,3\text{А}$  при одновременном взрывании до 100 электродетонаторов и не менее  $2,5\text{А}$  при взрывании переменным током.

Расчет электровзрывной сети проверяется по формулам, приведенным ниже.

При работах с применением электрического взрывания группы ЭД соединяют между собой последовательно, параллельно, последовательно-параллельно и параллельно-последовательно.

Последовательное соединение состоит в том, что концы детонаторных проводников заряда ВВ соединяются между собой, а два крайних конца присоединяются к магистрали, идущей к источнику тока.

При последовательном соединении через все ЭД проходит ток одинаковой силы:

$$I = \frac{E}{r \cdot n + r_0 + R}, \quad (1.19)$$

где  $E$  - электродвижущая сила источника тока, В;  $r$  - сопротивление одного электродетонатора, Ом;  $n$  - число ЭД в цепи;  $r_0$  - внутреннее сопротивление источника тока, Ом;  $R$  - сопротивление подводящих проводников, Ом.

Общее сопротивление электровзрывной сети:

$$R_{\text{общ}} = R_{\text{м}} + R_{\text{с}} + R_{\text{у}} + NR_{\text{к}} + \sum_1^N R_{\text{ЭД}}, \quad (1.20)$$

где  $R_{\text{м}}$ ,  $R_{\text{с}}$ ,  $R_{\text{у}}$ ,  $R_{\text{к}}$ ,  $R_{\text{ЭД}}$  – соответственно сопротивление магистральных проводов, соединительных, участковых, концевых, ЭД, Ом;  $N$  – число ЭД, а сопротивление проводов:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}, \quad (1.21)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление материала провода;  $l$ ,  $S$  – соответственно длина и сечение провода. Безопасность при постоянном токе обеспечивается при условии:

$$I = \frac{U}{R_{\text{общ}}} \geq I_{\Gamma}, \quad (1.22)$$

где  $I$  – сила тока, поступающего в ЭД, А;  $U$  – напряжение источника тока, В;  $I_{\Gamma}$  – гарантийный ток, А.

Параллельное соединение состоит в том, что каждый концевой провод ЭД присоединяется к разным магистральным проводам. При этом способе соединения требуется значительно более мощный источник тока, чем при последовательном:

$$I = \frac{E}{\frac{r}{n} + r_0 + R}, \quad (1.23)$$

Общее сопротивление группы параллельно соединенных ЭД находится из выражения:

$$\frac{1}{R_{\Gamma}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}, \quad (1.24)$$

где  $R_1$ ,  $R_2$ , ...,  $R_n$  – сопротивление электродетонаторов, Ом.



Различают параллельно-ступенчатое соединение, когда электродетонаторы постепенно присоединяют к двум параллельным проводам по ступеням, и параллельно-пучковое соединение, когда электродетонаторы в виде пучков присоединяют к металлическим проводам.

Общее сопротивление при параллельно-ступенчатом соединении электровзрывной сети определяется по формуле:

$$R_{\text{общ}} = R_{\text{м}} + R_{\text{с}} + R_{\text{у}} + \frac{R_{\text{ЭД}} + R_{\text{к}}}{N}. \quad (1.25)$$

Параллельно-последовательный способ соединения состоит в том, что ЭД разделяют на группы, в каждой из которых имеются последовательные и параллельные соединения. При данном способе соединения следует следующие условия: 1) в каждой группе должно быть одинаковое число ЭД; сопротивление во всех группах должно быть одинаковым.

Общее сопротивление взрывной сети в этом случае составит:

$$R_{\text{общ}} = R_{\text{м}} + R_{\text{с}} + \frac{R_{\text{к}} + R_{\text{ЭД}} + R_{\text{к}}}{n_1} m_1, \quad (1.26)$$

где  $m_1$  – число последовательно соединенных групп ЭД;  $n_1$  – число параллельно соединенных ЭД в группе, а величина тока в магистрали:

$$I = \frac{U}{R_{\text{м}} + R_{\text{с}} \left( \frac{R_{\text{у}}}{n} + R_{\text{у}} \right) m}. \quad (1.27)$$

Последовательно-параллельный способ состоит в том, что ЭД в группах соединяются между собой последовательно, а группы их включаются в электровзрывную сеть параллельно.

