



# УКРАИНСКИЙ СОЮЗ ИНЖЕНЕРОВ ВЗРЫВНИКОВ

Информационный бюллетень №2, 2011 г.



УКРАИНСКИЙ СОЮЗ ИНЖЕНЕРОВ-ВЗРЫВНИКОВ  
50005, г. Кривой Рог, ул. Каховская, 45

Президент Украинского союза инженеров-взрывников – **Н.И. Ищенко**

Главный редактор            **Э.И. Ефремов**

Члены редакционной коллегии:

О.И. Макаров (зам. гл. редактора)  
Е.К. Быков  
Г.А. Воротеляк  
И.В. Махоня  
Е.Б. Устименко

© *Редакционная коллегия Бюллетеня не несет ответственности за достоверность информации, предоставленной авторами статей.*

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Выездное заседание Европейской федерации инженеров-взрывников .....</b>	<b>2</b>
<b>КИРИЧЕНКО А.Л., УСТИМЕНКО Е.Б., ШИМАН Л.Н., ПОДКАМЕННАЯ Л.И., КОЛТУНОВ О.В.</b>	
Применение патронированных эмульсионных взрывчатых веществ марки «ЕРА» на горнодобывающих предприятиях металлургического комплекса .....	3
<b>КАЛЯКИН С. А.</b>	
Совершенствование простейших ВВ и способов их инициирования в скважинах.....	7
<b>БОЙКО В.В., КУЗЬМЕНКО А.А., ЛЕМЕШКО В.А.</b>	
Вопросы аппаратурного контроля и сейсмобезопасности взрывных работ (часть 1) .....	12

6-7 мая 2011 года в Киеве состоялась двухдневная конференция Европейской федерации инженеров-взрывников (ЕФИВ). По приглашению Президента Украинского союза инженеров-взрывников Н.И.Ищенко на Украину прибыли 25 специалистов взрывного дела из 14 стран Европы.



**Рис. 1. Участники конференции (второй справа – Президент Европейской Федерации инженеров-взрывников – господин Дональд Джонсон)**

В первый день состоялись заседания комитетов федерации – маркетинговый, избирательный, комитет по финансам и аудиту, по директивам ЕС, по вопросам учредительных документов и др. Члены комитетов обсуждали текущие вопросы для вынесения на обсуждение и принятия решения на Общем собрании федерации.

После встреч участников различных комитетов состоялось заседание Правления ЕФИВ, в котором принял участие Президент Украинского союза инженеров-взрывников Николай Ищенко.

Среди обсуждавшихся вопросов – отчеты федерации за 2010 год и январь-апрель 2011 года (финансовый и банковский отчеты, отчет по заявкам новых кандидатов в члены федерации, отчет по сертификату взрывника), а также даты проведения очередных конференций ЕФИВ (в Лиссабоне в сентябре 2011 г. и в Москве в 2013 г.). Кроме того, члены Правления обсудили вопросы, касающиеся проекта внедрения единого европейского сертификата взрывника, изменений в учредительных документах, директив ЕС и другие вопросы.

На следующий день президенты национальных организаций собрались на заседание Совета федерации. Участники встречи обсудили заявки новых кандидатов в члены федерации, отчет

Правления за 2010 год, важные вопросы каждого комитета, план мероприятий до конца года. При этом был представлен доклад о подготовке к ближайшей международной конференции ЕФИВ в Португалии в сентябре текущего года.

После окончания заседания Совета было проведено Общее собрание Европейской федерации инженеров взрывников, на котором Украину представляли Президент УСИВ Н.И. Ищенко и председатель правления ПАО ППП «Кривбасс-взрывпром» - одного из крупнейших соучредителей УСИВ – В.Ф. Монаков. На Общем собрании были рассмотрены и утверждены изменения в учредительные документы федерации, годовой и финансовый отчеты, утвержден план мероприятий на 2011 год, избрано Правление и комитет по аудиту.



**Рис.2. Участники конференции обсуждают план работы федерации на текущий 2011 год (в центре Президент УСИВ – Н.И. Ищенко)**

Кроме рабочих заседаний для европейских гостей была организована культурная программа. Вечером 6 мая все участники конференции имели возможность пообщаться друг с другом в неформальной обстановке и познакомиться с национальными украинскими традициями. 7 мая делегаты ЕФИВ побывали на обзорной экскурсии по Киеву, в ходе которой они познакомились с главными достопримечательностями нашей столицы.

Участники конференции в Киеве отметили хорошую организацию рабочих заседаний и поблагодарили за внимание и радушный прием лично Президента УСИВ Николая Ищенко и всех организаторов мероприятия.

**КИРИЧЕНКО А.Л., УСТИМЕНКО Е.Б., ШИМАН Л.Н., ПОДКАМЕННАЯ Л.И. -  
ГП «Научно-Производственное объединение «Павлоградский химзавод»  
КОЛУНОВ О.В. - ПАО «ППП «Кривбассвзрывпром»**

Накопленный в Украине опыт по производству взрывных работ (ВР) на горнодобывающих предприятиях с использованием наливных эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) показывает, что относительно низкая стоимость и высокая эффективность таких ВВ предопределили повсеместное их применение вместо тротилсодержащих ВВ. При этом также были достигнуты значительные улучшения параметров технологической и экологической безопасности взрывных работ.

Опираясь на положительные результаты применения наливных ЭВВ на ГП «НПО «ПХЗ» были разработаны патронированные ЭВВ марки ЕРА второго класса применения подкласса 1.1.

В области взрывных технологий такие патронированные ЭВВ марки ЕРА нашли применение в качестве контурных, скважинных и шпуровых зарядов, а также патронов боевиков (ПБ) для инициирования малочувствительных ВВ подкласса 1.5.

В настоящий момент на ГП «НПО «ПХЗ» осуществляется выпуск патронов ЭВВ диаметром от 32 мм до 90 мм, которые представлены четырьмя марками, такими как ЕРА-Р1, ЕРА-Р2, ЕРА-Р3 и ЕРА-III с содержанием эмульсии от 70% до 100%. Основным отличием ЭВВ марки ЕРА-Р2 и Р3, ЕРА-III является то, что они изготавливаются на основе газонасыщенной эмульсии с добавлением гранулированной аммиачной селитры до 20%, а ЭВВ марки ЕРА-Р1 изготавливается только на основе газонасыщенной эмульсии. В составах ЭВВ марки ЕРА-Р3 и ЕРА-III дополнительно содержится энергетическая добавка в виде алюминиевого порошка и полимерной крошки.

Для оптимизации параметров применения патронированных ЭВВ при их использовании, как в качестве основных зарядов, так и в качестве ПБ был проведен ряд исследований по определению их взрывчатых характеристик и влияния на инициирующую способность скважинных зарядов

малочувствительных ВВ, а также их влияния на технологические параметры взрыва.

