

УДК 622.271:622.235.

В.П. Тарасенко

**ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ
РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВНОЙ
ОТБОЙКИ НА КАРЬЕРАХ С УЧЕТОМ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ ЭЛЕМЕНТОВ
КОНСТРУКЦИИ УДЛИНЕННЫХ ЗАРЯДОВ**

Разработано и реализовано представление о том, что основой, определяющей эффективность действия удлиненного скважинного заряда в массиве горных пород является сочетание сферической и цилиндрической симметрий в развитии картины разрушения.

Ключевые слова: удлиненный скважинный заряд, взываемость горных пород, размер забойки, взорванная порода.

Предлагаемая методика опирается на ряд новых научных принципов обоснованных и разработанных автором статьи на кафедре "Взрывное дело" МГГУ. К их числу в первую очередь следует отнести следующее.

– Разработано и реализовано представление о том, что основой, определяющей эффективность действия удлиненного скважинного заряда в массиве горных пород является сочетание сферической и цилиндрической симметрий в развитии картины разрушения. Основой механизма действия на массив торцевых эффектов при взрыве удлиненных зарядов (приустьевый заряд и заряд в перебуре) служит сферическая (центральная) симметрия, характерная для взрывов сосредоточенных зарядов. Колонковая часть заряда выполняет основную работу по формированию объема разрушения породы и степени его дробления, действуя в режиме цилиндрической (осевой) симметрии. реализация этих особенностей действия удлиненных зарядов позволила ввести понятие о средневзвешенной величине удельного расхода ВВ и обосновать тем самым один из важных научных принципов.

– Второй научный принцип связан с корректировкой существующих представлений о взываемости горных пород на основе обоснования, расчета и масштабного тестирования показателя относительной вязкости горных пород λ_3 .

– Третий научный принципложен в основу развитых автором представлений о критической длине l_{kp} скважинного заряда и ее расчете. Установлено, что если длина заряда $l_{zar} \geq l_{kp}$, то дальнейшее увеличение длины заряда при неизменном диаметре и, следовательно, увеличение глубины скважины не оказывает влияния на характер действия приустьевой части заряда в направлении верхней площадки уступа (имеются ввиду форма и размеры воронки разрушения, разлет кусков взорванной породы, интенсивность УВВ, формирование пылегазового облака).

– Четвертый научный принцип устанавливает амбивалентность приусьтевого заряда длиной l_c , на основе которой обоснован и рассчитан параметр

$$\beta = \frac{l_c}{l_{заб}},$$

определяющий переход от одного вида симметрии к другому. Наличие двух видов симметрии – главная особенность действия в среде удлиненных скважинных зарядов, определяющая методику расчета параметров отбойки и условие ее реализации.

– Пятый научный принцип связан с определением размеров забойки, устанавливает их связь с основными параметрами отбойки и, прежде всего, позволяет рассчитать величину минимального для конкретных условий взрывания диаметра удлиненных зарядов.

– Основное исходное соотношение, позволяющее определить длину забойки скважин, а затем на ее основе минимальную величину диаметра зарядов, имеет следующий вид

$$l_{kp} = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} l_{заб}, \quad (1)$$

$$\text{где } \varepsilon = \frac{1}{(D\chi/1,9C_{заб})+1}. \quad (2)$$

Здесь D – скорость детонации применяемого ВВ, $C_{заб} = 1300$ м/с и $\chi = 1,5$ – соответственно скорость звука и коэффициент бокового распора, которые наиболее близки к большинству реально используемых так называемых местных материалов для забойки скважин.

При проектировании параметров взрывной отбойки по разработанной автором методике необходимо выполнение двух условий:

$$l_{зар} \geq l_{kp}, \quad (3)$$

$$l_{зар} \geq \nu H, \quad (4)$$

из них для продолжения расчетов следует выбрать соотношение

$$l_{kp} = \nu H, \quad (5)$$

которое наряду с уравнением (1) является второй формой записи выражения, определяющего l_{\geq} . Известно, что в диапазоне $0,8 \leq \nu \leq 1$ в качестве предпочтительно значения следует рассматривать $\nu = 0,8$, как имеющее наибольший индекс цитируемости по данным учебной и справочной литературы. Используя обе формы записи для определения l_{\geq} , получим

$$\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} l_{заб} = \nu H \quad (6)$$

