

**ЭКРАНИРОВАНИЕ ВОЛН НАПРЯЖЕНИЙ ОТ ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА  
ЗАРЯДА ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА СЛОЕМ  
ЗАКЛАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА**

**Б. С. Ищенко, А. К. Ищенко**

ГВУЗ «Национальный горный университет»

просп. К. Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49005, Украина.

E-mail: bohdana.ishenko@gmail.com

**К. С. Ищенко**

Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины

ул. Симферопольская, 2а, г. Днепропетровск, 49005, Украина.

E-mail: ishenko\_k@i.ua

Приведены результаты экспериментальных исследований для оценки роли состава закладочной смеси на эффективность экранирования волн напряжений от взрыва заряда взрывчатого вещества. С использованием методов физического моделирования в лабораторных условиях на подготовленных структурно-однородных песчано-цементных моделях исследован механизм распространения волн напряжений в разрушаемом массиве с удалением от оси заряда. Проведены замеры амплитуды максимальных значений напряжений в волне сжатия от взрыва удлиненного цилиндрического заряда взрывчатого вещества в слое закладочного материала различного состава и рассчитаны их численные значения. Выполнен сравнительный анализ максимальных напряжений в волне сжатия от различных условий передачи энергии взрыва заряда взрывчатого вещества разрушаемой среде.

**Ключевые слова:** экранирование, волна напряжений, закладочный материал, взрывное нагружение, твердая среда, заряд взрывчатого вещества, сейсмическое действие взрыва.

**ЕКРАНУВАННЯ ХВИЛЬ НАПРУЖЕНЬ ВІД ДІЇ ВИБУХУ  
ЗАРЯДУ ВИБУХОВОЇ РЕЧОВИНИ ШАРОМ  
ЗАКЛАДНОГО МАТЕРІАЛУ**

**Б. С. Ищенко, О. К. Ищенко**

ДВНЗ «Національний гірничий університет»

просп. К. Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна.

E-mail: bohdana.ishenko@gmail.com

**К.С. Ищенко**

Институт геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

вул. Сімферопольська, 2а, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна.

E-mail: ishenko\_k@i.ua

Наведено результати експериментальних досліджень з оцінки ролі складу закладної суміші в ефективності екранування хвиль напружень від вибуху заряду вибухової речовини. З використанням методів фізичного моделювання у лабораторних умовах на підготовлених структурно-однорідних піщано-цементних мо-

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

делях досліджено механізм поширення хвиль напружень в руйнуючому масиві з віддаленням від віси заряду. Виконані заміри амплітуди максимальних значень напружень у хвилі стиснення від вибуху подовженого циліндричного заряду вибухової речовини у шарі різних складів закладного матеріалу і розраховані їх чисельні значення. Наведено порівняльний аналіз максимальних напружень у хвилі стиснення від різних умов передачі енергії вибуху зарядом вибухової речовини руйнуючому середовищу.

**Ключові слова:** екранування, хвиля напружень, закладний матеріал, вибухове навантаження, тверде середовище, заряд вибухової речовини, сейсмічна дія вибуху.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Взрывные работы (ВР) являются одним из важнейших технологических процессов в горнодобывающей отрасли, которые ведутся на густонаселенной территории Украины. Особенно остро стоят вопросы эксплуатации зданий и сооружений в сейсмоопасной зоне вблизи проведения взрывных работ. Поскольку недостаточная изученность негативного влияния динамических нагрузок, которые возникают от действия сейсмических импульсов на здания различного технического состояния не дают возможности прогнозировать реальную сейсмическую опасность до и после проведения взрывных работ. Это связано с тем, что оценка сейсмического действия на здания и объекты инфраструктуры в соответствии с существующей нормативной базой проводится только по предельно допустимой массовой скорости колебаний независимо от технического состояния их и амплитудно-частотных характеристик системы «грунт-строение» [1–5].

Поэтому, одной из важных проблем горнодобывающей промышленности, наряду с увеличением полноты выемки полезных ископаемых, является сохранение промышленно-экологической структуры региона. Объясняется это тем, что горнодобывающие предприятия функционируют в условиях непосредственного контакта с промышленными зонами, жилыми агломерациями, природными объектами, в том числе водными, сельскохозяйственными угодьями, оказывая на них негативное влияние.

