

ДЕЙСТВИЕ И РАСЧЕТ ЗАРЯДОВ УМЕНЬШЕННОГО ВЫБРОСА И ЗАРЯДОВ РЫХЛЕНИЯ

С. Д. ОСНОВИН

Выполнение пятилетнего плана развития СССР на 1951—1955 годы требует внедрения передовой техники во все отрасли народного хозяйства, в том числе и в горные работы.

Взрывные работы, масштаб которых с каждым годом возрастает все более и более, имеют весьма крупное значение при горных работах.

Для правильного и эффективного производства взрывных работ необходима надлежащая теоретическая база и достаточный уровень научной разработки расчета зарядов.

Между тем, как это было отмечено на совещании по буровзрывным работам, созванном Всесоюзным научным инженерно-техническим горным обществом в г. Москве в 1939 г., и затем на совещании по буровзрывным работам, проведенном Всесоюзным научным инженерно-техническим горным обществом в г. Москве с 20 по 24 июня 1952 г., вопросы расчета зарядов не имеют еще необходимой теоретической базы, и уровень расчета зарядов отстает от темпов развития буровзрывных работ, и это отставание становится все более и более ощутительным. В резолюции, принятой на последнем совещании, научная разработка данного проблемного вопроса поставлена как одна из основных и первоочередных задач.

В настоящей работе в основу расчета зарядов уменьшенного выброса и зарядов рыхления, которые наиболее широко применяются при горных работах, положен иной принцип, иное объяснение физической сущности явлений, возникающих при взрыве заряда, иной метод их расчета, чем это имело место до сих пор. История же науки и техники показывает, как подчас бывает плодотворно подойти с новой точки зрения к какому-либо прежде известному явлению или установившемуся воззрению в той или иной области нашего знания.

Применяемые методы расчета сосредоточенных зарядов

В основу формул для расчета зарядов уменьшенного выброса и зарядов рыхления, получивших наибольшее распространение, всеми исследователями была положена формула общего вида для расчета зарядов нормального выброса, предложенная почти сто лет тому назад. Эта формула следующая:

$$L = q \cdot W^3 \text{ кг}, \quad (1)$$

где L — вес заряда нормального выброса в кг;

q — удельный расход ВВ в кг/м^3 ;

W — ЛНС в м.

В этой формуле принято:

1) пропорциональность величины заряда весу отрываемой среды или, иначе, объему воронки;

2) при равенстве прочих условий—постоянство удельного расхода ВВ с изменением ЛНС.

Более поздние исследования и практические наблюдения показали, что при производстве горных взрывных работ, когда необходимо только дробление породы, без значительного ее выброса, или только ее рыхление, удельный расход ВВ не остается величиной постоянной, и по мере увеличения глубины заложения заряда можно применять все меньший и меньший удельный расход ВВ. В связи с этим были предложены новые формулы для расчета зарядов, получившие наименование формул для расчета зарядов уменьшенного выброса и зарядов рыхления.

Все эти формулы отличаются по внешнему виду от общей формулы для расчета зарядов нормального выброса только тем, что в них в качестве множителя введена $f(n)$, учитывающая изменение удельного расхода ВВ в зависимости от глубины заложения заряда¹⁾. Вводя в общую формулу для расчета зарядов нормального выброса $f(n)$, все исследователи преследовали одну цель—установить закономерность изменения удельного расхода ВВ с изменением глубины заложения заряда, но не выявляли причину, почему это происходит.

Все формулы для расчета зарядов уменьшенного выброса и зарядов рыхления могут быть представлены в общем виде:

$$Q = f(n) \cdot q \cdot W^3 = f(n) \cdot L \text{ кг}, \quad (2)$$

где Q — вес заряда уменьшенного выброса или заряда рыхления в кг;

$f(n)$ — функция показателя выброса (действия заряда);

q — удельный расход ВВ в кг/м³;

W — ЛНС в м;

L — величина заряда нормального выброса с ЛНС = W .

Задача всех авторов в основном заключалась в выводе математического выражения для $f(n)$, используя свой личный опыт и экспериментальные данные.

Формул для выражения $f(n)$ было предложено много. Значительная часть этих формул практического применения не получила и в настоящее время представляет лишь исторический интерес. За последние ряд лет были предложены формулы для определения $f(n)$ С. Д. Основиним (1939 г.), Н. В. Мельниковым (1944 г.), В. Е. Филипповичем (1944 г.), В. К. Карчевским (1945 г.), С. Д. Основиним (1948 г.).

Числовые значения $f(n)$ и закономерность изменения их по различным формулам резко расходятся между собою, смотря по тому, какими эмпирическими данными и методом обработки их пользовались авторы.

Характерная черта, присущая всем формулам для выражения $f(n)$ та, что всеми исследователями, предлагавшими то или иное математическое выражение для $f(n)$, исходя из принципа, принятого при построении формул для расчета зарядов нормального выброса, допускалась единая закономерность изменения $f(n)$, по единой кривой, что $f(n)$ может иметь только один порядок числовых значений, независимо от того, каковы физико-механические свойства взрывающей среды. Обособленное положение занимает лишь формула С. Д. Основина.

Однако, несмотря на большое количество формул, предложенных для выражения $f(n)$ с разнообразной величиной и порядком числовых значений, до сих пор еще нет общепризнанной формулы, а применение этих формул на практике—в породах с различными физико-механическими свойствами приводит к неудовлетворительным, противоречивым результатам.

¹⁾ В более ранних формулах значение $f(n)$ ставилось в зависимость от значения показателя выброса (действия заряда)— n .

Таково в кратких чертах положение вопроса с применяемыми в настоящее время методами расчета сосредоточенных зарядов уменьшенного выброса и зарядов рыхления. Причину такого положения мы усматриваем в неправильности принципиальных положений, принятых при построении формул для расчета зарядов уменьшенного выброса и зарядов рыхления.

Предлагаемые методы расчета сосредоточенных зарядов

При взрыве заряда энергия его расходуется в двух основных направлениях—для воздействия на отрываемую породу и на деформации в сторону массива. Работа заряда в первом направлении является полезной, поскольку в этом случае заряд выполняет свое прямое назначение. Работа же заряда во втором направлении вызывает только увеличение веса заряда, затрату лишней энергии, не используемой для полезной работы, и в силу этого она может считаться бесполезной.

Расчет каждого заряда должен вестись так, чтобы он мог выполнить требующуюся от него полезную работу. В обратном случае отрываемая порода будет сохранять все свойства массива, и деформации в сторону свободной поверхности будут те же, что и в сторону массива.

Для выполнения полезной работы заряд, согласно выдвигаемому нами принципиальному положению, должен по крайней мере:

- 1) разрушить связь отрываемой породы с массивом;
- 2) преодолеть сопротивление силы тяжести и инерции отрываемой породы;
- 3) преодолеть сопротивление от давления воздушного столба;
- 4) раздробить и переместить весь объем оторванной породы.

Рассматривая действие заряда при взрыве, мы вводим два понятия—воронка отрыва и воронка выброса.

