

## **ДЕЙСТВИЕ ВЗРЫВА НА ЗАРЯДЫ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ, НАХОДЯЩИЕСЯ В СМЕЖНЫХ ШПУРАХ**

**С.А. Калякин, Р.И. Азаматов**

Донецкий национальный технический университет

ул. Артема, 58, 83001, г. Донецк, Украина.

E-mail: [yglenit@gmail.com](mailto:yglenit@gmail.com)

В работе проведен системный анализ экспериментальных данных по определению критического давления детонации шпуровых зарядов ВВ при их групповом взрывании. Установлена эмпирическая математическая модель для расчета давления в смежных шпурах при короткозамедленном взрывании зарядов ВВ. Полученная расчетная модель позволяет определить критическое давление детонации для любого типа ВВ, включая и патронированные эмульсионные ВВ, в зависимости от диаметра патрона ВВ, свойств горного массива и откольной прочности пород.

**Ключевые слова:** групповое взрывание шпуровых зарядов ВВ, устойчивость детонации, смежные шпуры, критическое давление детонации зарядов ВВ.

## **ДІЯ ВИБУХУ НА ЗАРЯДИ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН, ЩО ЗНАХОДЯТЬСЯ В СУМІЖНИХ ШПУРАХ**

**С.О. Калякін, Р.І. Азаматов**

Донецький національний технічний університет

вул. Артема, 58, 83001, м. Донецьк, Україна.

E-mail: [yglenit@gmail.com](mailto:yglenit@gmail.com)

В роботі проведений системний аналіз експериментальних даних по визначенню критичного тиску детонації шпурових зарядів ВР при їх груповому підриванні. Встановлена емпірична математична модель для розрахунку тиску в суміжних шпурах при короткоуповільненому підриванні зарядів ВР. Отримана розрахункова модель дозволяє визначити критичний тиск детонації для любого типу ВР, включаючи патронувані емульсійні ВР, в залежності від діаметру патрона ВР, властивостей гірничого масиву та відкольної міцності порід.

**Ключові слова:** групове підривання шпурових зарядів ВР, стійкість детонації, суміжні шпури, критичний тиск детонації зарядів ВР.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** При групповом короткозамедленном взрывании шпуровых зарядов взрывчатых веществ (ВВ) в забоях горных выработок возможны подсечка зарядов трещинами, их обнажение и переуплотнение ВВ внешним давлением газообразных продуктов взрыва или волнами напряжений, возникающими при взрывном разрушении горного массива. Все эти явления прямо или косвенно могут влиять на безопасность и эффективность взрывных работ в горных выработках шахт.

**АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ** показал, что при подсечке шпуровых зарядов и обнажении патронов ВВ при взрыве такие

заряды очень легко воспламеняют взрывную среду [1]. При переуплотнении ВВ в шпурах возможны отказы детонации шпуровых зарядов и их выгорание [2]. Поэтому для борьбы с этими явлениями при взрывных работах были разработаны эффективные высокопредохранительные ВВ, устойчивые против выгорания и обладающие высокой детонационной способностью при короткозамедленном взрывании [3].

Вместе с тем, в настоящее время рассматривается вопрос о замене токсичных нитроэфиро- и тротилосодержащих ВВ на эмульсионные экологически чистые ВВ. Применение этих ВВ в угольных шахтах, опасных по газу и угольной пыли, позволит не только решить проблемы безопасности взрывных работ и промышленной санитарии, но и значительно удешевить сами ВВ, тем самым повысив эффективность взрывных работ. Поэтому в настоящее время ведутся научно-исследовательские работы по созданию новых патронированных предохранительных эмульсионных ВВ (ЭВВ) для угольных шахт. В связи с этим, становится очевидной важность вопроса о придании ЭВВ такой детонационной способности, чтобы их шпуровые заряды безотказно детонировали при короткозамедленном взрывании. Для этого необходимо определить параметры и условия устойчивой детонации шпурового заряда ВВ в смежных шпурах. Определение таких параметров позволит без трудоемких опытных шахтных промышленных испытаний разработать патронированные предохранительные ЭВВ для угольных шахт.

Целью работы является исследование действия взрыва на заряды ВВ, находящиеся в смежных шпурах, для определения параметров устойчивости детонации шпуровых зарядов ЭВВ.

**МАТЕРИАЛЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.** При групповом замедленном взрывании детонация шпуровых зарядов ВВ происходит одновременно. Шпуровые заряды ВВ, которые взрываются раньше, могут воздействовать на соседние смежные с ними и еще не взорвавшиеся заряды и вызывать в них переуплотнение ВВ. Условия переуплотнения ВВ в шпуровых зарядах при их короткозамедленном взрывании достаточно широко изучались в СССР и за рубежом [1,2,3]. Было установлено, что уплотнение ВВ в шпуровых зарядах при групповом короткозамедленном взрывании наблюдается на угольных пластах любой крепости и связано с деформацией стенок шпура и откольными явлениями. Деформация шпуров, откольные явления и уплотнение ВВ также могут происходить и при групповом взрывании по породе, однако это происходит при гораздо меньших расстояниях между шпурами, чем в угольных забоях. С увеличением крепости горных пород уплотнение ВВ уменьшается, так как снижается степень деформации стенок шпуров.

Для оценки возможности затухания детонации шпуровых зарядов из-за переуплотнения в них ВВ были поставлены и реализованы как шахтные, так и лабораторные эксперименты. В МакНИИ работы проводились Н.Л. Росинским и В.И. Зениным, которые установили, что с увеличением времени замедления между взрываемыми шпуровыми зарядами увеличивается вероятность отказов детонации ВВ за счет его сжатия и переуплотнения [4]. Сжатие и переуплотнение ВВ являются следствием действия на заряд давления,

возникающего в смежных еще не взорвавшихся шпурах от деформации стенок шпура и откольных явлений, происходящих в шпуре. Возможна подпрессовка ВВ в смежном шпуровом заряде и в результате прорыва в него продуктов взрыва уже взорвавшегося заряда. На основании полученных результатов были разработаны лабораторные и шахтные методики испытаний предохранительных ВВ под давлением, моделирующие условия группового взрывания с замедлением [5,6]. Так, в работе [6] в качестве критерия, определяющего устойчивость детонации шпурового заряда в смежном шпуре при уплотнении ВВ, принято приведенное расстояние до уплотняющего заряда. От приведенных легко перейти к абсолютным расстояниям между смежными шпуровыми зарядами по формуле:

$$a_{ш} = 0.18\bar{R}^{-1.71} r_{ш}, \quad (1)$$

где  $r_{ш}$  – радиус шпурового заряда;

$\bar{R}$  – приведенное расстояние до уплотняющих зарядов ВВ по лабораторной методике [6].

В работе [6] приведена методика взрывания зарядов ВВ под внешним давлением среды. В ней показано, что устойчивая детонация зарядов ВВ возможна при некотором критическом значении этого давления. Сделан строгий статистический анализ и сопоставлены результаты испытаний зарядов ВВ на устойчивость детонации под внешним давлением и приведенных допустимых расстояний при испытании ВВ в углицементных блоках. Оказалось, что коэффициент парной корреляции между параметрами критических значений устойчивости детонации по обоим методикам указывает на полную их сопоставимость. Таким образом, все предохранительные порошкообразные нитроэфиро- и тротилосодержащие ВВ при уплотнении в смежных шпурах взрывом имеют величину критического давления детонации. Так, критическое давление детонации  $P_{кр}$  для патронов ВВ диаметром 36 мм составляет для аммонита № 6ЖВ 100...110 атм., аммонита АП-5ЖВ – 100 атм., аммонита ПЖВ-20 с улучшенной обработкой аммонитной массы – 200...220 атм., аммонита Т-19 – 240...260 атм., угленита Э-6 – 140 атм. Следовательно, все штатные предохранительные ВВ, которые применяются в шахтах и которые необходимо заменить на патронированные ЭВВ, устойчиво детонируют в смежных шпурах под давлением от 140 до 240 атм.

При взрывных работах в угольных шахтах Едиными правилами безопасности при взрывных работах регламентированы минимально допустимые расстояния между смежными шпурами при короткозамедленном взрывании зарядов ВВ. По углю расстояние между шпурами –  $a_{ш}$  должно быть не менее 0,6 м, по породе с крепостью  $f < 7$  по шкале проф. М.М. Протождяконова – не менее 0,45 м, а для пород с  $f = 7$  и более – не менее 0,3 м. Принимая во внимание, что предохранительные патронированные ЭВВ будут применяться взамен порошкообразных, необходимо оценить величины критического давления в смежных шпурах для указанных выше допустимых расстояний между шпурами в угле и породе. Тогда можно будет провести опытные взрывания патронов ЭВВ при значениях этого давления, которое может быть в шпурах при групповом взрывании, и оценить устойчивость детонации патронов ЭВВ. По результатам

испытаний ЭВВ при критическом давлении в смежных шпурах можно будет сделать заключение об устойчивости их детонации при групповом взрывании и возможности их применения при взрывных работах в угольных шахтах.

В работах [7,8] приведены данные по разработке методики и аппаратуры для измерения давления во фронте ударной волны и волн напряжений, образованных при взрыве заряда ВВ в угольном массиве и в патронах ВВ, расположенных в шпурах, находящихся под взрывным воздействием соседних шпуровых зарядов. Результаты этих работ позволяют ответить на многие поставленные вопросы для определения критических параметров детонации ЭВВ.

