

**КАФЕДРА СТРОИТЕЛЬНОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ И ГОРНЫХ  
СООРУЖЕНИЙ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению практических занятий

по курсу

**"РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ВЗРЫВОМ"**

(для студентов специальности 7.090301, 7.090303, 7.090307,  
7.090216 дневной и заочной форм обучения – бакалавры)

Алчевск,  
2006

УДК 622.236.4 622.02 (075.8)

Методические указания к выполнению практических занятий по курсу "Разрушение горных пород взрывом" с использованием элементов ФГП (для студ. спец. 7.090301, 7.090303, 7.090307, 7.090216 дневной и заочной форм обучения - бакалавры) /Сост.: А.Я. Попов, - Алчевск: ДонГТУ, 2006-46с.

Изложены цели, задачи, методики выполнения практических занятий, приведены основные требования, предъявляемые к оформлению работ.

Составитель:	А.Я. Попов, доцент.
Ответственный редактор:	В.К.Колодийчак
Ответственный за выпуск	Г.И. Гайко профессор.

УДК 622.236.4 622.02 (075.8)

Методичні вказівки до виконання практичних занять з курсу "Руйнування гірських порід вибухом з виконанням елементів ФГП ( для студ. спец. 7.090301, 7.090303, 7.090307, 7.090216 денної та заочної форм навчання – бакалаври) / Укл.: О.Я.Попов, - Алчевська: ДонДТУ , 2006. – 48с.

Викладено цілі, задачі, методики виконання практичних занять, наведені основні вимоги, що пред'являються до оформлення робіт.

Укладач:	О.Я.Попов, доцент
Відповідний за випуск:	В.І.Гайко, професор
Відповідний редактор:	В.К.Колодийчак

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ I  
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КИСЛОРОДНОГО  
БАЛАНСА, ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА, ОБЪЕМА ГАЗОВ И ТЕПЛОТЫ  
ВЗРЫВА ОТ СОДЕРЖАНИЯ КОМПОНЕНТОВ ВЗРЫВЧАТОЙ СМЕСИ

Цель работы: установление зависимости кислородного баланса, значения удельной теплоты взрыва и удельного объема газов при взрыве от содержания компонентов взрывчатых смесей.

Следует помнить: большинство промышленных взрывчатых веществ (ВВ) состоят из следующих химических элементов: водорода, углерода, кислорода, азота. При взрыве протекают разнообразные окислительно-восстановительные химические реакции. Однако в конечном итоге водород, углерод и азот частично или полностью окисляются кислородом, в результате чего образуется окись водорода, окись и двуокись углерода, окись азота, а также выделяются чистый азот, водород, кислород, углерод. Образование окислов водорода и углерода сопровождается выделением тепловой энергии. Эти элементы являются горючими. К горючим элементам относится также алюминий, который часто вводят в состав промышленных ВВ.

Образование окиси азота сопровождается поглощением тепла.

Состав продуктов взрыва зависит от многих факторов. Наиболее важным из них является соотношение во взрывчатом веществе между горючими элементами и кислородом. Это соотношение характеризуется кислородным балансом, который может быть нулевым, отрицательным и положительным. При нулевом кислородном балансе во взрывчатом веществе содержание кислорода достаточное для полного окисления горючих элементов. При положительном кислородном балансе имеет место избы-

ток кислорода, при отрицательном - его недостаток.

При взрыве ВВ с нулевым кислородным балансом преимущественно выделяются пары воды, двуокись углерода и чистый азот, токсичные газы – окись углерода и окиси азота - образуются в минимальном количестве. Если взрывается ВВ, имеющее положительный кислородный баланс, кроме указанных выше продуктов взрыва выделяются в значительном количестве чистый кислород и окись азота. При взрыве ВВ с отрицательным кислородным балансом состав продуктов взрыва значительно сложнее, чем в рассмотренных выше случаях. Он зависит от того, насколько кислородный баланс отличается от нулевого, а также от условий взрывания. Для отрицательного кислородного баланса характерно выделение окиси углерода. Окись азота в этом случае практически не образуется. В подземных условиях допущены к применению ВВ, кислородный баланс которых является нулевым или близок к нулевому. На открытых разработках допускается применение ВВ, имеющих кислородный баланс, значительно отличающийся от нулевого.

Численное значение кислородного баланса равно отношению массы избыточного недостаточного кислорода, находящегося во взрывчатом веществе, к общей массе, выражается в процентах и может быть рассчитано по формуле

$$K_B = \frac{16n}{M_{ВВ}} \cdot 100\% , \quad (1.1)$$

где  $n$  - количество избыточных (недостаточных) атомов кислорода в одной молекуле ВВ;  $M_{ВВ}$  -молекулярная масса ВВ.

Состав большинства промышленных ВВ (как однородных, так и

смесевых) может быть выражен общей формулой  $CaH_bN_cO_d$ , где  $a, b, c, d$  соответственно количество атомов углерода, водорода, азота, кислорода в молекуле ВВ. Поэтому избыточное (недостающее), количество атомов кислорода может быть определено из следующего выражения:

$$n = d - (2a + \frac{b}{a}) \quad (1.2)$$

Пример 1. Определить кислородный баланс аммиачной селитры, химическая формула которой  $NH_4NO_3$ .

**Р е ш е н и е .** Горючим элементом в аммиачной селитре является только водород. Находим количество избыточного (недостающего) кислорода.

$$n = d - (2a + \frac{b}{a}) = 3 - (2 \cdot 0 + \frac{4}{2}) = +1$$

Определяем кислородный баланс аммиачной селитры:

$$KB = \frac{16 \cdot (+1)}{80} \cdot 100\% = +20\%.$$

Пример 2. Определить кислородный баланс тротила, химическая формула которого  $C_7H_5N_3O_6$

**Р е ш е н и е .** Горючим элементом в тротиле является углерод и водород. Находим количество избыточного (недостающего) кислорода.

$$n = d - (2 \cdot a + \frac{6}{2}) = 6 - (2 \cdot 7 + \frac{5}{2}) = -10,5$$

Находим кислородный баланс тротила

$$KB = \frac{16 \cdot (10,5)}{227} \cdot 100\% = -74\%.$$

Кислородный баланс определяется не только для взрывчатых компонентов ВВ, но и для других невзрывчатых веществ, которые могут использоваться в качестве составных частей взрывчатых смесей.

Кислородный баланс взрывчатых смесей удобно определять по формуле.

$$KB_0 = KB_1 \cdot P_1 + KB_2 \cdot P_2 + \dots + KB_n \cdot P_n, \quad (1.3)$$

где  $KB_1, KB_2 \dots KB_n$  - кислородный баланс каждого из компонентов взрывчатой смеси: % ;

$P_1, P_2 \dots P_n$  - содержание каждого из компонентов в долях единицы.

Пример 3. Определить кислородный баланс ВВ, состоящего из 50% аммиачной селитры и 50% тротила.

**Р е ш е н и е :** В соответствии с условием задачи содержание аммиачной селитры и тротила составляет  $P_1=P_2 = 0,5$ . Кислородный баланс аммиачной селитры и тротила соответственно равны  $K_1=+ 20\%$  и  $K_2= - 74\%$  (см. примеры 1 и 2). Подставляя значения  $P_1, P_2, KB_1, KB_2$  в формулу (1.3), получаем кислородный баланс смеси  $K = (20 - 74) \times 0,5 = - 27\%$ . Так как при нулевом кислородном балансе выделяется мини-

мальное количество токсичных газов, для промышленных целей преимущественно выпускаются ВВ с нулевым кислородным балансом, а в подземных условиях допускаются к применению ВВ, имеющие только нулевой кислородный баланс.