и далее

$$l_{заб} = \frac{\nu H \varepsilon}{1-\varepsilon}. \quad (7)$$

Величину $\nu = \frac{l_{\text{зар}}}{H} = 0,8$ следует рассматривать как расчетную базовую с точки зрения полноты использования объема скважины под размещение в ней удлиненного заряда ВВ. При этом $\nu = 0,8$ можно считать исходным и заданным в начале проектирования параметром взрывной отбойки на карьерах. Используя уравнение (7), а также установленную ранее автором другую формулу для расчета $l_{\text{зар}} = \frac{28d}{(1+0,5\beta)^{1,5}} \sqrt{\frac{\beta\Delta}{N_q K_H}}$ и, приравняв их, получим

$$d \geq \frac{\nu H \varepsilon (1+0,5\beta)^{1,5}}{28(1-\varepsilon)} \cdot \sqrt{\frac{N_q K_H}{\Delta\beta}}. \quad (8)$$

Уравнение (8) устанавливает минимальную предпочтительную величину d , поскольку определяется основными параметрами свойств ВВ, взрываемой породы и материала забойки. Оно свободно от влияния технических и технологических факторов, расчетные значения которых в значительной степени неопределены и неоднозначны. Если есть причины, по которым необходимо проведение предварительного технико-экономического анализа с целью корректировки расчетной величины d , то основные технологические ограничения должны быть обоснованы и включены в состав исходных для проектирования данных. Примером реализации такого подхода может служить использование показателя $\nu = \frac{l_{\text{зар}}}{H}$ в качестве исходного для проектирования взрывной отбойки параметра. Этот параметр используется при расчетах d (8) и $W_n = \frac{28d}{\sin\alpha} \sqrt{\frac{\Delta}{q_{\text{св}}}} \nu$. Кроме того, при $\nu = 0,8$ определяется и предпочтительная длина заряда $l_{\text{зар}} = 0,8H$, формирующая объем разрушенной взрывом породы и обеспечивающая требуемую степень ее дробления. Необходимо иметь в виду при обосновании возможности увеличения диаметра до величины, превышающей значение его, рассчитанное по (8) может повлечь за собой неприемлемое изменение структуры затрат на отбойку. Это связано с тем, что средний диаметр куска взорванной породы $d_{\text{ср}}$ (он уменьшается с уменьшением d , поскольку $d_{\text{ср}} = 0,17d^{\zeta^{1,5}}$) при определении конечных затрат на получение товарного продукта (например, рудного концентратата) оказывает значительно большее влияние, нежели технологические и производственные факторы, связанные с отбойкой.

Увеличивая по технологическим причинам диаметр удлиненного скважинного заряда, по сравнению с расчетной предпочтительной его величиной, необходимо помнить о возможной потере контроля и управления над действием взрыва. В первую очередь это относится к разлету кусков взорванной породы в направлении верхней площадки уступа. Возрастает также интенсивность УВВ наряду с изменением условий формирования пылегазовых облаков и изменением средневзвешенного удельного расхода

ВВ. Диаметр скважинного заряда является основным геометрическим элементом конструкции заряда, определяющим не только размеры других элементов, но и необходимую их сопряженность. Именно по этим причинам расчет диаметра скважин при проектировании отбойки предваряет расчет основных параметров, характеризующих и определяющих эффективность процесса рудоподготовки взрывами на карьерах.

Условие устойчивого контроля и управления процессом взрывной отбойки при применении удлиненных зарядов определяется следующим неравенством:

$$L \geq L_0 = \frac{l_{\text{зар}}}{\varepsilon}, \quad (9)$$

где $L = H + l_{\text{п}}$ - глубина скважин; L_0 - контрольный параметр, открывающий возможности и область эффективного применения предложенной методики расчета параметров отбойки. Параметр $L_0 = \frac{l_{\text{зар}}}{\varepsilon}$ в расчетах является промежуточным и в качестве самостоятельного не используется, $l_{\text{п}}$ - глубина перебора.