Величина тока в этом случае:

$$I = \frac{E}{\frac{n^2}{m} + r_0 + R}. \quad (1.28)$$

Общее сопротивление взрывной сети:

$$R_{\text{общ}} = R_{\text{м}} + \frac{R_{\text{с}} + R_{\text{у}} + n(R_{\text{ЭД}} + R_{\text{к}})}{m}, \quad (1.29)$$

где  $n$  – число последовательно включенных ЭД в группе;  $m$  – число параллельных групп ЭД, а величина тока в магистрали:

$$I \geq mI_{\Gamma}. \quad (1.30)$$

### 1.5. БУРИЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Бурение шпуров является одним из основных и наиболее трудоемких процессов при проведении выработок буровзрывным способом. [4,2,6,7]

Продолжительность и трудоёмкость бурения шпуров составляют 20-35 % общей продолжительности и трудоемкости проходческого цикла. Поэтому правильный выбор средств бурения при проведении выработок буровзрывным способом имеет большое значение.

В породах средней крепости и крепких бурение шпуров глубиной (длиной) до 3-4 м осуществляют машинами ПП-25, ПП-30, установленными на пневмоподдержки с виброгасящими каретками (таблица 4).

В породах с  $f = 3 \div 8$  применяют также колонковые электрошверла. Наибольшее распространение получили СЭК-1, СЭК-2, ЭБГ (таблица 5), которые могут устанавливаться на манипуляторах погрузочных машин.

Для бурения шпуров в горизонтальных выработках угольных шахт широкое распространение получили бурильные установки БУЭ-1, БУЭ-1м, БКГ-2 с электроприводом и бурильные установки БУ-1, БУ-1м, БУР-2 и СБУ-2м с пневмоприводом (таблица 6). В настоящее время все большее распространение получает установка БУЭ-3т с электроприводом на гусеничном ходу.

Таблица 4

### Техническая характеристика бурильных машин ударного действия [7,9]

Марка	Расход воздуха, м <sup>3</sup> /мин	Диаметр воронки, мм	Масса, кг
ПП-20Л	2,8	46	26,5
ПП-25Л	3,5	52	32
ПП-25ЛБ	3,5	52	33
ПП-30Л	3,5	52	35
ПК-3	3,5	52	30
ПК-5	4,7	85	42
ПК-9	7,1	85	60
ПК-50	9,6	85	50
ПК-65	12-15	85	65

При проведении восстающих выработок по крепкой породе снизу вверх шпуры бурят телескопными бурильными машинами.

Таблица 5

### Техническая характеристика бурильных машин вращательного действия

Марка	Мощность электродвигателя, кВт	Диаметр шпура, мм	Основные размеры, мм			Масса, кг
			длина	ширина	высота	
Ручные электросверла						
ЭР-14Д-2м	1,0	36-43	375	316	230	16
ЭР-18Д-М	1,4	36-43	388	316	230	17
ЭРП-18Д-М	1,4	36-43	468	316	230	24
СЭР-19М	1,2	36-43	390	320	300	18
Колонковые электросверла						
СЭК-1М	4,8	до 50	1680	422	407	110
ЭБГП-1м	3,5	до 50	1680	400	400	130
ЭБГ	2	до 50	1500	410	400	120
ЭДП-20 (длинноходовое)	2	до 50	550	300	295	42
Пневматические сверла *						
СР-3М	1,05-1,0	36-52	345	445	280	13,5
СР-3Б	1,0	36-52	325	445	280	12,5

\* Вместо мощности электродвигателя указан расход воздуха, м<sup>3</sup>/мин

Таблица 6

## Техническая характеристика электрических и пневматических бурильных установок

Параметр	БУЭ-1	БУЭ-1м	БУЭ-3т	БКГ-2	БУ-1	СБКН-2М	СБКНС-2	УБН-2П
Площадь сечения выработки в черне, м <sup>2</sup>	6-11	8-12	9-25	9-22	7-20	6-12	5-7	6-14
Диаметр шпура, мм	42	42	42	42	43	43	42	42
Глубина бурения, м	3	3	3	2,8	2,7	2,5	2,0	2,75
Максимальный коэффициент крепости пород	8	16	16	16	14	16	16	12
Количество бурильных машин	1	1	2	2	1	2	2	2
Способ бурения	Вращательный			Универсальный				Ударно-поворот.
Угол наклона выработки, град.	3	3	10	3	3	3	3	3
Тип механизма передвижения	Колесно-рельсовый	Колесно-рельсовый	Гусеничный		Колесно-рельсовый			Пневмо-колёсн.
Установленная мощность, кВт	15	15	7,5 (головки)	40	6,62	-	-	-
Основные размеры в транспортном положении, м:							на базе ППН-1С	
Ширина	1,15	1,15	1,75	1,32	1,08	1,35	-	1,5
Высота	1,2	1,2	1,95	1,4	1,5	1,30	-	1,5
Длина	8,2	8,9	10,2	7,2	6,5	6,5	-	6,8
Масса, кг	5200	5400	13400	5500	2300	5700	-	6450