При нулевом кислородном балансе рациональнее и полнее используются химические элементы, входящие во взрывчатое вещество. Это обычно способствует достижению более высоких энергетических показателей и снижению стоимости ВВ.

Для получения взрывчатой смеси с нулевым кислородным балансом к основному компоненту, который обычно имеет кислородный баланс, значительно отличающийся от нулевого, добавляют один или больше компонентов, имеющих кислородный баланс, противоположный кислородному балансу первого компонента. Соотношение компонентов должно строго определяться.

Для определения содержания компонентов при нулевом кислородном балансе взрывчатой смеси воспользуемся следующими положениями. Для нулевого кислородного баланса смеси ( $K = 0$ ), состоящей из двух компонентов, формула (1.3) приобретает вид

$$KB_1 \cdot P_1 + KB_2 \cdot P_2 = 0. \quad (1.3a)$$

Неизвестными в этом выражении являются  $P_1$  и  $P_2$ . Эти величины взаимосвязаны, т.к. сумма содержания всех компонентов должна быть равна всегда единице:

$$P_1 + P_2 + \dots + P_n = 1 \quad (1.4)$$

Совместное решение уравнений (1.3а) и (1.4) позволяет определить значения  $P_1$  и  $P_2$  при  $K = 0$ .

В случаях, когда количество компонентов больше двух, содержание компонентов (третьего, четвертого и т.д.) должно быть задано. Аналогично решается задача определения содержания компонентов  $P_1$  и  $P_2$  при известном (принятом) значении  $KB_0$ , отличном от нулевого.

Пример 4. ВВ состоит из аммиачной селитры и тротила. Определить содержание компонентов при нулевом кислородном балансе смеси.

**Р е ш е н и е .** Кислородный баланс аммиачной селитры и тротила соответственно равен  $KB_1 = + 20 \%$ ,  $KB_2 = - 74 \%$  (см. пример I и 2). Подставляя значения  $KB_1$  и  $KB_2$  в формулу (1.3а) и решая совместно уравнения (1.3а) и (1.4), получим  $P_1 = 0,79$  и  $P_2 = 0,21$ . Таким образом, нулевой кислородный баланс достигается, если смесь состоит из 79 % аммиачной селитры и 2,1% тротила. Такой состав имеют аммонит №6и зерногранулит 79/21. Удельная теплота взрыва и удельный объем газов при взрыве являются важнейшими характеристиками взрывчатых веществ, от которых зависит эффект взрыва, удельный расход взрывчатых материалов, затраты на бурение шпуров и скважин при отбойке горного массива. Эти характеристики могут быть определены как экспериментальным, так и расчетным способами.

Для расчета удельной теплоты взрыва и удельного объема газов при взрыве необходимо иметь данные о составе продуктов взрыва, который зависит от химического состава и кислородного баланса ВВ, температуры и давления взрыва, а также от других факторов. Учет температуры и давления значительно усложняют расчеты. Поэтому при приближенных расчетах пользуются упрощенной методикой оп-

ределения состава продуктов взрыва. Согласно этой методике, состав продуктов взрыва зависит только от химического состава и кислородного баланса ВВ.

В зависимости от величины и знака кислородного баланса продуктами взрыва являются:

а) при нулевом кислородном балансе - полные окислы горючих элементов и свободный азот:  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ ;

б) при положительном кислородном балансе - полные окислы элементов, свободный азот и кислород:  $H_2O$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $O$ ;

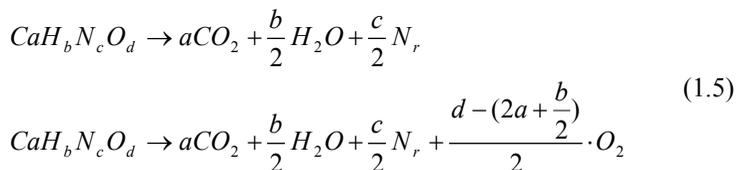
в) при отрицательном кислородном балансе продуктами взрыва могут быть полные и неполные окислы горючих элементов, свободные горючие элементы и азот:  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $H_2$ ,  $C$ ,  $N_2$ .

При этом считается, что в первую очередь кислород идет на окисление водорода до  $H_2O$ , затем оставшийся кислород окисляет весь углерод или его часть (в зависимости от количества кислорода) до  $CO$ . Если после этого остается свободный кислород, он идет на окисление части  $CO$  до  $CO_2$ .

Если во взрывчатой смеси содержится металл, например, алюминий, то при взрыве образуется высший его окисел  $Al_2O_3$ .

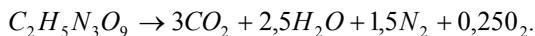
Для облегчения, составления уравнений химических реакций можно воспользоваться следующими положениями.

Для ВВ с нулевым и положительным кислородным балансом уравнение химических реакций в общем виде соответственно будут

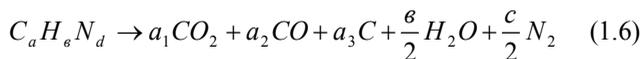


Пример 5. Составить уравнение химической реакции нитроглицерина  $C_3H_5N_2O_9$ , кислородный баланс которого положителен.

Р е ш е н и е . В соответствии с уравнением (1.5)



Для ВВ с отрицательным кислородным балансом уравнение химических реакций взрыва в общем виде запишется так:



Для ВВ с отрицательным кислородным балансом может быть три случая (в зависимости от величины кислородного баланса):

- 1) часть углерода окисляется до  $CO_2$ , а другая - до  $CO$ ;
- 2) весь углерод окисляется до  $CO$ ;
- 3) часть углерода окисляется до  $CO$ , а другая часть углерода выделяется в чистом виде.

Для определения, какие из окислов углерода будут выделяться при взрыве, пользуются следующим выражением:

$$f = d - \left(a + \frac{b}{2}\right). \quad (1.7)$$

Если при подстановке в это выражение значений коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $d$ ,  $f$  является величиной положительной, выделяются  $CO_2$  и  $CO$ ; если  $f$  отрицательное, выделяются  $CO$  и  $C$ .

При этом значения коэффициентов  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  равны:

$$\begin{aligned}
1. f > 0 & \quad a_1 = f; \quad a_2 = a - f; \quad a_3 = 0; \\
2. f = 0 & \quad a_1 = a_3 = 0; \quad a_2 = a; \\
3. f < 0 & \quad a_1 = 0; \quad a_2 = a - / f /; \quad a_3 = / f /
\end{aligned}
\tag{1.8}$$

Пример 6. Составить уравнение химической реакции гексогена  $C_3H_6N_6O_6$ .

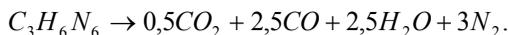
Р е ш е н и е . В соответствии с уравнением (1.7)

$$f = 6 - \left(3 + \frac{5}{2}\right) = 0,5,$$

при взрыве выделяется  $CO_2$  и  $CO$ . При этом в уравнении (1.8)

$$a_1 = f = 0,5; \quad a_2 = a - f = 3 - 0,5 = 2,5; \quad a_3 = 0$$

Тогда в соответствии с уравнением (1.6)



При составлении химической реакции ВВ, состоящий из двух и более компонентов (взрывчатая механическая смесь) возникает вопрос определения количества грамм каждого из компонента, так как уравнения химической реакции составляется не на молекулярном, а грамм-мольном уровне.

Соотношение грамм-молей компонентов взрывчатой смеси определяются из выражений.

