

ОСОБЕННОСТИ БРИЗАНТНОГО ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА ПРОСТЕЙШИХ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ СМЕСЕВЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ПОНИЖЕННОЙ ПЛОТНОСТИ

А. В. Прокопенко, асп. (НТУУ «КПИ»)

Наведено результати порівняльного аналізу бризантної дії вибуху найпростіших сумішевих вибухових речовин комполайтів ПС і промислової вибухової речовини амоніту бЖВ: залежність вибухового тиску від часу; залежність питомого імпульсу від відносної висоти заряду; експериментальні дані про гранулометричний склад після підірвання блоків з пінобетону.

При теоретическом определении зависимости изменения давления и импульса взрыва на границе разлета продуктов детонации (ПД) и негабаритного куска скальной породы воспользуемся подходом, изложенным в работе [1]. Для теоретического расчета импульса при отражении детонационной волны от недеформируемой стенки авторы используют уравнение газовой динамики для одномерного изоэнтروпийного течения

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(u \pm \frac{2}{k-1} c \right) + (u \pm c) \frac{\partial}{\partial x} \left(u \pm \frac{2}{k-1} c \right) = 0, \quad (1)$$

где u – массовая скорость газа; c – скорость звука в газе; k – показатель изоэнтропы; t – время; x – координата.

Использование изоэнтропы в виде $P = A\rho^3$ позволило авторам найти закономерность изменения давления у стенки

$$p(t) = \frac{64}{27} p_n \left(\frac{l}{Dt} \right)^3, \quad (2)$$

а также выражение для полного импульса при отражении детонационной волны от стенки

$$I = \frac{32}{27} S p_n \frac{l}{D} \quad (3)$$

или

$$I = \frac{8}{27} S \rho l D = \frac{8}{27} m D, \quad (4)$$

где p_n – начальное давление (давление в точке Жуге); D – скорость детонации заряда; l – длина заряда; S – площадь поперечного сечения заряда взрывчатого вещества (ВВ); ρ – плотность ВВ; $m = S\rho l$ – масса заряда.

В случае подрыва исследуемых ВВ показатель изоэнтропы $k \neq 3$. Поэтому проведение аналогичной процедуры анализа задачи приводит к закономерности изменения давления у недеформируемой стенки в виде

$$p(t) = \left(\frac{k+1}{k} \right)^k p_H \left(\frac{l}{Dt} \right)^k. \quad (5)$$

Учитывая, что $p_H = \frac{1}{k+1} \rho D^2$, можно записать

$$p(t) = \frac{(k+1)^{k-1}}{k^k} D^{2-k} \rho l^k t^{-k}. \quad (5)$$

Выражение для полного импульса имеет вид

$$I = S \int_{\frac{l}{D}}^{\infty} p dt = \left(\frac{k+1}{k} \right)^k \frac{S \rho D^2 l}{k^2 - 1 D} \quad (7)$$

или

$$I = \left(\frac{k+1}{k} \right)^k \frac{mD}{k^2 - 1}. \quad (8)$$

Выражения (6), (7) и (8) при $k = 3$ преобразуются соответственно в (2), (3) и (4).

Авторами [1] доказано, что зависимость (4) может быть использована не только для одномерного случая, но и для трехмерного. Для этого необходимо вместо полной массы заряда подставить массу активной его части, то есть части заряда, ПД которой разлетаются в данном направлении. В нашем случае ПД взрыва активной массы заряда действуют в сторону негабаритного куска скальной породы. Для величины активной массы цилиндрического заряда получены выражения [1]

$$m_a = \left(\frac{4}{9} l - \frac{8}{81} \frac{l^2}{r_0} + \frac{16}{2187} \frac{l^3}{r_0^2} \right) \pi r_0^2 \rho \quad \text{при } l < 4,5 r_0; \quad (9)$$

$$m_a = m_{\text{пр}} = \frac{2}{3} \pi r_0^3 \rho \quad \text{при } l \geq 4,5 r_0, \quad (10)$$

где $m_{\text{пр}}$ – предельная активная масса заряда, достигаемая для заданного диаметра заряда d при длине $l = 4,5 r_0 = 2,25 d$. При увеличении длины заряда выше его предельного значения увеличение импульса не должно наблюдаться.