## 1.6. ПАСПОРТ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

После расчета всех параметров буровзрывного комплекса составляется паспорт буровзрывных работ, который должен быть представлен в виде графической части.

В паспорте БВР должна быть представлена схема расположения шпуров (в трёх проекциях), указаны количество и диаметр шпуров, их глубина и углы наклона, количество серий взрывания, последовательность взрывания, величина зарядов в шпурах, общий и удельный расход ВВ, расход электродетонаторов, длина внутренней забойки каждого шпура и общее количество забоечного материала для всех шпуров.

Расчётная часть паспорта буровзрывных работ выполняется в форме пояснительной записки в электронном виде на листах А4 и распечатывается на принтере, графическая часть выполняется либо в AutoCAD, либо на миллиметровке формата А3.

Масштаб графических построений должен отвечать ГОСТу и должен быть не менее 1:25. На чертеже должны быть проставлены все необходимые размеры и подписи.

Пояснительная записка должна содержать необходимые расчеты и обоснования принятых решений, эскизы и схемы, поясняющие текст.

Последовательность и порядок расчетов должны соответствовать данным методическим указаниям.

При проектировании буровзрывных работ следует предусмотреть меры безопасности, обратив внимание на особенности безопасного ведения работ в газовых шахтах. Для пояснения текстовой части данного раздела в записке или на чертеже следует привести соответствующие схемы (схему конструкции заряда в шпуре, соединения детонаторов во взрывной сети и пр.)

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом (ПБ 03-553-03). М., 2003.

2. Кузиев Д.А. Горные машины и оборудование. Шахтное и подземное строительство [Электронный ресурс]: Методические указания по выполнению практических работ/ Кузиев Д.А. – Электрон. текстовые данные. – М.: Издательский Дом МИСиС, 2017. – 55 с.

3. Кутузов Б.Н. Проектирование и организация взрывных работ: учебник / Кутузов Б.Н., Белин В.А. – М.: Горная книга, 2012. – 416 с.

4. Мельник В.В. Подземная геотехнология. Основы технологии сооружения участковых подземных горных выработок [Электронный ресурс]: Учебное пособие/ Мельник В.В., Абрамкин Н.И., Виткалов В.Г.– Электрон. текстовые данные. – М.: Издательский Дом МИСиС, 2016. – 93 с.

5. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 сентября 2011 г. № 537 «Об утверждении Перечня взрывчатых материалов, оборудования и приборов взрывного дела, допущенных к применению в Российской Федерации», 2011.

6. Протосеня А.Г. Строительство горных предприятий и подземных сооружений [Электронный ресурс]: Учебник/ Протосеня А.Г., Долгий И.Е., Очкуров В.И. – Электрон. текстовые данные. – СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2015. – 390 с.

7. Трушко О.В. Строительство горных предприятий [Электронный ресурс: Учебное пособие / Трушко О.В., Потёмкин Д.А. СПбПУ. СПб, 2018. - 170 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. БУРОВЗРЫВНОЙ СПОСОБ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК.....	4
1.1. Взрывчатые вещества и средства взрывания.....	4
1.2. Расчет паспорта буровзрывных работ.....	6
1.3. Расположение шпуров.....	13
1.4. Расчет электровзрывной сети.....	14
1.5. Бурильные машины.....	18
1.6. Паспорт буровзрывных работ.....	21
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	22

**СТРОИТЕЛЬСТВО  
ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**БУРОВЗРЫВНОЙ СПОСОБ ПРОВЕДЕНИЯ  
ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

*Методические указания к практическим занятиям  
для студентов специальности 21.05.04*

Сост.: *О.В. Трушко, Д.А. Потемкин, П.К. Тулин*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой  
строительства горных предприятий и подземных сооружений

Ответственный за выпуск *О.В. Трушко*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 11.09.2019. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 1,3. Усл.кр.-отт. 1,3. Уч.-изд.л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 786. С 282.

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