Технологии ведения подземных горных работ на небольших глубинах под охраняемыми объектами технологически сложны, опасны и не прошли широкой промышленной апробации. Эффективность разработки таких месторождений камерными системами с закладкой выработанного пространства во многом зависит от параметров буровзрывных работ (БВР), которые базируются на учете сейсмического действия взрыва на различные объекты, физико-механических и структурных особенностей вмещающих пород. Обоснование рациональных параметров БВР при использовании сейсмобезопасной технологии подземной разработки приповерхностных запасов месторождения под городской застройкой направлены на охрану инфраструктуры и жилого фонда – вот те важные социальные и практические задачи, требующие быстрого реагирования и принятия эффективных решений [6–7].

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Вопросы обеспечения сейсмической безопасности особенно остро стоят на давно действующих горных предприятиях, где вследствие расширения границ добычных блоков залежей полезных ископаемых, горные работы приближаются к промышленным, жилым зданиям и сооружениям. При этом из недр вынуты значительные объемы горной массы. Массив, окружающий горные выработки, подвергается чрезвычайно высоким сжимающим напряжениям, которые в зависимости от глубины могут достигать 660 МПа [1], следствием которых могут стать горные удары и техногенные землетрясения. Это особенно характерно для месторождений железных и урановых руд, которые разрабатываются в Украине, сосредоточенные в залежах сложного строения (горизонтальные напряжения превышают вертикальную составляющую в 5 раз с развитой тектоникой и интенсивной трещиноватостью – коэффициент структурного ослабления, определенный по количеству трещин горного массива, приходящихся на 1 м, изменяется от 0,1 до 0,4), физико-механические свойства которых, существенно отличаются между собой в случае их оценки на различных участках месторождения. К ним также относятся месторождения имеющие залежи под водными массивами с отложениями подводнооползневой структуры, зонами мелкоплиточного расщепления, под промышленными и гражданскими сооружениями. Эффективность добычи этих месторождений во многом зависит от их структуры, физико-механических свойств пород и параметров буровзрывных работ, учитывающие сейсмическое действие взрыва на охраняемые объекты [6; 9]. Это подтверждено в работах авторов [6; 8–9] которые анализировали исследования сейсмической активности взрывов и их разрушающее воздействие на городскую и социальную застройку при подработке верхних горизонтов залежи (свыше 330 м Центральное месторождение урановых руд, пос. Большая Балка, г. Кировоград) которые усложняли отработку эксплуатационных блоков. Эти трудности возникли из-за различных свойств вмещающих пород, их структуры и трещиноватости и стали определяющими в характере распространения сейсмических колебаний в различных направлениях от места взрыва. Следует также отметить, что массивы рудных тел и горных пород по своей структуре являются анизотропными, при которых упругие сейсмические волны по простиранию и в крест простирания не одинаковы. Многочисленные наблюдения сейсмических колебаний при разработке Центрального месторождения [8–9] позволили установить, что различные типы пород (граниты, известняки, песчаники, грунты и др.) имеют неодинаковую сейсмичность. Так, приращение сейсмичности в грунтах по сравнению с гранитами составляет 2 балла.

Поэтому, массовый взрыв в породе сложной структуры можно оценивать по трем основным технологическим параметрам, определяющим интенсивность динамического нагружения породного массива:

- общее количество взрывчатого вещества (ВВ) в блоке,  $Q$ , кг, определяющее общую энергетическую нагрузку на массив;
- количество ВВ на ступень замедления  $Q_{cm}$ , кг – величина, определяющая амплитудные значения параметров колебаний;
- количество ступеней замедления  $N$ , при которой выделяется поэтапное определенное количество порций энергии в процессе динамического нагружения массива горных пород.

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Между этими энергетическими параметрами обнаружена статистически устойчивая взаимосвязь. Характер этой взаимосвязи определяется степенью структурной нарушенности породного массива на пути от места взрыва до точки наблюдения.

Анализ и оценка интенсивности сейсмического действия взрывов на окружающий породный массив, в котором накапливаются остаточные деформации, в результате чего он разупрочняется под воздействием регулярных динамических нагрузок, требует постоянного мониторинга сейсмической восприимчивости отдельных сооружений, особенно на подрабатываемых участках со сложными горно-геологическими условиями. Ее проводят по основным параметрам сейсмического действия взрывов – максимальные векторные значения смещения  $U_{max}$ , м, скорости  $v_{max}$ , м/с и ускорения  $a_{max}$ , м/с<sup>2</sup>. Отсюда следует, что основным источником информации о сейсмических волнах являются регистрограммы колебаний в пунктах наблюдений на поверхности Земли. Однако, учитывая значительное количество технологических факторов и условий возбуждения сейсмических колебаний и их распространения, надежные методы оценки и прогнозирования сейсмического действия взрыва пока не созданы [8–9].