Иллюстрация последствий нарушения условий (9) будет рассмотрена ниже на примере взрыва зарядов игданита в одной из разновидностей богатой брекчеевидной руды (Коршуновский ГОК). Рассмотрим далее содержание и порядок расчета основных параметров отбойки, представляющих собой совокупность решений, являющихся альтернативой существующей (традиционной) методике расчета. В качестве традиционной рассматривается методика, изложенная в учебниках и справочниках, и используемая на карьерах при составлении типовых проектов массовых взрывов. Необходимость разработки альтернативной методики, как было отмечено выше, связана с отсутствием в традиционной методике адекватных обоснованных ответов на изменившиеся условия отбойки за прошедшие 40 лет. Убедительным подтверждением этого служит анализ изменившегося состава исходных для проектирования данных. Набор необходимых параметров и показателей содержится в таблице и соответствует конкретным условиям отбойки: ВВ – алюмотол, порода – диабаз неизмененный (Оленегорский ГОК).

Из анализа представленных в таблице данных следует, что все они используются в расчетах по новой методике. В традиционном подходе к проектированию взрывной отбойки применяются лишь 7 параметров из 21, т.е. 33 %. Это ограничивает обоснованность и достоверность расчетов с одной стороны, а с другой значительно сужает возможности для прогнозных оценок.

Главные недостатки связаны с тем, что выбор ВВ не подкрепляется необходимыми расчетами, равно как и обоснование и определение диаметра удлиненных скважинных зарядов. Для оценок последнего в рамках традиционного подхода рекомендованы к использованию следующие выражения:

$$d = (0,01 \dots 0,02)H, \quad (10)$$

Основные показатели свойств взрываемой породы	Комплекс характеристик применяемого ВВ (алюмотол)	Параметры уступа, относительная длина заряда, свойства материала забойки
$\sigma_{cж} = 192 \text{ МПа}$ $\sigma_{cд\delta} = 48 \text{ МПа}$ $\sigma_p = 22 \text{ МПа}$ $\rho = 2920 \text{ кг/м}^3$ $d_e = 1,8 \text{ м}$ $A = 0,85$ $\lambda_3 = 8 - \frac{\sigma_{cж}}{2\sigma_{cд}}$ $\lambda_p = \lambda_3 e_{II}^{2/3}$ $C = \sqrt{\frac{Af}{0,45}} \text{ км/с}$	$D = 5,5 \cdot 10^3 \text{ м/с}$ $\Delta = 1,1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ $Q = 5180 \text{ кДж/кг}$ $e_{II} = \frac{5}{6} \frac{Q}{Q_3} + \frac{1}{6} \frac{V_{Г}}{V_{ГЭ}}$ $\frac{U}{U_-} = e_{II}^2 \frac{\Delta_-}{\Delta}$ $\phi = e_{II}^{2/3}$	$H = 14 \text{ м}$ $\alpha = 70^\circ$ $v = \frac{l_{зар}}{H}$ $0,8 \leq v \leq 1$ $v_\delta = 0,8$ $\chi = 1,5$ $\varepsilon = \frac{1}{(D\chi/1,9C_{зар})+1}$

$$d = 0,2 \cdot \sqrt[4]{\frac{\Pi}{d_e}}, \quad (11)$$

$$d \geq \frac{H \operatorname{ctg} \alpha + C}{53K} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho}{\Delta K_{BB}}}, \quad (12)$$

$$d = 28H \cdot \sqrt{\frac{K}{\Delta}}. \quad (13)$$

Первые два из рассматриваемых соотношений чрезмерно формализованы. Третье выражение применимо только для вертикальных скважин первого ряда. Трудность взрывания породы в этом соотношении определяется коэффициентом $K = 1,0 \div 1,2$, что не соответствует многообразию условий отбойки, а отношение ρ/Δ весьма далеко от реальных оценок влияния свойств породы и ВВ на диаметр зарядов. Уравнение (13) содержит K - удельный расход ВВ при взрывах рыхления, определяемый по широко известной таблице, составленной для сосредоточенных зарядов эталонного ВВ. Расчетные величины q_{II} проектного удельного расхода ВВ, определяемые рядом авторов, почти в 2 раза больше табличных значений K . Уравнение (13) было предложено специалистами треста "Союзвзрывпром", по мнению которых оно решает важную задачу. Суть задачи состоит в определении диаметра скважины, при котором она заполнена ВВ на 2/3 длины и более. Именно этот подход, но использующий в качестве критерия заполне-