На первом этапе исследований определялись параметры скорости и давления детонации патронов ЭВВ марки ЕРА.

Скорость детонации патронов ЕРА определяли экспериментальным методом с использованием прибора «Explometr», который позволяет проводить измерения на участке заряда длиной менее пяти его диаметров. Иницирование патронов ЭВВ марки ЕРА при определении скорости детонации осуществляли от детонатора неэлектрической системы взрывания (СНВ) Прима-ЕРА-Д.

Давление детонации ЭВВ ЕРА определяли расчетным методом, представленной в работе [1]:

$$P_d = \frac{\rho \cdot D^2}{k + 1}, \quad [\text{ГПа}],$$

где:  $\rho$  - плотность ВВ;  $D$  – скорость детонации ВВ;  $k$  – показатель политропы.

Также для сравнительной оценки параметров детонации патронов ЭВВ ЕРА с патронированным аммонитом 6ЖВ и тротиловой шашкой по нижеприведенной формуле определяли время воздействия их инициирующего импульса:

$$\tau = \frac{l_{\text{вв}}}{D_{\text{нд}}}, \quad [\text{с}],$$

где:  $l_{\text{вв}}$  - длина патрона ВВ;  $D_{\text{нд}}$  - скорость детонации ВВ в патроне, м/с.

Результаты расчетов давления, времени воздействия импульса детонации, показатели плотности и скорости детонации ЭВВ ЕРА, полученные экспериментальным и расчетным методами, приведены в табл. 1.

Также, для сравнения в табл.1 приведены справочные значения плотности, скорости и давления детонации для патронированного аммонита 6ЖВ и тротиловой шашки [2].

**Таблица 1**  
**Сравнительные характеристики плотности ВВ, давления и скорости детонации ЭВВ ЕРА, аммонита 6ЖВ и тротиловой шашки**

Наименование параметров	ЭВВ марки "ЕРА"				Аммонит 6ЖВ	Шашка детонатор
	Р-1	Р-2	Р-3	III		
Плотность ВВ, г/см <sup>3</sup>	1,08÷1,2	1,08÷1,2	1,08÷1,2	1,08÷1,2	1,1÷1,2	1,6
Скорость детонации, км/с	5,2÷5,3	4,5÷4,8	4,8÷5,1	4,8÷5,1	3,6÷4,2	6,2
Давление детонации, ГПа	7,3÷8,4	5,5÷6,9	6,9÷7,8	6,9÷7,8	3,6÷5,3	15,9
Время воздействия импульса детонации, $\tau \cdot 10^5$ , с	4,15÷4,2	4,6÷4,9	4,3÷4,6		5÷5,8	2,1

## ПРИМЕНЕНИЕ ПАТРОНИРОВАННЫХ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВАТЫХ ВЕЩЕСТВ МАРКИ «ЕРА» НА ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ МЕТАЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Из приведенных в табл.1 данных видно, что параметры скорости и давления детонации для аммонита 6ЖВ в 1,5÷1,7 и 3,8÷4,4 и ЭВВ ЕРА в 1,1÷1,3 и 2÷2,2 раза, соответственно, меньше чем у тротиловой шашки, но при этом продолжительность воздействия их импульса детонации в 2÷3 раза больше.

Дальнейшие исследования при нахождении оптимальных параметров применения патронированных ЭВВ ЕРА проводили путем сравнительной оценки результатов взрывных работ на горнодобывающих предприятиях, как с подземной, так и с открытой разработкой месторождений железных руд.

Сравнительную оценку эффективности применения патронированных ЭВВ ЕРА в качестве шпуровых зарядов проводили при проведении горных выработок в условиях шахт КЖРК. По результатам, таких работ были отработаны технологические подходы по формированию и оптимизации конструкций шпуровых зарядов, а также нахождению параметров КИШ, который в целом характеризует эффективность взрыва [3].

Основные параметры БВР и значения КИШ, полученные при проведении серии опытных взрывов с использованием ЭВВ марки ЕРА Ø32 мм, приведены в таблице 2.

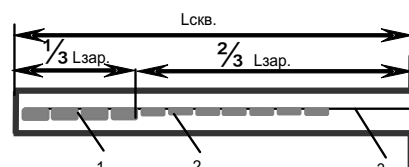
Таблица 2

**Основные параметры БВР и значения КИШ при проведении опытных взрывов в условиях шахт КЖРК**

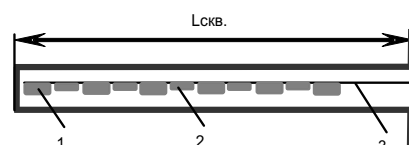
Параметры БВР	шх. Гвардейская, вент. штрек, гор.1220м	шх. Родина, штрек №1, гор. 1305м	шх. Октябрьская, орт разведочный, гор. 1180 м
Тип горных пород	Сланец, магнетитовая руда	Сланец, магнетитовая руда	Джеспелит
Коэффициент крепости по шкале проф. Протоdjeяконова, f	7÷11	10÷12	12÷14
Трещиноватость	Интенсивная	интенсивная	сильная
Удельный расход ВВ, кг/м <sup>3</sup>	3,6	3,2	3,5
Тип ВВ: - ЭВВ ЕРА-РЗ, кг - Граммонит 79/21, кг	31,2 -	26,88 -	4,8 ( тип ПБ) 15,0
КИШ	0,93÷1,0	0,96÷1,0	0,8÷0,89

Приведенные в табл. 2 данные свидетельствуют в пользу того, что применение патронированных ЭВВ в качестве шпуровых зарядов обеспечивает необходимое качество БВР на уровне не ниже альтернативных типов ВВ.

При изучении вопроса о возможности применения патронов ЕРА в качестве зарядов контурного взрывания для сохранности законтурной зоны массива горных пород проводится активная работа по выбору конструкций и параметров таких зарядов. Так, на карьере ОАО «ЮГОК» были проведены два экспериментальных взрыва с применением ЭВВ марки ЕРА в качестве зарядов контурного взрывания. Для определения оптимальных параметров заряда применили две конструкции, приведенные на рис. 1.



а) Последовательная схема



б) Последовательно-переменная схема

**Рис. 1. Конструкции зарядов ЭВВ ЕРА для контурного взрывания при проведении взрывных работ на карьере ОАО « ЮГОК»: 1 – патрон ЕРА Ø70 мм; 2 – патрон ЕРА диаметром 40 мм; 3 – детонирующий шнур**

## ПРИМЕНЕНИЕ ПАТРОНИРОВАННЫХ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ МАРКИ «ЕРА» НА ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ МЕТАЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Инициирование «гирлянд» осуществлялось от трех нитей детонирующего шнура ДШЭ-12, крепление которых обеспечивалось вдоль длины патрона не менее чем в двух точках. Расстояние между патронами в «гирлянде» соответствовало не более 2-3 см.