Подставив (9) в (8), получим выражение для полного импульса от действия взрыва заряда с активной массой

$$I = \left(\frac{k+1}{k} \right)^k \frac{1}{k^2 - 1} \left(\frac{4}{9} l - \frac{8}{81} \frac{l^2}{r_0} + \frac{16}{2187} \frac{l^3}{r_0^2} \right) \pi r_0^2 \rho D \quad \text{при } l < 4,5 r_0. \quad (11)$$

Используя (11), удельный импульс можно записать в виде

$$i_0 = \frac{I}{\pi r_0^2} = \left(\frac{k+1}{k} \right)^k \frac{1}{k^2 - 1} \left(\frac{4}{9} - \frac{8}{81} \frac{l}{r_0} + \frac{16}{2187} \frac{l^2}{r_0^2} \right) l \rho D \text{ при } l < 4,5 r_0. \quad (12)$$

Представив в первом приближении негабаритный кусок скальной породы в виде недеформируемой стенки, можно по формулам (5), (11), (12) выполнить качественный сравнительный анализ давления, импульса и удельного импульса взрыва исследуемых ВВ.

Пользуясь полученными выражениями (5), (11), (12), рассмотрим бризантное действие взрыва простейших мелкодисперсных смесевых ВВ пониженной плотности комполайтов ПС. Сравним это действие с бризантным действием аммонита бЖВ. В таблице представлены характеристики обоих ВВ.

Показатели	ВВ	Комполайт ПС1	Аммонит бЖВ
Плотность, кг/м ³		690	1100
Бризантность (по методу Гесса), мм		6,6	16
Скорость детонации, м/с		2171,55	4200
Критический диаметр, мм		30	11
Показатель политропы ПВ		1,883	2,467
Показатель адиабаты ПВ		1,25	1,227

Пусть заряды имеют цилиндрическую форму, причем $l = h = Kd$ (h – высота заряда, K – коэффициент пропорциональности), масса заряда фиксирована и равна 2 кг. Начало отсчета времени – момент выхода детонационной волны на границу заряд–порода.

На рис. 1 представлены зависимости давления на границе от времени для комполайта ПС1 (1, 2, 3) и аммонита бЖВ (4, 5, 6); 7 и 8 – пределы прочности гранита на сжатие и растяжение [2]

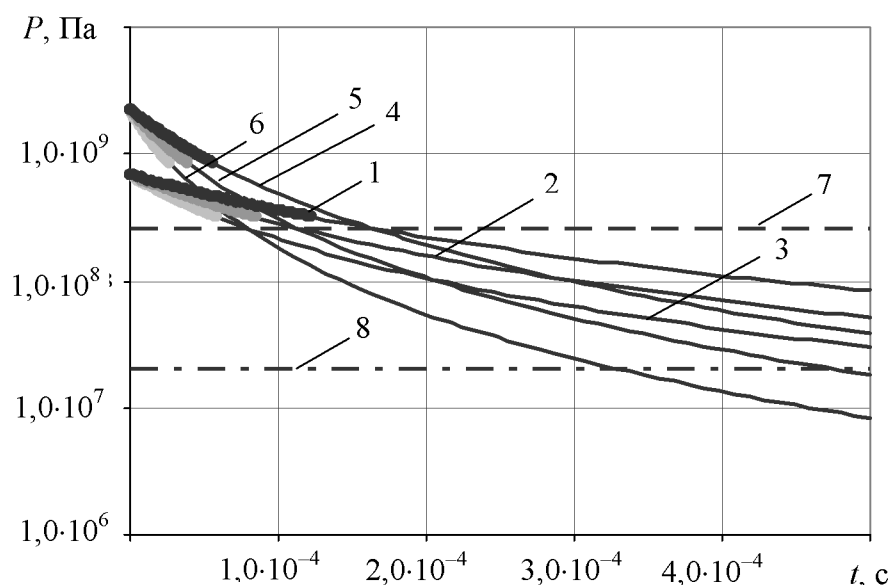


Рис. 1. Зависимости давления на границе заряд–порода от времени для комполайта ПС1 (1, 2, 3) и аммонита бЖВ (4, 5, 6); 7 и 8 – пределы прочности гранита на сжатие и растяжение [2]

Жирными отрезками обозначена часть импульса давления, которая успевает воздействовать непосредственно на породу [1]. Линии в каждом семействе относятся к различным формам заряда, а именно при $K = 0,75; 1,3; 2,25$ (линии 1, 2, 3 и 4, 5, 6 соответственно).