ния скважины зарядом ВВ параметр $\nu = \frac{l_{\text{зар}}}{H}$, был применен при разработке новой методики расчета. Как будет показано ниже, идея перевода базового значения параметра $\nu = 0,8$ в число исходных данных для проектирования взрывов удлиненных зарядов оказалось плодотворной, смысл идеи состоит в том, что изначально в основу проектирования заложен принцип наиболее полного использования объема скважины по его прямому назначению - размещению заряда ВВ. Этот и рассмотренные ранее принципы позволили обосновать, разработать и реализовать новый подход, определяющий содержание и порядок как расчета параметров зарядов, так и отбойки горных пород взрывом удлиненных зарядов. С этой целью необходимо выполнить следующую последовательность действий на основе данных таблицы.

1. Для выбранного в соответствии с ранее разработанными рекомендациями [1] взрывчатого вещества по формуле Юхансона и Лангефорда определяется $e_{\text{п}}$ - потенциальная относительная работоспособность ВВ. В рассмотренном конкретном случае для алюмотола

$$e_{\text{п}} = \frac{5}{6} \frac{Q}{Q_3} + \frac{1}{6} \frac{V_{\Gamma}}{V_{\Gamma 3}} = \frac{5}{6} \frac{5180}{4300} + \frac{1}{6} \frac{0,815}{0,895} = 1,16, \quad (14)$$

где Q и Q_3 - удельная теплота взрыва для алюмотола и аммонита 6ЖВ соответственно.

2. Определяется $\frac{U}{U_3}$ - относительная реальная работоспособность применяемого ВВ (алюмотола):

$$\frac{U}{U_3} = e_{\text{п}}^2 \frac{\Delta_3}{\Delta} = 1,16^2 \cdot \frac{0,9}{1,1} = 1,1, \quad (15)$$

где U и U_3 - удельные энергии испытуемого (алюмотол) и эталонного ВВ, реализуемые в процессе формирования воронок нормального выброса; Δ и Δ_3 - плотности заряжания испытуемого и эталонного ВВ.

3. Устанавливается K_H - критерий взываемости породы (диабаз неизменный):

$$K_H = (Af)^{0,25} \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_3} \right)^{1,5} = (0,85 \cdot 19,2)^{0,25} \left(\frac{5,5}{6,7} \right)^{1,5} = 1,49 \text{ кг/м}^3, \quad (16)$$

где $\lambda_p = \lambda_3 e_{\text{п}}^{2/3} = 6 \cdot 1,16^{2/3} = 6,63$ при

$$\lambda_3 = 8 - \frac{\sigma_{\text{сж}}}{2\sigma_{\text{сж}}} = 8 - \frac{192}{2 \cdot 48} = 6.$$

4. Рассчитывается в случае отсутствия других данных С - величина скорости звука в породе [2]:

$$C = \sqrt{\frac{Af}{0,45}} = \sqrt{\frac{0,85 \cdot 19,2}{0,45}} = 6,0, \text{ км/с.} \quad (17)$$

5. Определяются расчетные показатели β при прямом β_{np} и обратном инициировании зарядов

$$\begin{aligned} \beta_{np} &= \frac{0,06\lambda_p \sqrt[3]{K_H}}{1 + \frac{C}{D} - 0,03\lambda_p \sqrt[3]{K_H}} = \frac{0,06 \cdot 6,63 \cdot 1,14}{1 + \frac{6}{5} - 0,03 \cdot 6,63 \sqrt[3]{1,49}} = 0,23, \\ \beta_{oob} &= \frac{0,06\lambda_p \sqrt[3]{K_H}}{2,43 \cdot \frac{C}{D} - 1 - 0,03\lambda_p \sqrt[3]{K_H}} = \frac{0,06 \cdot 6,63 \cdot 1,14}{2,43 \cdot 1,09 - 1 - 0,03 \cdot 6,63 \sqrt[3]{1,49}} = 0,32 \\ \beta &= (\beta_{np} + \beta_{oob}) \cdot 0,5 = 0,28. \end{aligned} \quad (18)$$

6. Устанавливается q_{np} - предельная величина удельного расхода ВВ (алюминотол) для колонковой части удлиненных скважинных зарядов, расположенных по квадратной сетке

$$q_{np} = \frac{1 + 0,5\beta}{\delta\beta} K_H = \frac{1 + 0,5 \cdot 0,28}{5,88 \cdot 0,28} \cdot 1,49 = 1,03 \text{ кг/м}^3. \quad (19)$$

7. Рассчитывается коэффициент забойки ε :

$$\varepsilon = \frac{1}{(D \cdot \chi / 1,9 C_{заб}) + 1} = \frac{1}{(5,5 \cdot 1,5) / 1,9 \cdot 1,3 + 1} = 0,23, \quad (20)$$

где D скорость детонации; $C_{заб}$ и χ – усредненные характеристики забойки из местного материала.