По предварительной оценке результатов взрывов установлено, что при использовании патронов ЕРА обеспечивается проектное формирование угла откоса уступа и минимальное нарушение массива в законтурной части блока.

При этом результаты от взрыва зарядов ЭВВ ЕРА по схеме а) и схеме б) практически одинаковые.

Сравнительную оценку влияния иницирующего импульса от патронов ЕРА на детонацию зарядов малочувствительных ВВ проводили на примере использования в качестве скважинных зарядов ЭВВ Эмонит, Украинит ПП-2Б, а также простейших ВВ типа Комполит ГС-5. С этой целью было подготовлено и взорвано три блока.

Первый блок состоял из 68 скважин диаметром 250 мм (рис. 2).

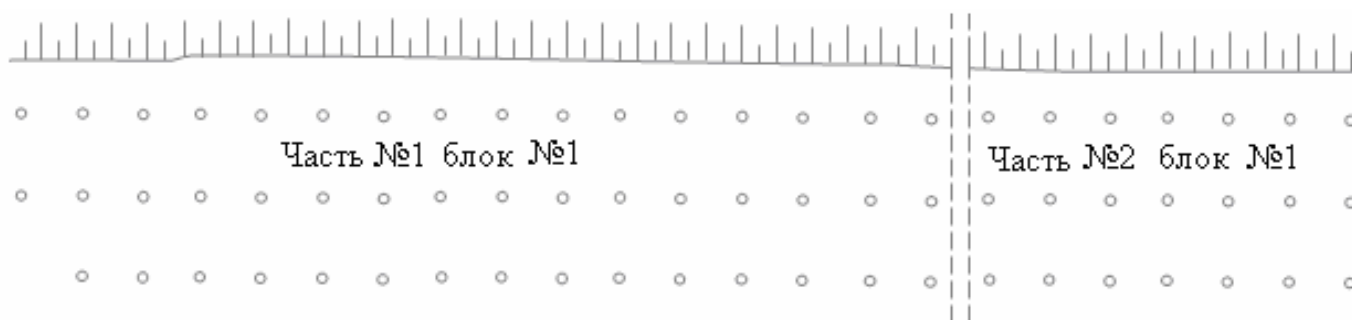


Рис. 2. Схема расположения скважинных зарядов на блоке гор -210 м карьера №1 ОАО «ЦГОК»

Блок №1 условно разделяли на две части. Часть №1 (47 скв.) инициировали от шашек детонаторов ДПУ-830Тл, а вторую (21 скв.) – от ПБ ЕРА-РЗ диаметром 70 мм, массой 1 кг и длиной 220 мм. Зарядка скважин осуществлялась ЭВВ Эмонит в полипропиленовые рукава. Длина скважинных зарядов соответствовала порядка 7,0-7,5 м.

ПБ устанавливались в двух точках скважины, нижний ПБ на высоте 0,5±1,0 м от дна скважины, верхний на ~2,0 м выше нижнего. Инициирование ПБ осуществлялось от СНВ Прима-ЕРА-Д с внутрискважинным замедлением 475 мс и одинаковой длиной волноводов (~14 м).

Второй блок состоял из 66 скважин диаметром 250 мм (см. рис. 3).

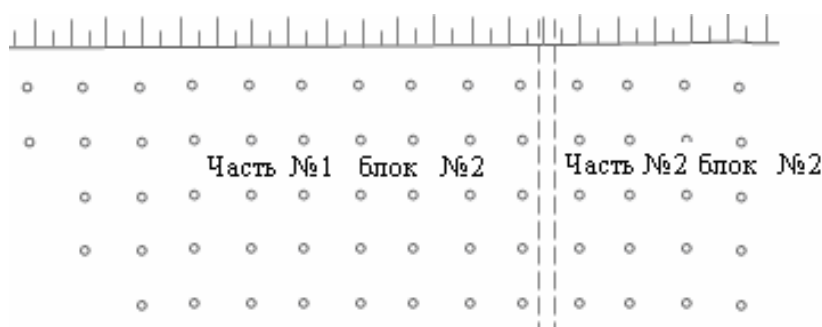
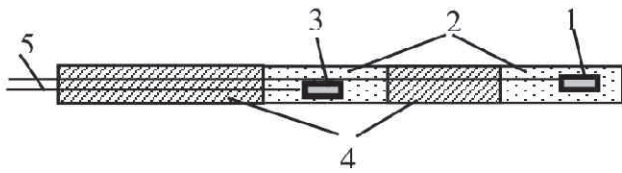


Рис. 3. Схема расположения скважинных зарядов на блоке горизонт-218 м карьера №1 ОАО «ЦГОК»

Как и в предыдущем случае, блок №2 разделяли на две части. Первую часть (46 скв.) инициировали от шашек детонаторов ДПУ-830Тл, а вторую (20 скв.) – от ПБ ЕРА-РЗ Ø70 мм, массой 1 кг и длиной 220 мм. Зарядка скважин осуществлялась ЭВВ Украинит ПП-2Б в полипропиленовые рукава переменного диаметра. Длина скважинных зарядов соответствовала 7,5-8,0 м. ПБ устанавливались в двух точках скважины, нижний ПБ на высоте 0,5±1,0 м от дна скважины, верхний на ~2,0 м выше нижнего. Инициирование ПБ осуществлялось от СНВ Прима-

ЕРА-Д с внутрискважинным замедлением 475 мсек и одинаковой длиной волноводов (~14 м).