Проанализируем схемы взрывания а) и б), приведенные на рис. 1. Схема а) отвечает условиям действия взрыва на смежные шпуры от одиночного заряда, а схема б) – от спаренных зарядов ВВ. Для опытной схемы взрывания а) получены зависимости изменения давления во фронте волны напряжений, распространяющейся в угольном массиве от расстояния вокруг центра шпурового заряда ВВ. На рис. 2 показан график зависимости давления в волне напряжения от расстояния при взрыве шпурового заряда аммонита ПЖВ-20 массой 0,4 кг в угольном пласте  $l_1$  шахты «Селидовская» по этой схеме, а на рис. 3 – аналогичный график для заряда аммонита массой 0,6 кг в угольном пласте шахты № 22 ПО «Шахтерскантрацит». Как видим, на двух различных угольных пластах характер изменения давления во фронте волны напряжения

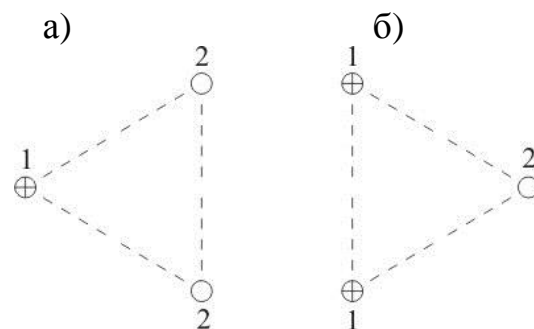


Рис. 1. Схемы взрывания  
1 – боевые шпуры; 2 – исследуемые шпуровые заряды

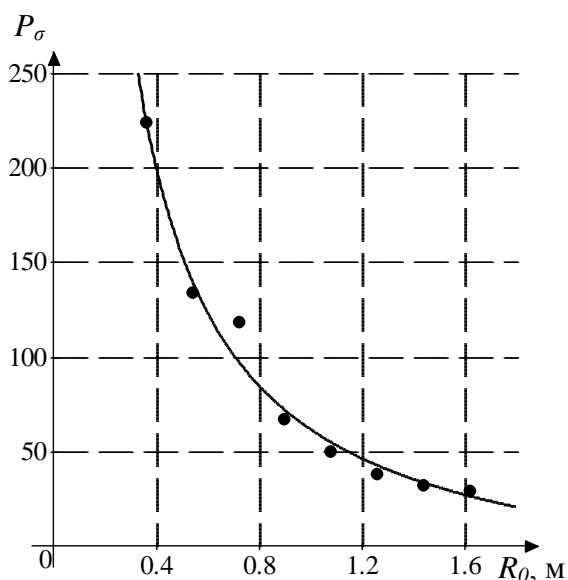


Рис. 2. График зависимости давления в волне напряжения от расстояния при взрыве шпурового заряда аммонита ПЖВ-20 массой 0,4 кг по схеме а)

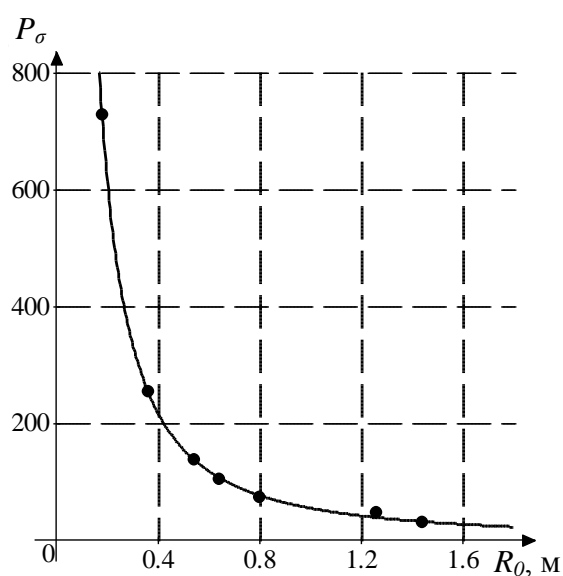


Рис. 3. График зависимости давления в волне напряжения от расстояния при взрыве шпурового заряда аммонита ПЖВ-20 массой 0,6 кг по схеме а)