Следовательно, разработка эффективных методов управления сейсмическим действием взрыва направленных на снижение уровня его воздействия на поверхностные объекты может быть реализовано путем экранирования сейсмозрывных волн образованием опережающей экранирующей зоны на верхних этажах при отработке нижележащих формированием устойчивого закладочного массива из твердеющей смеси, которые снижают генерируемые колебания от действия массового взрыва промышленных ВВ. Ослабление интенсивности сейсмозрывных колебаний при локализации волн происходит вследствие их интенсивного затухания в экранирующей зоне. Поэтому разработка новых сейсмобезопасных методов снижения сейсмического воздействия промышленных взрывов на подрабатываемые территории остаются актуальными в настоящее время.

Цель работы – оценить роль различных составов закладочной смеси на эффективность экранирования волн напряжений от взрыва заряда ВВ.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Для оценки влияния различных составов закладочных смесей на эффективность экранирования волн напряжений от взрыва заряда ВВ с удалением от его оси проведены экспериментальные исследования в полигонных условиях. Замеры амплитуды напряжений в волне сжатия, проходящей слоем закладочной смеси, проводились на структурно-однородных песчано-цементных моделях.

В соответствии с разработанной методикой было запланировано 4-е серии экспериментальных исследований. Модели кубической формы с ребром 150 мм изготавливались из структурно однородного песчано-цементного теста в пропорции 1: 1 с добавлением 0,5 % воды. Для каждой серии изготавливалось 3 модели (общее количество – 12 шт. по одной пробной в каждой серии).

В *первой серии* после замешивания песчано-цементного теста подготовленную смесь заливают в металлическую форму. Далее в центре ее формируют

# ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

взрывную полость диаметром 6 мм, размещением цилиндрической вставки на глубину  $(0,5-0,6)h_{\text{мод}}$ , а на расстоянии  $(17-18)r_o$ , от оси заряда на глубину  $0,5h_{\text{мод}}$  устанавливаются пьезоэлектрические датчики. Для остальных серий экспериментов на расстоянии  $10r_o$  от оси заряда формируют полость прямоугольной формы на глубину модели равной  $0,8h_{\text{мод}}$ , длиной –  $0,9h_{\text{мод}}$  и шириной –  $(7-8)r_o$ . За формируемой полостью на расстоянии  $(17-18)r_o$ , от оси заряда на глубину  $0,5h_{\text{мод}}$  устанавливаются пьезоэлектрические датчики: где –  $h_{\text{мод}}$  – высота модели;  $r_o$  – радиус заряда. После набора 50 % прочности модели из нее вынимают вставки, а саму модель извлекают из формы и одновременно замешивают закладочные смеси (четыре состава) с физико-механическими свойствами, приведенными в табл. 1. Подготовленные смеси заполняют полости в моделях для каждой серии экспериментов. Готовые модели выдерживают до максимальной прочности в соответствии с действующими ГОСТами.

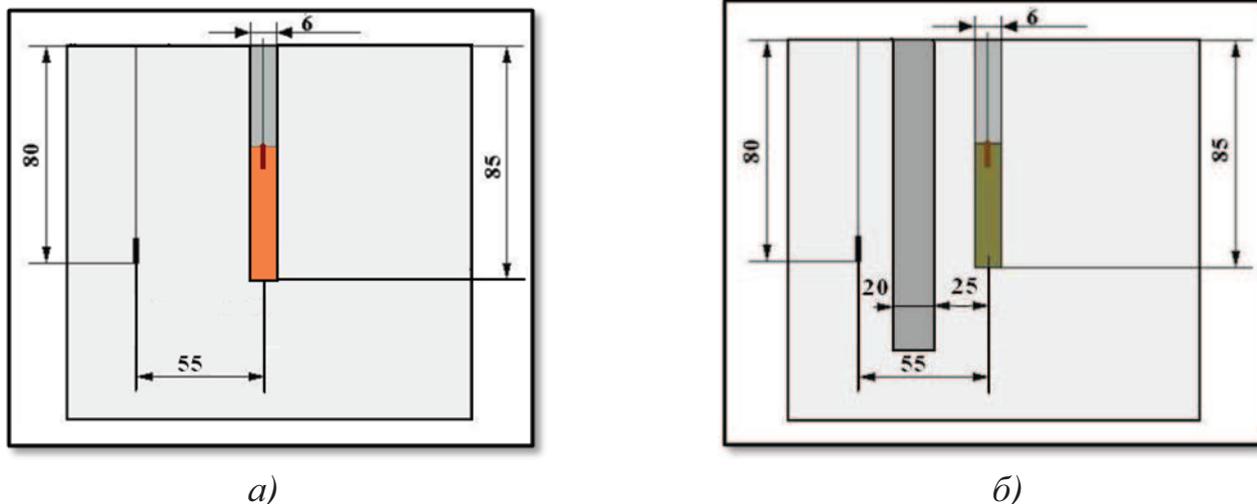
Таблица 1 – Основные физико-механические характеристики  
закладочных смесей

