

## ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГАЗОКУМУЛЯТИВНОГО ПОТОКА НА ДНО СКВАЖИНЫ ПРИ ВЗРЫВЕ УДЛИНЕННОГО ЗАРЯДА

**В. В. Воробьев, М. В. Помазан, Л. Д. Воробьева**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: vvv@kdu.edu.ua

Рассмотрены принципы расчета параметров продуктов детонации при взрывании удлиненных зарядов с кумулятивной выемкой. Основное внимание уделено зарядам, в которых кумулятивная выемка выполнена из инертного неметаллического материала. Теоретические расчеты и выполненные экспериментальные исследования показали, что по сравнению со свободным истечением газокумулятивной струи (расположение заряда на пластине), размещение кумулятивного заряда в относительно ограниченном пространстве (шпур, скважина) позволяет значительно усилить динамическое давление на дно скважины: при поднятии заряда на высоту  $h=r_0$  над дном скважины давление составляет 47 ГПа (в 1,42 раза больше, чем при свободном расположении заряда); при увеличении высоты расположения заряда в 2 раза динамическое давление снижается в 1,57 раза, при высоте  $h=4r_0$  - в 5,2 раза. Следовательно, по полученным результатам можно сделать вывод, что поднимать заряд над дном скважины более чем на  $2r_0$  нецелесообразно, т.к. при  $h>2r_0$  наблюдается более резкое падение давления газокумулятивной струи на дно скважины.

**Ключевые слова:** взрыв, взрывчатое вещество, горная порода, давление, заряд, кумулятивная струя, кумулятивный эффект, разрушение, скважина, скорость, эффективность.

## ОЦІНКА ДИНАМІЧНОГО ВПЛИВУ ГАЗОКУМУЛЯТИВНОГО ПОТОКУ НА ДНО СВЕРДЛОВИНИ ПІД ЧАС ВИБУХУ ПОДОВЖЕНОГО ЗАРЯДУ

**В. В. Воробйов, М. В. Помазан, Л. Д. Воробйова**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: vvv@kdu.edu.ua

Розглянуто принципи розрахунку параметрів продуктів детонації при підриванні подовжених зарядів з кумулятивною виїмкою. Основну увагу приділено зарядам, в яких кумулятивна виїмка виконана з інертного неметалевого матеріалу. Теоретичні розрахунки і виконані експериментальні дослідження показали, що в порівнянні з вільним закінченням газокумулятивного струменя (розташування заряду на пластині), розміщення кумулятивного заряду в відносно обмеженому просторі (шпур, свердловина) дозволяє значно посилити динамічний тиск на дно свердловини: при піднятті заряду на висоту  $h = r_0$  над дном свердловини тиск становить 47 ГПа (в 1,42 рази більше, ніж при вільному розташуванні заряду); при збільшенні висоти розташування заряду в 2 рази динамічний тиск знижується в 1,57 рази, при висоті  $h = 4r_0$  - в 5,2 рази. Отже, за отриманими результатами можна зробити висновок, що піднімати заряд над дном свердловини більше ніж на  $2r_0$  недоцільно, тому що при  $h > 2r_0$  спостерігається більш різке падіння тиску газокумулятивного струменя на дно свердловини.

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

---

**Ключові слова:** вибух, вибухова речовина, гірська порода, тиск, заряд, кумулятивний струмінь, кумулятивний ефект, руйнування, свердловина, швидкість, ефективність.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Разработка полезных ископаемых, слагаемых прочными горными породами, в основном осуществляется с использованием взрывных работ. С увеличением глубины карьеров и вовлечением в разработку крепких и крепчайших пород, усложняются условия производства взрывных работ, снижаются технико-экономические показатели отбойки, что требует их постоянного совершенствования. В последнее время много внимания уделяется разработке новых конструкций скважинных зарядов взрывчатых веществ (ВВ), позволяющих существенно повысить эффективность взрывного разрушения горных пород [1, 2]. В этом плане одним из перспективных направлений является использование преимуществ кумулятивного эффекта при взрывном разрушении горных пород.

