

В.Н. Мандрикевич

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДВУХ ЗАРЯДОВ ВЫБРОСА НА СТАДИИ РАЗВИТИЯ ИХ ГАЗОВЫХ ПОЛОСТЕЙ

*Рассмотрены процессы развития и взаимодействия взрывов шпуровых зарядов выброса на их камуфлетной стадии.*

---

### ВЗАЄМОДІЯ ДВОХ ЗАРЯДІВ ВИКИДУ НА СТАДІЇ РОЗВИТКУ ЇХ ГАЗОВИХ ПОРОЖНИН

*Розглянуто процеси розвитку і взаємодії вибухів шпурових зарядів викиду на їх камуфлетній стадії.*

---

### THE INTERACTION OF TWO EXPLOSION CHARGES ON STAGE OF DEVELOPMENT OF THEIR GAS VOIDS

*The processes of development and interaction of exploding blasthole pin-point charges at their camouflague stage have been considered.*

---

#### ВВЕДЕНИЕ

Исследования взрыва на выброс одиночного заряда показывают, что причиной, приводящей к росту расходов взрывчатых веществ (ВВ) при взрывании вертикальных скважинных зарядов выброса, является все возрастающее с глубиной различие в условиях работы верхней и нижней частей скважинного заряда на выброс. Нижняя часть удлиненного заряда (более 5 – 10 диаметров) при существующих способах взрывания, будучи наиболее удаленной от свободной поверхности, наименее продуктивно участвует в работе выброса грунта, хотя на ее долю приходится наибольший объем работы по перемещению грунта в наиболее тяжелых (при максимальных сопротивлениях) условиях взрывания. Основная часть газообразных продуктов при взрыве, вследствие недостаточности энергии, не в состоянии произвести задаваемую работу выброса непосредственно прилегающих к ней масс грунта и прорывается в

атмосферу преимущественно по линии наименьшего сопротивления – вслед за продуктами взрыва верхней части заряда.

#### ПЕРВИЧНАЯ СТАДИЯ ВЗРЫВАНИЯ

Очевидно, что лишь при максимальном использовании энергии взрыва обеих частей заряда можно получить существенное повышение эффективности скважинного метода взрывания на выброс. При этом необходимо «усилить» нижние части относительно удлиненных скважинных зарядов, что осуществимо, в принципе, различными способами, например, соответствующим расположением зарядов с таким расчетом, чтобы при их взаимодействии нагружение грунта производилось как бы единым зарядом, все части которого были бы практически равноценными по эффекту выброса. Взаимодействие взрывов расположенной таким образом группы зарядов обеспечивается обычно посредством образования единого поля напряжения. При этом об-

щий эффект взрыва увеличивается, однако в недостаточной степени. Большим недостатком такого взаимодействия являются значительные диссипативные потери энергии, которые складываются не только из потерь взрывов отдельных зарядов, но и из дополнительных потерь, происходящих в областях столкновения ударных волн от смежных зарядов. Бризантные потери велики во взрывах каждого заряда, поскольку взаимодействие взрывов происходит спустя относительно значительное время после инициирования зарядов.

В то же время большой резерв в сокращении потерь энергии за счет уменьшения бризантного действия отдельных зарядов до сих пор не используется. Исследования такого направления практически не выполнялись. Возможности же здесь определяются тем, что при более раннем взаимодействии взрывов смежных зарядов можно резко уменьшать бризантные потери взрывов, инициируемые с замедлением зарядов. Это реально при меньших, чем применяются до сих пор, расстояниях между зарядами группы и при меньших, чем применяются до сих пор, интервалах замедлений взрывов отдельных зарядов групп.

В результате, на начальной стадии взрыва группы зарядов в целом, формируется единая взрывная газовая полость, развитие которой и определяет создаваемое единое поле напряжений и конечный эффект взрыва. За счет преимущественного развития взрыва заряда, инициируемого с замедлением, в направлении расширяющейся газовой полости ранее взорванного заряда, во-первых, резко сокращаются бризантные потери взрыва с замедлением; во-вторых, образуется единая газовая полость с усредненным (повышенным в сравнении с давлением ранее взорванного заряда и пониженным в сравнении с давлением позже взорванного заряда) давлением и повышенной за счет уменьшения бризантных потерь энергией; в-третьих, увеличивается время эффективного воздействия взрыва на массив.

Эффективность такого способа взрывания – способа короткозамедленного груп-

пового взрывания скважинных зарядов – за счет снижения этих и других непроизводительных потерь энергии может быть выше не только относительно эффективности мгновенно взрывааемых скважин при обычном порядке их расположении, но и выше эффективности взрывов камерных зарядов. В том числе и за счет установленного [1, 2] положительного влияния некоторого удлинения заряда на эффект взрыва благодаря снижению плотности кинетической энергии, сообщаемой грунту удлиненным зарядом.