№ п/п	Плотность смеси $\rho_c$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэф. внутр. трения, $k$	Коэф. пластичности, $\gamma$	Прочность на сжатие, $\sigma_{\text{сж}}$ , МПа	Скорость продольной волны, $C_p$ , м/с	Акуст. жесткость, $Z_c \cdot 10^6$ , кг/м <sup>2</sup> с	Деформация, $\epsilon$ , мм	Расшир. смеси, %	Сцепление, $C$ , МПа
1	1950,0	0,2-0,24	2,1-2,4	20,0-25,0	2250,0	4,39	2,0-4,0	1,5-2,3	0,08-0,1
2	2015,0	0,26-0,30	1,13-1,16	30,0-35,0	2275,0	4,75	1,0-2,0	–	0,14-0,15
3	2096,0	0,20-0,26	1,2-1,26	20,0-25,0	2285,0	4,56	1,35-2,5	–	0,5-0,7
4	1530,0	0,20	0,85	2,0-3,0	2010,0	3,56	0,7-0,8	–	0,2-0,3

Далее в моделях, имеющие цилиндрические взрывные полости, формируют заряд из смесового высокобризантного ВВ, устанавливают инициатор, герметизируют забойкой и подрывают. По полученным значениям амплитуды максимальных механических напряжений в волне сжатия, зафиксированных датчиками, электрические сигналы кодируются и передаются на цифровой осциллограф. По осциллограммам вычисляют максимальные механические напряжения. Схема модели с размещенным в ней пьезоэлектрическим датчиком приведена на рис.1.

Керамические пьезодатчики ЦТС-19, установленные в моделях, представляют собой квадранты круглых дисков диаметром  $d = 14,8$  мм и толщиной  $h = 0,65$  мм. Перед установкой их в модели были замерены электрические емкости круглых дисков, а затем, с учетом того, что электрическая емкость пропорциональна площади плоского конденсатора, рассчитывались электрические емкости установленных в моделях пьезодатчиков.

Площадь каждого датчика ( $S_d$ ) была равна 1/2–1/4 площади круглого диска диаметром 14,8 мм, поэтому  $S_d = 8,6-4,3 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>. Тарировка пьезоэлектрических преобразователей осуществлялась методом резонанса–антирезонанса, а затем расчетным путем определялся пьезомодуль  $d_{33}$  каждого датчика [10]. Параметры применяемых пьезоэлектрических датчиков и электрические амплитуды регистрируемых ими сигналов приведены в табл. 2.



а) б)  
Рисунок 1 – Схема моделі з розположенням в ній пьезодатчика  
относительно заряда ВВ: а – структурно-однородная модель;  
б – модель с слоем промежуточной среды из закладочного материала

Таблица 2 – Параметры пьезоэлектрических преобразователей

№ датчика (табл.)	Электрическая емкость, пФ, $C \cdot 10^{-10}$	Площадь датчика, $S_d \cdot 10^{-6}$ , м <sup>2</sup>	Пьезомодуль $d_{33} \cdot 10^{-10}$ , К/Н	U, В	Чувствительность осциллографа	
					по амплитуде, В/дел	по длительности мкс/дел
1 (13)	7,25	43,0	2,46	800	20	50
2 (13)	7,25	43,0	2,46	1000	20	20
3 (13)	7,25	43,0	2,46	600	20	20
4 (13)	7,25	43,0	2,46	615	20	20
5 (25)	7,65	43,0	2,76	20	10	50
6 (25)	7,65	43,0	2,76	60	20	50
7 (48)	0,148	86,0	2,5	140	20	50
8(48)	0,148	86,0	2,5	155	20	50
9(25)	7,65	43,0	2,77	100	20	50
10(25)	7,65	43,0	2,77	85	20	50

В зарядных полостях модели формировались смесевые заряды из высокобризантного ВВ [11] в подготовленных бумажных патронах цилиндрической формы. Масса ВВ в заряде составляла 1,0 г для всех серий экспериментов, а в качестве забойки использовался кварцевый песок фракции 0,25 мм. Удельный расход ВВ составлял – 0,3 кг/м<sup>3</sup>. Высота колонки заряда в зависимости от плотности заряжания колебалась в пределах 20–25 мм. Для инициирования зарядов применяли отрезки волновода длиной 0,8 м НЭСИ «Импульс», «Прима-ЭРА» или NONEL соединенный с капсулом-детонатором.