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{m_1 M_{BB1}}{m_2 M_{BB2}}, \quad \frac{P_1}{P_3} = \frac{m_1 M_{BB1}}{m_3 M_{BB3}}, \quad \frac{P_1}{P_n} = \frac{m_1 \cdot M_{BB1}}{m_n \cdot M_{BBn}}.$$

Откуда

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{P_2 \cdot M_{BB1}}{P_1 \cdot M_{BB2}}, \quad \frac{m_3}{m_1} = \frac{P_3 M_{BB1}}{P_1 M_{BB3}}, \quad \frac{m_n}{m_1} = \frac{P_n \cdot M_{BB1}}{P_1 \cdot M_{BBn}} \tag{1.9}$$

Где  $m_1, m_2, \dots, m_n$  - количество грамм молей соответствующего компонента.

Теплота взрыва рассчитывается на основе принципа Гесса, согласно которому тепловой эффект определяется только начальным и конечным состоянием системы и не зависит от ее промежуточного состояния. Применительно к взрыву принцип выражается следующей формулой:

$$Q_T = Q_K - Q_H, \quad (1.10)$$

где  $Q$  - теплота взрыва, ккал;

$Q_K$  - теплота образования конечных продуктов взрыва ( $H_2O, CO_2, CO$ ) из элементов, ккал;

$Q_H$  - теплота образования взрывчатого вещества, ккал.

Теплота образования конечных продуктов взрыва определяется из выражения

$$Q_K = m_{H_2O} \cdot q_{H_2O} + m_{CO_2} \cdot q_{CO_2} + m_{CO} \cdot q_{CO}, \quad (1.11)$$

где  $m_{H_2O}, m_{O_2}, m_{CO_2}$  и т.д. - количество граммолекул соответствующих продуктов взрыва ;

$q_{H_2O}, q_{CO_2}, q_{CO}$  и т.д. теплота образования граммолекулы соответствующего продукта взрыва, ккал/моль.

Теплота образования ВВ рассчитывается по формуле

$$Q_H = m_1 q_1 + m_2 q_2 + m_3 q_3 + \dots + m_n q_n, \quad (1.12)$$

где  $q_1, q_2, q_3$  и т.д. - теплота образования граммолекулы соответ-

ствующего компонента ВВ, ккал/моль.

Количество граммолекул продуктов взрыва и компонентов ВВ берется из уравнения химических реакций взрыва, теплота образования – из табл.1.2.

Подставляя значения  $Q_k$  и  $Q_n$  в уравнение (1) получаем:

$$Q_T = n_{H_2O} \cdot q_{H_2O} + n_{CO_2} \cdot q_{CO_2} + \dots - m_1 q_1 - m_2 q_2 \quad (1/13)$$

По формуле (1.13) вычисляется количество тепла, которое выделяется при взрыве определенного количества граммолекул ВВ (одной или нескольких).

Удельная теплота взрыва после этого может быть определена по формуле

$$Q_T^1 = \frac{1000Q_T}{m_1 M_{BB1} + m_2 M_{BB2} + \dots} \quad (1.14)$$

Следует отметить, что теплота образования окислов горючих химических элементов, а также большинства взрывчатых соединений и не взрывчатых компонентов ВВ является положительной. Это значит, что во время взрыва при протекании реакции окисления горючих элементов выделяется тепло и оно частично поглощается при реакции распада молекул ВВ. С увеличением теплоты образования ВВ теплота взрыва уменьшается.

Однако имеются ВВ - гремучая ртуть, азид свинца и ряд других, у которых теплота образования является отрицательной. При взрыве таких ВВ выделение тепла происходит не только при окислении горю-

чих элементов ( при взрыве азида свинца окислительные реакции вообще отсутствуют), но и при распаде молекул ВВ на элементы. Объем газов при взрыве определяется на основе закона Авогадро, согласно которому одна грамммолекула газа при нормальных условиях занимает объем 22,4 л. Поэтому объем газов при взрыве определяется по формуле

$$V_0 = 22,4 \sum m_i \quad (1.15)$$

где  $\sum m_i$  - суммарное количество грамммолекул газообразных продуктов взрыва, которыми являются  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_1$ ,  $\text{CO}$

$\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{C}$  газообразными продуктами не являются.

Удельный объем газов определяется по формуле

$$V'_0 = \frac{1000V_0}{m_1 M_{\text{BB1}} + m_2 M_{\text{BB2}} \dots} \quad (1.16)$$

Пример 7. Определить удельную теплоту взрыва и удельный объем газов при взрыве тротила, химическая формула которого  $\text{C}_7\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_6$ .

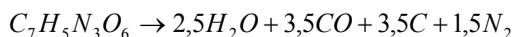
**Р е ш е н и е .** Составляем уравнение химической реакции взрывчатого превращения тротила, так как тротил имеет отрицательный кислородный баланс, то продукты взрыва будут образовываться в соответствии с уравнением (1.6); Для определения коэффициентов химической реакции взрывчатого превращения тротила воспользуемся уравнением (1.7)

$$f = d - \left(a + \frac{6}{2}\right) = 6 - \left(7 + \frac{5}{2}\right) = -3,5.$$

В соответствии с уравнением (1.8) находим значения коэффициентов.

$$a_1 = 0; a_2 = a - |f| = 7 - 3,5; a_3 = |f| = 3,5$$

Таким образом, уравнение химического разложения тротила имеет вид



С учетом этого уравнения по формуле (1.9) определяем теплоту взрыва граммoleкулы тротила

$$Q = 2,5 q_{H_2O} + 3,5 q_{CO} - q_T = 2,5 \cdot 57,8 + 3,5 \cdot 26,4 - 17,5 = 219, \text{ ккал}$$

где  $q_T$  - теплота образования тротила.

Значения теплоты образования продуктов взрыва и тротила берутся из таблицы 1.2.

Молекулярный вес тротила равен  $M_T = 227$ ,

Подставляя значения  $Q$  и  $M_T$  в формулу (1.8), определяем теплоту взрыва тротила:

$$Q_T = \frac{1000 \cdot Q}{M_T} = \frac{1000 \cdot 219}{227} = 965 \quad \text{ккал / кг.}$$

Объем газов при взрыве граммолекулы тротила вычисляем по формуле (I.14)

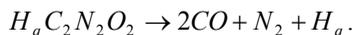
$$V_0 = 22,4(25+3,5+15) = 167 \quad \text{л.}$$

Далее по формуле (1.15) определяем удельный объем газов при взрыве тротила

$$V_o = \frac{1000 \cdot 167}{227} = 735 \quad \text{л / кг}$$

Пример. 8. Определить удельную теплоту взрыва и объем газов при взрыве гремучей ртути, химическая формула которой  $H_q C_2 N_2 O_2$ , а молекулярный вес  $M=284$ .

**Р е ш е н и е .** Уравнение химической реакции взрывчатого превращения гремучей ртути имеет вид



В соответствии с этим уравнением рассчитайте количество тепла и объем газов, которые выделяются при взрыве граммолекулы гремучей ртути:

$$Q_T = 2q_{co} - q_{cp} = 2 \cdot 27,2 - (-65,3) = 119,8 \quad \text{ккал};$$

$$V = 22,4(2+1) = 67,2 \quad \text{л.}$$

Подставляя значения  $Q$  и  $V$  в формулы (I.13) и (I.15), получим удельную теплоту взрыва и объем газов при взрыве гремучей ртути;

$$Q_T = \frac{1000 \cdot 119,8}{284} = 422 \quad \text{ккал / кг};$$

$$V_1 = \frac{1000 \cdot 67,2}{284} = 238 \quad \text{л / кг.}$$

|

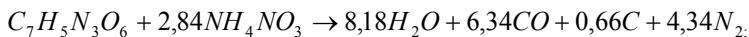
Пример.9. Определить удельную теплоту взрыва и объем газов при взрыве ВВ, состоящего из 50% тротила и 50% аммиачной селитры. Химическая формула аммиачной селитры  $NH_4NO_3$ , тротила  $C_7H_5N_3O_6$ .