Для изучения действия системы зарядов выбросов проводили опытные взрывы в легких глинах и суглинках взрывного полигона промышленно-производственного предприятия «Кривбассвзрывпром». Сначала исследовали развитие и взаимодействие взрывов двух зарядов на камуфлетной стадии. Эксперименты заключались в следующем: бурили шпуры диаметром 32 мм каждый, глубиной по 0,5 м (15,6 диаметров шпура), высотой заряда 0,03 м (1 диаметр). Вес каждого заряда составлял 30 г. Расстояние между ними варьировалось от 10 см до бесконечности, т.е. от 3,1 диаметра заряда до 13,3 диаметров и больше. Эффективность взаимодействия камуфлетных полостей, в зависимости от расстояния между зарядами, оценивали по наличию единой камуфлетной полости ее объему и объемам двух разных, но не единых полостей. Взрывание производили мгновенное. Размеры камуфлетных полостей измеряли геометрически и в ряде случаев при помощи засыпания полостей песком, увлажненным водным раствором смеси однозамещенного фосфата натрия и жидкого стекла. Эффект взаимодействия неодинаков на разных расстояниях. Наибольшая эффективность взрыва двух зарядов наблюдается как при образовании единой полости, так и разделенных перегородками. С наибольшим объемом единая полость образуется при расстояниях между зарядами в пределах 0,95 – 1,15 диаметра камуфлетной полости взрываемого заряда (рис. 1). Наибольший суммарный объем двух несоединяющихся полостей получают при рас-

стояниях между зарядами, близких к двум диаметрам камуфлетной полости. Причем толщина перемычки между отдельными полостями доходит до 0,5 – 0,6 диаметра камуфлетной полости.

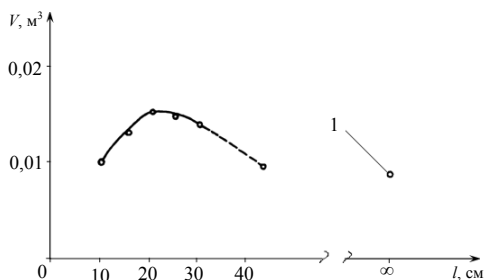


Рис. 1. Зависимость объема камуфлетной полости двух шпуровых зарядов от расстояния между ними: 1 – сумма объемов двух камуфлетных полостей, не взаимодействующих при взрыве

На рис. 2 представлены разрезы камуфлетных полостей, полученные при мгновенном взрывании. Пунктиром показано обрушение верхнего выступа и образование насыпи в нижней части камуфлетной полости.

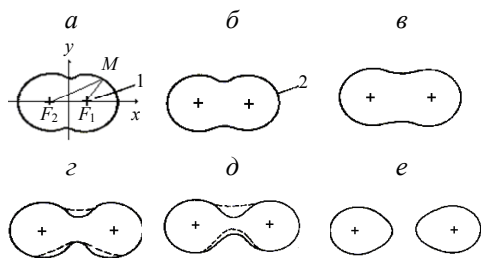


Рис. 2. Типичные разрезы камуфлетных полостей при мгновенном взрывании двух зарядов ВВ на различном расстоянии между ними: 1 – заряд ВВ; 2 – стенка камуфлетной полости. Расстояние между зарядами: а – 10 см; б – 15 см; в – 20 см; г – 25 см; д – 30 см; е – 40 см

Полученные профили полостей можно с достаточной точностью описать уравнением вида

$$(x^2 + y^2)^2 - 2c^2(x^2 - y^2) = a^4 - c^4, \quad (1)$$

где в точках  $F_1, F_2 (\pm c, 0)$  были расположены заряды камуфлета, а  $F_1 M \cdot F_2 M = a^2$  ( $F_1, F_2$  – фиксированные фокусы,  $a$  – постоянная). Форма кривой зависит от отношения  $a$  к  $c$ :

а) для рис. 2, а, б, в –  $c < a < \sqrt{2}c$ ;

б) для рис. 2, г, д –  $a = c$ :  $F_1 M \cdot F_2 M = (0,5F_1 F_2)^2$ , а уравнение имеет вид

$$(x^2 + y^2)^2 - 2c^2(x^2 - y^2) = 0;$$

с) для рис. 2, е –  $a < c$  (по уравнению (1)).

Затем исследовали взаимодействие двух зарядов на камуфлетной стадии их взрывов в зависимости от режимов взрывания. Параметры заложения зарядов и расстояния между ними оставались прежними. Однако один заряд взрывали с замедлением по отношению к другому. Интервал замедления принимали в пределах от 0,25 до 2,0 мс, т.е. таким, чтобы от начала образования газовой полости первого заряда проходило достаточно времени до начала взрыва другого заряда. Типичные результаты взрывов сведены в таблицу.

Диаметр камуфлетной полости взрываемого самостоятельно одиночного заряда в суглинках был равен 21 см.