Под воронкой отрыва будем подразумевать воронку, ограниченную поверхностью отрыва.

Под воронкой выброса—воронку, в пределах которой происходит выброс породы.

Под нормальным удельным расходом ВВ—тот удельный расход ВВ, независимо от степени выброса породы, который принят при $\text{ЛНС} = 1 \text{ м}$.

Необходимо отметить, что при значениях показателя выброса (действия заряда) $n \leq 0,75$, как это показали практические наблюдения, порода не выбрасывается, и наружное действие заряда выражается лишь в рыхлении и вспучивании породы (заряды рыхления).

Поверхность воронки выброса не может лежать вне поверхности воронки отрыва.

Допустим теперь, что сосредоточенный заряд, заложенный на глубине в 1 м , действует на одну свободную поверхность и выбрасывает оторванную породу как одно целое, т. е., не производя ее дробления. В этом случае заряд должен преодолеть сопротивление по поверхности воронки отрыва, сопротивление силы тяжести и инерции отрываемой породы и сопротивление от давления воздушного столба.

Нормальный удельный расход ВВ для указанного заряда $q^1_{\text{норм.}}$ теоретически, дифференцированно, можно представить как сумму трех величин:

$$q^1_{\text{норм.}} = q_{\text{пов.}} + q_{\text{тяж.}} + q_{\text{возд.}}, \quad (3)$$

где $q_{\text{пов.}}$, $q_{\text{тяж.}}$ и $q_{\text{возд.}}$ — соответствующие дифференцированные удельные расходы ВВ на преодоление сопротивления по поверхности воронки отрыва, сопротивления силы тяжести и инерции отрываемой породы и от давления воздушного столба.

Предположим далее, что при тех же условиях заряд производит не только выброс породы как одного целого, но и ее дробление. В этом случае удельные расходы ВВ— $q_{пов.}$, $q_{тяж.}$ и $q_{возд.}$ уже не могут сохранить свою прежнюю величину, так как энергия, затраченная на дробление породы, не будет использована для преодоления указанных выше основных сопротивлений; они должны быть увеличены, и нормальный удельный расход ВВ в этом случае в дифференцированном виде выразится так:

$$q_{норм.} = (q_{пов.} + q'_{дробл.}) + (q_{тяж.} + q''_{дробл.}) + (q_{возд.} + q'''_{дробл.}), \quad (4)$$

где слагаемые в правой части уравнения—соответствующие дифференцированные удельные расходы ВВ на преодоление сопротивления по поверхности воронки отрыва, сопротивления силы тяжести и инерции отрываемой породы и от давления воздушного столба, с учетом расхода их энергии на дробление породы.

Вводя сокращенные обозначения, получим

$$q_{норм.} = q_w + q_v, \quad (5)$$

где

$$q_w = (q_{пов.} + q'_{дробл.}) + (q_{возд.} + q'''_{дробл.}), \quad (6)$$

$$q_v = (q_{тяж.} + q''_{дробл.}). \quad (7)$$

Будет ли при этом на дробление породы расходоваться большая, равная или меньшая доля ВВ, чем на преодоление основных сопротивлений, для наших дальнейших выводов это значения не имеет.

Нормальный удельный расход ВВ— $q_{норм.}$ для тех или иных условий взрывания может быть вычислен, пользуясь для этого имеющимися методами или, лучше, определен опытным путем.

Рассмотрим теперь, что будет происходить с удельными расходами ВВ— q_w и q_v с увеличением глубины заложения заряда. Для чего в первую очередь выясним, как будет отражаться изменение глубины заложения заряда на величине отдельных сопротивлений, преодолеваемых зарядом.

Число единиц поверхности отрыва на единицу объема воронки отрыва назовем удельной поверхностью отрыва, а число единиц площади основания воронки отрыва на единицу ее объема—удельной площадью основания.

Примем первоначально воронку отрыва в форме конуса вращения.

Удельная поверхность отрыва у воронки в форме конуса вращения будет:

$$\frac{S}{V} = \frac{\pi \cdot r \cdot l}{\frac{1}{3} \pi \cdot r^2 \cdot W} = \frac{3}{W \cdot \sin \alpha}, \quad (8)$$

где S —поверхность отрыва воронки, m^2 ;

V —объем воронки отрыва, m^3 ;

r —радиус основания воронки, m ;

l —образующая воронки, m ;

α —угол полураствора воронки в градусах.

Из выражения (8) следует, что при постоянном угле α , т. е. при подобии воронок, удельная поверхность отрыва у воронок в форме конуса вращения будет изменяться обратно пропорционально ЛНС.

В табл. 1 приведены результаты вычислений по формуле (8) относительного изменения удельной поверхности отрыва у воронок в форме конуса вращения в зависимости от величины ЛНС, при их подобии.

Таблица

Относительное изменение удельной поверхности отрыва у воронок в форме конуса вращения в зависимости от величины ЛНС

ЛНС, м	0.01	0.1	1.0	2.0	5.0	10.0	20.0	30.0	40.0
Относительное изменение удельной поверхности отрыва	100	10	1.0	0.5	0.2	0.1	0.05	0.033	0.025

На основании таблицы 1 можно установить, что удельная поверхность отрыва у воронок в форме конуса вращения:

1) резко снижается для $\text{ЛНС} > 1 \text{ м}$;

2) резко увеличивается для $\text{ЛНС} < 1 \text{ м}$.

Исследуя воронки отрыва в форме параболоида вращения, усеченного конуса вращения и т. д., можно убедиться, что у любой из них удельная поверхность отрыва при сохранении подобия также будет изменяться обратно пропорционально ЛНС.

Докажем правильность этого положения применительно не к отдельным геометрическим формам воронок отрыва, а в общем виде.

Поверхность отрыва у воронки в форме конуса вращения

$$S = \pi \cdot r \cdot l, \quad (9)$$

объем

$$V = \frac{1}{3} \pi \cdot r^2 \cdot W. \quad (10)$$

Обозначим поверхность отрыва воронки любой геометрической формы через S^1 , а объем—через V^1 .

Поверхность отрыва S^1 можно выразить через поверхность отрыва S , изменив ее в какое-то, неизвестное нам n -ое число раз, а объем V^1 через объем V , изменив его в какое-то, неизвестное нам n_1 -ое число раз; тогда получим:

$$S^1 = n \cdot \pi \cdot r \cdot l, \quad (11)$$

$$V^1 = n_1 \cdot \frac{1}{3} \pi \cdot r^2 \cdot W. \quad (12)$$

Удельная поверхность выразится как

$$\frac{S^1}{V^1} = \frac{n \cdot \pi \cdot r \cdot l}{n_1 \cdot \frac{1}{3} \pi \cdot r^2 \cdot W} = \frac{n}{n_1} \cdot \frac{3}{W \cdot \sin \alpha}. \quad (13)$$

Если воронка отрыва той или иной геометрической формы с изменением ЛНС будет сохранять свое подобие, то отношение $\frac{n}{n_1}$ и угол α в выражении (13) будут величинами постоянными, и удельная поверхность отрыва у нее будет изменяться точно так же, как у воронки отрыва в форме конуса вращения, т. е. обратно пропорционально ЛНС.