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Так как разрушающее действие взрыва сильно зависит от физико-механических и прочностных свойств разрушаемой среды, одновременно с изготовлением основных моделей изготавливались образцы для определения плотности  $\rho$ , скорости продольных волн  $C_p$  и прочности на одноосное сжатие  $\sigma_{сж}$  материала моделей.

Образцы для определения физико-механических свойств имели форму куба с ребром  $40 \pm 2$  мм. Скорость продольных и поперечных волн определялась с помощью разработанного в ИГТМ НАН Украины стенда, а определение плотности образцов и испытание их на прочность при одноосном сжатии проводились на стандартном оборудовании и в соответствии с действующими ГОСТами.

Результаты определения физико-механических свойств материала моделей приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Физико-механические свойства материала моделей

Масса образцов, $m, \cdot 10^{-3}$ , кг	Плотность, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Скорость продольных волн, $C_p$ , м/с	Прочность на сжатие, $\sigma_{сж}$ , МПа
Ср. значение, 131,2	Ср. значение 1910	Ср. значение 3080	Ср. значение 13,8
Средние квадратичные отклонения, $\Delta$ , кг/м <sup>3</sup>	30	40	1,7
Коэффициенты вариации, $v_{вар.}$ , %	1,6	1,6	6,9

Взрывы производились в толстостенной металлической обрезиненной взрывной камере в лабораторных условиях испытательного полигона Государственного ВУЗа «Национальный горный университет» (карьер «Рыбальский», г. Днепропетровск). Общий вид взрывной камеры, модели с датчиком и полостью заполненной закладочной смесью, приведены на рис. 2.

При взрыве зарядов ВВ в моделях максимальные механические напряжения в волне сжатия, преобразованные пьезоэлектрическими датчиками в электрические сигналы, поступали на цифровой запоминающий осциллограф типа OWON серии POS 58225. Перед измерениями проводится калибровка осциллографа и устанавливалась необходимая для данного эксперимента чувствительность его по амплитуде и длительности импульса величин напряжений, полученных при пробных взрывах. Считываемая информация кодировалась и передавалась на вычислительный комплекс – NOUTBOOK (рис. 3 а, б), где с использованием программного обеспечения (ПО) обрабатывалась и отображалась на мониторе в диалоговом окне в виде осциллограммы с числовыми данными по всему диапазону измерений (рис. 3, в). По осциллограммам определяли максимальные величины напряжений и длительность импульса [12].