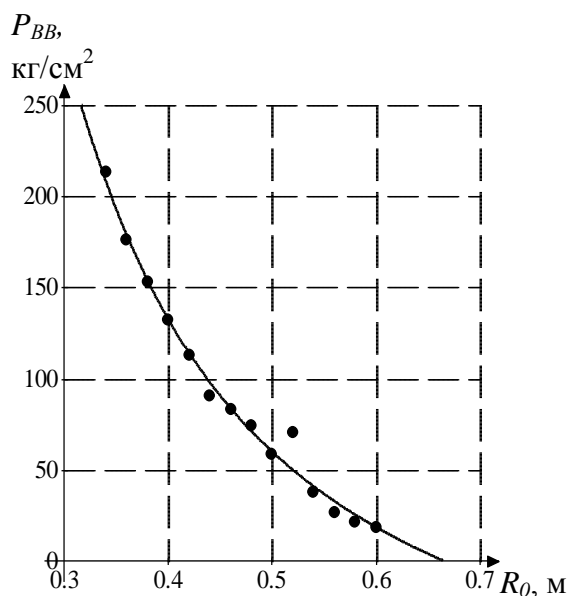


Рис. 4. График изменения давления в патроне ВВ

давление в патроне ВВ гораздо меньше, чем во фронте волны напряжения, и с увеличением расстояния между шпурами различие между давлением в патроне ВВ и в волне напряжения возрастает и на расстоянии 0,6 м давление в патроне ВВ меньше в 6,315 раза, чем в волне напряжения.

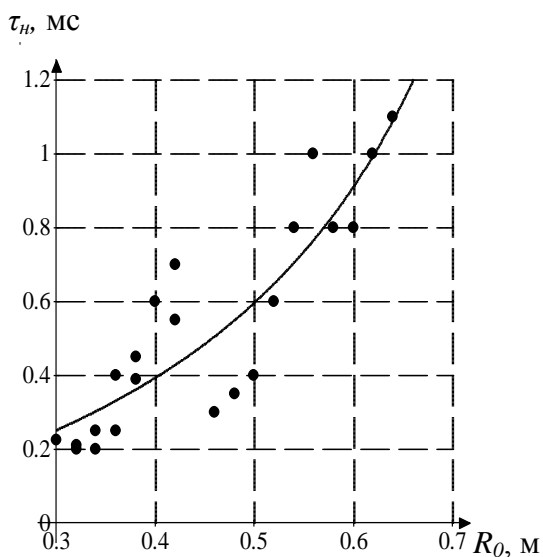


Рис. 5. График зависимости времени прихода волны напряжения от расстояния между смежными шпурами

есть оно сопоставимо с интервалом времени замедления при короткозамедленном взрывании. Так, при расстоянии между шпурами 0,3 м время действия давления на заряд ВВ в шпуре составляет примерно 22 мс, а при расстоянии 0,45 м – только 15 мс и при 0,6 м увеличивается до 20 мс. Таким

при взрыве зарядов аммонита с разной массой подобный. Теперь рассмотрим, как изменяется давление в патроне аммонита, расположенном в смежном шпуре, после деформации шпура при взрыве смежного шпурового заряда. График изменения давления в патроне ВВ показан на рис. 4. Из графика видно, что давление в патроне ВВ меньше давления во фронте волны напряжения, действующей на шпур. При расстоянии между шпурами 0,3 м давление в патроне ВВ меньше давления в волне напряжения в 1,1782 раза, при 0,45 м – в 2,003 раза, при 0,6 м – в 6,315 раза. Таким образом, установлено два важных факта:

Весьма интересным является и вопрос, как во времени изменяется давление в шпуре при воздействии на него волны напряжения, образованной взрывом смежного шпурового заряда. На рис. 5 показан график зависимости времени прихода волны напряжения к шпуре от расстояния между смежными шпурами. График зависимости времени нарастания давления в шпуре от расстояния между смежными шпурами показан на рис. 6, а на рис. 7 показан график зависимости времени действия давления на заряд ВВ. Эти зависимости позволяют сделать важный вывод: время действия давления на заряд ВВ в шпуре при взрыве смежных шпуровых зарядов небольшое и составляет несколько десятков миллисекунд, то

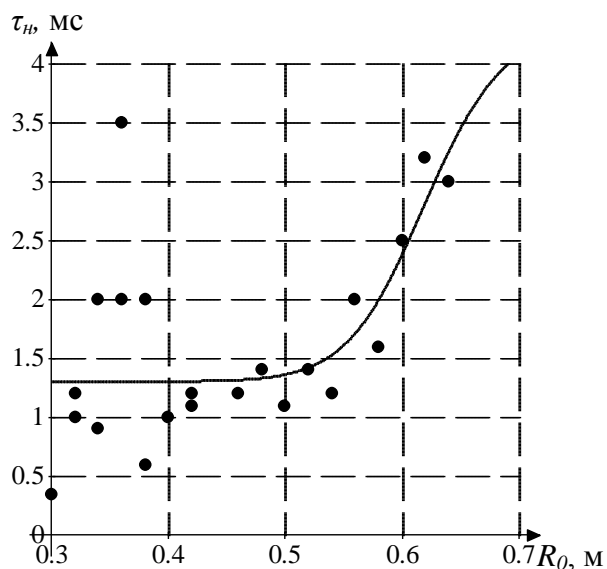


Рис. 6. График зависимости времени нарастания давления в шпуре от расстояния между смежными шпурами