Это будет справедливо и в том случае, если сопротивление по поверхности отрыва какого-либо геометрического тела и по поверхности отрыва у воронки в форме конуса вращения выразить в эквивалентных единицах.

Таким образом, все то, что было сказано об изменении удельной поверхности отрыва с изменением ЛНС в отношении воронок отрыва

в форме конуса вращения, полностью относится и к воронкам отрыва любой геометрической формы.

Тем же самым методом, что и выше, нами доказывается, что у воронок отрыва любой геометрической формы удельная площадь основания также будет изменяться обратно пропорционально ЛНС.

Между удельными расходами ВВ:

$$q_{\text{пов.}}, q_{\text{тяж.}}, q_{\text{возд.}}$$

и

$$q'_{\text{дробл.}}, q''_{\text{дробл.}}, q'''_{\text{дробл.}}$$

должна существовать прямая пропорциональная зависимость. А раз это так, то удельный расход ВВ ($q_{\text{пов.}} + q'_{\text{дробл.}}$) будет изменяться так же, как удельная поверхность отрыва, т. е. обратно пропорционально ЛНС или глубине заложения заряда.

В той же пропорции будет изменяться и удельный расход ВВ ($q_{\text{возд.}} + q'''_{\text{дробл.}}$).

Удельный же расход ВВ ($q_{\text{тяж.}} + q''_{\text{дробл.}}$) с изменением глубины заложения заряда при равенстве прочих условий, как это принимали исследователи ранее и принимается нами, будет оставаться величиной постоянной.

Исходя из этих трех положений, нами устанавливается следующая зависимость между удельным расходом ВВ для ЛНС $\neq 1$ м и нормальным удельным расходом ВВ (ЛНС = 1 м):

$$q = \frac{(q_{\text{пов.}} + q'_{\text{дробл.}}) + (q_{\text{возд.}} + q'''_{\text{дробл.}})}{W} + (q_{\text{тяж.}} + q''_{\text{дробл.}}). \quad (14)$$

В соответствии же с принятыми ранее сокращенными обозначениями:

$$q = \frac{q_w}{W} + q_v, \quad (15)$$

где q — удельный расход ВВ для ЛНС $\neq 1$ м в кг.

Выражение (15) показывает, что с увеличением глубины заложения заряда удельный расход ВВ — q_w будет изменяться обратно пропорционально W , а удельный расход ВВ q_v — оставаться величиной постоянной. А это значит, что с увеличением глубины заложения заряда все меньшее и меньшее относительное влияние на величину полного удельного расхода ВВ — q будет оказывать поверхность отрыва и давление воздушного столба и все большее и большее влияние вес или объем отрываемой породы, и наоборот.

Дополнительно нами вводится весьма важное отношение

$$\frac{(q_{\text{пов.}} + q'_{\text{дробл.}}) + (q_{\text{возд.}} + q'''_{\text{дробл.}})}{(q_{\text{тяж.}} + q''_{\text{дробл.}})} = \frac{q_w}{q_v} = k. \quad (16)$$

Коэффициент k — отвлеченное число, представляющее отношение между суммарным удельным расходом ВВ на преодоление сопротивления по поверхности отрыва воронки и от давления воздушного столба к удельному расходу ВВ на преодоление сопротивления силы тяжести и инерции отрываемой породы при заряде с ЛНС = 1 м, с учетом затрат их энергии на дробление породы. От значения коэффициента k будет зависеть закономерность изменения удельного расхода ВВ — q с изменением глубины заложения заряда.

Выразим теперь q_w и q_v через нормальный удельный расход ВВ— $q_{\text{норм.}}$ (ЛНС = 1 м), используя для этого следующую систему ранее установленных зависимостей:

$$q_{\text{норм.}} = q_w + q_v; \quad (17)$$

$$q = \frac{q_w}{W} + q_v; \quad (18)$$

$$\frac{q_w}{q_v} = k. \quad (19)$$

Отсюда:

$$q_v = \frac{q_{\text{норм.}}}{k + 1}; \quad (20)$$

$$q_w = \frac{k \cdot q_{\text{норм.}}}{k + 1}. \quad (21)$$

После подстановки значений для q_w и q_v в выражение (18) получим:

$$\begin{aligned} q &= \frac{k \cdot q_{\text{норм.}}}{k + 1} : W + \frac{q_{\text{норм.}}}{k + 1} = \\ &= \frac{1}{k + 1} \cdot \left(\frac{k}{W} + 1 \right) \cdot q_{\text{норм.}} \text{ кг} \end{aligned} \quad (22)$$

или

$$q = f(k) \cdot q_{\text{норм.}} \text{ кг}, \quad (23)$$

где

$$f(k) = \frac{1}{k + 1} \cdot \left(\frac{k}{W} + 1 \right), \quad (24)$$

$f(k)$ — поправка к нормальному удельному расходу ВВ при ЛНС $\neq 1$ м. Как видно из формулы, удельный расход ВВ— q зависит от двух величин:

- 1) значения $f(k)$;
- 2) значения нормального удельного расхода ВВ— $q_{\text{норм.}}$.

Теоретически возможные числовые значения $f(k)$ приведены в таблице 2.

Теоретически значение $f(k)$ может изменяться в пределах от 1 ($k=0$) до $\frac{1}{W}$ ($k=\infty$). Для горных пород эти пределы будут более узкие.

Основные свойства $f(k)$ следующие:

- 1) при ЛНС = 1 м и всех значениях k $f(k)$ будет = 1;
- 2) для ЛНС $\neq 1$ м в зависимости от значения коэффициента k изменение числовых значений $f(k)$ будет происходить не по одному, а по разным законам и тем резче, чем больше значение коэффициента k ;
- 3) скользящая шкала изменения числовых значений $f(k)$ для ЛНС $\neq 1$ м в зависимости от значения коэффициента k .

В таблице 3 приведены сравнительные данные о числовых значениях $f(k)$ и значениях $f(n)$ по формулам других авторов. Для ЛНС = 30 м значения $f(k)$ приняты равными значениям $f(n)$.

Значения $f(n)$ по формулам Н. В. Мельникова и В. Е. Филипповича весьма близки к значениям $f(k)$ при коэффициенте $k=1,9$. Значения $f(n)$ по формуле В. К. Карчевского полностью совпадают со значениями $f(k)$.