8. Определяется длина забойки:

$$l_{заб} = \frac{\nu H \varepsilon}{1 - \varepsilon} = \frac{0,8 \cdot 14 \cdot 0,23}{1 - 0,23} = 3,34 \text{ м.} \quad (21)$$

9. Рассчитывается длина приульевой части l_c удлиненного скважинного заряда:

$$l_c = \beta l_{заб} = 0,28 \cdot 3,34 = 0,94. \quad (22)$$

10. Длина забойки может быть определена также в соответствии со следующим выражением:

$$l_{заб} = \frac{28d}{(1 + 0,5\beta)^{1,5}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta\beta}{N_q K_H}}. \quad (23)$$

11. Приравняв обе формы записи выражения, определяющего длину забойки

$$\frac{28d}{(1+0,5\beta)^{1,5}} \frac{\sqrt{\Delta\beta}}{N_q K_H} = \frac{\nu H \varepsilon}{1-\varepsilon}, \quad (24)$$

рассчитывают минимально необходимую величину диаметра удлиненных зарядов:

$$d \geq \frac{\nu H \varepsilon (1+0,5\beta)^{1,5}}{28(1-\varepsilon)} \sqrt{\frac{N_q K_H}{\Delta\beta}} = \frac{0,8 \cdot 14 \cdot 0,23 \cdot 1,14^{1,5}}{28(1-0,23)} \sqrt{\frac{0,33 \cdot 1,49}{1,1 \cdot 0,28}} = 0,184 \text{ м} / \quad (25)$$

12. Далее определяют W_{II} - линию сопротивления по подошве уступов:

$$W_{II} = \frac{28d}{\sin \alpha} \sqrt{\frac{\Delta}{q_{ce}}} = \frac{28 \cdot 0,184}{\sin 70^\circ} \sqrt{\frac{1,1}{0,88}} \cdot 0,8 = 5,5 \text{ м}, \quad (26)$$

где q_{ce} - средневзвешенный удельный расход ВВ.

13. Средневзвешенный удельный расход ВВ (алюмотол) составит:

$$q_{ce} = \left(1 - \frac{l_{заб}}{H}\right) q_{np} + N_q K_H \frac{l_{заб}}{H} = \left(1 - \frac{3,34}{14}\right) 1,03 + 0,33 \cdot 1,49 \frac{3,34}{14} = \\ = 0,76 + 0,12 = 0,88 : 3 / <^3 . \quad (27)$$

14. Устанавливается коэффициент перебора ψ :

$$\psi = \frac{4\sigma_{cж}}{\sigma_o \phi \left(1 + \lambda_p\right) \left(1 + \frac{\sigma_{cж}}{\sigma_p}\right)} = \frac{4 \cdot 192}{48 \cdot 1,1 \left(1 + 6,63\right) \left(1 + \frac{192}{22}\right)} = 0,2, \quad (28)$$

где $\phi = \sqrt{\frac{\Delta U}{\Delta_3 U_3}} = e_{II}^{2/3} = 1,1$.