**Р е ш е н и е .** Из условий задачи  $P_1 = 0,5$  и  $P_2 = 0,5$ . Молекулярный вес компонентов соответственно равен  $M_{ВВ1} = 227$  и  $M_{ВВ2} = 80$ . По формуле (1.9) определяем соотношение количества граммолекул аммиачной селитры и тротила:

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{P_2 M_{ВВ1}}{P_1 M_{ВВ2}} = \frac{0,5 \cdot 227}{0,5 \cdot 80} = 2,84.$$

Следовательно, на I граммолекулу тротила в данном ВВ приходится 2,84 граммолекулы аммиачной селитры.

Составляем уравнение химических реакций, при этом значения коэффициентов продуктов взрыва определяются по формулам (1.6), (1.7). (1.8)



$$f = 6 + 2,84 \cdot 3 - \left(7 + \frac{2,84 \cdot 4}{2}\right) = -0,66;$$

$$a_1=0; a_2=6,34; a_3=0,66.$$

На основе полученного уравнения химических реакций по формулам (1.13) и (1.15) определяем теплоту взрыва и объем газов при взрыве смеси I граммолекулы тротила и 2,84 граммолекулы аммиачной селитры:

$$Q = 8,18 \cdot q_{H_2O} + 6,34 \cdot q_{CO} - q_T - 2,84 \cdot q_{ac} = 8,18 \cdot 57,7 + 6,34 \cdot 27,2 -$$

$$-17,5 - 2,84 \cdot 87,36 = 387,5 \quad \text{ккал};$$

$$V = 22,4 (8,18 + 6,34 + 4,34) = 422,5 \quad \text{л}.$$

На основе этих данных по формулам (1.13) и (1.15) рассчитайте удельную теплоту взрыва и объем газов при взрыве

$$Q = \frac{1000 \cdot Q}{M_{BB1} + 2,84M_{BB2}} = \frac{1000 \cdot 387,5}{227 + 2,84 \cdot 80} = 855 \quad \text{ккал / кг};$$

$$V = \frac{1000 \cdot V}{M_{BB1} + 2,84M_{BB2}} = \frac{1000 \cdot 422,5}{227 + 2,84 \cdot 80} = 930 \quad \text{л / кг.}$$

### *Методика выполнения работы*

Работа выполняется расчетным способом. Исходными данными являются: вещественный состав взрывчатой смеси и пределы изменения ее компонентов или пределы изменения кислородного баланса смеси. Эти данные задаются преподавателем на основе табл. 1.3.

Работа состоит из двух частей.

В первой части изучается зависимость величины и знака кислородного баланса смеси от содержания ее компонентов. Порядок выполнения первой части работы следующий.

1. По формуле (I.1) рассчитывается кислородный баланс каждого из компонентов смеси.

2. На основе решения системы уравнений (1.3) и (1.4) определяется содержание компонентов при нулевом или другом известном кислородном балансе смеси.

3. По формуле (1.3) при различных содержаниях компонентов ВВ рассчитывается его кислородный баланс.

4. Строится график зависимости кислородного баланса смеси от содержания одного из компонентов.

Во второй части работы изучается влияние содержания компонентов смеси на удельную теплоту взрыва и удельный объем газов. Порядок выполнения второй части работы следующий.

1. По формуле (I.5) определяются соотношения между количеством

граммолекул компонентов смеси и составляется уравнение химических реакций взрыва по формулам (1.5)...(1.8).

По формулам (1.13) и (1.14) определяется удельная теплота взрыва.

По формулам (1.5) и (1.16) рассчитывается удельный объем газов при взрыве.

Эти расчеты производятся:

а) при содержании компонентов, обеспечивающих нулевой кислородный баланс;

б) для нескольких точек при положительном балансе смеси;

в) для нескольких точек при отрицательном кислородном балансе смеси.

4. Строятся графики зависимости удельной теплоты взрыва и удельного объема при взрыве от содержания одного из компонентов.

### *Оформление и защита отчета*

После выполнения работы составляется отчет, который затем должен быть защищен студентом перед руководителем практических занятий.

В отчете приводятся: краткие сведения по теории, задача и методика выполнения работы, графики и их анализ.

Таблица 1.1 (для учебных целей) - Атомные веса некоторых элементов (округленные)

Наименование элемента	Химический знак	Атомный знак
Водород	H	1
Углерод	C	12

Продолжение таблицы 1.1

Азот	N	14
Кислород	O	16
Натрий	Na	23
Магний	Mg	24
Алюминий	Al	27
Хлор	Cl	35,5
Калий	K	39

Таблица 1.2 (для учебных целей) - Теплота образования компонентов взрывчатых веществ (ВВ) и продуктов взрывания (ПВ)

Наименования вещества	Химическая формула	Молекулярный вес	Теплота образования, ккал/моль.
Аммиачная селитра	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	80	87,36
Динитронафталин	$\text{C}_{10}\text{H}_6(\text{NO}_2)_2$	218	-8,4
Динитротолуол	$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_4\text{N}_2$	182	15,35
Тротил (тринитротолуол)	$\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_6\text{N}_3$	227	17,5
Тетрил	$\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_8\text{N}_5$	287	-9,91
Нитроглицерин	$\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_9\text{N}_3$	227	83,71
Гексоген	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_6\text{N}_6$	222	-21,3
Октоген	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_8\text{N}_8$	296	-30
ТЭН	$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_{12}\text{N}_4$	316	129,35
Вода (газ)	$\text{H}_2\text{O}$	18	57,78
Окись азота	NO	30	-21,6
Окись углерода	CO	28	26,4
Двуокись углерода	$\text{CO}_2$	44	94,5

Таблица 1.3. - Взрывчатые смеси.

№ за-дан	Компоненты взрывчатой смеси	Компонент, от содержания которого устанавливаются зависимости характеристик ВВ.	Пределы изменения содержания данного комп-та (Р) или величины кислор. баланса смеси (К).
1	Аммиачная селитра, тротил	Тротил	$P_2=0...0,5$
2	Аммиачная селитра, тротил	Тротил	$P_2=0,6...1,0$
3	Аммиачная селитра, тротил	Тротил	$-30\% \leq KB_0 \leq +10\%$
4	Аммиачная селитра, тротил	Тротил	$-20\% \leq KB_0 \leq +15\%$
5	Аммиачная селитра, гексоген	Гексоген	$P_2=0...0,5$
6	Аммиачная селитра, гексоген	Гексоген	$P_2=0,6...1,0$
7	Аммиачная селитра, гексоген	Гексоген	$-20\% \leq KB_0 \leq +10\%$
8	Аммиачная селитра, гексоген	Гексоген	$-20\% \leq KB_0 \leq +15\%$
9	Аммиачная селитра, тетрил	Тетрил	$P_2=0...0,5$
10	Аммиачная селитра, тетрил	Тетрил	$P_2=0,6...1,0$
11	Аммиачная селитра, тетрил	Тетрил	$-40\% \leq KB_0 \leq +10\%$
12	Аммиачная селитра, тетрил	Тетрил	$-20\% \leq KB_0 \leq +15\%$
13	Аммиачная селитра, динитротолуол	Динитротолуол	$P_2=0...0,4$
14	Аммиачная селитра, динитротолуол	Динитротолуол	$P_2=0,5...0,8$
15	Аммиачная селитра, динитротолуол	Динитротолуол	$-30\% \leq KB_0 \leq +10\%$
16	Аммиачная селитра, динитротолуол	Динитротолуол	$-20\% \leq KB_0 \leq +15\%$
17	Аммиачная селитра, октоген	Октоген	$P_2=0...0,4$
18	Аммиачная селитра, октоген	Октоген	$P_2=0,5...0,8$
19	Аммиачная селитра, октоген	Октоген	$-20\% \leq KB_0 \leq +10\%$
20	Аммиачная селитра, октоген	Октоген	$-20\% \leq KB_0 \leq +15\%$

Продолжение таблицы 1.3.