Таблица 2

Числовые значения $f(k)$ при различных значениях коэффициента k

ЛНС, м	Значение коэффициента k																				
	0	0,1	0,5	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	9,5	10,0	10,5	15,0	∞
	Значение $f(k)$																				
1.0	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2.0	1	0.95	0.83	0.75	0.73	0.71	0.69	0.68	0.66	0.63	0.60	0.58	0.57	0.56	0.56	0.55	0.55	0.54	0.54	0.53	0.50
3.0	1	0.94	0.78	0.67	0.64	0.61	0.59	0.57	0.55	0.50	0.47	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.40	0.39	0.39	0.38	0.38
4.0	1	0.93	0.75	0.63	0.59	0.56	0.54	0.52	0.50	0.44	0.40	0.37	0.36	0.34	0.33	0.32	0.32	0.31	0.31	0.30	0.25
5.0	1	0.93	0.73	0.60	0.56	0.53	0.51	0.49	0.47	0.40	0.36	0.33	0.31	0.30	0.29	0.28	0.28	0.27	0.27	0.25	0.20
6.0	1	0.92	0.72	0.58	0.54	0.51	0.49	0.46	0.44	0.37	0.33	0.31	0.29	0.27	0.26	0.25	0.25	0.24	0.24	0.22	0.17
7.0	1	0.92	0.71	0.57	0.53	0.50	0.47	0.45	0.43	0.36	0.31	0.29	0.27	0.25	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22	0.20	0.14
8.0	1	0.92	0.71	0.56	0.52	0.49	0.46	0.44	0.42	0.34	0.30	0.27	0.25	0.24	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.18	0.12
9.0	1	0.92	0.71	0.56	0.51	0.48	0.45	0.43	0.41	0.33	0.29	0.26	0.24	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.17	0.11
10.0	1	0.92	0.70	0.55	0.51	0.47	0.45	0.42	0.40	0.32	0.28	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.16	0.10
15.0	1	0.91	0.70	0.54	0.50	0.46	0.43	0.40	0.38	0.30	0.25	0.22	0.20	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.13	0.07
20.0	1	0.91	0.69	0.53	0.48	0.45	0.42	0.39	0.37	0.29	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.145	0.140	0.136	0.133	0.11	0.05
30.0	1	0.90	0.68	0.52	0.47	0.44	0.40	0.38	0.36	0.28	0.23	0.19	0.17	0.15	0.14	0.130	0.125	0.121	0.118	0.094	0.033

ЛНС, м	$f(n) = (0,2 + 0,8n^3)$	$f(k)$ при $k = 4,8$	$f(n) = (V_{1+n^2} - 0,41)^3$	$f(k)$ при $k = 4,2$	$f(n) = (0,4 + 0,6n^3)$ Боресков	$f(k)$ при $k = 1,6$	$f(n) = (0,5 + 0,5n^3)$ Фролов	$f(k)$ при $k = 1,1$	$f(n) = \left(\frac{4+3n}{7}\right)^3$	$f(k)$ при $k = 3$	$f(n) = \left(V_{\frac{w+1}{w}} - k\right)^3$	$f(k)$ при $k = 7$	$f(n) = \frac{\left(w+1-k \cdot V_{\frac{w+1}{w}}\right)^3}{2V_{2w^3}}$ Мельников	$f(k)$ при $k = 1,9$	$f(n) = \left(\frac{w+1}{2w}\right)^{\frac{3}{2}}$ Филиппович	$f(k)$ при $k = 1,9$	$f(n) = \left(\frac{0,9}{w} + 0,1\right)$ Карчевский	$f(k)$ при $k = 9$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.64	0.72	0.58	0.73	0.73	0.80	0.77	0.84	0.80	0.75	0.62	0.71	0.76	0.78	0.76	0.78	0.70	0.70
2.0	0.50	0.59	0.53	0.60	0.62	0.69	0.68	0.74	0.68	0.63	0.49	0.56	0.68	0.67	0.65	0.67	0.55	0.55
2.5	0.40	0.50	0.46	0.51	0.55	0.64	0.63	0.70	0.59	0.55	0.38	0.48	0.58	0.60	0.58	0.60	0.46	0.46
3.0	0.36	0.45	0.39	0.46	0.52	0.59	0.60	0.65	0.55	0.50	0.33	0.42	0.55	0.56	0.54	0.56	0.40	0.40
4.0	0.30	0.38	0.35	0.39	0.48	0.54	0.56	0.61	0.49	0.44	0.28	0.34	0.53	0.51	0.50	0.51	0.32	0.32
5.0	0.27	0.34	0.33	0.35	0.45	0.51	0.55	0.58	0.45	0.40	0.24	0.30	0.47	0.48	0.46	0.48	0.28	0.28
6.0	0.26	0.31	0.30	0.33	0.44	0.49	0.53	0.56	0.42	0.37	0.22	0.27	0.44	0.45	0.45	0.45	0.25	0.25
7.0	0.24	0.29	0.29	0.31	0.43	0.47	0.53	0.55	0.40	0.36	0.21	0.25	0.43	0.44	0.44	0.44	0.23	0.23
8.0	0.23	0.28	0.27	0.29	0.43	0.46	0.52	0.54	0.37	0.34	0.19	0.24	0.42	0.43	0.42	0.43	0.21	0.21
9.0	0.23	0.27	0.26	0.28	0.42	0.45	0.52	0.53	0.36	0.33	0.18	0.22	0.41	0.42	0.41	0.42	0.20	0.20
10.0	0.23	0.26	0.26	0.27	0.42	0.44	0.52	0.53	0.36	0.32	0.17	0.21	0.40	0.41	0.40	0.41	0.19	0.19
15.0	0.21	0.24	0.25	0.25	0.41	0.43	0.51	0.51	0.32	0.30	0.16	0.18	0.39	0.39	0.39	0.39	0.16	0.16
20.0	0.21	0.21	0.23	0.23	0.41	0.42	0.51	0.50	0.30	0.29	0.15	0.17	0.38	0.38	0.38	0.38	0.14	0.14
30.0	0.20	0.20	0.22	0.22	0.40	0.40	0.50	0.50	0.28	0.28	0.15	0.15	0.37	0.37	0.37	0.37	0.13	0.13

Примечание: значения $f(n)$ по формулам в графах 2, 4, 10 Борескова и Фролова пересчитаны на те же показатели выброса, которые приняты по формуле в графе 12 для разных по величине ЛНС.

при коэффициенте $k=9$. Значения $f(n)$ по формулам других авторов близки к значениям $f(k)$ при значениях коэффициента k , указанных в таблице 3.

Из свойств $f(k)$ вытекает, что:

1) с увеличением ЛНС—при всех значениях коэффициента $k \neq 0$ удельный расход ВВ будет снижаться;

2) снижение удельного расхода ВВ будет происходить не по одному, а по разным законам;

3) снижение удельного расхода будет происходить тем резче, чем больше значение коэффициента k .

Возвратимся теперь к формуле (22).

