

Лабораторная работа №1

Определение кислородного баланса взрывчатого вещества и составление реакции взрывчатого разложения ВВ

С химической точки зрения взрыв – это необратимая химическая реакция превращения исходного ВВ в газообразные продукты. Направление реакции и состав конечных продуктов определяют основные параметры взрыва: теплоту, температуру, давление и др.

Для оценки энергетических параметров ВВ необходимо находить соотношение между горючими компонентами и окислителем в молекуле. Это соотношение характеризуется величиной кислородного баланса (K_B), выраженного в процентах.

Кислородным балансом называется выраженное в процентах отношение массы свободного кислорода, остающегося после окисления всего углерода, содержащегося в ВВ, в углекислый газ CO_2 , всего водорода в H_2O , всех металлов в высшие оксиды к массе взятого ВВ. Азот при этом должен оставаться свободным в виде N_2 .

K_B может быть положительным, отрицательным и нулевым.

Положительный K_B - наличие кислорода в составе ВВ превышает количество, необходимое для окисления горючих элементов (при взрывчатом превращении ВВ образуются ядовитые окислы азота, вследствие чего такие ВВ не допускаются для взрывных работ над землей). Вещества с положительным K_B (селитра, нитроглицерин), т.е. окислители, для увеличения мощности ВВ необходимо смешивать с соединениями, имеющими отрицательный кислородный баланс, или с горючими, в которых не содержится кислорода.

Нулевой K_B – в составе ВВ кислород содержится в количестве, необходимом для полного окисления всех горючих элементов, при этом выделяется максимальное количество энергии и детонация проходит с максимальной скоростью.

Отрицательный КБ – наличие кислорода недостаточно для окисления всех горючих элементов и компонентов в продуктах взрывчатого превращения.

При отрицательном кислородном балансе в результате взрыва могут образоваться ядовитые газы (СО), сажа (С), а при положительном - ядовитые оксиды азота. Поэтому в промышленности стремятся использовать ВВ такого состава, чтобы их кислородный баланс приближался к нулю.

Как правило, большинство промышленных взрывчатых веществ являются органическими химическими соединениями, например, тротил $C_7H_5(NO_2)_3$, гексоген $C_3H_6N_6O_6$, аммиачная селитра NH_4NO_3 и т.д.

Если ВВ записать в виде $C_aH_bN_cO_d$, то кислородный баланс находится:

$$K_{\text{б}} = \frac{16 \cdot [d - (2a + \frac{b}{2})]}{M_{\text{ВВ}}} \cdot 100, \%$$

где d, a, b – это количество атомов кислорода, углерода и водорода соответственно;

$M_{\text{ВВ}}$ – молекулярная масса ВВ.

Если ВВ смесевой, т.е. состоит из нескольких компонентов, то кислородный баланс можно определить по следующей формуле:

$$K_{\text{б0}} = K_{\text{б1}} \cdot P_1 + K_{\text{б2}} \cdot P_2 + \dots + K_{\text{бn}} \cdot P_n, \%$$

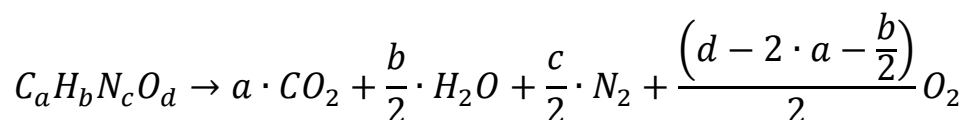
где $K_{\text{б1}}, K_{\text{б2}}, K_{\text{бn}}$ – кислородный баланс компонентов ВВ, %.

P_1, P_2, P_n – содержание компонентов в составе ВВ, доли ед.

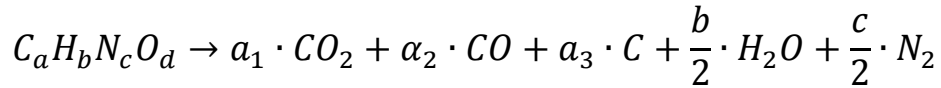
Составление реакций взрывного превращения:

Реакции взрывчатого превращения составляются на основе кислородного баланса, при этом пользуются следующими правилами.

При положительном нулевом кислородном балансе, уравнение реакции имеет вид:



При отрицательном кислородном балансе уравнение реакции:



При этом, в зависимости от величины K_6 возможны 3 случая:

- часть углерода окисляется до CO_2 , другая до CO ;
- весь углерод окисляется до CO ;
- часть углерода окисляется до CO , другая выделяется в свободном виде C .