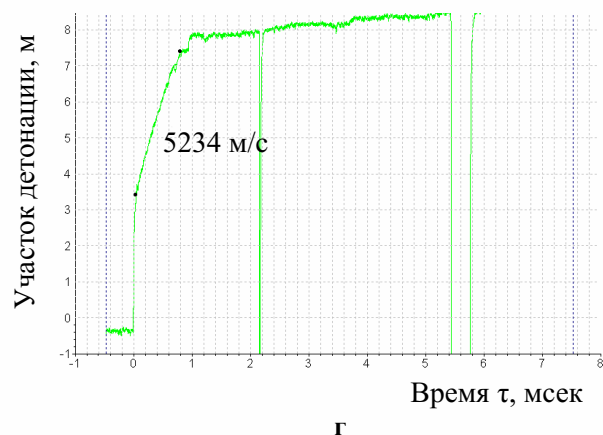
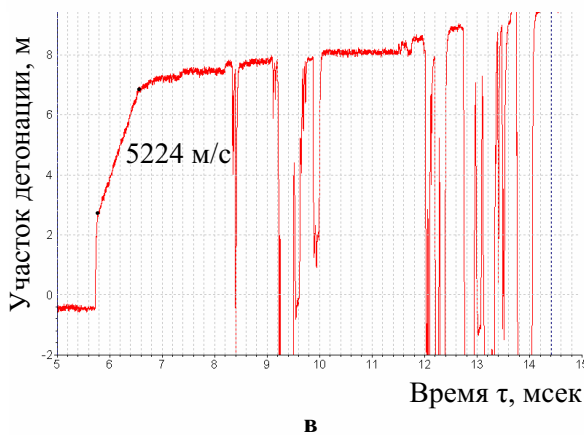
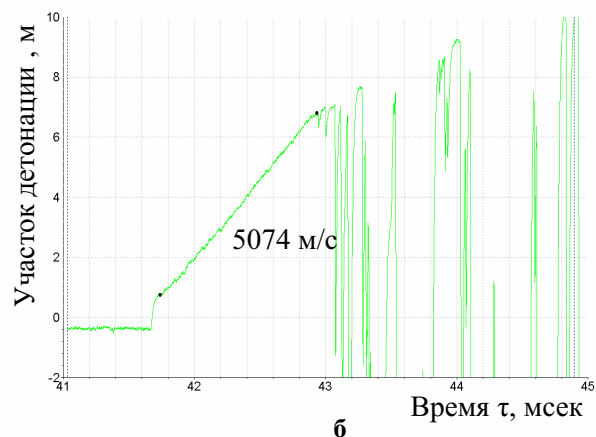
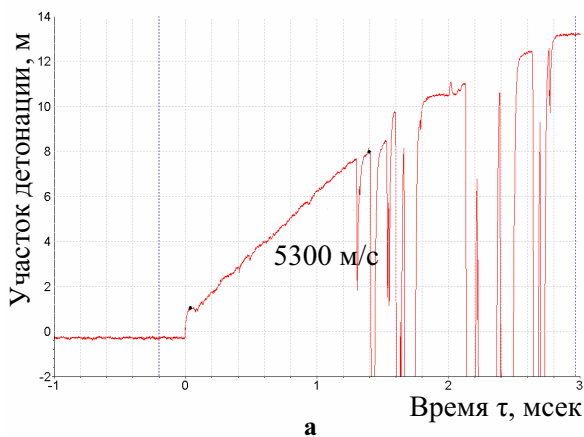
Для проведения третьего опытного взрыва был подготовлен блок №3, состоящий из 161 скважины диаметром 260 мм. Зарядку скважин осуществляли гранулированными ВВ Комполит ГС-5. Скважинный заряд инициировали от двух ПБ с внутрискважинным замедлением 475 мсек. ПБ из тротиловой шашки ДПУ-830Тл размещался в нижней части заряда, ПБ ЕРА-РЗ диаметром 70 мм, массой 1 кг и длиной 220 мм размещался в верхней его части. Схема скважинного заряда приведена на рис. 4.



**Рис. 4. Конструкция скважинного заряда при проведении взрывных работ на блоке гор -5/-20м карьере №1 ОАО «ЦГОК»: 1 – тротиловая шашка ДПУ-830Тл; 2 – Комполит ГС-5; 3 – ПБ ЕРА-РЗ; 4 – забочечный материал; 5 – СНВ «Прима – ЕРА»**

Скорость детонации определяли при помощи прибора «VODMate», который позволяет вести непрерывную ее регистрацию по всей длине заряда.

Результаты измерений скорости детонации скважинных зарядов ЭВВ Эмонит, Украинит ПП-2Б приведены на рис.5.



**Рис. 5. Диаграммы скорости детонации скважинных зарядов ЭВВ: а) – заряд ЭВВ Украинит ПП-2Б, промежуточный детонатор ЕРА-РЗ, Ø70 мм; б) – заряд ЭВВ Украинит ПП-2Б, промежуточный детонатор шашка ДПУ-830Тл, в) - заряд ЭВВ Эмонит, промежуточный детонатор ЕРА-РЗ, Ø70 мм; г) – заряд ЭВВ Эмонит, промежуточный детонатор шашка ДПУ-830Тл**

Из приведенных на рис. 5 данных видно, что кривая скорости, которая описывает процесс детонации в зарядах Эмонита и Украинита ПП-2Б, инициируемых от ПБ ЕРА, характеризуется постоянными параметрами по всей длине заряда, при этом процессы развиваются аналогично, как и при инициировании, их тротильными шашками-детонаторами типа ДПУ-830Тл. Также, на графиках видно, что для ПБ, расположенных в двух точках с одинаковым внутрискважинным замедлением на расстоянии 2 м, прибором регистрируется процесс детонации в скважинном заряде практически от

верхнего ПБ.

Сравнительная оценка результатов взрывов показала, что детонация всех скважинных зарядов полная. При этом параметры дробления горной массы на участках блоков инициируемых от шашек детонаторов и контрольных участках инициируемых ПБ марки ЕРА идентичны.

Следует отметить, что патроны ЭВВ марки ЕРА обладают низкой чувствительностью к механическим воздействиям по сравнению с шашками из тротила или его смесей с гексогеном и тэном. Так, чувствительность к удару для ЭВВ составляет,

согласно тестам по методикам рекомендованных ООН, более 50 Дж (тест 3а) и к трению более 360 Н (тест 3в), тогда как для тротила эти показатели соответственно составляют 28 Дж и 210 Н, а для гексогена 5 Дж и 84 Н.

Кроме этого, патроны ЭВВ марки ЕРА не содержат токсичные компоненты и относятся к веществам 3 класса опасности, в отличие от тротила и гексогена, которые относятся к веществам 2 класса опасности.

В результате выполнения работ было установлено, что конструкция ПБ ЕРА обеспечивает надежное крепление детонаторов СНВ Прима-ЕРА и не требует увеличения трудоемкости на сборку или вспомогательных материалов.

По результатам проведения опытных взрывов не зафиксировано воздействие внешних факторов таких как, обводненность, температура окружающей среды, а также температура скважинного заряда ВВ, которое заливалось в скважину в горячем виде с температурой до 90°С, на детонационные характеристики патронов ЭВВ ЕРА.

**Выводы.** По результатам исследований взрывчатых характеристик патронированных ЭВВ ЕРА при применении их в условиях подземных и открытых рудников установлено: что патроны ЭВВ ЕРА подкласса 1.1. могут эффективно использоваться в качестве различных типов зарядов, как при формировании скважинного или шпурового заряда, так и в качестве ПБ. Также, на примере исследования детонационных процессов в зарядах

малочувствительных ВВ при их иницировании от ПБ ЭВВ марки ЕРА-Р и ЕРА-III получены характеристики их иницирующей способности, в том числе по сравнению с тротиловой шашкой. При этом установлено, что процессы детонации в зарядах малочувствительных ВВ развиваются аналогично, как при иницировании от ПБ ЭВВ марки ЕРА, так и от тротиловой шашки. Таким образом, показано, что ЭВВ марки ЕРА могут использоваться в качестве промежуточных детонаторов, патронов боевиков для иницирования зарядов любых типов малочувствительных ВВ.