Раскрыв скобки в правой части уравнения (22), получим:

$$q = \frac{k}{(k+1) \cdot W} \cdot q_{\text{норм.}} + \frac{1}{k+1} \cdot q_{\text{норм.}}$$

При бесконечно большом значении ЛНС:

$$q = \frac{1}{k+1} \cdot q_{\text{норм.}} \quad (25)$$

К этим предельно-минимальным значениям будет стремиться удельный расход ВВ— q при всех числовых значениях коэффициента k с увеличением ЛНС:

1) предел, к которому будет стремиться удельный расход ВВ по мере увеличения ЛНС, будет зависеть от величины нормального удельного расхода ВВ— $q_{\text{норм.}}$ и значения коэффициента k ;

2) при очень большом значении ЛНС относительное влияние сопротивления по поверхности отрыва и от давления воздушного столба будет ничтожно, и удельный расход ВВ по существу будет затрачиваться на преодоление сопротивления силы тяжести и инерции отрываемой породы и на ее дробление;

3) при ЛНС=30 m удельный расход ВВ для всякого значения коэффициента k будет весьма близок к своему предельно-минимальному значению.

В виде примера можно указать, что при коэффициенте $k=10$ предельно-минимальное значение удельного расхода ВВ $= 0,091 \cdot q_{\text{норм.}}$, при $k=1—0,50$ $q_{\text{норм.}}$, а при $k=0,1—0,9$ $q_{\text{норм.}}$.

Для ЛНС < 1 m удельный расход ВВ с уменьшением ЛНС для каждого значения коэффициента k будет, наоборот, возрастать, стремясь к своему максимальному пределу.

Причины изменения удельного расхода ВВ с изменением глубины заложения заряда не были выяснены. Автор работы на основе анализа тех сопротивлений, которые возникают и преодолеваются зарядом в момент взрыва при производстве им полезной работы, выявляет эти причины и дает им физическое объяснение.

Нами были выведены формулы:

$$\begin{aligned} q &= f(k) \cdot q_{\text{норм.}}; \\ q_{\text{норм.}} &= (q_{\text{пов.}} + q'_{\text{дробл.}}) + (q_{\text{тяж.}} + q''_{\text{дробл.}}) + \\ &\quad + (q_{\text{возд.}} + q'''_{\text{дробл.}}). \end{aligned}$$

После их преобразования получим:

$$\begin{aligned} q &= f(k) \cdot (q_{\text{пов.}} + q_{\text{тяж.}} + q_{\text{возд.}}) + \\ &\quad + f(k) \cdot (q'_{\text{дробл.}} + q''_{\text{дробл.}} + q'''_{\text{дробл.}}). \end{aligned} \quad (26)$$

Из последней формулы устанавливается следующее:

1) между удельным расходом ВВ на преодоление основных сопротивлений и удельным расходом ВВ на дробление породы имеется прямая пропорциональная зависимость;

2) с увеличением глубины заложения заряда значение $f(k)$ будет снижаться, пропорционально последней будет снижаться и удельный расход ВВ на дробление породы, а, следовательно, относительная крупность кусков—возрастать в обратной пропорции;

3) с увеличением глубины заложения заряда крупность кусков породы будет возрастать тем резче, чем будет меньше значение $f(k)$ или, иначе, чем больше значение коэффициента k ;

4) с увеличением глубины заложения заряда и крупности кусков породы степень выброса породы будет снижаться, раствор воронки выброса $\frac{r}{W}$ уменьшаться, раствор же воронки отрыва $\frac{r_1}{W}$ — оставаться неизменным;

5) при ЛНС=30 м значения $f(k)$ и удельного расхода ВВ будут весьма близки к предельно—минимальным, близок к предельно-минимальному будет и выброс породы.

Для ЛНС < 1 м с их уменьшением будут наблюдаться обратные явления.

В таблице 4 в виде примера приведены расчетные данные об относительном возрастании крупности кусков породы по мере увеличения ЛНС при одиночных сосредоточенных зарядах, действующих на одну свободную поверхность, для значений коэффициента $k = 1$ и 9,5

Таблица 4

Относительная крупность кусков породы после взрыва

ЛНС, м	Значение коэффициента k	
	$k=1$	$k=9,5$
1	2	3
0,25	0,40	0,27
0,50	0,67	0,53
1,00	1,00	1,00
2,00	1,33	1,82
3,00	1,50	2,50
4,00	1,59	3,12
5,00	1,66	3,57
6,00	1,70	4,00
7,00	1,73	4,55
8,00	1,75	4,76
9,00	1,79	5,00
10,00	1,82	5,26
15,00	1,85	6,25
20,00	1,89	7,14
30,00	1,92	8,00

Вес заряда будет равен произведению удельного расхода ВВ— q на объем воронки отрыва.

Формула (23) для определения величины удельного расхода ВВ— q в зависимости от глубины заложения заряда применима при любой геометрической форме воронки отрыва.

Для вычисления величины заряда также может быть принята воронка отрыва любой геометрической формы. Важно лишь то, чтобы геометри-

ческая форма воронки и подобие ее сохранялось как при определении нормального удельного расхода ВВ, так и при последующих расчетах.

Для более простого расчета объема воронки ее геометрическую форму обычно принимают в форме конуса вращения с углом полураствора $= 45^\circ$, каковая форма принимается и нами.

Тогда формула для расчета зарядов будет:

$$Q = \frac{1}{k+1} \cdot \left(\frac{k}{W} + 1 \right) \cdot q_{\text{норм.}} \cdot W^3 \text{ кг} \quad (27)$$

или

$$Q = f(k) \cdot q_{\text{норм.}} \cdot W^3 \text{ кг.} \quad (28)$$

По формуле величина заряда зависит от трех величин:

- 1) нормального удельного расхода ВВ— $q_{\text{норм.}}$;
- 2) глубины заложения заряда или ЛНС;
- 3) значения коэффициента k .

Характерные черты формулы:

- 1) она является формулой общего вида;
- 2) из нее следует, что с изменением глубины заложения заряда его величина будет изменяться по разным законам в зависимости от значения коэффициента k ;

3) при значениях коэффициента $k = 0$ она преобразовывается в формулу $Q = q_{\text{норм.}} \cdot W^3$;

4) при значениях коэффициента $k = \infty$ — в формулу $Q = q_{\text{норм.}} \cdot W^2$;

5) предложенные до сих пор формулы для расчета сосредоточенных зарядов уменьшенного выброса и зарядов рыхления—частные решения по отношению к предложенной формуле.

Для расчета зарядов по формуле (28) нормальный удельный расход (ЛНС = 1 м) может определяться при разных значениях показателя выброса $n \leq 1$. От того, при каком показателе выброса n определен для той или иной породы нормальный удельный расход ВВ— $q_{\text{норм.}}$, будет зависеть закономерность изменения величины заряда с изменением глубины его заложения. Если для всех ЛНС необходимо иметь заряды рыхления, то нормальный удельный расход ВВ— $q_{\text{норм.}}$ должен определяться для заряда рыхления. В том же случае, когда нормальный удельный расход ВВ— $q_{\text{норм.}}$ определен при заряде нормального выброса, а $f(k) = 1$, то при всех ЛНС—это будут заряды нормального выброса.

Принимая для той или иной ЛНС промежуточные значения удельного расхода ВВ между удельными расходами ВВ при заряде нормального выброса и заряде рыхления, можно регулировать выброс породы между зарядом нормального выброса и зарядом рыхления.