21	Аммиачная селитра, динитронафталин	Динитронафталин	$-20\% \leq \text{КБ}_0 \leq +10\%$
22	Аммиачная селитра, динитронафталин	Динитронафталин	$-10\% \leq \text{КБ}_0 \leq +15\%$
23	Аммиачная селитра, динитронафталин	Динитронафталин	$P_2=0 \dots 0,4$
24	Аммиачная селитра, динитронафталин	Динитронафталин	$P_2=0,5 \dots 0,8$
25	Аммиачная селитра, ТЭН	ТЭН	$P_2=0 \dots 0,4$
26	Аммиачная селитра, ТЭН	ТЭН	$P_2=0,5 \dots 0,9$
27	Аммиачная селитра, ТЭН	ТЭН	$-40\% \leq \text{КБ}_0 \leq +10\%$
28	Аммиачная селитра, ТЭН	ТЭН	$-30\% \leq \text{КБ}_0 \leq +15\%$

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫХ СЕТЕЙ

Цель работы: изучение и практическое усвоение, метода расчета электровзрывных цепей.

Содержание работы. Элементы теории электрического взрыва, расчет электровзрывных сетей при последовательном, параллельном, смешанном соединениях электродетонаторов, состояние электровзрывной сети.

При проведении взрывных работ электрическим способом взрывания электродетонаторы соединяются по следующим основным схемам: последовательное соединение, параллельное, последовательно-параллельное и параллельно-последовательное.

Основную роль при электровзрывании играет обеспечение условий безотказного взрывания всех включенных в сеть электродетона-

торов. Для этого необходимо знать основные характеристики детонаторов. Характеристика современных электродетонаторов складывается из следующих основных величин.

1. Сопротивление электродетонатора, складывающееся из сопротивления мостика накаливания и концевых проводов. У современных электродетонаторов эта величина находится в пределах 2-9 см.

2. Минимальный безопасный ток - верхний предел постоянного тока, не вызывающий взрыва электродетонатора. Эта величина тока находится в пределах 0,18 А.

3. Импульс воспламенения - наименьшее значение импульса тока, обеспечивающее взрыв электродетонаторов:

$$K_g = I^2 t_g, \quad (2.1)$$

где  $I$  - воспламеняющий ток, А;

$t_g$  - минимальное время протекания воспламеняющего тока, обеспечивающее взрыв электродетонатора, м/с.

4. Чувствительность электродетонатора - величина, обратная импульсу воспламенения:

$$S = \frac{1}{K_g} = \frac{1}{I^2 t_g} \quad (2.2)$$

5. Гарантийная величина тока для современных электродетонаторов при постоянном токе  $I$  А, при переменном - 2,5 А.

Расчет электровзрывной сети сводится к определению величины тока, проходящего через мостик накаливания электродетонаторов.

Очевидно, что электровзрывная сеть может быть безотказно взорвана при условии протекания через каждый электродетонатор постоянного тока не менее 1 А или переменного тока не менее 2,5 А.

Расчет электровзрывной сети ведут в следующем порядке.

1. Подсчитывают сопротивление магистральных и соединительных и участковых проводов.

2. Рассчитывают общее сопротивление электровзрывной сети.

3. Определяют величину тока в ветвях и в отдельных электродетонаторов

Величину сопротивления магистральных и соединительных проводов определяют по формуле

$$R(m, c, y) = p_t \cdot \frac{4\ell}{\pi d_{np}^2}, \text{ Ом} \quad (2.3)$$

где  $R(m, c, y)$ -сопротивление провода (или магистрального  $R_m$  или соединительного  $R_c$ ; или участкового  $R_y$ ), Ом;

$p_t$ -удельное сопротивление материала провода при температуре, отличной от  $20^0\text{C}$ , Ом: мм<sup>2</sup>/м.

$\ell$ - длина провода (или магистрального, или соединительного, или участкового). Для магистрального провода берется двойное расстояние от места укрытия мастера-взрывника до забоя выработки.

$d_{np}$ - диаметр соответствующего провода, мм.

В формулу (2,3) вводят коэффициент 1,1 для учета дополнительного сопротивления изгибов и сростков проводов.

Величину  $P_t$  находят по формуле.

$$\rho_t = \rho_o \left( 1 + \alpha (t^\circ - 20^\circ) \right); \quad \frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}; \quad (2.4)$$

где  $\rho_o$ - удельное сопротивление материала провода при  $t=20^\circ\text{C}$  для меди,  $\rho_o=0,0175$  ом  $\text{мм}^2/\text{м}$ , для алюминия ;  $\rho_o=0,028$  ом  $\text{мм}^2/\text{м}$ ,

$\alpha$  - температурный коэффициент изменения удельного сопротивления,  $\alpha=0,0044$ .

Суммарное сопротивления всех видов проводов, примененных в ЭВС находим по формуле

$$R_{np} = R_m + R_c + R_y, \text{ом}. \quad (2.5)$$

Величину тока в электровзрывной сети определяют по формуле

$$I = \frac{U}{R + r_o}, \quad (2.6)$$

где  $I$  - величина тока в сети, А;

$U$  - напряжение на зажимах источника тока, В;

$R$  - общее сопротивление электровзрывной сети, Ом;

$r_o$  - внутреннее сопротивление источника тока. Учитывается при использовании взрывных машинок и приборов.

Общее сопротивление электровзрывной сети зависит от схемы соединения. При последовательном соединении

$$R_{\text{носл}} = R_{\text{нр}} + nr,$$

где  $R_{\text{нр}}$  - сопротивление магистральных, соединительных и участковых проводов, Ом;

$r$  - сопротивление одного электродетонатора с концевыми проводами, Ом

$n$  - число электродетонаторов в сети. |

Величина тока в каждом электродетонаторе при последовательном соединении равна току в сети

$$i = I_{\text{носл}} = \frac{E}{R_{\text{носл}} + r^0} \quad (2.8)$$

При параллельном соединении сопротивление взрывной сети

$$R_{\text{нап}} = R_{\text{нр}} + \frac{r}{n} \quad (2.9)$$

Величина тока в сети

$$I_{\text{нап}} = \frac{E}{R_{\text{нап}} + r^0} \quad (2.10)$$

Ток в каждом электродетонаторе составит

$$i = \frac{I_{\text{нап}}}{n} \quad (2.11)$$

При смешанном соединении сопротивление сети

$$R_{cm} = R_{np} + \frac{n_i r}{m}, \quad (2.12)$$

где  $n_i$  - число электродетонаторов в группе;

$m$  - число групп электродетонаторов.

Величина тока в сети составит:

$$I_{cm} = \frac{E}{R_{cm} + r_0}, \quad (2.13)$$

а в электродетонаторе

$$i = \frac{I_{cm}}{m} \quad (2.14)$$

Формулы для расчета смежных соединений действительны при одинаковом количестве электродетонаторов в группах. Если же количество электродетонаторов в группах разное, расчеты усложняются.

Каждый студент производит расчет электровзрывных сетей при последовательном, параллельном и смешанном соединениях (таб. 2.1).