#### **Список использованной литературы**

1. Андреев К.К. Теория взрывчатых веществ / К.К. Андреев, А.Ф. Беляев. – М.: ГНТИ ОБОРОНГИЗ, 1960. – 247 с.
2. Росси Б.Д. Промышленные взрывчатые вещества и средства взрывания / Б.Д. Росси, З.Г. Позняков. – М.: Недра, 1971. – 93 с.
3. Устименко Е.Б. Некоторые технологические подходы для повышения эффективности применения шпуровых зарядов ВВ при подземной добыче полезных ископаемых / Е.Б. Устименко, Л.Н. Шиман, А.Л. Кириченко, Л.И. Подкаченная // Научно-виробничий збірник «Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва». Вип.. 2/2010(6), КНУ, Кременчук, 2010. – С. 61-67.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОСТЕЙШИХ ВВ И СПОСОБОВ ИХ ИНИЦИИРОВАНИЯ В СКВАЖИНАХ**

**УДК 622.235.213.42**

**С.А. КАЛЯКИН, д.т.н., проф. - ДонНТУ, г. Донецк**

В статье рассмотрены направления совершенствования простейших ВВ и дано обоснование параметров промежуточных детонаторов в скважинах для обеспечения при взрыве оптимального режима детонации с максимальной скоростью и полнотой выделения энергии ВВ.

Ключевые слова: простейшее ВВ, скорость детонации, промежуточный детонатор.

**Введение.** В настоящее время на открытых горных работах большинство крупных предприятий применяют простейшие взрывчатые вещества (ВВ), представляющие собой смеси гранулированной аммиачной селитры (ГАС) и твердого или жидкого горючего. Наиболее широко используется смесь, ГАС и дизельного топлива (АС-ДТ, ANFO). В развитых странах на карьерах объемы использования простейших ВВ такого состава достигают 80...90% [1]. Столь большой объем потребления в горнорудной промышленности простейших ВВ типа ANFO в значительной мере связан с разработкой и производством пористой ГАС с высокой удерживающей способностью жидких нефтепродуктов.

На открытых горных работах в Украине

наибольший объем применения имеют тротилсодержащие граммониты, полимиксы и эмульсионные ВВ. Объем применения ВВ простейшего состава типа АС-ДТ или игданита не превышает 10%. Вызывает удивление столь большая разница в объемах применения простейших ВВ в Украине и развитых странах Западной Европы, США, Канады и т.д. Повышение объема применения простейших ВВ при взрывных работах на карьерах и рудниках Украины является важной задачей.

Анализ последних исследований и публикаций показал, что сдерживающими факторами крупномасштабного применения простейших ВВ на карьерах Украины являются отсутствие производства пористой ГАС, в связи с чем ВВ на обычной ГАС имеют низкую физико-химическую

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОСТЕЙШИХ ВВ И СПОСОБОВ ИХ ИНИЦИИРОВАНИЯ В СКВАЖИНАХ

стабильность и высокую миграцию дизельного топлива в скважинном заряде, а также применение скважин небольшого диаметра, в которых игданит имеет явно выраженный неблагоприятный режим протекания детонации [2, 3]. Также следует указать на низкую водоустойчивость ВВ типа ANFO, АС-ДТ и сравнительно невысокую плотность энергии взрыва в скважине, по сравнению с водосодержащими и эмульсионными ВВ. Поэтому проблема совершенствования простейших ВВ и способов их взрывания в скважинах различного диаметра требует решения, так как позволит расширить область и объемы применения этих ВВ при взрывных работах и значительно повысит эффективность способа взрывного разрушения горных пород.

**Целью работы** является исследование путей совершенствования простейших ВВ и способов их инициирования в скважинах.

**Материалы и результаты исследований.** Известно, что скважинные заряды простейших ВВ не всегда детонируют полностью или в идеальном режиме, обеспечивающем максимальную скорость

детонации ВВ –  $D_{max}$ .

В вертикальных скважинах у ВВ типа игданит, дизельное топливо не удерживается на гранулах аммиачной селитры и стекает в донную часть скважины. Верхняя часть скважины с зарядом ВВ при этом обедняется. При взрыве такого заряда могут нарушаться устойчивая детонация ВВ и происходит неполное выделение энергии взрыва. В обводненной скважине компоненты ВВ расслаиваются, селитра растворяется, а нефтепродукты всплывают в раствор, делая невозможным надежное взрывание скважинного заряда. В работе [4] проведены исследования устойчивости детонации простейших ВВ типа игданита в скважинах диаметром 203 и 228 мм иницируемых промежуточными детонаторами типа ТГ (тротил-гексоген) массой 0,5...1,0 кг. График изменения скорости детонации игданита по длине скважинного заряда, начиная от места инициирования, показан на рис. 1. На рис. 2 показан график изменения скорости детонации скважинного заряда «тяжелого» ANFO в скважинах 203, 216 и 228 мм.

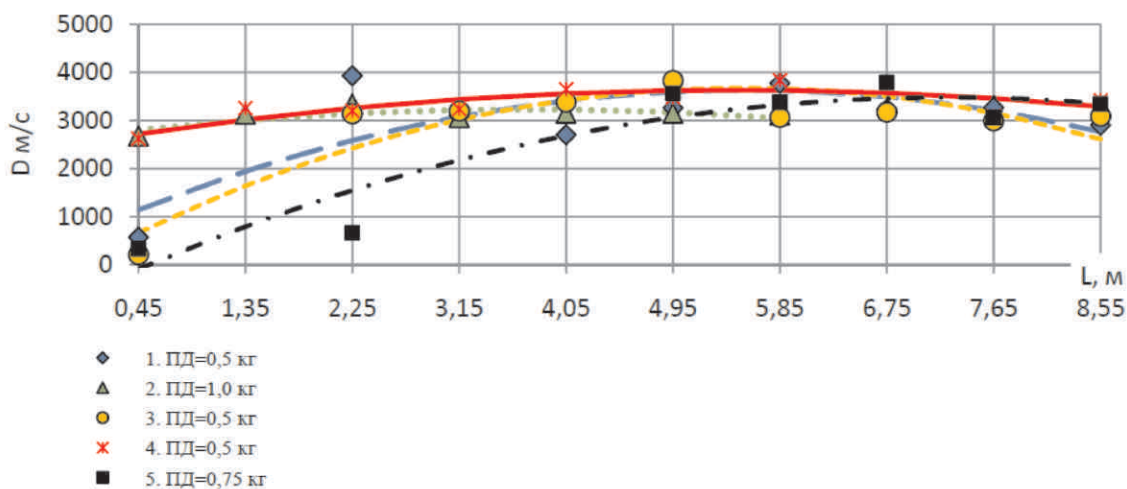


Рис. 1. Изменение скорости детонации игданита по длине скважинных зарядов (ПД – промежуточный детонатор)