В настоящее время в силу определенных специфических особенностей наиболее детально исследованы кумулятивные заряды, в которых кумулятивная выемка имеет металлическую облицовку. Заряды, в которых отсутствует облицовка, изучены очень мало, однако теоретический анализ параметров кумулятивных струй в этих двух случаях имеет много общего и базируется на идеальной несжимаемой жидкости.

Гидродинамическая теория формирования кумулятивной струи, разработанная М.А. Лаврентьевым [3], основана на модели идеальной несжимаемой жидкости. Анализ данной модели показывает, что кумулятивные струи могут образовываться как при косом соударении пластин, ускоренных ВВ, так и при взрывном обжатию тонкой конической оболочки, покрывающей выемку в заряде ВВ. Одним из важнейших результатов гидродинамической теории кумуляции явилось применение теории струй к кумулятивным зарядам. Формирование кумулятивной струи можно описать, рассматривая соударение двух одинаковых плоских струй под углом  $2\alpha$ . Из гидродинамической теории следует, что скорость кумулятивной струи в лабораторной системе координат определяется суммой скоростей точки контакта и скорости сталкивающейся струи на бесконечности в системе координат, в которой картина углового соударения струй стационарна. Тогда реальный кумулятивный заряд представляет собой цилиндрическую пашку ВВ, в одном из торцов имеющую коническую полость.

Кумулятивная струя может образовываться не только при наличии кумулятивной выемки, но и при создании в цилиндрическом заряде осевой полости. При взрыве такого заряда в полости образуется газовая кумулятивная струя, движущаяся со сверхдетонационной скоростью. Выполненные эксперименты показали [4], что при взрыве заряда из сплава «тротил-гексоген» (скорость детонации 7600 м/с) скорость кумулятивной струи достигает 13000 м/с при взрыве в воздухе и существенно возрастает, когда эксперимент проводится в вакууме. Такие конструкции, которые получили название «газокумулятивный заряд» чаще всего используются для метания тел с высокими скоростями.

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Цель работы – на основе теоретических расчетов и результатов экспериментальных исследований оценить изменение давления газокумулятивной струи на дно скважины.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Рассмотрим взрыв удлиненного заряда конденсированного ВВ и особое внимание уделим движению его газообразных продуктов. Общеизвестно, что при детонировании удлиненного заряда продукты детонации (ПД) распространяются под вполне определенным углом к наружной поверхности заряда (рис. 1) (здесь  $u$  – скорость движения газов взрыва, м/с;  $c$  – скорость звука во взрывных газах, м/с) [5].

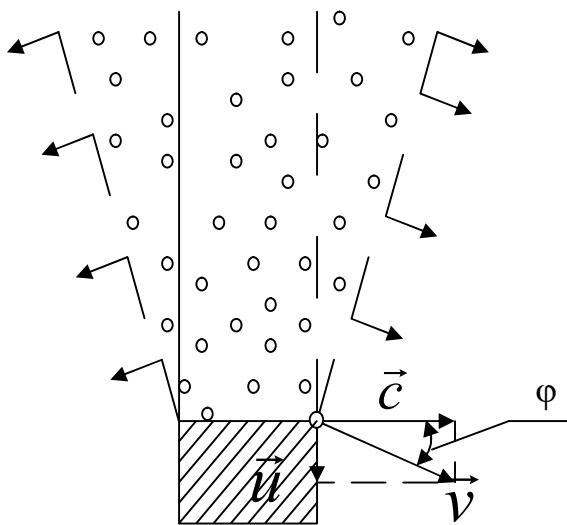


Рисунок 1 – Распространение взрывных газов при взрыве удлиненного заряда

Таким образом, боковое расширение продуктов детонации происходит так, что в направлении перпендикулярном к исходной боковой поверхности заряда, они имеют скорость звука  $c$ , а в сторону распространения детонации – со скоростью  $u$ . После сложения этих скоростей мы получаем результирующую скорость  $v$ , которая является реальной скоростью движения фронта взрывных газов. При этом вектор скорости  $v$  отклоняется от перпендикуляра в сторону распространения детонации на некоторый угол  $\varphi$ . В [5] установлено, что данный угол равен  $14^\circ 15'$ , а