*a)*

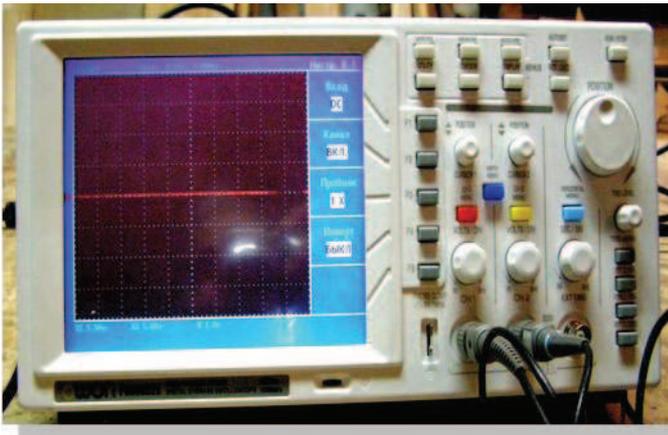


*б)*



*в)*

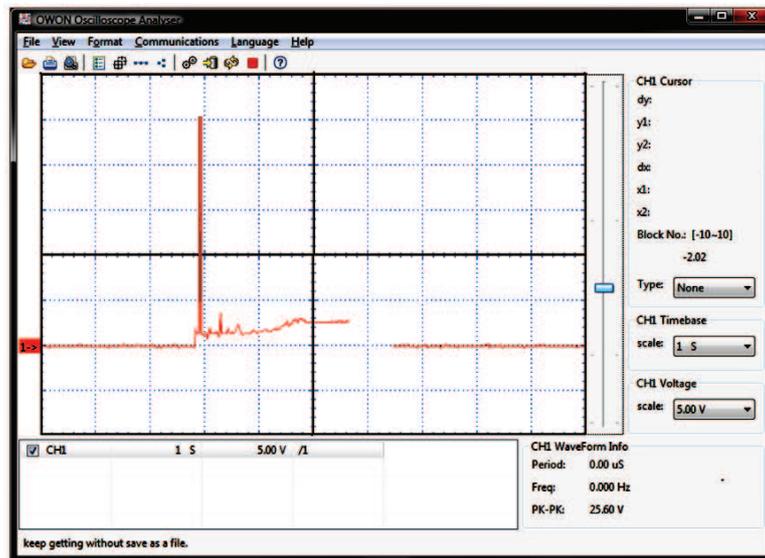
Рисунок 2 – Общий вид взрывной камеры (*a*), структурно-однородной модели с датчиком (*б*), модели с датчиком и полостью заполненной закладочной смесью (*в*)



а)



б)



в)

Рисунок 3 – Общий вид измерительно–вычислительного комплекса (а, б) и типичной осциллограммы (в) амплитуды сигналов максимальных напряжений в волне сжатия от взрыва заряда ВВ: а –запоминающий цифровой осциллограф OWON, серия POS 58225; б – ПК NOUTBOOK ; в – осциллограмма максимальной амплитуды напряжений в волне сжатия

Механические напряжения  $\sigma$  (ГПа) в материале моделей в местах расположения пьезодатчиков для фиксируемых осциллографом электрических напряжений  $U$  (В) рассчитывались по формуле

$$\sigma = \frac{CU}{d_{33}S_d},$$

**ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ  
РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ**

где  $C$  – электрическая емкость пьезодатчика (Ф);  $d_{33}$  – его пьезомодуль (К/Н);  $S$  – площадь поверхности датчика, нормальная к направлению волны напряжений от взрыва заряда ВВ ( $\text{м}^2$ ).

В ходе обработки результатов экспериментов рассчитывались напряжения в волне сжатия на одинаковом удалении от оси заряда, равном 17–18 радиусов зарядной полости (55 мм) в моделях с различными составами закладочных смесей, результаты которых приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Результаты действия взрыва удлиненного заряда ВВ  
в песчано-цементной модели

№ мод.	Размер модели, мм	Масса модели, $m$ , кг	Условия передачи энергии взрыва разрушаемой среде	Напряжения в волне сжатия, ГПа	Ср. значения напряжений по каждой серии экспериментов, ГПа
1	150x150x150	5,735	однородная среда	54,8	61,5
2	– “–	6,476	однородная среда	68,5	
3*	– “–	6,319	закладочный материал: песок+дом. шлак+ вода состав 4	41,1	41,6
4*	– “–	6,596	закладочный материал: песок+дом. шлак+ вода состав 4	42,1	
5*	– “–	6,501	закладочный материал: состав 1	14,5	29,0
6*	– “–	6,576	закладочный материал: состав 1	43,4	
7*	– “–	6,635	закладочный материал: состав 2	1,5	1,35
8*	– “–	6,525	закладочный материал: состав 2	1,2	
9*	– “–	6,637	закладочный материал: состав 3	6,4	6,0
10*	– “–	6,623	закладочный материал: состав 3	5,5	

**Примечание:** \* – составы закладочного материала и его свойства (табл.1).

**ВЫВОДЫ.** Анализ экспериментальных исследований показал следующее:

– согласно проведенной оценки амплитуды волны напряжений в модели на расстоянии (17–18) $r_0$  от оси заряда рассчитаны значения  $\sigma$  амплитуды напряжений в волне сжатия от взрыва заряда ВВ на пути которого имеется слой закладочной смеси;

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

–установлено, что средние максимальные напряжения в волне сжатия от взрыва удлиненного цилиндрического заряда ВВ в однородной среде составили 61,5 ГПа, а в слое применяемого на руднике закладочного материала: песок+дом. шлак+ вода эти показатели снизились на 1,5 раза. Существенные затухания максимальных напряжений в волне сжатия (в 10–15 раз) зафиксированы в слое разработанных составов закладочного материала ячеистой структуры (табл. 1) находящихся в диапазоне 30,0–1,25 ГПа.