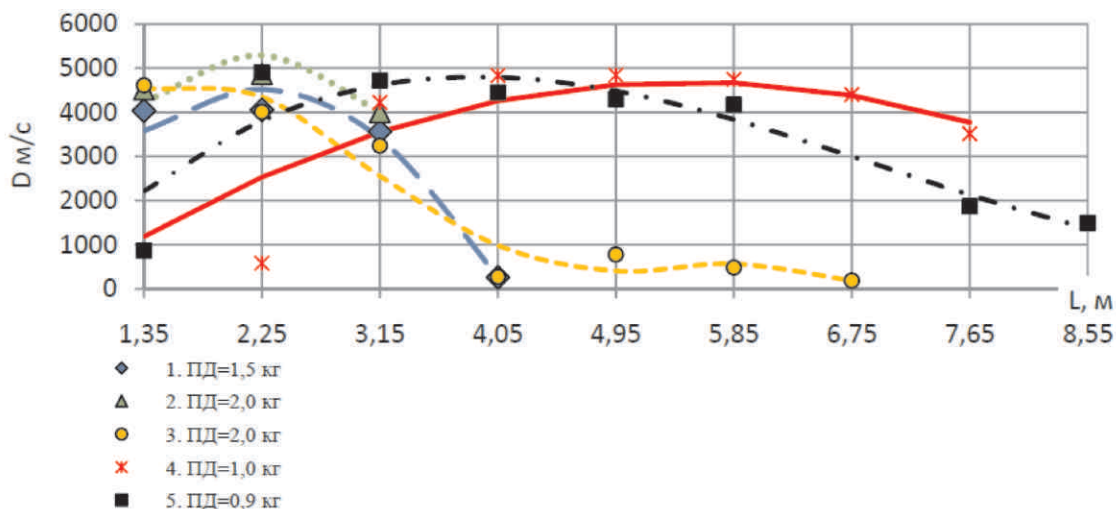


Рис. 2. Изменение скорости детонации смеси ANFO и эмульсионных взрывчатых веществ по длине скважинных зарядов

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОСТЕЙШИХ ВВ И СПОСОБОВ ИХ ИНИЦИИРОВАНИЯ В СКВАЖИНАХ

В этом случае к игданиту добавляли эмульсионное ВВ (50%) сенсibilизированное газогенерирующими добавками. Исследования показали, что скорость детонации ВВ вдоль оси скважинного заряда непостоянна и зависит от массы промежуточного детонатора. Характерным было то, что измеренная скорость детонации у обоих ВВ была ниже, чем их максимально возможная -  $D_{max}$ . Оказалось, что чистый игданит в скважинах детонирует гораздо стабильней, чем его смесь с эмульсионным ВВ. Поэтому величина скорости детонации ВВ и ее стабильность по длине скважинного заряда зависит от массы

промежуточного детонатора. Таким образом, повышение водоустойчивости игданита в комбинированном заряде ВВ достигается понижением устойчивости его детонации в скважине. Дальнейшие исследования были проведены в направлении выбора горючего для простейших ВВ типа ANFO, которое одновременно повышало бы водоустойчивость смеси и обеспечивало ему детонационную способность в воде, а также дано обоснование параметров инициирования простейших ВВ в скважинах с помощью промежуточных детонаторов. Данные о горючих и их смесях с ГАС приведены в табл. 1.

**Таблица 1**  
**Простейшие ВВ с различными горючими веществами**

№	Горючие	Химическая формула	Кислородный баланс, %	Состав ANFO, %		$Q_v$ , кДж/кг	$V_o$ , л/кг	$T_{пв}$ , °К
				ГАС	горючие			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Дизельн. топливо	$C_{12}H_{22}$	-336,7	94,4	5,6	3899,6	966,6	2209,1
2.	Масло индуст.	$C_{12}H_{26}$	-347,21	94,55	5,55	3922,2	974,4	2207,7
3.	Керосин	$C_{7,2}H_{12,85}$	-335,72	94,38	5,62	3927,5	965,7	2223,15
4.	Соляровое масло	$C_{7,23}H_{12,7}O_{0,03}$	-332,68	94,33	5,67	3859,3	965,0	2193,5
5.	Скипидар	$C_{10}H_{16}$	-328,93	94,27	5,73	3976,0	961,5	2252,1
6.	Силиконовое масло (SO)	$C_2H_6SiO$	-172,6	89,62	10,38	3973,3	909,6	-
7.	Пиридин (PN)	$C_5H_5N$	-252,8	92,65	7,35	3971,5	944,8	2287,0
8.	Фуллерен	$C_{70}$	-266,4	93,0	7,0	3966,9	911,7	2340,3
9.	Уголь м.Ж (г. 1250 м)	$C_{71,75}H_{54,0}N_{0,786}O_{4,625}$	-366,8	93,06	6,94	3890,6	936,1	2256,1
10.	GVG-SO-PN (смесь селитры ЖВГ)	-	-	-	-	3974,0	940,0	-

Расчет основных показателей взрыва ВВ (теплоты, температуры и объема продуктов взрыва) дан по известным методам расчета [5].

Результаты расчета, приведенные в табл. 1 показывают, что простейшие ВВ на любых из взятых горючих, дают примерно одни и те же расчетные теплоты взрыва ВВ. Вместе с тем имеются горючие добавки, которые могут существенно улучшить взрывчатые показатели простейшего ВВ, прежде всего речь идет о силиконовом масле. Этот продукт ГАС впитывается и придает ей высокую водоустойчивость, так как может удерживаться гранулами селитры вплоть до 10,5%. Смеси ГАС с

силиконовым маслом и угольной пылью обладают высокой водоустойчивостью, их можно заряжать в скважины под столб воды, они обладают хорошими взрывчатыми показателями. Такого типа ANFO можно применять в обводненных скважинах без смеси с эмульсионными ВВ.

Следующий вопрос, затронутый в исследованиях – выбор массы промежуточного детонатора для обеспечения простейшим ВВ в скважинах оптимального режима детонации с максимальной скоростью –  $D_{max}$ . Для решения этого вопроса был поставлен полный факторный эксперимент по исследованию скорости детонации

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОСТЕЙШИХ ВВ И СПОСОБОВ ИХ ИНИЦИИРОВАНИЯ В СКВАЖИНАХ

простейшего ВВ от двух параметров: диаметра заряда –  $d_3$  и относительной массы –  $m_o$ , равной отношению массы промежуточного детонатора  $m_{np}$  к общей массе заряда ANFO. Взрывания проводили в металлических трубах с толщиной стенки 2,5...3,0 мм от промежуточного детонатора из шашек прессованного тетрила массой от 10 до 40 г инициируемых КД №8. Анализируя известные данные (Горное бюро, США) по определению скорости детонации ANFO от диаметра заряда ВВ было сделано предположение, что зависимость скорости детонации ANFO от диаметра заряда и  $m_o$  можно представить в виде функции:

$$D = A \cdot d_3^a \cdot m_o^b, \quad (1)$$

где  $A$ ,  $a$ ,  $b$  – эмпирические коэффициенты, полученные опытным путем.