Для определения вида окислов находят коэффициент f :

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

Если $f > 0$, то $a_1 = f$; $a_2 = a - f$; $a_3 = 0$;

$f = 0$, то $a_1 = a_3 = 0$; $a_2 = a$;

$f < 0$, то $a_1 = 0$; $a_2 = a - |f|$; $a_3 = |f|$.

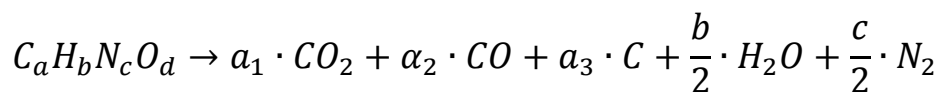
Пример решения.

Определить кислородный баланс гексогена и составить уравнение взрывчатого разложения гексогена $C_3H_6N_6O_6$.

Значение кислородного баланса:

$$K_6 = \frac{16 \cdot [6 - (2 \cdot 3 + \frac{6}{2})]}{222} \cdot 100 = -21,6 \%$$

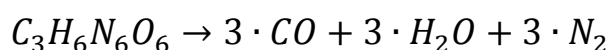
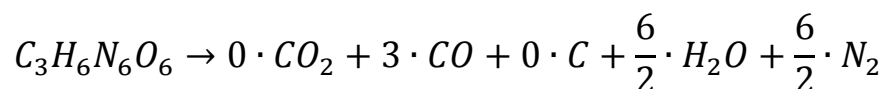
Кислородный баланс отрицательный, следовательно, реакция взрывчатого разложения будет иметь вид:



Тогда, определяем f

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

Если $f = 0$, то $a_1 = a_3 = 0$; $a_2 = 3$, тогда



Варианты заданий на практическую работу

№ №	Наименование ВВ	Состав ВВ	Теплота образования, кДж\моль
1.	Нитроглицерин	$C_3H_5(NO_3)_3$	344,5
2.	ТЭН	$C_7H_5O_{12}N_4$	402,3
3.	Тротил	$C_7H_5(NO_2)_3$	42,3
4.	Тетрил	$C_7H_5N_5O_8$	-55,7
5.	Динитротолуол	$C_7H_6N_2O_4$	64,3
6.	Динитронафталин	$C_{10}H_6N_2O_4$	-29,8
7.	Тринитробензол	$C_6H_3(NO_2)_3$	37,7
8.	Нитроцеллюлоза	$C_6H_7N_3O_{12}$	2700
9.	Нитроглицоль	$C_2H_4N_2O_6$	229,4
10.	Аммиачная селитра	NH_4NO_3	354,8
11.	Нитрометан	CH_3NO_2	-113,2
12.	Нитродиглицоль	$C_4H_8N_2O_7$	415,7
13.	Октоген	$C_4H_8N_8O_8$	74,9
14.	ТНРС	$C_6H_3O_2Pb$	330,3
15.	Пироксилин	$C_{24}H_{29}N_{11}O_{42}$	3000
16.	Гексанитробензол	$C_6N_6O_{12}$	165,2
17.	Гексоген	$C_3H_6N_6O_6$	-93,3

Лабораторная работа №2

Определение удельного расхода взрывчатого вещества

Основные сведения к выполнению работы

В практике инженерных расчетов параметров БВР основным показателем принят удельный расход ВВ. Известными являются методы определения удельного расхода ВВ – Союзвзрывпрома, акад. В.В. Ржевского, проф. Б.Н. Кутузова, проф. Ю.И. Анистратова и др.

Метод определения удельного расхода ВВ по Союзвзрывпрому основан на обобщении многолетнего опыта ведения взрывов в различных породах и условиях. Горные породы по взрываемости подразделены на 11 категорий по классификации СНиП-82, для которых даны коэффициенты крепости по проф. М.М. Протодяконову и расчетные удельные расходы эталонного ВВ - аммонита №6 ЖВ. В случае применения других ВВ значение удельного расхода аммонита №6 ЖВ следует умножить на переводной коэффициент.