Влияние относительной высоты заряда на удельный импульс (отношение импульса к площади контакта) изображено на рис. 2.

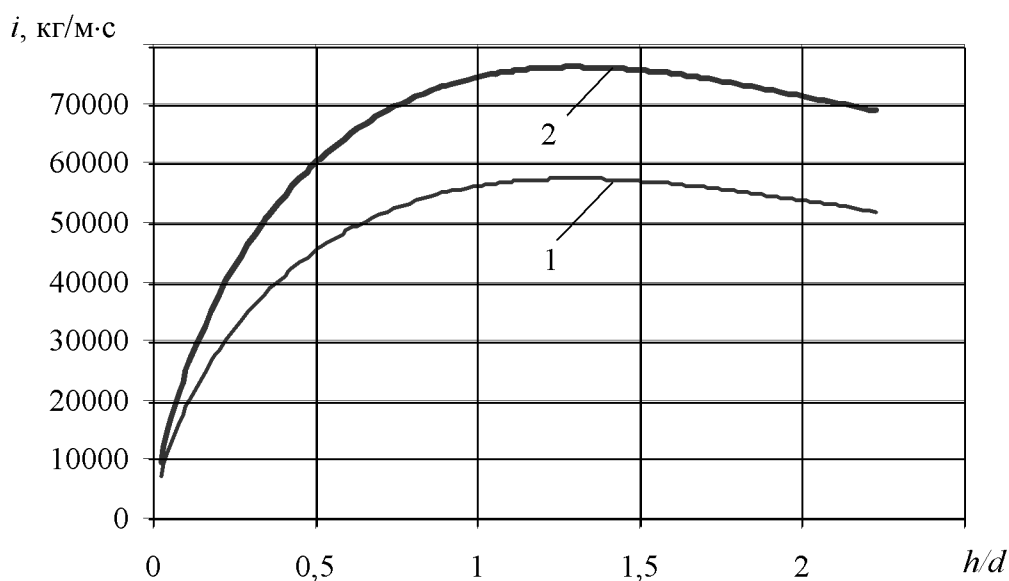


Рис. 2. Зависимость удельного импульса от относительной высоты заряда: 1 – комполайт ПС1; 2 – аммонит БЖВ

Полученные зависимости позволяют сделать следующие выводы:

- длительность бризантного воздействия комполайтов ПС1 в 2...3 раза больше, чем у аммонита;
- в зоне бризантного воздействия и даже за ее пределами уровни давлений на границе контакта заряда с поверхностью породы для обоих ВВ превышают прочностные характеристики горной породы;
- превышение давления над прочностными характеристиками породы, особенно в начале процесса, приводит к переизмельчению породы в ближней зоне, и чем больше это превышение, тем интенсивнее переизмельчение.

Таким образом, несмотря на более высокие начальные характеристики аммонита БЖВ по сравнению с комполайтом ПС1, большая часть его энергии тратится на переизмельчение породы в ближней зоне. Учитывая также то, что время бризантного воздействия взрыва аммонита БЖВ меньше, а скорость убывания давления на порядок выше, то однозначно нельзя сказать о большей эффективности разрушения породы аммонитом БЖВ по сравнению с ПС1.

Для проверки полученных выводов были проведены экспериментальные исследования на полигоне. Исследования проводились путем подрыва

накладных зарядов одинаковой массы на блоках из пенобетона (рис. 3, *а*) с последующим определением гранулометрического состава взорванного блока (рис. 3, *б*) и расчетом площади вновь образованной поверхности. Результаты экспериментов представлены на рис. 4.