Функция (1) в результате логарифмирования принимает вид линейной зависимости:

$$\ln D = \ln A + a \ln d_3 + b \ln m_o \quad (2)$$

если положить

$$\ln D = y, \text{ а } \ln A = b_o; \quad X_1 = \ln d_3; \quad X_2 = \ln m_o,$$

то получим:  $y = b_o + aX_1 + bX_2$ .

Кодирование факторов  $X_1$  и  $X_2$  согласно работы [6] дает:

$$X_i = \frac{2(\ln \bar{X}_i - \ln \bar{X}_e)}{\ln \bar{X}_e - \ln \bar{X}_n} + 1,$$

где  $\bar{X}_i$  – натуральное значение фактора, а  $\bar{X}_e$  и  $\bar{X}_n$

– соответственно натуральные значения верхнего и нижнего уровня значения фактора в эксперименте. Принятые при исследовании уровни факторов и их кодированные значения указаны в табл. 2.

**Таблица 2**  
**Натуральные и кодированные значения факторов при исследовании**

факторы	Кодированное обозначение	Натуральные уровни факторов соответствующие кодированию	
		верхний + 1	нижний – 1
1	2	3	4
Диаметр заряда, мм	$X_1$	127	152,4
Относительная масса промышленного детонатора	$X_2$	0,01	0,003

Значения кодированных факторов рассчитывают по уравнениям:

$$X_1 = \frac{2(\ln d_3 - \ln 152,4)}{\ln 152,4 - \ln 127} + 1,$$

$$X_2 = \frac{2(\ln m_o - \ln 0,01)}{\ln 0,01 - \ln 0,003} + 1.$$

Для оценки коэффициентов регрессии в уравнении (2) составлена и реализована матрица полного факторного эксперимента  $2^2$ , показанная в табл. 3.

**Таблица 3**  
**Матрица полного факторного эксперимента**

№ опыта	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_1 \cdot X_2$	Логарифм скорости детонации ВВ, $y = \ln D$
	2	3	4	5	6
1	+	–	–	+	8,1137
2	+	+	–	–	7,9638
3	+	–	+	–	8,2215
4	+	+	+	+	8,2662
<i>bi</i>	8,1413	-0,0263	0,10255	0,04865	

Обработка результатов полного факторного эксперимента позволила получить уравнение регрессии (2) в следующем виде:

$$D = 0,0707 \cdot d_3^{2,3354} \cdot m_o^{-4,205+0,8865 \ln d_3}, \text{ м/с.} \quad (3)$$

Из уравнения (3) можно найти необходимое значение  $m_o$ , задавшись  $D_{\max}$  для ANFO (по данным Горного бюро США при  $\rho_{\text{ВВ}} = 0,9...0,95 \text{ г/см}^3$ ,  $D_{\max} = 5,15...5,21 \text{ км/с}$ ) и диаметром заряда ВВ в скважине ( $d_{\text{скв}} = d_3$ ):

$$m_o = \left( \frac{D_{\max}}{0,0707 \cdot d_3^{2,3354}} \right)^{(0,8865 \ln d_3 - 4,205)^{-1}} \quad (4)$$

Для скважин диаметром от 127 до 300 мм по уравнению (4) рассчитаны значения  $m_o$ , которые необходимы для промежуточного детонатора, обеспечивающего устойчивую детонацию ANFO в скважине с максимальной скоростью. Результаты расчета в виде графика зависимости  $m_o = \varphi(D_{\max}, d_{\text{скв}})$  представлены на рис. 3. На графике хорошо видно, что для скважин диаметром около 260 мм масса промежуточного детонатора должна быть 0,08...0,083 от массы заряда ANFO в скважине. В скважинах меньшего диаметра скорость детонации  $D_{\max}$  у ANFO может быть достигнута только за счет увеличения массы промежуточных детонаторов в скважинах.

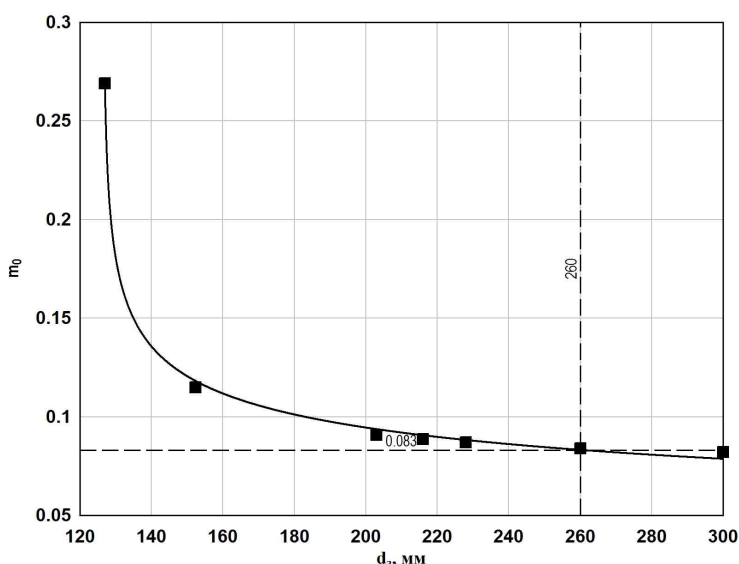


Рис.3. График зависимости  $m_o = \varphi(D_{\max}, d_{\text{скв}})$ .

## Выводы

1. Простейшие ВВ типа ANFO в скважинах диаметром менее 260 мм детонирует с заниженной скоростью по причине недостаточной массы промежуточного детонатора и низкой водоустойчивости ВВ.

2. Установили, что ввод в состав ANFO силиконового масла, как горючей добавки, очень существенно повышает водоустойчивость заряда и позволяет получить простейшие ВВ, которые можно применять в обводненных скважинах.

3. Установили величину промежуточного детонатора в скважинном заряде, который обеспечивает детонацию ANFO в оптимальном режиме с максимальной скоростью и выделением энергии при взрыве.

## Литература

- Ефремов Э.И. Пути повышения эффективности взрывчатых веществ простейшего состава / Э.И. Ефремов // Вісник КТУ. Вип. 23. – Київ, 2009. – С. 10-14.
- Кутузов Б.Н. Перспективы совершенствования ассортимента промышленных ВВ для карьеров / Б.Н. Кутузов // Горный журнал. – М., 1996. - № 9-10. – С. 39-43.
- Барон В.Л. Техника и технология взрывных работ в США / В.Л. Барон, В.Х. Кантор. – М.: Недра, 1989. – 375 с.
- Добрынин И.А. Обоснование параметров промежуточных детонаторов в скважинных зарядах для повышения эффективности дробления горных пород: автореферат дисс. на соиск. научн. степени канд. техн. наук: спец. 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород и горная теплофизика» / И.А. Добрынин. – М., 2010. – 20 с.
- Андреев К.К. Теория взрывчатых веществ / К.К. Андреев, А.Ф. Беляев. – М.: Оборонгиз, 1960. – 595 с.
- Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 185.