$$u = \frac{D}{4}, \quad (1)$$

где  $D$  – скорость детонации, м/с.  
Следовательно,

$$v = \frac{u}{\sin \varphi}, \quad (2)$$

Или при  $\varphi = 14^\circ 15'$

$$v \approx D. \quad (3)$$

Необходимо отметить, что это нижний предел скорости разлета продуктов взрыва. Как отмечается в [6], опытные данные показывают, что при истечении в глубокий вакуум скорость разлета ПД вдвое превышает скорость детонации, и даже при истечении в воздух скорость головной части продуктов взрыва превосходит скорость детонации. Авторы объясняют это тем, что при давлениях, меньших 2...3 ГПа, нельзя считать показатели полинтропы для ПД постоянным и равным 3, т.к. это справедливо только для случаев, когда разница между давле-

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

нием во фронте ударной волны и давлением во фронте детонационной волны не превышает 2...2, 5 порядка (это соответствует взрыву в достаточно плотных средах – горная порода, грунт, вода и т.п.). Опытные данные показывают [6], что вблизи заряда (до  $2,5r_0$ ) скорость разлета превышает скорость детонации: для тротила – в 1,1 раза; для гексогена – в 1,09 раза.

Рассмотрим теперь удлиненный заряд с конической кумулятивной выемкой, угол при вершине которой равен  $2\alpha$ . Считаем, что с поверхности кумулятивной выемки продукты детонации распространяются со скоростью  $V_0$  ( $V_0 \approx V$ ), которая направлена перпендикулярно к поверхности выемки. Сходящиеся струи газов соударяются и образуют газовый поток (кумулятивную струю), имеющий высокую плотность и скорость. Согласно [6] максимальная скорость кумулятивной струи  $V_k$  может быть определена по формуле

$$V_k = \frac{V_0}{\sin\alpha} (1 + \cos\alpha). \quad (4)$$

Если на своем пути газовый поток встречает преграду, то под действием высокой скорости на нее будет воздействовать давление  $P_k$ , величина которого составляет

$$P_k = \frac{\rho_k \times V_k^2}{4}$$

или

$$P_k = \frac{\rho_k}{4} V_0^2 (1 + \cos\alpha)^2. \quad (5)$$

Анализ этой зависимости показывает, что давление на преграде, в основном, определяется скоростью газового потока, однако и плотность продуктов взрыва, в меньшей степени, но так же влияет на величину возникающего давления.

Принимая во внимание, что для ПД справедлив изоэнтропичный закон расширения, при котором давление и плотность продуктов взрыва взаимосвязаны следующим образом [6]

$$P = a \times \rho^n, \quad (6)$$

где  $a$  – константа, характерная для данного типа ВВ;

$n$  – показатель изоэнтропы.

В этом случае

$$\rho_n = \frac{n+1}{n} \rho_{0i}; \quad \rho_n = \frac{\rho_0 \times D^2}{n+1}, \quad (7)$$

где  $\rho_n$   $P_n$  – плотность и давление детонационной волны.

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Учитывая, что в нашем случае можно считать, что плотность ПД в произвольный момент времени может быть найдена из соотношения

$$\frac{\rho_x}{\rho_n} = \left( \frac{P_x}{P_n} \right)^{1/n}, \quad (8)$$

где  $\rho_x$ ,  $P_x$  – плотность и давление ПД в рассматриваемый момент времени.

Если в модель (8) мы подставим (5) и (7), то плотность газообразных продуктов взрыва будет следующим образом зависеть от угла кумулятивной выемки

$$\rho_x = \rho_n \left( \frac{\rho_x V_k^2}{\rho_0 D^2} \right)^{1/3} = \rho_n \frac{\rho_x^{1/3} \times V_k^{2/3}}{\rho_0^{1/3} \times D^{2/3}}.$$

После преобразований имеем

$$\rho_x^{2/3} = \frac{4}{3} \rho_0^{2/3} \left( \frac{V_k}{D} \right)^{2/3} \quad \text{или}$$

$$\rho_x = 1,54 \rho_0 \left( \frac{V_k}{D} \right) = 1,54 \rho_0 \frac{1}{\sin \alpha} (1 + \cos \alpha). \quad (9)$$