По результатам выполненных экспериментальных исследований планируется разработка рекомендаций и проведение опытно-промышленных экспериментов по оценке эффективности предлагаемой технологии снижения сейсмической активности массовых взрывов в эксплуатационных блоках на подрабатываемой территории промышленной и жилой инфраструктуры.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Шемякин Е.И. Сейсмический эффект подземного взрыва // Горн.журн. – 2003. – №1. – С. 11–15.
2. О критериях сейсмической опасности промышленных взрывов / В. В. Бойко, А. А. Кузьменко, Т. В. Хлевнюк. // Вісник Національного технічного університету України "КПІ". Серія "Гірництво": Зб. наук. праць. – № 12. – 2005. – С. 45–52.
3. Визначення оптимальних параметрів сейсдобезпечного виконання буропідривних робіт на Піщанському родовищі мігматитів і гранітів. / І.Л. Гуменик, О.П. Стрілець, В.Ю. Швець. //Сучасні ресурсоенергосберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 2(10). – С. 112–119.
4. Исследование влияния конструкций скважинных зарядов водоземulsionных взрывчатых веществ на параметры сейсмических колебаний при массовых взрывах на карьерах / А.М. Ромашко, В.А. Сокуренок, И.Э. Пеева, Я.С. Долударева // Сучасні ресурсоенергосберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук: КрНУ, 2011. – Вип. 1(7). – С. 81–88.
5. Вовк О.А. Параметры сейсмических волн при действии сосредоточенного заряда // Уголь Украины. – 2013. – № 7. – С. 42–45.
6. Ляшенко В. И., Кислый П. А.Обоснование сейсдобезопасных параметров взрывов при подземной разработке приповерхностных запасов месторождения под городской застройкой // Изв. ВУЗов горн. журн. – 2015. – № 3. – С.84–93.
7. Оценка сейсдобезопасности сооружений при воздействии на них взрывных волн с учетом их спектральных характеристик / В. В. Бойко, А. А. Кузьменко, Т. В. Хлевнюк. // Вісник Національного технічного університету України НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво". – № 16. – 2008. – С. 3–13.
8. Организация мониторинга сейсмического действия взрыва при отработке рудных залежей под городской застройкой. Ч.1. / Ю.Я. Савельев [и др.] // Наук. вісник НГУ. – 2003. – Ч. 1. – № 12. – С. 6–8.
9. Организация мониторинга сейсмического действия взрыва при отработке рудных залежей под городской застройкой. Ч.2. / Ю.Я. Савельев [и др.] // Наук. вісник НГУ. – 2004. – Ч. 2. – № 1. – С. 5–7.

10. Глозман И.А. Пьезоэлектрические материалы в электронной технике. – М.-Л.: Энергия, 1965. – 192с.

11. Пат. 88299 Україна, МКВ7 С 06В 31/12. Вибухова суміш / Е.І. Єфремов, К.С. Іщенко, В.О. Никифорова; заявник і власник патенту Єфремов Е.І., Іщенко К.С. – № u2013 11525; замовл. 30.09.13; Надр. 11.03.2014, Бюл. №5.

12. Пат. 96509 Україна, МКВ7 F42D 3/04 Спосіб моделювання вибухового руйнування гірських порід / С.В. Коновал, К.С. Іщенко, І.Л. Кратковський, В. В. Круковська, В.М. Коновал; заявник і власник патенту Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – № u201409006; замовл. 11.08.14; Надр. 10.02.15. – Бюл. №3.

## THE OF SCREENING STRESS WAVES FROM THE EFFECTS OF BLAST EXPLOSIVES THROUGH THE PACKING MATERIAL

**B. Ishchenko, O. Ishchenko**

State Higher Educational Institution «National Mining University»

prosp. Karl Marx, 19, Dnepropetrovsk, 49005, Ukraine.

E-mail: bohdana.ischenko@gmail.com

**K. Ishchenko**

Institute of geotechnical mechanics the name of N.S. Polyakova of NAN  
of Ukraine (IGTM of NAN of Ukraine)

vul. Simferopolskaya, 2a, Dnipropetrovsk, 49005, Ukraine.

E-mail: ishenko\_k@i.ua

**Purpose.** Experimental studies to evaluate the role of filling mixture on the effectiveness of screening stress waves from the explosion of the explosive charge.

**Methodology.** Using the methods of physical modeling in the laboratory on prepared structurally homogeneous sand-cement models the mechanism of propagation of stress waves in the array destroys the distance from the charge. The made measurements of the amplitude values of maximum stress in the compression wave from the explosion of an elongated cylindrical explosive charge and a layer of various formulations of the packing material. To implement them used modern digital measuring–computing complexes PC NOUTBOOK, digital storage oscillograph OWON wasps and software to process it.