При расчете по формуле (28) зарядов, располагаемых рядами, расстояние между зарядами должно приниматься по существующим на этот счет параметрам. В случае наличия двух и более свободных поверхностей в формулу необходимо дополнительно вводить поправочный коэффициент, учитывающий степень зажима взрывающей среды.

Применяемые методы расчета удлиненных зарядов

Разрабатывая вопрос расчета удлиненных зарядов уменьшенного выброса и зарядов рыхления, все авторы исходили из того же принципа и методов построения формул, что и при сосредоточенных зарядах.

Наиболее распространены следующие формулы:

- 1) одиночные заряды нормального выброса

$$L = q \cdot W^2 \cdot l \text{ кг;} \quad (29)$$

2) одиночные заряды уменьшенного выброса

$$Q = f(n) \cdot q \cdot W^2 \cdot l \text{ кг}; \quad (30)$$

3) одиночные заряды в уступах (поверх перебура)

$$Q = q \cdot W^2 \cdot H \text{ кг}; \quad (31)$$

4) при взрывании сериями (поверх перебура)

$$Q = q \cdot a \cdot W \cdot H \text{ кг} \quad (32)$$

или

$$Q = 0,25 \cdot m^2 \cdot q \cdot W^2 \cdot H \text{ кг}, \quad (33)$$

где q — удельный расход ВВ, $\text{кг}/\text{м}^3$;

W — ЛНС или же при уступах расчетная линия сопротивления (по подошве уступа), если уступ не отвесный, м ;

l — длина заряда, м ;

$f(n)$ — функция показателя выброса (действия заряда);

H — высота уступа, м ;

a — расстояние между скважинами в ряду, м ;

m — расстояние между осями зарядов, отнесенное к ЛНС $= \frac{a}{W}$.

Формулам для расчета удлиненных зарядов свойственны те же недостатки, что и формулам для расчета сосредоточенных зарядов, и до настоящего времени ни одна из них не является общепризнанной.

Предлагаемые методы расчета удлиненных зарядов

В основу расчета удлиненных зарядов нами положен тот же принцип, что и для сосредоточенных зарядов.

Исходя из этого принципа, каждый удлиненный заряд при взрыве должен выполнить ту же полезную работу, как и сосредоточенный, т. е.:

- 1) разрушить связь отрываемой породы с массивом;
- 2) преодолеть сопротивление силы тяжести и инерции отрываемой породы;
- 3) преодолеть сопротивление от давления воздушного столба;
- 4) раздробить и переместить весь объем оторванной породы.

При удлиненных зарядах, так же как и при сосредоточенных, будет ли воронка отрыва в форме треугольной призмы, или с основанием в форме эллипса, или отрыв будет происходить в плоскости по линии скважин и в плоскости подошвы уступа, как это имеет место при серийном взрывании зарядов в уступах и вообще при воронках отрыва любой геометрической формы, удельный расход ВВ:

1) на преодоление сопротивления по поверхности воронки отрыва будет изменяться обратно пропорционально ЛНС;

2) на преодоление сопротивления силы тяжести и инерции отрываемой породы при прочих равных условиях — оставаться величиной постоянной;

3) на преодоление сопротивления от давления воздушного столба — изменяться обратно пропорционально ЛНС.

Но в отличие от сосредоточенных зарядов, три последние положения будут справедливы лишь в том случае, если с увеличением глубины заложения заряда сохраняется не только подобие воронок отрыва, но и остается постоянным отношение $\frac{l}{W} = m_1$ или $\frac{H}{W} = m_2$, где l — длина заряда, H — высота уступа.

Пользуясь разработанным ранее методом, нами выведены следующие формулы для расчета удлиненных зарядов в зависимости от положения их во взрываемом объекте и порядка взрывания.

1. Для расчета одиночных удлиненных зарядов, параллельных свободной поверхности, с нестесненным действием:

$$Q = \frac{1}{k+1} \cdot \left(\frac{k}{W} + 1 \right) \cdot q^0_{\text{норм.}} \cdot W^2 \cdot l \text{ кг} \quad (34)$$

или

$$Q = f(k) \cdot q^0_{\text{норм.}} \cdot W^2 \cdot l, \quad (35)$$

где W — ЛНС, м;

$q^0_{\text{норм.}}$ — нормальный удельный расход ВВ (ЛНС = 1 м) в кг;

l — длина заряда, м.

2. Для расчёта зарядов в уступах (поверх перебура) при наличии одной свободной поверхности можно пользоваться формулой (34), а также формулой:

$$Q = \frac{1}{k+1} \cdot \left(\frac{k}{W} + 1 \right) \cdot q^0_{\text{норм.}} \cdot W^2 \cdot H \text{ кг} \quad (36)$$

или

$$Q = f(k) \cdot q^0_{\text{норм.}} \cdot W^2 \cdot H \text{ кг}, \quad (37)$$

где W — ЛНС или расчётная линия сопротивления (по подошве уступа), если уступ не отвесный, м;

H — высота уступа, м.

Формулы (35) и (37) при расчете должны дать одинаковые результаты, разница лишь в способе определения нормального удельного расхода ВВ — $q^0_{\text{норм.}}$. По формуле (35) этот расход определяется исходя из объема $W^2 \cdot l$, а по формуле (37) — $W^2 \cdot H$.

3. Для расчета зарядов в уступах (поверх перебура) при расположении их рядами и одновременном взрывании:

$$Q = \frac{1}{k+1} \cdot \left(\frac{k}{W} + 1 \right) \cdot q^1_{\text{норм.}} \cdot a \cdot m \cdot W^2 \text{ кг}, \quad (38)$$

или

$$Q = f(k) \cdot q^1_{\text{норм.}} \cdot a \cdot m \cdot W^2 \text{ кг}, \quad (39)$$

или

$$Q = f(k) \cdot q^1_{\text{норм.}} \cdot a \cdot W \cdot H \text{ кг}, \quad (40)$$

где a — расстояние между зарядами, м;

W — ЛНС или расчётная линия сопротивления, если уступ не отвесный, м;

m — отношение $\frac{l}{W}$.

При удлиненных зарядах выражение для $f(k)$ тождественно с выражением $f(k)$ при сосредоточенных зарядах, и ее значения должны приниматься по табл. 2.

Все то, что было сказано о свойствах $f(k)$, удельном расходе ВВ, о его предельно-минимальных и предельно-максимальных значениях, о степени дробления породы, относительной крупности кусков породы с изменением глубины заложения заряда и т. д., в отношении сосредоточенных зарядов, полностью относится и к удлиненным.