Таким образом, увеличение плотности будет определяться следующим образом:

$$\frac{\rho_x}{\rho_0} = \frac{1,54(1 + \cos \alpha)}{\sin \alpha}. \quad (10)$$

В зависимости от угла кумулятивной выемки увеличение плотности будет составлять:

$\alpha$	$15^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$
$\rho_x/\rho_0$	11,6	5,74	3,72

Следовательно, величина давления, которое оказывает газовый поток на преграду, в зависимости от параметров кумулятивной выемки будет иметь следующий вид:

$$P_k = 0,385 \rho_0 \frac{D^2 (1 + \cos \alpha)^3}{\sin^3 \alpha}. \quad (11)$$

# ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Используя полученную зависимость (11) определяем изменение давления газового потока на преграду в зависимости от параметров ВВ и угла кумулятивной выемки (табл. 1).

Таблица 1 – Влияние свойств ВВ и угла кумулятивной выемки на изменение давления газового потока преграду

Тип ВВ	Плотность ВВ, кг/м <sup>3</sup>	Скорость детонации ВВ, м/с	Давление (ГПа) при угле выемки (град.)			Детонационное давление, ГПа
			15	30	45	
Аммонит 6 ЖВ	1000	4600	3639	423	114	5,2
Гранулит АС8	1060	3700	2494	290	78,6	3,4
Граммонит 79/21	950	3300	1779	206	55,8	2,58
Комполайт ПС1	900	2800	1078	126	34	1,56
Полимикс ГР4-П	1120	4200	3398	394	107	4,93

Необходимо заметить, что зависимость для скорости кумулятивной струи (4) представляет собой максимально возможную скорость струи на начальной стадии ее образования, т.е. в зоне вершины конической кумулятивной выемки. Чаще всего скорость установившейся фазы истечения кумулятивной струи оценивают по гидродинамической теории [5]

$$V_k = \frac{V_0}{\operatorname{tg}(\alpha)} \quad (12)$$

или

$$V_k = \frac{V_0}{\operatorname{tg}(2\alpha)} \quad (13)$$

Анализ результатов экспериментальных и теоретических исследований, приведенный в [8], показывает, что зависимость (12) дает хорошее совпадение с полученными результатами. С учетом этого плотность продуктов взрыва кумулятивной струи на установившемся этапе будет зависеть от угла конической выемки

$$\rho_k = 1,54\rho_0 \operatorname{ctg}(\alpha) \quad (14)$$

или

$$\frac{\rho_x}{\rho_0} = 1,54 \operatorname{ctg}(\alpha) \quad (15)$$

В этом случае, в зависимости от угла  $\alpha$  увеличение плотности будет составлять:

$\alpha$	15°	30°	45°
$\rho_x/\rho_0$	5,75	2,67	1,54

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ  
РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

С учетом зависимостей (12) и (14) давление газовой кумулятивной струи будет определяться формулой

$$P_k = 0,385 \rho_0 D^2 \text{ctg}^3(\alpha). \quad (16)$$

Рассчитанные по зависимостям (12) и (14) давления газового потока на преграду приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Влияние свойств ВВ и угла кумулятивной выемки на изменение давления газового потока на преграду

Тип ВВ	Плотность ВВ, кг/м <sup>3</sup>	Скорость детонации, м/с	Давление (ГПа) при угле выемки (град.)			Детонационное давление, ГПа
			15°	30°	45°	
Аммонит №6 ЖВ	1000	1600	433,8	42,3	8,14	5,2
Гранулит АС8	1060	3700	291	29	5,59	3,4
Граммонит 79/21	950	3300	207	20,6	3,98	2,58
Комполайт ПС1	800	2800	126	12,5	2,4	1,56
Полимикс ГР4-П	1120	4200	396	39,5	7,6	4,93

Анализ данных, приведенных в табл. 1 и 2 показывает, что использование в расчетах зависимости для скорости кумулятивной струи в виде (4) приводит в конечном итоге к тому, что давление на преграде составляет:

- для кумулятивной выемки с углом  $2\alpha=30^\circ$  – (3639...1078) ГПа;
- для кумулятивной выемки с углом  $2\alpha=60^\circ$  – (423...126) ГПа;
- для кумулятивной выемки с углом  $2\alpha=90^\circ$  – (114...34) ГПа.