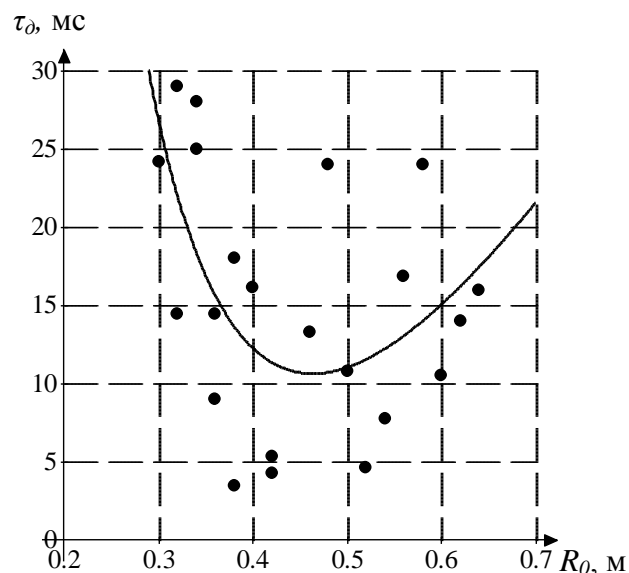


Рис. 7. График зависимости времени действия давления в шпуре от расстояния между смежными шпурами

образом, если интервал замедления между взрывами отдельных групп зарядов ВВ более 25 мс, то в смежных шпуровых зарядах избыточное давление будет практически отсутствовать. Поэтому, одним из способов обеспечения устойчивости детонации шпуровых зарядов патронированных ЭВВ является правильный выбор времени замедления между взрывами групп зарядов при короткозамедленном взрывании.

ЭВВ, в отличие от порошкообразных ВВ, сравнительно плохо прессуются, поэтому они быстро восстанавливают исходную плотность ВВ в заряде сразу после снятия внешней нагрузки, действующей на заряд. Это восстановление достигается с помощью термопластичных полимерных микросфер Expancel, применяемых для сенсбилизации ЭВВ взамен стеклянных микросфер подобного размера. Вместе с тем, полностью исключить ситуацию, когда шпуровой заряд ЭВВ детонирует в шпуре под избыточным давлением от действия взрыва смежных шпуровых зарядов нельзя. Следовательно, необходимо знать величину критического давления детонации патронированных ЭВВ в зависимости от условий взрывания и расстояния между смежными шпурами. Для решения этого вопроса были обобщены экспериментальные данные, полученные Н.Л. Росинским и В.С. Матюниным при проведении шахтных и лабораторных исследований устойчивости детонации предохранительных ВВ. Эти данные после системного анализа позволили с помощью известных методов планирования получить многофакторную матрицу для полного факторного эксперимента [9]. Выбор модели состоял в получении функции следующего вида:

$$P_{ш} = f(m_{зар}, a_{ш}), \quad (2)$$

где  $P_{ш}$  – остаточное давление в шпурах, действующее на заряд ВВ, атм.;

$m_{зар}$  – масса заряда ВВ в шпурах, кг;

$a_{ш}$  – расстояние между шпурами, м.

Есть основание считать, что функция в виде уравнения (2) не линейная. Поэтому для учета взаимодействия ее факторов необходимо учитывать их взаимное влияние друг на друга. В этом случае матрица планирования эксперимента принимает известный вид полного факторного эксперимента:

№	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_1x_2$	$y=f(x_1,x_2)$
1	+1	+1	+1	+1	$y_1=85,0$
2	+1	-1	+1	-1	$y_2=18,6$
3	+1	-1	-1	+1	$y_3=288,0$
4	+1	+1	-1	-1	$y_4=410,0$

где  $x_1$  – кодированное значение фактора, характеризующего влияние массы шпурового заряда на давление в смежном шпуре;

$x_2$  – кодированное значение фактора, характеризующего влияние расстояния между шпурами при взрыве на давление в смежных шпурах;

$y_{1...4}$  – значение давления в шпурах при различных значениях факторов  $x_1$  и  $x_2$ .

Кодирование факторов проводили по формулам:

$$x_1 = \frac{x'_n - x'_0}{\Delta_1} = \frac{m_{зар} - 0,75}{0,15},$$
$$x_2 = \frac{x''_n - x''_0}{\Delta_2} = \frac{a_{ш} - 0,45}{0,15},$$

интервалы варьирования выбраны следующим образом: для массы заряда –  $0,9 \text{ кг} \geq m_{зар} \geq 0,6 \text{ кг}$ , для расстояния между шпурами –  $0,6 \text{ м} \geq a_{ш} \geq 0,3 \text{ м}$ .