Акад. В.В. Ржевский предложил определять удельный расход в зависимости от физико-механических свойств взрывааемых пород. Расчетный (проектный) удельный расход ВВ q_{II} (г/м³) определяется по формуле

$$q_{II} = q_{\text{Э}} \times e \times k_q \times k_{C.3} \times k_y \times k_{II} ,$$

где $q_{\text{Э}}$ – эталонный удельный расход (г/м³), рассчитывается по формуле

$$q_{\text{Э}} = 0.1 \times k_T \times (\sigma_{CЖ} + \sigma_{CД} + \sigma_{PACT}) + 40 \times \rho ;$$

$\sigma_{CЖ}, \sigma_{CД}, \sigma_{PACT}$ - соответственно, предел прочности пород на сжатие, сдвиг, растяжение, МПа; $k_T = 1,2 \times d_{CP} + 0,2$ - коэффициент трещиноватости; d_{CP} - средний размер отдельности, м; ρ - плотность породы, т/м³; e – переводной коэффициент; $k_q = 0,5 / d_{CP}$ – поправочный коэффициент на расход ВВ с учетом требуемой степени дробления; k_{C3} – поправочный коэффициент на степень сосредоточения заряда - $k_{C3} = 0,8; 1,0; 1,2$, соответственно, при $d_{CKB} = 100, 200$ и 300 мм; k_y – поправочный коэффициент на высоту уступа, k_y

$= \sqrt[3]{\frac{15}{H_y}}$ при высоте уступа H_y до 15...18 м и $k_y = \sqrt[3]{\frac{H_y}{15}}$ при $H_y > 18$ м; k_{Π} – поправочный коэффициент, учитывающий число открытых поверхностей - $k_{\Pi} = 5-5,5$ при двух открытых поверхностях (уступ).

В МГИ под руководством проф. Б.Н. Кутузова разработан метод определения удельного расхода ВВ для массовых взрывов в зависимости от трещиноватости массива и прочностных свойств пород, основанный на сопоставлении результатов взрыва одной и той же породы, разделенной на отдельности, и в массиве (Кутузов и др.1988). Удельный расход ВВ q_{Π} (кг/м³) определяется по формуле

$$q_{\Pi} = 0,13 \times \rho \times \sqrt[4]{f} \times (0,6 + 3,3 \times d_o \times d_3) \times \left(\frac{0,5}{d_K}\right)^{2/5} \times \sqrt[3]{\frac{0,25 \times d_K}{d_{CP}}} \times e,$$

где ρ - плотность породы т/м³; f – коэффициент крепости; d_K – кондиционный размер куска, м (принять равным 0,8 м); d_o - средний кусок отдельности в массиве, м; d_3 – диаметр заряда, м; d_{CP} – требуемый средний кусок взорванной массы, м; $e = Q_{\text{Э}} / Q_{\text{Ф}}$ – коэффициент относительной работоспособности ВВ, здесь $Q_{\text{Э}}$ – теплота взрыва эталонного ВВ, $Q_{\text{Ф}}$ – теплота взрыва применяемого ВВ.

Известные формулы для расчета удельного расхода ВВ позволяют определить основные параметры типового проекта массового взрыва. Величины удельного расхода ВВ, рассчитанные по изложенным методикам, могут различаться в 1,5 – 1,8 раза, поэтому они затем уточняются в процессе практического проведения буровзрывных работ в конкретных условиях месторождения или его части.

Задание на лабораторную работу

Определить удельный расход ВВ для рыхления горной породы по методикам Союзвзрывпрома, акад. В.В. Ржевского, проф. Б.Н. Кутузова, исходя из следующих условий:

- ✓ Коэффициент крепости породы, $f=9.0$

- ✓ Предел прочности пород на сжатие, $\sigma_{сж}=100$ МПа
- ✓ Предел прочности пород на сдвиг, $\sigma_{сд}=22$ МПа
- ✓ Предел прочности пород на растяжение, $\sigma_{р}=14$ МПа
- ✓ Плотность породы, $\gamma=2,4$ т/м³
- ✓ Высота уступа, $H_y=15$ м
- ✓ Угол откоса уступа, $\alpha=70$ град
- ✓ Размер отдельности массива, $l_{ср}=1,1$ м
- ✓ Требуемый средний размер куска, $d_{ср}=0,7$ м

В качестве взрывчатого вещества использовать граммонит 79/21 с $e=1$.

Удельный расход ВВ (по Союзвзрывпрому) выбирается в соответствии со свойствами породы для заряда рыхления по нижеприведенной таблице.