Таблица 2.1 – Данные для расчета электровзрывных цепей

№ зад	Импульс воспламенения мА <sup>2</sup> с	Время срабатывания	Длина магистральных проводов (двойн)	Сопротивление детонатора, Ом	Кол-во электродет-в	Напряжение на зажимах источника тока	Внутреннее сопротивление источника тока, Ом	$m$   $n_1$	Диаметр магистральных и соединительных проводов, мм
1	0,6	2,4	100	2,0	21	450	20	3/7	0,75/0,5
2	0,7	2,8	120	2,2	27	400	20	3/9	0,75/0,5
3	0,8	3,2	180	2,4	30	600	22	3/10	0,75/0,5
4	0,9	3,6	200	2,6	32	300	21	4/8	0,75/0,5
5	1,0	4,0	230	2,8	36	500	18	4/9	0,75/0,5
6	1,1	4,4	280	3,0	40	600	19	4/10	0,75/0,5
7	1,2	4,8	300	3,2	45	600	25	5/9	0,75/0,5
8	1,3	5,2	350	3,4	50	600	24	5/10	0,75/0,5
9	1,4	5,6	400	3,6	18	1000	23	2/9	0,75/0,5
10	1,5	6,0	450	3,8	24	230	22	3/8	0,75/0,5
11	1,6	6,4	500	6,0	27	450	21	3/9	0,75/0,5
12	1,7	6,3	550	4,2	14	400	20	2/7	0,75/0,5

Продолжение таблицы 2.1.

13	1,8	7,2	600	2,1	18	600	19	2/9	0,75/0,5
14	1,9	7,6	650	2,3	24	300	18	3/8	0,75/0,5
15	2,0	8,0	700	2,5	22	500	17	2/11	0,75/0,5
16	2,1	8,4	750	2,7	18	600	18	2/9	0,75/0,5
17	2,2	8,8	800	2,9	16	600	19	2/8	0,75/0,5
18	2,3	9,0	850	3,1	24	1000	20	2/12	0,75/0,5
19	2,4	9,5	900	3,3	30	230	19	3/10	0,75/0,5
20	2,5	10	1000	3,5	32	450	18	4/8	0,75/0,5
21	0,8	3,2	250	3,7	30	400	24	5/6	0,75/0,5
22	0,9	3,3	420	3,0	27	600	20	3/9	0,75/0,5
23	1,0	3,4	520	3,1	40	650	22	4/10	0,75/0,5
24	1,1	3,5	620	3,2	40	620	24	5/8	0,75/0,5
25									

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3

### РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ И СОСТАВЛЕНИЕ ПАСПОРТОВ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Цель работы: изучение и практическое усвоение методов расчета параметров буровзрывных работ (БВР) и на этой основе составление паспортов БВР при проведении выработки.

Содержание работы: методика расчета параметров БВР по I схеме ; выбор взрывчатых веществ (*ВВ*) и средств взрывания (*СВ*) в соответствии с горно-геологическими условиями; определение объема породы, разрушаемой за одну заходку, удельного расхода *ВВ*, расхода *ВВ* на цикл и на один шпур, количества шпуров по забою выработки на один цикл.

Методика расчета параметров БВР по II схеме. Составление паспорта БВР для конкретных горно-геологических условий.

Величину зарядов и параметры расположения шпуров можно рассчитывать по одной из двух схем.

#### 3.1. Расчет параметров БВР по I схеме.

3.1.1. Выбирают *ВВ* и *СВ* в соответствии с естественными горно-геологическими условиями (крепость породы, обводненность забоя, опасность забоя по метану или взрывной пыли).

3.1.2. Устанавливают длину заходки, тип вруба, коэффициент использования шпуров (КИШ) и длину шпуров в зависимости от крепости породы, размеров выработки схемы организации работ (длительность цикла).

3.1.3. Определяют объемы породы, разрушаемой за одну заход-

ку, м<sup>3</sup>, по формуле

$$V_{3AX} = S \cdot \ell_{3AX}, \quad (3.1)$$

где  $\ell_{3AX}$  - величина заходки, м;

$S$  - площадь забоя вчерне по проекту, м<sup>2</sup>.

### 3.1.4. Определяют удельный расход ВВ.

Удельный расход ВВ зависит от крепости пород, степени их зажима, площади забоя выработки вчерне, мощности ВВ и других факторов. Для определения величины удельного расхода ВВ пользуются различными эмпирическими формулами. Однако все эти формулы не учитывают всего многообразия естественных условий и факторов технического порядка, влияющих на величину удельного расхода ВВ, и дают в одних условиях довольно точные значения удельного расхода, в других - значения, отклоняющиеся от необходимой величины. По этой причине, полученное расчетом по эмпирическим формулам значение удельного расхода следует рассматривать как ориентировочное, которое должно быть уточнено в результате опытных взрывов в данном месте.

Удельный расход ВВ можно принимать также по данным практики. Эти данные следует рассматривать как ориентировочные, которые должны быть уточнены в результате первых взрывов в данной выработке.

Для забоев с одной поверхностью удельный расход ВВ можно определить по формуле проф. М. М. Протоdjяконова / I /, кг/м<sup>3</sup> :

$$q = 0,4 \left( \sqrt{0,2 \cdot f} - \frac{1}{\sqrt{S}} \right)^2 e^{-1} \cdot k, \quad (3.2)$$

где  $\ell$  – коэффициент работоспособности ВВ,

$$e = \frac{p}{p_{эм}} = \frac{p}{525}; \quad \ell^{-1} = \frac{525}{p} \quad (3.3)$$

$P$  – работоспособность ВВ, принятого для ведения взрывных работ в данных условиях  $\text{см}^2$ ;

$P_{эм} = 525 \text{ см}^3$  – работоспособность эталонного ВВ (в качестве эталонного ВВ проф. М.М. Протодьяконовым принят 93%-й динамит);

$k = 1, 2, 3$  – коэффициент усиления заряда, учитывающий дополнительный расход шпуров и ВВ при механизированных работах.

$f$  – коэффициент крепости горных пород, по шкале проф. М.М. Протодьяконова.

Удельный расход ВВ часто определяют по формуле проф. Н. М. Покровского

$$q = q_1 \cdot S_1 \cdot v_1 e_1, \quad (3.4)$$

где  $q_1$  – нормальный удельный расход ВВ (количество эталонного ВВ, необходимое для выброса силой взрыва  $1 \text{ м}^3$  породы), зависящий от крепости породы:

$$q_1 = 0,1f, \quad (3.5)$$

где  $S_1$  – коэффициент текстуры породы / I /

$v_1$  – коэффициент зажима взрываеваемой породы. Он характеризует положение взрываеваемой части породы относительно открытой (свободной) поверхности. При двух свободных поверхностях Н.М. Покровский рекомендует коэффициент зажима  $v=1,2$  при верхний подрывке,

1,3- при боковой, 1,5- при нижней.

При одной открытой поверхности его рекомендуют определять по формуле:

$$v_1 = \frac{6,5}{\sqrt{S}} \quad (3.6)$$

Проф. Таранов П.Я. на основании данных практики и исследований считает, что на величину коэффициента зажима влияет не только площадь забоя, но и глубина шпуров:

$$v = \frac{3 \cdot l_{un}}{\sqrt{S}}, \quad (3.7)$$

где  $l_{un}$  - глубина шпуров, м. При ярусном взрывании вместо глубины шпура следует принимать глубину яруса. Указанная формула пригодна при отношении  $\frac{3 \cdot l_{un}}{\sqrt{S}}$  в пределах от 0,5 до 1,5 для горизонтальных выработок типа квершлаггов. Для других типов врубов коэффициент зажима можно взять из работы /1/.

Величина, обратная коэффициенту работоспособности ВВ,

$$\ell_1 = \frac{380}{P}, \quad (3.8)$$

где 380 - работоспособность 62%-го динамита, который принят проф. Н. М. Покровским за эталонное;

$P$  – работоспособность применяемого ВВ, см<sup>3</sup>.