Рис. 3. Общий вид экспериментальной установки (*а*) и результат взрыва (*б*)

Из рис. 4 следует, что выход переизмельченной фракции после разрушения модели взрывом аммонита 6ЖВ в 2 раза больше, чем взрывом комполайта ПС1, что подтверждает теоретические выводы. На полигоне проводились также измерения параметров ударной волны вблизи границы контакта породный блок–ВВ с использованием пьезоэлектрических датчиков. Установлено, что длительность взрывного воздействия на породу у аммонита 6ЖВ в 3 раза меньше, чем у комполайта ПС1, что подтверждает выводы, полученные аналитическими расчетами.

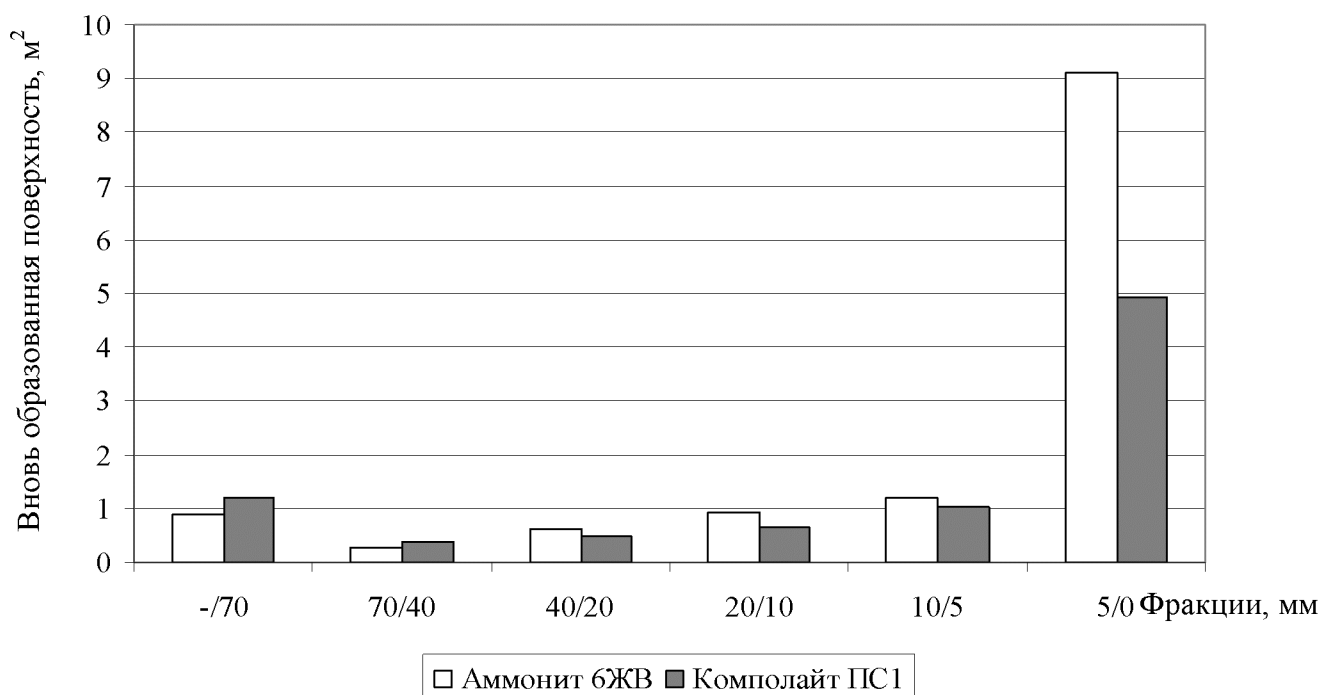


Рис. 4. Гранулометрический состав породы при взрыве зарядов из аммонита 6ЖВ и комполайта ПС1

Следовательно, использование простейших мелкодисперсных смесевых ВВ пониженной плотности комполайтов ПС не менее эффективно, а в некоторых случаях более эффективно, чем аммонита 6ЖВ. Следует также отметить необходимость дальнейших исследований вопросов использования накладных зарядов для вторичного измельчения негабаритов, в первую очередь, стоимостных и экологических показателей при применении новых бестропиловых смесевых и стандартных промышленных ВВ.

1. *Физика взрыва* / Под ред. Л. Н. Орленко. Изд. 3-е, перераб. – В 2-х томах. – М.: Физматгиз, 2002, Т. 1. – 832 с.

1. Справочник физических свойств горных пород. – М.: Недра, 1975. – 214 с.