Расчетный удельный расход взрывчатого вещества аммонит 6ЖВ

Порода	Группа (категория) грунтов и пород по классификации СНиП— 82	Коэффициент крепости по шкале проф. М. М. Протодьяконова	Средняя плотность породы, кг/м ³	Расчетный удельный расход ВВ, кг/м ³	
				для зарядов рыхления q_p	для зарядов выброса q_b
Песок	I	-	1500	-	1,6—1,8
Песок плотный или влажный	I-II	-	1650	-	1,2—1,3
Суглинок тяжелый	II	-	1750	0,35—0,4	1,2-1,5
Глина ломовая	III	-	1950	0,35—0,45	1,0—1,4
Лес	III-IV	-	1700	0,3—0,4	0,9-1,2
Мел, выщелоченный мергель	IV-V	0,8—1,0	1850	0,25—0,3	0,9—1,2
Гипс	IV	1,0—1,5	2250	0,35—0,45	1,1 — 1,5
Известняк-ракушечник	V-VI	1,5—2,0	2100	0,35—0,6	1,4—1,8
Опока, мергель	IV-VI	1,0—1,5	1900	0,3—0,4	1,0—1,3
Туфы трещиноватые, плотные, тяжелая пемза	V	1,5—2,0	1100	0,35—0,5	1,2—1,5
Конгломерат, брекчии на известняковом и глинистом цементе	IV-VI	2,3—3,0	2200	0,35-0,45	1,1 — 1,4
Песчаник на глинистом цементе, сланец глинистый, слюдистый, мергель	VI-VII	3,0—6,0	2200	0,4—0,5	1,2—1,6
Доломит, известняк, магнезит, песчаник на известняковом цементе	VII-VIII	5,0—6,0	2700	0,4—0,5	1,2—1,8
Известняк, песчаник, мрамор	VII-IX	6,0—8,0	2800	0,45—0,7	1,2—2,1
Гранит, гранодиорит	VII-X	6—12	2800	0,5—0,7	1,7—2,1
Базальт, диабаз, андезит, габбр	IV-XI	6—18	3000	0,6—0,75	1,7—2,2

Кварцит	X	12—14	3000	0,5—0,6	1,6—1,9
Порфирит	X	16—20	2800	0,7—0,75	2,0—2,2
Примечание. В случае применения других ВВ приведенные в табл. 2. значения q_b и q_e следует умножить на поправочный коэффициент $k_{об}$ принимаемый по табл. 3					

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Расчет параметров скважинных зарядов рыхления на уступе

Метод рыхления скважинными зарядами является основным на карьере. Для разрушения массива применяют вертикальные и наклонные скважины диаметром 100...300 мм, расширяемые в заряжаемой части на некоторых железорудных карьерах термическим способом до 400...500 мм, глубиной 5...20 м и более.

Диаметр взрывной скважины D (м) рекомендуется определять по формуле:

$$D = \frac{(H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha + c) \cdot \sqrt{\gamma}}{30 \cdot (3 - m)},$$

где H_y – высота уступа, м; α – угол откоса уступа, град; c – безопасное расстояние от скважины до бровки уступа (2...3 м), м; γ – плотность породы, т/м³; m – коэффициент сближения скважин.

Глубина скважины L_c , м

$$L_c = H_y + l_{пер},$$

где $l_{пер} = (10..15) \times D$ – глубина перебура, м.

Перебур взрывных скважин необходим для лучшего разрушения массива на уровне подошвы и размещения в нижней части массива большего заряда ВВ. С увеличением глубины перебура более 12...15 диаметров заряда преодолеваемое сопротивление по подошве (СПП) не изменяется. Поэтому глубина перебура принимается для слабых пород равной 10 диаметрам зарядов, для крепких, трудно взрывааемых – 15 диаметрам заряда. При наличии

мягких пластов в подошве (уголь, глина, песок) скважины не добуривают на 0,5...1,0 м до этого пласта.

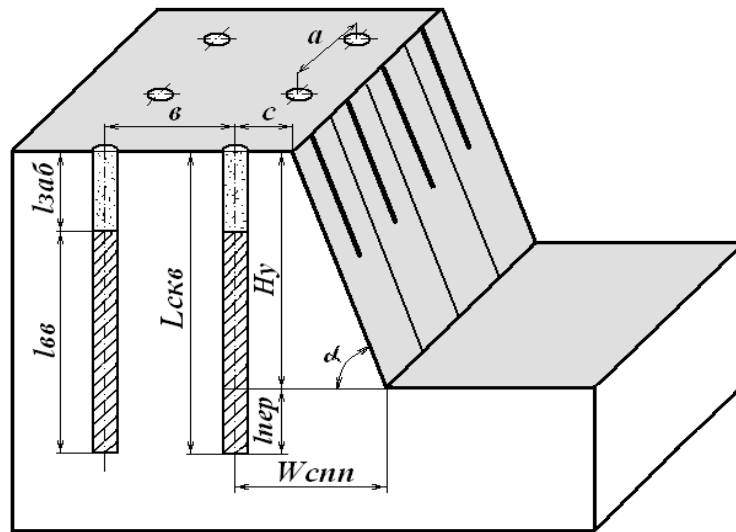


Схема расположения скважинных зарядов на уступе

Расчетная величина сопротивления по подошве $W_{снп}$ (м) для вертикальных скважин определяется по формуле

$$W_{снп} = \frac{\sqrt{0,25 \cdot P^2 + 4 \cdot q_n \cdot P \cdot H_y \cdot L_c} - 0,5 \cdot P}{2 \cdot q_n \cdot H_y},$$

где P – вместимость одного метра скважины, определяют по формуле

$$P = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \Delta_3, \text{ кг/м};$$

L_c – глубина скважины, м; Δ_3 – плотность ВВ в заряде, кг/м³.