Реализация плана матрицы полного факторного эксперимента на основе экспериментальных данных работ [6,7,8] для схемы взрывания зарядов ВВ б), как наиболее жесткой в отношении вспомогательных шпуров, позволила получить эмпирический вид функции (2):

$$P_{ш} = 202,2 + 592,02 m_{зар} - 527,36 a_{ш} - 617,84 m_{зар} a_{ш}, \text{ атм}, \quad (3)$$

где  $m_{зар}$  – масса шпурового заряда или масса ВВ –  $m_{вв}$ , кг;

$a_{ш}$  – расстояние между смежными шпурами, м.

Функция (2) в виде эмпирической зависимости (3), которая отвечает условиям взрывания в крепких углях (плотность угля  $\rho = 1,3 \text{ г/см}^3$ , скорость продольной волны в пласте  $C_n = 2400 \text{ м/с}$ ), характеризует взрывание зарядов ПВВ IV класса типа аммонита ПЖВ-20. Для того, чтобы эту эмпирическую модель применить для других условий взрывания и иных типов ВВ, в нее необходимо ввести поправочные эмпирические коэффициенты, учитывающие свойства горных пород, их откольную прочность, а для ВВ – энергетические и детонационные показатели, зависящие от плотности заряжания ВВ в шпурах и удельной теплоты взрыва ВВ. Свойства горных пород и их откольную прочность можно учитывать, исходя из акустической жесткости породы –  $\rho_n C_n$  ( $\rho_n$  – плотность породы,  $C_n$  – скорость продольной волны в породе). Согласно работе

А.Н. Ханукаева [10], откольная прочность породы зависит от ее акустической жесткости. График этой зависимости показан на рис. 8. Таким образом, необходимо в расчетную математическую модель (3) ввести коэффициенты, учитывающие изменения акустической жесткости пород и энергетических показателей ВВ и их плотности заряжения. Эти коэффициенты были подобраны на основании эмпирических данных свойств горных пород и энергетических параметров ВВ. Окончательно, эмпирическая зависимость (3) имеет следующий вид:

$$P_{ш} = 506,379 \left[ 202,2 + 0,2237 m_{BB} \left( \frac{d_n}{d_{ш}} \right)^2 Q_v \rho_{BB} - 527,36 a_{ш} - \right. \\ \left. - 0,2335 a_{ш} m_{BB} \left( \frac{d_n}{d_{ш}} \right)^2 Q_v \rho_{BB} \right] (\rho_n C_n) \left( \frac{1}{\rho_n C_n} \right)^{1,774}, \text{ атм}, \quad (4)$$

где  $d_n, d_{ш}$  – диаметры патрона ВВ и шпура соответственно, м;  
 $\rho_{BB}$  – плотность ВВ в патронах, г/см<sup>3</sup>;  
 $Q_v$  – удельная теплота взрыва ВВ, кДж/кг;  
 $\rho_n$  – плотность горной породы, г/см<sup>3</sup>;  
 $C_n$  – скорость продольной волны в породе, м/с.

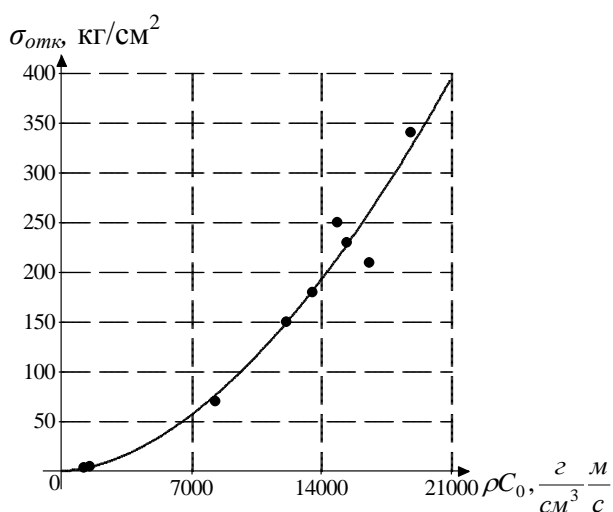


Рис. 8. График зависимости откольной прочности породы от ее акустической жесткости

Проверка и анализ пригодности полученной эмпирической модели определения давления в смежных шпурах сделаны на основании известных данных по крепости пород, их ударной адиабате сжимаемости и откольной прочности с учетом экспериментальных детонационных параметров промышленных ВВ типа ПЖВ-20 (IV класс) и ЭВВ Грэмикс-М (II класс). Результаты расчетов по эмпирической математической модели (4) приведены в табл. 1.