Для забоев с двумя свободными поверхностями в забое удельный расход можно определить также по формуле проф. М.М. Прото-  
дьяконова

$$q = 0,15\sqrt{f}\left(\sqrt{0,2 \cdot f} - \frac{1}{B}\right)^2 \cdot e^{-1} \cdot k, \quad (3.9)$$

3.1.5. Находим массу шпуровых зарядов ВВ, кг, по формуле

$$Q_{3AX} = q \cdot V_{3AX} = q \cdot S \cdot l_{шп} \cdot \eta, \quad (3.10)$$

где  $\eta$  - коэффициент использования шпуров

3.1.6. Рассчитаем среднюю массу заряда в шпуре, кг/шп.:

$$q_{шп} = \frac{l_{шп} \cdot k_{3АП} \cdot q_{п}}{l_{п} \cdot \sin \alpha}, \quad (3.11)$$

Так как углы наклона  $\alpha$  шпуров к плоскости забоя находятся в пределах 70-90° и большинство шпуров являются отбойными и вспомогательными, то среднее значение  $\alpha$  для всего комплекта шпуров будет 80-85° и  $\sin \alpha = 0,98 - 0,99$ , то есть близкое к единице. Поэтому формула (3/11) может быть упрощена

$$q_{шп} = \frac{l_{шп} \cdot k_{3АП} \cdot q_{п}}{l_{п}}, \quad (3.12)$$

Выражая массу патрона  $q_{п}$ , через его длину  $l_{п}$ , диаметр  $d_{п}$  и плотность патронирования  $\Delta$ , получим:

$$q_{шп} = \frac{\pi \cdot d_{п}^2 \cdot l_{шп} \cdot k_{3АП} \cdot \Delta}{4}, \quad (3.13)$$

$d_{\Pi}$  – диаметр патрона ВВ, м;

$l_{шп}$  – глубина шпура, м;

$\Delta$  – плотность патронирования,  $\text{кг/м}^3$ , при порошкообразном ВВ

- $\Delta$  плотность заряжения;

$k_{з\Delta\Pi}$  - коэффициент заполнения шпуров взрывчатым веществом.

Приближенно можно считать, что он равен отношений длины заряда к длине шпура.

$q_{шп}$  – округляют до ближайшего числа, кратного весу патрона ВВ.

### 3.1.7. Определяем общее число шпуров

$$N = \frac{Q_{ВВ}}{q_{шп}}, \quad (3.14)$$

Подставив в эту формулу значения и из формул  $Q_{з\Delta\Pi}$  и  $q_{шп}$ , получим:

$$N = \frac{1.27 \cdot q \cdot S \cdot \eta}{d^2_{\Pi} \cdot k_{з\Delta\Pi} \cdot \Delta}, \quad (3.15)$$

Число шпуров округляют до ближайшего целого числа.

### 3.1.8. Далее выбирают тип вруба и схему расположения шпуров.

Тип вруба выбирают в соответствии с крепостью породы, ее текстурой, размерами и конфигурацией забоя, длиной заходки и другим.

При построении схем расположения шпуров число их, найден-

ное по формуле (3.14) или (3.15), можно корректировать и изменять, исходя из условий более целесообразного их размещения в забое. Выбирая схему расположения шпуров, сначала размещают врубовые шпуры, после этого на оставшейся площади равномерно распределяют вспомогательные, отбойные и оконтуривающие шпуры. Объем взрываваемой породы, приходящейся на один шпур, должен быть для врубового шпура в 5-10 раз меньше, чем для отбойных. Врубовые шпуры бурят на 20-30 см длиннее отбойных.

При расположении шпуров по концентрическим окружностям (например, в забое ствола) необходимо прежде всего определить расстояние между окружностями и их число. Для этого следует вычислить площадь забоя, приходящуюся на один шпур  $S_0=S/N$ . Приняв эту площадь за площадь круга, находят ее диаметр  $b=\sqrt{4S_0/\pi}$ , который и будет средним расстоянием между окружностями и между шпурами в каждой из них. После этого определяют число окружностей, их радиусы и число шпуров на каждой из них.

Чтобы избежать переборов породы, оконтуривающие шпуры следует располагать на расстоянии 15-30см от проектного контура выработки в черне.

3.1.9. В заключение определяют уточненный расход ВВ и СВ и шпурометров на цикл и на 1 м проходки. На основе расчета составляют паспорт буровзрывных работ, который является техническим документом, служащим руководством проходчикам и взрывникам.

### 3.2. Расчет параметров БВР по П схеме

При проведении выработки с одной обнаженной поверхностью в забое в первую очередь взрывают заряды врубовых и вспомогательных шпуров, разрушая породу в центральной части забоя. При этом

образуется врубовая полость, которая создает дополнительную открытую поверхность и облегчает работу зарядов отбойных и оконтуривающих шпуров.

Взрыв оконтуривающих и отбойных шпуров происходит в условиях, когда в забое уже образована вторая обнаженная поверхность. Центральную часть забоя (зона действия зарядов врубовых и вспомогательных шпуров) следует рассматривать как забой с одной обнаженной поверхностью.

Расчет начинают с определения удельного расхода ВВ для зарядов оконтуривающих и отбойных шпуров по формулам (3.4) и (3.9). Величину линии наименьшего сопротивления и расстояния между оконтуривающими шпурами рекомендуется рассчитывать в метрах по формулам

$$W_k = \sqrt{\frac{K_{зан} \cdot \gamma_k}{q_k \cdot m}}, \quad (3.16)$$

$$a_k = \sqrt{\frac{K_{зан} \cdot \gamma_k \cdot m}{q_k}}, \quad (3.17)$$

где  $K_{зан}$  - коэффициент заполнения шпуров ВВ. Его следует брать в пределах 0,6 – 0,7 при  $d_n = 36$  мм,  $\Delta = 1 - 1,2$  г/см<sup>3</sup> и 0,45 – 0,5 при  $\Delta = 1,45 - 1,55$  г/см<sup>3</sup>;

$\gamma_k$  – масса 1 м заряда оконтуривающего шпура, кг/м,

$$\gamma_k = \frac{\pi \Delta d_n^2}{4}, \quad (3.18)$$

$m$  – коэффициент сближения шпуров,

$$m = \frac{a_k}{w_k}, \quad (3.19)$$

$a_k$  – расстояние между оконтуривающими шпурами, м.

Предварительно можно принять, что при слоистых породах в выработках, проводимых по простиранию,  $m=0,8$  у стенок выработки и  $m = 1,2$  у кровли (для первого приближения при расчетах можно принять  $m=1$ ),

$d_n$ , - диаметр патронов ВВ в оконтуривающих шпурах,  
м;

$q_k$  - удельный расход ВВ, определенный по формуле (3.4) или (3.9), кг/м<sup>3</sup>,

Число оконтуривающих шпуров определяют по формуле

$$N_{ok} = \frac{P_k}{a_n},$$

где  $P_k$  - периметр выработки по линии расположения оконтуривающих шпуров.

На расстоянии от оконтуривающих шпуров располагают отбойные шпуры. Если текстура и крепость породы не изменяются в пределах контура выработки, а значения коэффициента заполнения шпуров и масса до 1 заряда также сохраняются, то расстояния между шпурами равны

$$a_{от} = a_k, \quad W_{от} = W_k$$

Если изменяются величины  $K_{зап}$ ,  $\gamma_{от}$ , то расчет сетки расположения шпуров необходимо производить в той же последовательности, что и для оконтуривающих шпуров.

Удельный расход ВВ для зарядов врубовых и вспомогательных шпуров производят по формулам (3.2) или (3.5), как для забоев с одной обнаженной поверхностью.