Эти величины превышают детонационное давление в (22...700) раз.

Расчет давления газовой кумулятивной струи на преграду, в котором ее скорость определяется по формуле (12), показывает, что в этом случае величина давления составляет:

- для кумулятивной выемки с углом  $2\alpha=30^\circ$  – (433,8...126) ГПа;
- для кумулятивной выемки с углом  $2\alpha=60^\circ$  – (42,3...12,5) ГПа;
- для кумулятивной выемки с углом  $2\alpha=90^\circ$  – (8,14...2,4) ГПа.

Последние значения более соответствуют состоянию ПД на выходе из кумулятивной выемки [6].

Необходимо отметить, что использование заряда без облицовки кумулятивной выемки приводит к формированию газокумулятивной струи, представляющей собой высокоскоростной направленный поток продуктов взрыва повышенной плотности энергии (скорость такой струи может превышать вторую космическую скорость) [8]. Однако такая струя имеет относительно низкую эффективность действия по преграде. Это особенно наблюдается на некотором удалении от заряда, что обусловлено быстрым расширением газообразных ПД вследствие неравномерного распределения по длине струи скорости и наличия

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

поперечных пульсаций в струе. Это приводит к радиальному рассеиванию и быстрому снижению плотности газообразных продуктов взрыва.

Использование кумулятивного заряда в прочной горной породе имеет ряд особенностей. Во-первых, можно считать, что стенки скважины являются корпусом кумулятивного заряда. Во-вторых, расширение газокумулятивной струи осуществляется только в пределах пространства скважины. Теоретический анализ задачи о распределении параметров кумулятивной струи в данной постановке практически неизучен и является сложным с математической точки зрения.

Для установления закономерности изменения скорости газокумулятивной струи в зависимости от расстояния были проведены экспериментальные исследования. В первой серии экспериментов заряд располагался на пластине, во второй – в толстостенной трубке, которая имитировала скважину. Скорость распространения струи измеряли с помощью ионизационных датчиков. Первый датчик располагали на расстоянии  $1r_0$  от торца заряда ( $r_0$  – радиус удлиненного заряда), остальные – с шагом  $2r_0$ . В качестве ВВ использовали тэн плотностью  $900 \text{ кг/м}^3$  (скорость детонации  $5000 \text{ м/с}$ ), диаметр заряда –  $5 \text{ мм}$ , длина –  $50 \text{ мм}$ . Результаты экспериментов приведены на рис. 2.