Расстояния между скважинами в ряду a (м) и между рядами скважин b (м):

$$a = m \cdot W_{снп},$$

где m – относительное расстояние между скважинами, $m=0,9...1,3$ при короткозамедленном взрывании.

Расстояния между рядами скважин находят из соотношения:

$$b = 0,95 \cdot W_{снп}.$$

Полученные значения сетки скважин округляют до 0,1 м.

Величина забойки влияет на разлет породы при взрыве, ширину развала породы и использование энергии взрыва на разрушение. С увеличением длины забойки уменьшается разлет породы и ширина развала, повышается коэффициент использования энергии ВВ на дробление. Однако при этом уменьшается величина заряда в скважине, что приводит к сближению сетки скважин. Поэтому рекомендуется принимать минимальную величину забойки $l_{заб}$ (м) по условиям безопасности и компактности развала:

$$l_{заб} = 0,5 \cdot W_{cnn},$$

при этом должно соблюдаться условие $l_{заб} \geq 20 \cdot D$, м.

Величину сопротивления по подошве по условию безопасности обуривания W_{δ} (м) определяют по формуле

$$W_{\delta} = H_y \cdot ctg\alpha + c,$$

где α – угол откоса уступа, град; c – безопасное расстояние между устьем скважины первого ряда и верхней бровкой уступа (согласно ЕПБ – больше величины бермы безопасности, но не менее 2 м).

Если W_{cnn} меньше W_{δ} , то применяют наклонное бурение, увеличивают диаметр скважины, меняют ВВ.

Наклонные скважины бурят параллельно откосу уступа при большой высоте уступа в трудновзрываемых породах и при малом их диаметре. Расчетная величина сопротивления по подошве для наклонных скважин первого ряда W_l (м) находится по формуле

$$W_l = \frac{\sqrt{P^2 + 4 \cdot q_n \cdot P \cdot H_y \cdot L'_c \cdot m} - P}{2 \cdot q_n \cdot H_y \cdot m}.$$

Длина наклонной скважины, м

$$L'_c = \frac{H_y}{\sin\alpha_c} + l_{nep},$$

где α_c – угол наклона скважины к горизонту, град.

Масса заряда в скважине Q (кг) определяется по формуле

$$Q = H_y \cdot W_{cnn} \cdot a \cdot q_n.$$

Величину заряда в скважине проверяют по ее максимально возможному заполнению (вместимости скважины) $Q_{max} (кг) \geq Q$:

$$Q_{max} = P \cdot (L_c - l_{заб}).$$

Выход взорванной породы с одного метра скважины $V (м^3/м)$ определяют по формуле

$$V = \frac{0,9 \cdot W_{см} \cdot a \cdot H_y}{L_c}.$$

Задание на лабораторную работу.

Рассчитать параметры расположения скважинных зарядов рыхления на уступе для следующих условий:

- породы - трещиноватые
- сетка скважин – квадратная ($m=1$);
- взрывчатое вещество – граммонит 79/21 с плотностью заряжения 970 кг/м³.

Начертить схему расположения скважинных зарядов в двух проекциях с нанесением необходимых размеров.

Исходные данные для расчета по вариантам.

Вариант	Высота уступа, м	Угол откоса уступа, град	Плотность породы, кг/м ³	Удельный расход ВВ, кг/м ³
1	10	65	2500	0,75
2	12	65	2750	0,63
3	15	70	2800	0,54
4	17	70	2650	0,81
5	12	75	2500	0,74
6	14	75	2700	0,65
7	11	80	2500	0,55
8	10	80	2750	0,49
9	12	85	2800	0,63
10	15	85	2650	0,68
11	17	65	2500	0,38
12	12	65	2700	0,45
13	14	70	3000	0,65
14	11	70	2900	0,71
15	10	75	2850	0,72
16	12	75	2800	0,66

17	15	80	2650	0,60
18	10	80	2500	0,50
19	12	65	2700	0,71
20	15	70	2900	0,82