15. Глубина перебора $l_{II} = \psi W_{II} = 0,2 \cdot 5,5 = 1,1$ м. (29)

16. Определяется ξ - показатель квантования размеров кусков взорванной горной породы:

$$\xi = \left(\frac{\Delta}{q_{ce}}\right)^{0,25} \left(\frac{56}{\lambda_p}\right)^{0,5} = 1,06 \cdot 2,89 = 3,06. \quad (30)$$

17. Рассчитывается d_{cp} - средний диаметр куска взорванной породы:

$$d_{cp} = 0,17 d \xi^{1,5} = 0,17 \cdot 0,184 \cdot 3,06^{1,5} = 0,167 \text{ м}. \quad (31)$$

18. Производится проверка соответствия рассчитанных параметров заряда вместимости скважины, имеющей диаметр d и длину заряда $l_{зар} = (H + l_{II}) - l_{заб}$. При этом должны выполняться завершающие расчет соотношения:

$$Q_1 = Q_2, \quad Q_1 = Q'_1 + Q''_1 \text{ и } Q_2 = P \cdot l_{зар}, \quad (32)$$

$$\text{где } Q'_1 = N_q \cdot K_H \cdot W_{II}^2 (l_{sa\bar{b}} + +0,5l_c) = 0,33 \cdot 1,49 \cdot 5,5^2 \cdot 3,81 = 56,67 \text{ кг,}$$

$$Q''_1 = q_{ce} W_{II}^2 (L - l_{sa\bar{b}} - l_c) = 0,88 \cdot 5,5^2 (15,1 - 3,34 - 0,94) = 288,03 \text{ кг,}$$

$$Q_1 = 56,67 + 288,03 = 344,7 \text{ кг,}$$

$$L = H + l_{II} = 14 + 1,1 = 15,1 \text{ м - глубина скважины,}$$

$$P = \frac{\pi d^2}{4} \Delta = \frac{3,14 \cdot 0,184^2}{4} 1100 = 29,23 \text{ кг/м - вместимость,}$$

$$Q_2 = P \cdot l_{sap} = 29,23 \cdot (15,1 - 3,34) = 343,7 \text{ кг.}$$

Это значит, что в пределах точности расчетов выполняется условие $Q_1 \approx Q_2$, т.к. $Q_1 = 344,7$ кг, а $Q_2 = 343,7$ кг.

Далее проведем оценку возможностей предложенной методики расчета применительно к ВВ, имеющему минимальную скорость детонации. Из рассмотренных промышленных ВВ минимальную скорость детонации имеет игданит ($2200 \div 2700$ м/с). Кроме того, известно, что игданит наиболее эффективен в породах нижесредней взрываемости. В качестве примера рассмотрены расчетные параметры, характеризующие применение игданита для взрывной отбойки брекчевидной руды (Коршуновский ГОК). Параметры уступа:

$H = 14$ м, $\alpha = 70^\circ$ при следующих характеристиках свойств руды:

$$A = 0,6; \rho = 3450 \text{ кг/м}^3; \sigma_{ce} = 48,5 \text{ МПа}; \sigma_p = 2,8 \text{ МПа}; \sigma_{cd} = 15,5 \text{ МПа};$$

$$\lambda_3 = 8 - \frac{48,5}{2 \cdot 15,5} = 6,44; C = \sqrt{\frac{Af}{0,45}} = \sqrt{\frac{0,6 \cdot 4,85}{0,45}} = 2,54 \text{ км/с.}$$

По аналогии с рассмотренным выше порядком расчета параметров зарядов и отбойки получим следующие результаты:

1. Потенциальная относительная работоспособность e_{II} игданита:

$$e_{II} = \frac{5}{6} \cdot \frac{3,87}{4,3} + \frac{1}{6} \cdot \frac{0,98}{0,895} = 0,77 + 0,18 = 0,95.$$

2. Реальная относительная работоспособность $\frac{U}{U_3}$:

$$\frac{U}{U_3} = e_{II}^2 \frac{\Delta_3}{\Delta} = 0,95^2 \frac{0,9}{1,1} = 0,74.$$

3. Расчетная величина λ_p показателя относительной вязкости взрываемой руды:

$$\lambda_p = \lambda_3 e_{II}^{2/3} = 6,44 \cdot 0,95^{2/3} = 6,44 \cdot 0,97 = 6,22.$$

4. Расчетная величина скорости звука в руде:

$$C = \sqrt{\frac{Af}{0,45}} = 2,54 \text{ км/с.}$$

5. Определяем K_H - критерий взрываемости брекчеевидной руды:

$$K_H = (Af)^{0,25} \left(\frac{5,5}{\lambda_p} \right)^{1,5} = (0,6 \cdot 4,85)^{0,25} \left(\frac{5,5}{6,22} \right)^{1,5} = 1,31 + 0,83 = 1,09 \text{ кг/м}^3.$$