$$\bar{V} = \frac{V}{D}$$

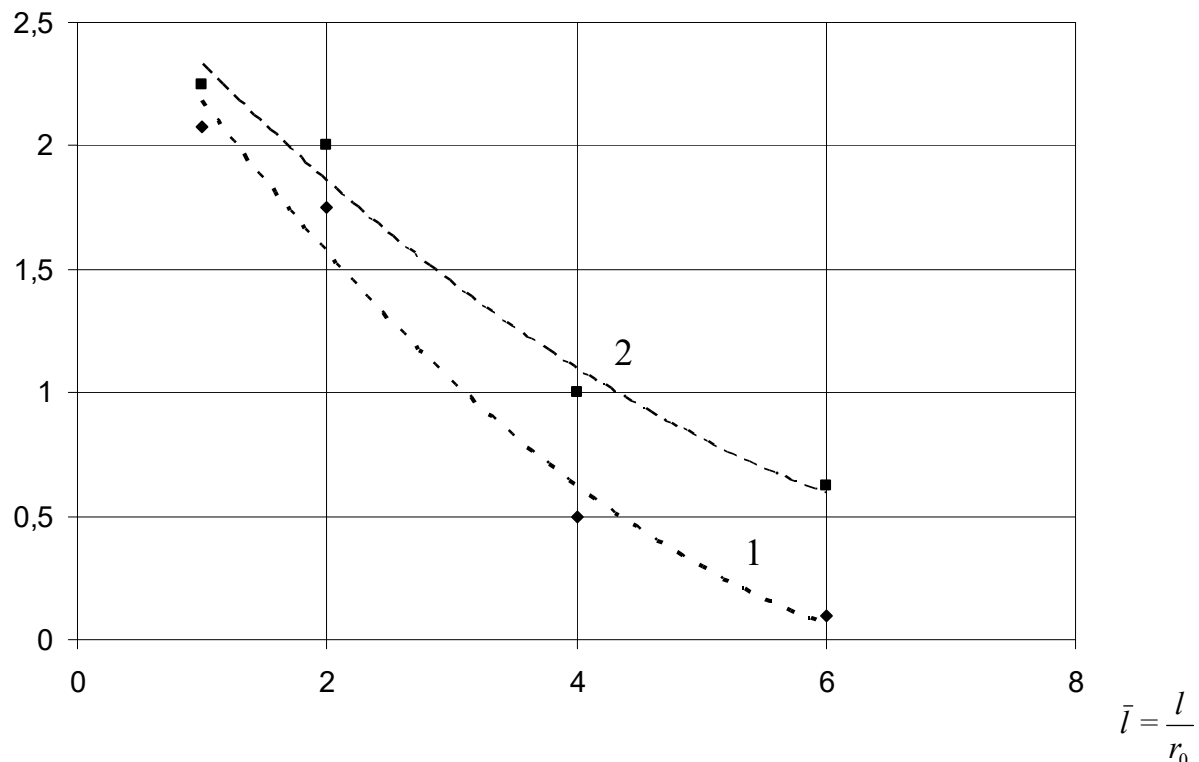


Рисунок 2 – Изменение скорости газокумулятивного потока в зависимости от расстояния при расположении заряда:  
1 – на пластине; 2 – в толстостенной трубке.



# ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Обработка результатов данных экспериментов позволила получить эмпирические зависимости для изменения скорости газокумулятивной струи:

– при расположении заряда на пластине:

$$\bar{V} = 0,0477x^2 - 0,7567x + 2,8877$$

(коэффициент корреляции равен 0,9779);

– при расположении заряда в толстостенной трубе:

$$\bar{V} = 0,0314x^2 - 0,5674x + 2,8635$$

(коэффициент корреляции равен 0,9796).

Полученные результаты позволяют определить давление, которое оказывает газокумулятивная струя на область сопряжения стенок скважины и дна (табл. 3).

Таблица 3 – Давление газокумулятивной струи в зависимости от расстояния заряда до дна скважины

Относительное расстояние до дна скважины	1	2	4	6
Величина давления, ГПа	$\frac{33}{47}$	$\frac{19,2}{30}$	$\frac{2,7}{9,1}$	$\frac{0,3}{2,7}$

Примечание: в числителе – при расположении заряда на пластине, в знаменателе – в толстостенной трубе.

Полученные результаты (табл. 3) показывают, что по сравнению со свободным истечением газокумулятивной струи (расположение заряда на пластине), размещение кумулятивного заряда в относительно ограниченном пространстве позволяет значительно усилить динамическое давление на дно скважины:

– при поднятии заряда на высоту  $h=r_0$  над дном скважины давление составляет 47ГПа (в 1,42 раза больше, чем при свободном расположении заряда);

– при увеличении высоты расположения заряда в 2 раза динамическое давление снижается в 1,57 раза, при высоте  $h=4r_0$  – в 5,2 раза. Следовательно, по полученным результатам можно сделать вывод, что поднимать заряд над дном скважины более чем на  $2r_0$  нецелесообразно, т.к. при  $h>2r_0$  наблюдается более резкое падение давления газокумулятивной струи на дно скважины.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев В. В., Пеев А. М. Перспективные направления повышения эффективности взрывного разрушения горных пород // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук: КНУ, 2010. – Вип. 1/2010 (5). – С. 19–22.

2. Воробйов В.В., Помазан М.В. Використання кумулятивного ефекту для підсилення руйнування нижніх шарів масиву // Сучасні ресурсоенергозберігаючі

технології гірничого виробництва. – Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 1/2009 (3). – С. 21–25.

3. Лаврентьев М.А. Кумулятивный заряд и принципы его работы // Успехи мат. наук. – 1957. – № 4. – С. 41–52.

4. Разгон твердых частиц кумулятивного взрыва / В.М. Титов, В.М. Фадеев, Н.С. Титова // Доклады АН СССР. – 1968. – Т. 180. – № 5. – С. 1051–1052.