Расчеты показали, что давление в шпуре при взрыве смежных шпуровых зарядов в зависимости от нормируемого расстояния между шпурами для аммонита ПЖВ-20 в патронах диаметром 36 мм изменяется от 89,6 до 190,85 атм. Как известно, это ВВ устойчиво детонирует при внешнем давлении в шпуре до 220 атм. Для ЭВВ типа Грэмикс-М в патронах диаметром 36 мм получено расчетное давление в шпуре лишь немногим меньше, чем у аммонита ПЖВ-20, а для патронов диаметром 32 мм давление в шпуре гораздо ниже и изменяется от 53,6 до 151,1 атм. Получается, что ЭВВ лучше применять в патронах 32 мм, так как при взрыве таких зарядов давление в смежных шпурах не будет превышать 150 атм. Таким образом, установили критическое давление в смежных шпурах для зарядов ЭВВ, при котором патроны этих ВВ должны



Расчетные значения параметров детонации шпуровых зарядов ВВ при взрыве в смежных шпурах диаметром 42 мм

№ п/п	ВВ	Класс ВВ	Уд.теплота взрыва $Q_v$ , кДж/кг	Плотность ВВ, г/см <sup>3</sup>	Диаметр патрона, мм	Масса заряда $m_{ВВ}$ , кг	Свойства пород			Расстояние между шпурами $a_{ш}$ , м	Давление в шпуре, атм.
							Крепость, $f$	Плотность $\rho_n$ , г/см <sup>3</sup>	Продольная скорость $C_n$ , м/с		
1	Аммонит ПЖВ-20	IV	3429,2	1,05	36	0,9	1 <sup>*</sup>	1,21	1676	0,60	118,4
							6 <sup>**</sup>	2,81	4123	0,45	89,6
							9 <sup>***</sup>	2,86	2928	0,30	190,85
2	Грэмикс- М	II	3120,0	32	1		1,21	1676	0,60	53,6	
					6		2,81	4123	0,45	65,7	
					9		2,86	2928	0,30	151,1	
3				36	1		1,21	1676	0,60	110,2	
					6		2,81	4123	0,45	86,6	
					9		2,86	2928	0,30	185,8	

\* – уголь пласта h<sub>6</sub> «Смоляниновский» ш. им. А.А. Скочинского

\*\* – сланец ш. «Комсомолец Донбасса»

\*\*\* – песчаник ш. им. А.А. Скочинского

устойчиво детонировать при короткозамедленном взрывании. Полученные результаты позволяют разработать методику определения устойчивости детонации зарядов ЭВВ под внешним давлением среды. С помощью этой методики можно будет оценивать устойчивость детонации ЭВВ и выбирать необходимый диаметр патронов для их применения в угольных шахтах.

#### ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены условия группового взрывания шпуровых зарядов ВВ и установлена многофакторная зависимость давления в смежных шпурах при взрыве от массы шпурового заряда, расстояния между шпурами, акустической жесткости горных пород и их откольной прочности.

2. Сделана проверка полученной эмпирической математической модели расчета давления в шпурах для хорошо изученных промышленных ВВ – аммонита ПЖВ-20 и ЭВВ типа Грэмикс-М.

3. Установлено, что критическое давление детонации для ЭВВ Грэмикс-М в патронах диаметром 36 мм должно соответствовать критическому давлению детонации аммонита ПЖВ-20. Вместе с тем, это ВВ в патронах 32 мм может иметь более низкое критическое давление детонации, чем у аммонита ПЖВ-20: для угольных забоев – более, чем в 2,05 раза, для породных – более, чем в 1,32 раза.

Полученные результаты позволяют определить пути оптимизации свойств патронированных ЭВВ в зависимости от их устойчивости детонации под внешним давлением в шпурах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Безопасность взрывных работ в промышленности/ [Кутузов Б.Н., Галаджий Ф.М., Давыдов С.А. и др.]. – М.: Недра, 1977. – 343с.

2. Взрывные работы в опасных условиях угольных шахт/ [Кутузов Б.Н., Бутуков А.Ю., Вайнштейн Б.И. и др.]. – М.: Недра, 1979. – 373с.

3. Петров Н.Г. Короткозамедленное взрывание в шахтах/ Петров Н.Г., Росинский Н.Л. – М.: Недра, 1985. – 270с.

4. Галаджий Ф.М. Влияние времени замедления на устойчивость детонации шпуровых зарядов ВВ/ Галаджий Ф.М., Зенин В.И.// Вопросы безопасности в угольных шахтах. Сб. научн. тр. Т. XVIII. – М.: Недра, 1968. – С. 119-128.