Особенности формул:

- 1) они являются формулами общего вида;
- 2) изменение веса заряда, рассчитанного по данным формулам, с изменением глубины его заложения в зависимости от значения коэффициента k будет происходить не по одному, а по разным законам;
- 3) при значении коэффициента $k=0$ формула (35) преобразовывается в обычную формулу для расчета зарядов нормального выброса $Q=q^0_{\text{норм.}} \cdot W^2 \cdot l$, а формула (37)—в формулу $Q=q^0_{\text{норм.}} \cdot W^2 \cdot H$;
- 4) при значении коэффициента $k=\infty$ формула (35) преобразовывается в формулу $Q=q^0_{\text{норм.}} \cdot W \cdot l$, а формула (37)—в формулу $Q=q^0_{\text{норм.}} \cdot W \cdot H$;
- 5) при $W=l$ формула (35) преобразовывается в формулу $Q=f(k) \cdot q^0_{\text{норм.}} \cdot W^3$;
- 6) при значении коэффициента $k=0$ формула (39) преобразовывается в формулу $Q=q^1_{\text{норм.}} \cdot a \cdot m \cdot W^2$, а формула (40)—в формулу $Q=q^1_{\text{норм.}} \cdot a \cdot W \cdot H$;
- 7) при значении коэффициента $k=\infty$ формула (39) преобразовывается в формулу $Q=q^1_{\text{норм.}} \cdot a \cdot m \cdot W$, а формула (40)—в формулу $Q=q^1_{\text{норм.}} \cdot a \cdot H$.

При расчете зарядов по приведенным выше формулам нормальный удельный расход ВВ должен определяться при том же положении заряда в объекте, порядке взрывания и при том же отношении $\frac{l}{W} = m_1$ или

$\frac{H}{W} = m_2$, при котором в дальнейшем предполагается производить взрыв-

ные работы. В процессе же производства взрывных работ нередко приходится применять заряды при разных значениях m_1 или m_2 . Пользование в последнем случае выведенными формулами вызвало бы необходимость при определении нормального удельного расхода ВВ эмпирическим путем определять таковой при всех значениях m_1 или m_2 , которые будут иметь место при производстве взрывных работ. Этот способ является наиболее точным, но может оказаться не всегда приемлемым. Тогда можно пользоваться другим методом — методом пересчета нормального удельного расхода ВВ, хотя и приближенным, но достаточно отвечающим тем требованиям, которые могут быть предъявлены при производстве взрывных работ. Для пересчета нормального удельного расхода ВВ в этом случае может служить табл. 5, в которой приведены данные об относительном изменении величины нормального удельного расхода ВВ для одиночных зарядов в зависимости от значения $\frac{l}{W} = m_1$ или $\frac{H}{W} = m_2$, составленной на основании соответствующих расчетов.

Таблица 5

Относительное изменение величины нормального удельного расхода ВВ в зависимости

от значения $\frac{l}{W} = m_1$ или $\frac{H}{W} = m_2$

Значение коэффициента k	Значение $\frac{l}{W} = m_1$ или $\frac{H}{W} = m_2$			
	1	2	3	4
$k = 1$	1	0.90	0.86	0.85
$k = 9,5$	1	0.81	0.75	0.72

Аналогично с сосредоточенными зарядами, для расчета зарядов рыхления нормальный удельный расход ВВ должен быть определен для заряда

Величина удельного расхода взрывчатого вещества q_1 при зарядах рыхления

Таблица 6

№ по пор.	Наименование породы	Крепость относительно сопротивл. бурению $кг/см^3$	Сопротивление раздавливанию $кг/см^2$	Сопротивление на удар	Твердость по Моссу	r_w — сопротивление породы	Нормальное значение q_1 в $кг$	
1	В высшей степени крепкие, вязкие и плотные кварциты	170	3000	30	—	1,3	1,3—1,5	
2	В высшей степени крепкие, плотные базальты, андезиты, диабазы, диориты, эклогиты, гарнуниты, серовакковые конгломераты	155	2400	24	6,6	1,2	1,2	
3	Очень крепкие граниты, кварциты, кварцевый порфир, кремнистый сланец	135	2200	22	—	1,1	1,1	Нормальное значение удельного расхода взрывчатого вещества q_1 при открытой скале в $кг$, при применении ВВ с работоспособностью 450—480 $см^3$ и при значении каждого из коэффициентов s , v , Δ и d равным единице.
4	Серовакковые конгломераты, гнейсы, базальты, порфиры, амфиболиты	118	2000	20	6,0	1,0	1,0	
5	Гранит, гнейс, сиенит, порфирит, амфиболит . .	103	1700	18	—	0,9	0,9	
6	Самые крепкие известняки, песчаники, конгломераты	93	1600	16	5,0	0,8	0,8	
7	Очень плотные граниты, серовакковые конгломераты, очень крепкие сидериты, магнезиты, песчаники	80	1400	14	—	0,7	0,7	
8	Кровельный известняк, гнейс, порфирит, кристаллический известняк, очень крепкий сланец . .	70	1200	12	4	0,6	0,6	
9	Мрамор, известняки, доломит, сидерит, магнезит	58	1000	10	—	0,5	0,5	
10	Сидерит, известняк, песчаник	47	800	8	3	0,4	0,4	
11	Песчанистый сланец, слоистый песчаник	35	600	6	—	0,3	0,3	
12	Крепкий глинистый сланец, песчаник, гипс . .	22	400	4	2	0,2	0,2	
13	Каменный уголь	10	200	2	1	0,1	0,1	

Для в высшей степени крепких, вязких и плотных кварцитов, согласно табл. 6, удельный расход ВВ с работоспособностью $450-480 \text{ см}^3 - q_1 = 1,5 \text{ кг}$. Средний объемный вес кварцитов $2,8$.

После подстановки указанных величин в формулу (42) будем иметь для кварцитов:

$$q_v = \frac{1,5}{9,5 + 1} = 0,143 \text{ кг} = 143 \text{ г} \quad (43)$$

или на 1 м их веса:

$$a_1 = \frac{q_v}{2,8} = \frac{143}{2,8} \cong 51 \text{ г/м}. \quad (44)$$

Для каменного угля удельный расход ВВ с работоспособностью $450-480 \text{ см}^3 - q_1 = 0,1 \text{ кг}$. Объемный вес угля $= 1,2-1,5$. В среднем $1,35$.

Отсюда

$$q_v = \frac{0,1}{1 + 1} = 0,05 \text{ кг} = 50 \text{ г} \quad (45)$$

или на 1 м их веса:

$$a_2 = \frac{50}{1,35} = 37 \text{ г/м}. \quad (46)$$

Таким образом расход ВВ с работоспособностью $450-480 \text{ см}^3$ на преодоление сопротивления силы тяжести и инерции отрываемой породы, с учетом расхода его энергии на дробление, для кварцитов $- 51 \text{ г/м}$, для каменного угля 37 г/м .

Разница между расходами ВВ a_1 и a_2 , повидимому, объясняется в основном различной вязкостью и упругостью этих пород.

Согласно табл. 6 сопротивление на удар для кварцитов $= 30$, а для каменного угля $= 2$. При переходе от кварцитов к каменному углю сопротивление на удар снижается на $30 - 2 = 28$ единиц, а значение $a = a_1 - a_2$ на $51 - 37 = 14 \text{ г}$, т. е. с уменьшением сопротивления на удар на единицу a снижается на $0,5 \text{ г}$.