5. Покровский Г.И. Взрыв. 4-е изд. – М.: Недра, 1980. – 190 с.

6. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. – Изд. 3-е, испр. – В 2 т. Т. 1. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 832 с.

7. Численные методы в задачах физики взрыва и удара / А.В. Бабкин, В.И. Колпаков, В.Н. Окитин, В.В. Селиванов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 516 с.

8. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. – Изд. 3-е, испр. – В 2 т. Т. 2. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 656 с.

### DYNAMIC EFFECTS EVALUATION OF GAS CUMULATIVE FLOW ON THE BOREHOLE BOTTOM DURING THE EXPLOSION OF ELONGATED CHARGE

V. Vorobyov, M. Pomazan, L. Vorobyova

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: vvv@kdu.edu.ua

**Purpose** - on the basis of theoretical calculations and experimental results evaluate the change in pressure of gas cumulative jet at the bottom of the borehole. **Methodology.** During the theoretical calculations the pressure evaluation of explosion products on barrier been made at the highest possible speed of the jet at the initial stage of its formation, i.e. in the area of the top of the conical cumulative recess and by the established phase speed of the expiration of a cumulative jet. **Results.** The results show that in comparison with free expiration of gas cumulative jet, cumulative charge placement in relatively confined spaces can significantly enhance the dynamic pressure at the borehole bottom: at charge lifting on the height  $h=r_0$  over borehole bottom the pressure is 47 GPa (in 1.42 times greater than for free charge location); by increasing the height of charge arrangement in 2 times the dynamic pressure is reduced to 1.57 times, at a height  $h=4r_0$  - 5.2 times. Consequently, according to the results it can be concluded that raising the charge above the bottom of the borehole for more than  $2r_0$  is impractical because when  $h>2r_0$  there is sharper pressure drop of gas cumulative jet to the borehole bottom. **Originality.** For the first time there were obtained results that characterize the change in dynamic effects of gas cumulative jet on the borehole bottom. **Practical value.** The results allow to determine the optimum parameters of the cumulative recess and the height of the charge rise above the bottom of the borehole, depending on the properties of the used explosive. References 8, tables 3, figures 2.

**Key words:** explosion, explosive, rock pressure, charge, jet stream, the cumulative effect of the destruction of, well, speed, efficiency.

REFERENCES

1. Vorobyov, V.V., Pejev, A.M. (2010), "Perspective directions of efficiency increase of rocks explosive destruction", *Suchasni resursoenergozberigauchi tehnologiyi girnychogo vyrobnytstva*, vol. 1, no. 5, pp. 19–22.
2. Vorobyov, V.V., Pomazan, M.V. (2009), "Using a cumulative effect to enhance the destruction of the lower layers of the array", *Suchasni resursoenergozberigauchi tehnologiyi girnychogo vyrobnytstva*, vol. 1, no. 3, pp. 21–25.
3. Lavrentiev M.A. (1957) "Cumulative charge and the its working principles", *Successes of Mathematical Sciences*, no.4, pp.41–52.
4. Titov, V.M., Fadeenko, V.M., Titova, N.S. (1968) "Acceleration of solid particles of cumulative explosion", *Reports of the Academy of Sciences of the USSR*, vol.180, no.5, pp.1051–1052.
5. Pokrovskiy, G.I. (1980) *Vzryv. 4e izdanie* [Explosion. 4th Edition], Nedra, Moscow, Russia.
6. Ed. By Orlenko L.P. (2004) *Physica vzryva* [The physics of the explosion. Ed. 3rd, rev.], in 2 vol. FIZMATLIT, Moscow, Russia.
7. Babkin, A.V., Kolpakov, V.I., Okitin, V.N., Selivanov, V.V. (2000) *Chyslennie metody v zadachah fiziki vzryva i udara* [Numerical methods in problems of physics of explosion and shock], Publishing House of the N.E. Bauman MSTU, Moscow, Russia.
8. Ed. By Orlenko L.P. (2004) *Physica vzryva* [The physics of the explosion. Ed. 3rd, rev.], in 2 vol. FIZMATLIT, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 24.05.2016.