5. Матюнин В.С. Исследование влияния диаметров шпуров и зарядов ВВ на параметры волн напряжений в угольном массиве/ Матюнин В.С., Поляк Г.А.// Сб. научных статей аспирантов МакНИИ. – Макеевка-Донбасс, 1968. – С. 121-126.

6. Росинский Н.Л. Лабораторные методы испытания взрывчатых веществ на устойчивость детонации под давлением/ Росинский Н.Л., Матюнин В.С., Толстых К.С.// Безопасность труда в угольных шахтах. – Сб. научн. тр. Т. XXII. – М.: Недра, 1972. – С. 208-217.

7. Толстых К.С. Аппаратура и методика измерения давления в патронах ВВ и массиве, находящихся под воздействием взрыва зарядов смежных шпуров/ Толстых К.С., Матюнин В.С.// Вопросы безопасности взрывных работ в угольных шахтах. Сб. научн. тр. МакНИИ. – Макеевка-Донбасс, 1968. – С. 89-97.

8. Матюнин В.С. О влиянии давления на детонационную способность промышленных взрывчатых веществ/ Матюнин В.С.// Сб. научных статей аспирантов МакНИИ. – Макеевка-Донбасс, 1968. – С. 126-131.

9. Зажигаев Л.С. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента/ Зажигаев Л.С., Кишьян А.А., Романов Ю.И. – М.: Атомиздат, 1978. – 230с.

10. Ханукаев А.Н. Энергия волн напряжений при разрушении пород взрывом/ Ханукаев А.Н. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 199с.

#### REFERENCES

1. Safety of explosive works in industry/ [Kutuzov B.N., Galadzhiiy F.M., Davydov S.A. and oth.]. – М.: Nedra, 1977. – 343p.

2. Explosive works in dangerous conditions of coal mines / [Kutuzov B.N., Butukov A.Y., Vainshtein B.I. and oth.]. – М.: Nedra, 1979. – 373p.

3. Petrov N.G. Short-delayed explosion in mines / Petrov N.G., Rosinskiy N.L. – М.: Nedra, 1985. – 270 p.

4. Galadzhiiy F.M. Influence of delaying time on stability of detonation of blast-hole charges of explosives/ Galadzhiiy F.M., Zenin V.I.// Questions of safety in coal mines. Compilation of science articles. Iss. XVIII. – М.: Nedra, 1968. – С. 119-128.

5. Matiunin V.S. Researching of influence of blast-hole and explosive diameters on the parameters of tense waves in coal massif / Matiunin V.S., Polyak G..A.// Compilation of science articles of aspirants of MakNII. – Makeyevka-Donbass, 1968. – P. 121-126.

6. Rosinskiy N.L. Laboratory methods of testing of explosives on stability of detonation under the pressure / Rosinskiy N.L., Matiunin V.S., Tolstykh K.S.// Safety of work in coal mines. – Compilation of science articles. Iss. XXII. – М.: Nedra, 1972. – P. 208-217.

7. Tolstykh K.S. Equipment and technique of measuring of pressure in charges of explosives and in massif which is situated under impact of explosion of related blast-hole charges / Tolstykh K.S., Matiunin V.S. // Questions of safety in coal mines. Compilation of science articles. MakNII. – Makeyevka-Donbass, 1968. – P. 89-97.

8. Matiunin V.S. About pressure influence on detonation ability of industrial explosives / Matiunin V.S. // Compilation of science articles of aspirants of MakNII. – Makeyevka-Donbass, 1968. – P. 126-131.

9. Zazhigayev L.S. Methods of planning and processing of the results of physic experiment / Zazhigayev L.S., Kishyan A.A., Romanov Y.I. – М.: Atomizdat, 1978. – 230 p.

10. Hanukaev A.N. Energy of tense waves during the destroying of rocks with explosion / Hanukayev A.N. – М.: Gosgortehizdat, 1962. – 199 p.

#### **BLASTING ACTION ON CHARGES OF EXPLOSIVES WHICH IS SITUATED IN ADJACENT BLAST-HOLES**

**S. Kalyakin, R. Azamatov**

Donetsk state technical university

Artyoma str., 58, 83001, Donetsk, Ukraine.

E-mail: [yglenit@gmail.com](mailto:yglenit@gmail.com)

The system analysis of experimental data concerning the calculating of critical detonation pressures of blast-hole charges of explosives during the explosion of groups of charges was analyzed in the work. The empirical mathematics model for calculation of pressure in the related blast-holes during the short-delay explosion was established. Received model for calculation allows to calculate critical pressure of detonation for any type of explosives, including packaged emulsion explosives, depending on the diameter of the charge of explosives, massif properties and slabbing strength of rocks.

**Keywords:** bunch explosion, blast-hole charge of explosives, stability of detonation, related blast-holes, critical detonation pressure of explosives.