6. Расчетные показатели β_{np} и β_{ob} при прямом и обратном инициировании соответственно:

$$\beta_{np} = \frac{0,06 \lambda_p \sqrt[3]{K_H}}{1 + \frac{C}{D} - 0,03 \lambda_p \sqrt[3]{K_H}} = \frac{0,06 \cdot 6,22 \sqrt[3]{1,09}}{1 + \frac{2,54}{2,7} - 0,03 \cdot 6,22 \sqrt[3]{1,09}} = \frac{0,38}{1,75} = 0,22,$$

$$\beta_{ob} = \frac{0,06 \lambda_p \sqrt[3]{K_H}}{1 + 0,43 \frac{C}{D} - 0,03 \lambda_p \sqrt[3]{K_H}} = \frac{0,06 \cdot 6,22 \sqrt[3]{1,09}}{1 + 0,43 \frac{2,54}{2,7} - 0,03 \cdot 6,22 \sqrt[3]{1,09}} = \frac{0,38}{1,21} = 0,31,$$

$$\beta = 0,5(0,22 + 0,31) = 0,26.$$

7. Величина коэффициента забойки ε составит:

$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{D \cdot \chi}{1,9 \cdot C_{za\bar{o}} + 1}} = \frac{1}{\frac{2,7 \cdot 1,5}{1,9 \cdot 1,3 + 1}} = \frac{1}{2,64} = 0,38.$$

8. Длина забойки $l_{za\bar{o}}$:

$$l_{za\bar{o}} = \frac{\nu H \varepsilon}{1 - \varepsilon} = \frac{0,8 \cdot 14 \cdot 0,38}{1 - 0,38} = 6,86 \text{ м.}$$

9. Расчетная величина диаметра d удлиненного скважинного заряда игданита составит:

$$d \geq \frac{\nu H \varepsilon (1 + 0,5\beta)^{1,5}}{28(1 - \varepsilon)} \sqrt{\frac{N_q K_H}{\Delta \beta}} = \frac{0,8 \cdot 14 \cdot 0,38 \cdot 1,13^{1,5}}{28 \cdot 0,62} \sqrt{\frac{0,33 \cdot 1,09}{1,1 \cdot 0,26}} = 0,329 \text{ м.}$$

10. Предельная величина удельного расхода игданита для колонковой части заряда q_{np} :

$$q_{np} = \frac{1 + 0,5\beta}{\delta \beta} \cdot K_H = \frac{1 + 0,13}{5,88 \cdot 0,26} \cdot 1,09 = 0,81 \text{ кг/м}^3.$$

11. Средневзвешенный q_{ce} удельный расход, учитывающий совместное действие колонковой и приустьевой частей удлиненных скважинных зарядов:

$$q_{ce} = \left(1 - \frac{l_{za\bar{b}}}{H}\right) q_{np} + N_q K_H \frac{l_{za\bar{b}}}{H} = \left(1 - \frac{6,86}{14}\right) 0,81 + 0,33 \cdot 1,09 \frac{6,86}{14} = 0,59 : 3 / <^3 \cdot 12.$$

Расчетная линия сопротивления по подошве уступов:

$$W_{II} = \frac{28d}{\sin 70^\circ} \sqrt{\frac{\Delta}{q_{ce}} \cdot v} = \frac{28 \cdot 0,329}{0,94} \sqrt{\frac{1,1}{0,59} \cdot 0,8} = 11,97 \approx 12 \text{ м.}$$

13. Коэффициент перебура ψ :

$$\psi = \frac{4\sigma_{cjk}}{\sigma_o \phi \left(1 + \lambda_p\right) \left(1 + \frac{\sigma_{cjk}}{\sigma_p}\right)} = \frac{4 \cdot 48,5}{15,5 \cdot 0,97 \cdot 7,22 \cdot 18,3} \approx 0,1.$$

14. Расчетная глубина перебура l_{II} составит:

$$l_{II} = \psi W_{II} = 0,1 \cdot 12 = 1,2 \text{ м.}$$

Полученные в результате расчетов данные дают основание проверить их, в отличие от первого примера, на соответствие выбранного ВВ (игданит) условиям взрывания. Прежде всего необходимо убедиться в том, что выполняются соотношения, определяющие область применения новой методики расчета параметров отбойки.