Число врубовых и вспомогательных шпуров рассчитывают по формуле

$$N_{ep} = \frac{1,27q_{ep}S_1\eta_{ep}}{d_n^2 K_{зан ep} \Delta_{ep}}, \quad (3.21)$$

где индекс *v* обозначает параметры заряда и взрывчатого вещества для врубовых и вспомогательных шпуров;

$S_1$  - площадь зоны выработки, разрушаемой зарядами врубовых и вспомогательных шпуров, м

Общее число шпуров на забой, а также расход ВВ и СВ определяются суммированием соответствующих расчетных данных по всем комплектам шпуров. Необходимо помнить, что величина заряда в шпурах должна быть кратной весу патрона ВВ.

### 3.3. Примерный бланк паспорта БВР

#### 3.3.1. Паспорт буровзрывных работ.

Наименование выработки. Мероприятия безопасного ведения БВР.

#### 3.3.2. - Показатели паспорта буровзрывных работ (БВР)

№	Показатель		Ед. изм.	Кол-во
	Категория	по газу по пыли		
	Сечение выработки	Вчерне в свету	м <sup>2</sup>	
	Крепость по М.М Про- годьяконову	Угля породы		
	Буровые механизмы	по углю по породе (тип)		
	Коронки, резцы	по углю по породе (тип)		
	Количество шпуров на цикл	по углю по породе	шпуров	

Продолжение таблицы 3.3.2.

Количество шпурометров на цикл	по углю по породе	шп.м	
Количество шпурометров на 1 м проходки	по углю по породе	шп.м	
КИШ шпуров	по углю по породе		
Тип ВВ	по углю по породе		
Расход ВВ	На цикл на 1 пог.м.	кг	
Расход СВ	На цикл на 1 пог.м.		
Тип детонаторов			
Тип взрывной машинки			
Величина внутренней забойки		м	
Материалы внутренней забойки			
Подвигание забоя за взрыв		м	
Выход массы на цикл	по углю по породе	м <sup>3</sup>	

### 3.3.3. Схема расположения шпуров

Схема расположения шпуров изображается в трех проекциях; поперечный разрез, разрезы в горизонтальной и вертикальной плоскости. Масштаб I : 50.

### 3.3.4. Конструкция зарядов шпуров

Конструкция зарядов шпуров выполняется в одной проекции: продольный разрез шпура с указанием числа патронов ВВ и изображением особенностей конструкции внутренней забойки.

Таблица 3.1 – Задание к расчету параметров БВР

№	Выработка	Форма сечения выработки	Ширина выработки по кровле вчерне	Ширина выработки по почве вчерне	Высота выработки вчерне, м	Коэф-т крепости пород почвы	Коэф-т крепости угля	Мощность пласта	Величина заходки	Категория шахты по газу	Место подрывки	Коэф-т крепости пород кровли	Угол падения пород (пласты угля)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Квершлаг	Сводчатая	-	4,5	3,5	8	-	-	2,2	с/к	-	8	8
2	Полевой откаточный штрек	Трапециевидная	3,0	4,0	2,8	12	-	-	2,0	с/к	-	12	10
3	Откаточный штрек	Трапециевидная	3,0	3,8	2,9	6	1,5	1,2	2,8	III кат	Нижняя	4	8
4	Бремсберг	Трапециевидная	3,5	4,0	2,8	7	2,0	1,0	2,5	на газ	Смешанная	3	10
5	Уклон	Сводчатая	-	3,2	3,0	4	1,8	1,3	2,6	II кат	Смешанная	3	8
6	Разрезная печь	Прямоугольная	4,5	4,5	1,2	4	2,5	1,2	3,0	III кат	-	3	10
7	Квершлаг	Трапециевидная	3,8	4,5	3,2	10	-	-	2,0	с/к	-	10	
8	Полевой откаточный штрек	Сводчатая	-	4,1	3,2	5	-	-	2,5	с/к	-	5	10

Продолжение таблицы 3.1.

9	Откаточный штрек	Сводчатая	-	4,2	3,8	3	2,2	0,9	2,2	с/к	Нижняя	6	8
10	Бремсберг	Сводчатая	-	4,9	3,0	5	1,9	1,3	2,4	III кат	Смешанная	8	10
11	Уклон	Трапециевидная	3,2	4,2	3,0	10	2,5	1,1	2,3	с/к	Нижняя	4	8
12	Просек	Прямоугольная	3,5	3,5	1,3	5	2,0	1,3	3,0	с/к	-	6	10
13	Квершлаг	Сводчатая	-	5,2	3,0	6	-	-	2,0	с/к	-	6	8
14	Полевой откаточный штрек	Трапециевидная	2,8	3,6	2,7	9	-	-	2,3	с/к	-	9	10
15	Откаточный штрек	Сводчатая	-	4,8	2,9	7	2,5	1,6	2,1	с/к	Верхняя	7	8
16	Бремсберг	Трапециевидная	2,2	3,0	2,9	3	1,4	1,8	3,0	III кат	Нижняя	5	10
17	Уклон	Сводчатая	-	4,2	3,0	5	1,9	1,45	2,6	III кат	Верхняя	4	8
18	Печь	Прямоугольная	4,0	4,0	1,1	7	2,8	1,1	2,5	III кат	-	6	10
19	Квершлаг	Трапециевидная	3,4	4,0	3,0	10	-	-	1,7	с/к	-	10	8
20	Полевой откаточный штрек	Трапециевидная	2,9	3,6	3,0	7	-	-	2,0	с/к	-	7	10
21	Откаточный штрек	Сводчатая	-	4,2	3,2	3	3,1	1,0	2,2	II кат	Смешанная	6	8

Продолжение таблицы 3.1.

22	Уклон	Сводчатая	-	3,8	3,2	5	3,2	1,1	2,2	III кат	Смешанная	8	10
23	Бремсберг	Сводчатая	-	3,6	3,1	8	3,0	1,2	2,0	I кат	Смешанная	4	8
24	Просек	Прямоугольная	3,0	3,0	1,25	5	2,0	1,25	2,3	с/к	-	3	10
25	Квершлаг	Прямоугольная	4,3	4,3	3,0	9	2,3	1,3	2,0	с/к	-	9	8
26	Полевой откаточный штрек	Прямоугольная	4,0	4,0	2,8	6	2,1	1,15	2,2	с/к	-	6	10
27	Откаточный штрек	Прямоугольная	4,3	4,3	3,1	4	2,5	1,35	2,1	с/к	Смешанная	7	8
28	Уклон	Прямоугольная	4,2	4,2	3,0	6	2,2	1,0	2,2	с/к	Смешанная	4	10
29	Бремсберг	Прямоугольная	3,8	3,8	2,6	8	2,4	0,9	2,1	III кат	Нижняя	6	8
30	Разрезная печь	Прямоугольная	4,5	4,5	1,3	5	1,9	1,3	3,0	I кат	-	7	10

Таблица 3.2 – Показатели схемы расположения шпуров

Номера шпуров, взрывае-мых в один прием	Длина шпуров, м	Угол наклона шпура		Величина заряда каждого шпура	Длина внут-ренней за-бойки	Тип электро-детонаторов	Примечание
		к вертикальной плоскости, град	к горизонтальной плоско-сти, град				

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевцов Н.Р., Таранов П.И., Левит В.В., Гудзь А.Г., Разрушение горных пород взрывом. - Донецк: Лебедь, 2003.- 553с.
2. Росси Б.Д., Поздняков З.Г., Промышленные взрывчатые вещества и средства взрывания. - М.: Недра, 1973. – 124с.
3. Единые правила безопасности при взрывных работах, - Киев: Норматив, 1992. – 171с.