Исходя из этого, для промежуточных групп пород между кварцитами и каменным углем можно дать следующее выражение для вычисления расхода ВВ с работоспособностью $450-480 \text{ см}^3$ на преодоление сопротивления силы тяжести и инерции отрываемой породы, с учетом затраты энергии на дробление, на 1 м их веса:

$$a = a_1 - 0,5(30 - p) = 51 - 0,5(30 - p) \text{ г/м}, \quad (47)$$

где p — сопротивление породы на удар, для которой отыскивается значение a .

При пользовании ВВ с иной работоспособностью, а также учитывая плотность заряжения и качество забойки, получим следующее выражение для определения названного расхода ВВ:

$$a_3 = \frac{l \cdot d}{\Delta} \cdot a, \quad (48)$$

где l — коэффициент, характеризующий работоспособность ВВ;

d — коэффициент, характеризующий качество забойки;

Δ — коэффициент, характеризующий плотность заряжения.

Удельный расход ВВ на преодоление сопротивления силы тяжести и инерции отрываемой породы будет:

$$a_3 \cdot \gamma, \quad (49)$$

где γ — объемный вес породы г/см^3 .

Удельный расход ВВ на преодоление сопротивления по поверхности отрыва и от давления воздушного столба:

$$q = a_3 \cdot \gamma. \quad (50)$$

Нормальный удельный расход ВВ

$$q = q_1 \cdot S \cdot v \cdot \frac{l}{\Delta} \cdot d, \quad (51)$$

где q_1 — удельный расход ВВ (450—480 см³), принимаемый по табл. 6, в г;
 S — коэффициент, характеризующий структуру породы;
 v — коэффициент, характеризующий степень зажима заряда.

Отсюда

$$k = \frac{q - a_3 \cdot \gamma}{a_3 \cdot \gamma} = \frac{q}{a_3 \cdot \gamma} - 1. \quad (52)$$

После подстановки значения для q и a_3 получим:

$$k = \frac{q_1 \cdot S \cdot v \cdot \frac{l}{\Delta} \cdot d}{\frac{l}{\Delta} \cdot d \cdot a \cdot \gamma} - 1 = \frac{q_1 \cdot S \cdot v}{a \cdot \gamma} - 1. \quad (53)$$

Значение a надлежит вычислять по формуле (47).

По формуле (53) устанавливается зависимость значения коэффициента k от пяти величин. Влияние каждой из них на коэффициент k ясно из формулы.

Если нормальный удельный расход ВВ определен эмпирическим путем, то для вычисления коэффициента k надлежит пользоваться формулой (52). В этом случае значение q будет равно фактическому нормальному удельному расходу ВВ.

Для определения коэффициента k при удлиненных зарядах применимы те же формулы, что и при сосредоточенных. Нормальный удельный расход ВВ при удлиненных зарядах рекомендуется определять при отношении

$$\frac{l}{W} = m_1 = 1.$$

Заключение

Автор работы, на основе произведенного им исследования, предложил для расчета зарядов новые формулы.

Особенность предлагаемых формул, вытекающая непосредственно из особенностей введенной в них $f(k)$, имеющей одно и то же математическое выражение во всех формулах, заключается в том:

1) что изменение входящей в них $f(k)$, а следовательно, и удельного расхода ВВ, с изменением ЛНС заряда, в зависимости от значения введенного нами коэффициента k , характеризующего физико-механические свойства породы, будет происходить не по одному, как это принимали все исследователи ранее, а по разным законам;

2) что установленная скользящая шкала значений $f(k)$, а следовательно, и удельного расхода ВВ, имеет такие пределы, вне которых изменение $f(k)$ и удельного расхода ВВ с изменением ЛНС заряда лежать не может;

3) что выведенные формулы—наиболее общего вида, по которым при надлежащем определении нормального удельного расхода ВВ и коэффициента k всегда можно получить правильные результаты;

4) что предложенные до сих пор формулы для расчета зарядов—частные решения по отношению к предложенным формулам.

Многие явления при взрыве, физического объяснения которым не было дано, в том числе и причинам уменьшения удельного расхода ВВ с увеличением глубины заложения заряда, получили свое объяснение в свете развитых автором работы теоретических положений. Противоречие между формулами, предложенными исследователями этого вопроса ранее, устранено, как частными решениями.

Отвлечемся теперь от теоретической стороны и обратимся к результатам, которые нашли свое конечное выражение в предложенных формулах.

Допустим, что все же, вопреки положениям автора работы, изменение $f(k)$ и удельного расхода ВВ с изменением глубины заложения заряда происходит не по разным законам, а по одному. Значение коэффициента k тогда будет $= \text{const}$. Придав значение $k = 1,9$, мы получим те же числовые значения $f(k)$, что и $f(n)$ по формулам Н. В. Мельникова и В. Е. Филипповича, при $k = 9$ — по формуле В. К. Карчевского и т. д. Но тогда мы вновь возвратимся к прежним противоречиям, к прежнему положению, к прежнему неразрешенному вопросу, почему, несмотря на многообразие значений $f(n)$, нет еще общепризнанной формулы для ее выражения, а значения $f(n)$, основанные на обработке эмпирических данных, резко расходятся между собою. Но во всяком случае лучше и проще производить исследование одного коэффициента k , чем предлагать все новые и новые решения и формулы для определения $f(n)$, основываясь на принципе, не оправдавшем себя.

Допустим теперь обратное, что изменение $f(k)$ и удельного расхода ВВ с изменением глубины заложения заряда происходит не по одному, а по разным законам, но те крайние пределы для $f(k)$ и коэффициента k и те значения $f(k)$ и коэффициента k , которые получаются для разных пород, по предложенной для их определения формуле не будут действительными значениями.

Но это не принципиальный вопрос. Крайние пределы значений $f(k)$ и коэффициента k могут быть приняты шире или уже. Значения коэффициента k и нормального удельного расхода ВВ для пород разных физикомеханических свойств и порядке взрывания при практическом пользовании формулами могут быть скорректированы и уточнены, и породы расклассифицированы по коэффициенту k . Это—вопрос дальнейшей работы и времени.

Необходимо также дополнительно отметить математическое свойство выражения для $f(k)$, заключающееся в том, что при замене единицы в правой части уравнения в выражении для $f(k)$ другими числовыми значениями мы будем получать для каждого значения коэффициента k все новые и новые закономерности изменения $f(k)$ с изменением глубины заложения заряда. Следовательно, возможна корректировка и с этой стороны.

Таким образом, для получения правильных результатов при расчете зарядов по предложенным формулам надо лишь уметь установить действительное значение нормального удельного расхода ВВ и значение коэффициента k для той или иной породы, научиться управлять расчетом, надлежащим образом используя представляющиеся возможности.

Произведенные поверочные расчеты по предложенным формулам 13 производственных взрывов при сосредоточенных и удлиненных зарядах для разных условий взрывания дали вполне положительные результаты.