Основные критерии, определяющие область применения методики, $L_0 = \frac{l_{za\bar{b}}}{\varepsilon}$, $l_{kp} = vH \leq l_{za\bar{b}}$, и полученное в результате их совместных с выражением $\frac{1}{\varepsilon} = \frac{D \cdot \chi}{1,9C_{za\bar{b}}} + 1$ преобразований получено соотношение $l_{za\bar{b}} = \frac{vH}{0,61D}$.

Ключевым является выражение:

$$L_0 = l_{kp} + l_{za\bar{b}} = vH + \frac{vH}{0,61D} = 0,8 \cdot 14 + \frac{0,8 \cdot 14}{0,61 \cdot 2,7} = 18 \text{ м.}$$

При $L_0 = 18 \text{ м}$ не выполняется центральное условие, в соответствии с которым $L_0 \leq L = H + l_{II}$ не может быть реализовано при высоте уступа $H = 14 \text{ м}$ и скорости детонации игданита $D = 2,7 \text{ км/с}$. Выход из создавшегося положения - отказ от применения в данном конкретном случае игданита и переход на другое ВВ, имеющее большую, чем игданит, скорость детонации, величина которой при $L_0 \leq L = H + l_{II} = 14 + 1,1 = 15,1 \text{ м}$ определяется в результате следующих преобразований:

$$L_0 = vH + \frac{vH}{0,61D}; 15,1 = 0,8 \cdot 14 + \frac{0,8 \cdot 14}{0,61D}; 15,1 - 11,2 = \frac{11,2}{0,61D},$$

откуда $3,9 = \frac{18,36}{D}$, а $D = \frac{18,36}{3,9} = 4,7 \text{ км/с}$, т.е. для рассмотренных условий применяемые ВВ должны иметь $D \geq 4,7 \text{ км/с}$.

Проведенный анализ свидетельствует о том, что совокупность элементов конструкции удлиненных скважинных зарядов и параметров отбойки образуют единую управляемую и контролируемую систему. В рамках этой системы должна быть также решена проблема сопряженности (соответствия) характеристик ВВ и свойств взываемости породы. Как было показано выше, расчеты по новой методике позволяют добиться единства системы взрыва и обеспечить необходимые контроль и управление этим единством.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасенко В.П. Взываемость горных пород и ее роль в определении работоспособности промышленных взрывчатых веществ. ГИАБ №3, 2008. С. 5-11.
2. Методические указания по оценке механического состояния горных массивов с помощью упругих волн. М.: Изд. СФТГП ИФЗ АН СССР, 1976. 59 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Тарасенко В.П. – профессор, доктор технических наук, Московский государственный горный университет, Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru



ГОРНАЯ КНИГА



Сейсмическая безопасность при взрывных работах

Б.К. Совмен, Б.Н. Кутузов, А.Л. Марьясов, Б.В. Эквист, А.В. Токаренко
2012 г.

228 с.

ISBN: 978-5-98672-306-8

UDK: 622.2:614.83(075.8)

Рассмотрены физика процесса возникновения и распространения сейсмических волн, теория колебательных процессов применительно к этой области науки. Приведены методы расчета устойчивости бортов карьеров, сохранности подземных выработок, инженерных конструкций, а также работоспособности электронной техники, находящейся в зоне производства взрывных работ. Проанализировано сейсмическое воздействие короткозамедленного взрывания на окружающую инфраструктуру горного предприятия с использованием различных систем инициирования. Представлены результаты экспериментальных исследований и даны методики конкретных измерений с корректировкой параметров буровзрывных работ.

Б.К. Совмен — канд. техн. наук, президент ЗАО «Полюс»; Б.Н. Кутузов — д-р техн. наук, профессор кафедры «Взрывное дело» (ФГБОУ В ПО «Московский государственный горный университет»); А.Л. Марьясов — главный инженер ЗАО «Полюс»; Б.В. Эквист — д-р техн. наук, доцент кафедры «Взрывное дело» (ФГБОУ ВПО «Московский государственный горный университет»); А.В. Токаренко — директор карьера ЗАО «Полюс».

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Горное дело» направления подготовки «Горное дело». Может быть использовано научными работниками и производственниками в качестве инженерного руководства для оценки сейсмобезопасности взрывных работ.