Анализ полученных данных показывает, что при расстояниях между зарядами равных и больше двух диаметров камуфлетной полости единая газовая полость не образуется (рис. 3, в). Однако взаимодействие зарядов все еще существенное: наблюдается значительный рост камуфлетных полостей зарядов в направлении друг к другу по сравнению с их поперечными размерами и увеличивается их общий объем.

Объяснимо это только усилением взрыва. Например, полость от взорванного в первую очередь заряда в 1,2 – 1,6 раза больше полости от взрыва, взорванного во вторую очередь заряда (рис. 3).

Расстояние между зарядами*				
интервал замедления, мс	длина камуфлетной полости, м	наибольшая ширина полости на месте взрыва 1-го заряда, м	наибольшая ширина полости на месте взрыва 2-го заряда, м	объем камуфлетной полости, $\times 10^{-2} \text{ м}^3$
0,0	0,45 / 0,51	0,21 / 0,24	0,21 / 0,23	1,03 / 1,54
0,25	0,41 / 0,47	0,26 / 0,21	0,23 / 0,21	1,45 / 1,42
0,5	0,44 / 0,49	0,23 / 0,29	0,21 / 0,26	1,11 / 1,93
1,0	0,39 / 0,50	0,26 / 0,23	0,21 / 0,20	1,38 / 1,20
1,5	0,42 / 0,52	0,24 / 0,24	0,21 / 0,21	1,27 / 1,77
2,0	0,4 / 0,55	0,25 / 0,26	0,19 / 0,24	1,21 / 1,48

Примечание: \*числитель для расстояния 10 см, знаменатель для расстояния 20 см.

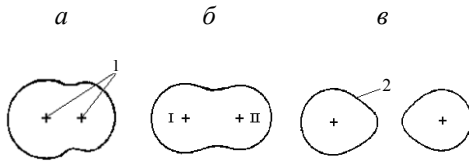


Рис. 3. Типичные разрезы камуфлетных полостей при взрывании двух зарядов с замедлением на различных расстояниях между ними: 1 – заряды ВВ; 2 – стенка камуфлетной полости; I и II – очередность взрывания зарядов. Расстояния между зарядами и время замедления: а – 10 см – 0,25 мс; б – 20 см – 0,5 мс; в – 40 см – 1,5 мс

Причем сечение левой полости представляет собой гипоциклоиду, которая описывается уравнением вида [3]

$$x = \frac{R}{3} \cos \varphi + OM \cos \frac{\varphi}{2};$$

$$y = \frac{R}{3} \sin \varphi - OM \sin \frac{\varphi}{2},$$

а сечение правой – пероциклоиду, которая описывается уравнением вида [3]

$$x = OM \cos \frac{\varphi}{4} - \frac{R}{4} \cos \varphi;$$

$$y = OM \sin \frac{\varphi}{4} - \frac{R}{4} \sin \varphi,$$

где в точке  $O$  расположены заряды камуфлета, а точка  $M$  – любая точка образующей эти кривые;  $\varphi$  – угол между  $OM$  и осью  $x$ .

## ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показывают, что здесь налицо усиление первого взрыва и увеличение общего эффекта. Сравнивая результаты взрывов зарядов при мгновенном и замедленном взрывании, получаем, что объемы полостей при замедленном взрывании в 1,2 – 1,4 раза больше объема полости при мгновенном.

Весьма примечательны картины разрушения межзарядных перемишек и «впрыски» продуктов разрушения в полости первых взрывов. Наибольшие объемы разрушений имеют место при оптимальных величинах замедлений, равных, например, при расстоянии между шпурами 10 см – 0,25 мс, при расстоянии 20 см – 0,5 и 1,5 мс, при расстоянии 40 см – 0,5 и 1,5 мс.

Аналогичное влияние режима взрывания проявляется во взрывах на выброс, которое, однако, в экспериментах на песках не было обнаружено [4], что обусловлено, видимо, дисперсностью вбрасываемых в полость масс песка.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Механический эффект подземного взрыва* / Под ред. *акад. М.А. Садовского*. – М.: Недра, 1971. – 224 с.

2. *Адушкин В.В. Скоморохов Н.Д. Влияние длины линейного заряда при взрыве на выброс* / В.В. Адушкин, Н.Д. Скоморохов // *Взрывное дело*. – М.: Недра, 1979. – № 81/38. – С. 71 – 78.

3. *Селюцкий А.Б. ТМТ. Правила игры без правил* / А.Б. Селюцкий. – Петрозаводск: Карелия, 1989. – 280 с.

4. *Адушкин В.В. Аналоговая установка для исследования групповых взрывов на выброс* / В.В. Адушкин, В.Я. Лубин, Л.М. Перник // *Взрывное дело*. – М.: Недра, 1980. – № 83/40. – С. 36 – 44.

## ОБ АВТОРАХ

*Мандрикевич Василий Николаевич* – с.н.с., старший преподаватель кафедры физики Национального горного университета.