**Results.** According to the results investigations revealed that the explosion of a chemical explosive charge formed three distinct zones with different deformation and destruction. The first zone is the zone of action of shock waves (hydrodynamic) which chemical explosives is not essential, then it is followed by a non-linear transition zone or the area of the radial cracks, and then – the elastic area. Calculated numerical values of the amplitudes of the radial component of the momentum for a cylindrical explosive charge.

According to the results of experimental studies analyzed amplitude values of maximum stress, depending on the conditions of transfer of energy of the explosion of the explosive charge degradable environment.

**Originality.** The numerical value of an indicator of stress wave attenuation in the area of cracking in the layer of filling mixture and the properties of the wall rocks and backfill. Experimentally established changes in the maximum amplitude values of the stress in the compression wave from the transmission conditions of their environment destroyed and calculated their numerical values.

**Practical value.** These experiments allow to develop a rational parameters of resource-

saving technologies of mining and processing of uranium ores in difficult mining conditions under the undermined territories. **References** 12, tables 4, figures 3.

**Key words:** shielding, stress wave, packing material, explosive loading, solid medium, a charge of explosive seismic effect of the explosion.

#### REFERENCES

1. Shemyakin, E. I. (2003), «Seismic effect of an underground explosion, *Mining Journal*, no.1, pp. 11–15.
2. Boiko, V.V., Khlevnyuk, T.V., Kuzmenko, A.A. (2005), «On criteria for seismic hazard industrial explosion», *Bulletin of the National Technical University of Ukraine "KPI". A series of "Mining": Collection of scientific papers*, no. 12, pp. 45–52.
3. Gumenick, I.L., Sagittarius, A.P., Shvets, V.Y. (2012), «Determination of the optimal parameters of safe performance of seismic blasting on Peschanskii field migmatites and granites», *Modern resource-saving technologies of mining. Sci.-Tech. collected works*, vol. 10, no.2, pp. 112–119.
4. Romashko, A.M., Sokurenko, V.A., Peeva, I.E., Doludareva, J.S. (2011), «Investigation of the effect of water-based designs blasthole charges of explosives on the parameters of the seismic oscillations in mass explosions in quarries», *Modern resource-saving technologies of mining. Sci.-Tech. collected works*, vol. 7, no.1/20, pp. 81–88.
5. Vovk, O.A.(2013), «The parameters of seismic waves under the action of concentrated charge», *Coal of Ukraine*, no.7, pp. 42–45.
6. Lyashenko, V.I., Sour, P.A.(2015), «Justification seismic safe parameters of explosions at underground mining of surface deposits of reserves under the urban development», *Proceedings of Higher Education Mining Journal*, no. 3, pp. 84–93.
7. Boiko, V.V., Khlevnyuk, T.V., Kuzmenko, A.A. (2008), «Estimation of seismic structures when subjected to shock waves based on their spectral characteristics», *Bulletin of the National Technical University of Ukraine "KPI". A series of "Mining": Collection of scientific papers*, no. 16, pp. 3-13.
8. Savelyev, U.Y. [et al.], (2003), «Organization of monitoring of the seismic action of explosion in mining ore deposits by urban development», *Scientific Bulletin of NMU*, Issue № 1, no. 12, pp. 6–8.
9. Savelyev, U.Y. [et al.], (2004), «Organization of monitoring of the seismic action of explosion in mining ore deposits under the urban development», *Scientific Bulletin of NMU*, Issue № 2, no. 1, pp. 5–7.
10. Gluzman I.A. (1965), «Piezoelectric materials in electronics», *Energy*. Moscow, Russia, pp. 192.
11. Pat. 88299 Ukraine, JPC C 06B 31/12. Explosives / Efremov, E.I, Ischenko, K.S., Nikiforova, V.O., – no u2013 11525; declares 30.09.13; published 11.03.2014, Bul. Pat no. 5. [in Ukraine].
12. Pat. 96509 Ukraine, JPC 7 F42D 3/04. The method of modeling the explosive destruction of rocks / Konoval, S.V., Ischenko, K.S., Kratkovskyy, I.L., Krukovskaya, V.V., Konoval, V.M., no.u201409006, declare 11.08.14; published 10.02.15, Bul. Pat no. 3. [in Ukraine].

Стаття надійшла 02.11.2015.