УДК 622.235.535.2

*В.В. БОЙКО, докт.техн.наук, А.А. КУЗЬМЕНКО, канд.техн.наук,  
В.А. ЛЕМЕШКО инж. - Институт гидромеханики НАНУ, г.Киев*

Взрывные работы (ВР) являются одним из важнейших технологических процессов в горнодобывающей отрасли, а также при выполнении специальных работ (разрушение зданий, фундаментов, труб, шахт пусковых установок и др.). В этом случае окружающие охраняемые объекты, подвержены динамическим воздействиям сейсмических колебаний, вызванных проведением взрывных работ. При этом, если интенсивность сейсмических волн может регулироваться изменением технологии взрывания, то кинематические или силовые параметры сейсмических волн (СВВ), коррелирующие с возникновением нарушений для целого ряда инженерных и природных объектов, требуют повторного определения, равно, как и их допустимая сейсмическая балльность. Для прогнозирования интенсивности СВВ необходимо знать критерии сейсмоопасности и их величину для многих типов охраняемых объектов. Эти данные для отдельных охраняемых объектов закреплены соответствующими нормативными документами. К сожалению, они в основном разработаны для типовых зданий и отсутствуют для инженерных объектов таких, как, например, уникальных сооружений, газопроводов, опор ЛЭП, склонов, плотин, и др.

Характеристиками СВВ являются кинематические (массовая скорость колебаний, период колебаний) и силовые параметры (напряжение на фронте волны, энергия колебаний), определяющие степень сейсмоопасности при взаимодействии с инженерными и природными объектами, и которые положены в основу нормативов безопасности. Под критерием сейсмоопасности для охраняемого объекта принимается такой параметр волны, который наилучшим образом коррелирует с повреждением или нанесением ущерба тому или иному типу охраняемого объекта. Наиболее часто в качестве критерия выступает максимальная векторная массовая скорость смещения частиц в сейсмической волне [1-9].

В литературе часто встречаются данные по оценке сейсмической опасности при взрывах по критической деформации [1], по критической удельной энергии [2], по массовой скорости [3,4] или согласно расчетов сейсмобезопасных расстояний, на основе ЕПБ при взрывных работах (1992 г.) [10].

Недостатком практически всех методов оценки сейсмозффекта является то, что они не учитывают

численной зависимости между уровнем сейсмобезопасности здания и его техническим состоянием, а также не учитывают взаимосвязь между частотными характеристиками СВВ и здания, что приводит к ошибкам в оценке сейсмобезопасности ВР и, как следствие, к остановкам предприятий по сейсмоопасности взрывов.

В настоящей статье приводятся сведения об аппаратуре, используемой для измерения СВВ, рассматриваются некоторые вопросы оценки сейсмобезопасности охраняемых объектов, для которых отсутствуют допустимые нормы безопасности при воздействии на них технологических и специальных взрывов и предлагаются рекомендации по определению сейсмобезопасных параметров взрывных работ.

**Аппаратурные комплексы для мониторинга сейсмического воздействия взрывных волн на охраняемые объекты.** Для сбора данных сейсмических измерений возможно использовать как цифровой осциллограф с запоминанием TDS-2014, так и аналого-цифровой преобразователь (АЦП) E14-440.

С целью анализа эффективности использования некоторых аппаратурных комплексов для мониторинга сейсмического воздействия взрывных волн на охраняемые объекты приведем сравнение технических характеристик средств накопления и отображения сейсмической информации (табл. 1).

Представленные в табл.1 сейсмографы *Vibracord Plus (модели Basic и Advanced)* и *Монитор взрывов* являются полностью автономными приборами, предназначенными для контроля сейсмических процессов в одной точке. В базовом комплекте поставки они комплектуются одним трехкомпонентным датчиком скорости или ускорения и одним датчиком воздушной волны.

**Таблица 1  
Сравнительная характеристика средств сбора информации**

№ п.п	Наименование характеристики	Осциллограф <i>TDS-2014</i>	АЦП <i>E14-440</i>	Сейсмограф <i>Vibracord Plus</i>	<i>Монитор взрывов</i>
1	Максимальное количество каналов	4	16/32	7(4)***	4
2	Количество выборок в секунду	от 10 <sup>-2</sup> до 10 <sup>9</sup>	от 2 до 2.5Е6	1024	1024
3	Разрядность АЦП, бит	8	8-12	12	16
4	Величина устройства памяти, байт	2.5 К	Используется память ПК*	32 М	Нет данных
5	Величина записи во времени при дискретизации 0.001с,	2.5	**	16	32
6	Средство отображения	Экран осциллографа	Экран ПК	4x20 символов + 4 светодиода	4x20 символов + кнопки навигации
7	Электрическое питание, В.	220, аккумулятор	От ПК	12, батарея	батарея
8	Рабочая темп-ра, град.		+5 <sup>0</sup> С - +40 <sup>0</sup> С	0 <sup>0</sup> С - +50 <sup>0</sup> С	Нет данных
9	Страна-изготовитель	США	Россия	Испания	Южно-Африканская Республика

Примечание:

\* ПК - персональный компьютер.

\*\* Величина записи ограничена свободным местом на логическом диске ПК.

\*\*\* В зависимости от комплектации.

Сейсмограф *Vibracord Plus* (модели *Pro* и *Expert*) комплектуется двумя трехкоординатными сейсмическими датчиками и одним датчиком воздушной волны. К недостаткам этих приборов можно отнести короткое время записи (16 и 32 секунды соответственно), малое количество подключаемых датчиков, возможность анализа формы сейсмических волн только на компьютере. Однако для экспресс-анализа на месте, если взрывы и соответственно сейсмические процессы достаточно короткие (10-20с), то выбор этих сейсмографов является оптимальным. Во-первых, с ними может работать технический персонал карьера, во-вторых, сразу после взрыва они отображают на мониторе максимальные скорости смещения грунта по координатам X, Y, Z, суммарную величину

максимальной скорости, как квадратный корень из суммы квадратов максимальных значений скоростей (или ускорений) по координатам X, Y, Z. Кроме этого, отображаются максимальные значения амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и соответствующие частоты.

Сравнительная краткая характеристика датчиков приведена в табл. 2. Авторами для сравнения результатов записи проведены измерения параметров СВВ аппаратным комплексом СМ-3→ АЦП Е14-440→ ПК и цифровым сейсмографом *Vibracord Plus*. Сейсмограф *Vibracord Plus*, оснащенный трехкоординатными датчиками (по координатам X, Y, Z), устанавливался рядом с аппаратным комплексом, состоящим из трех сейсмодатчиков СМ-3, соориентированных по направлениям X, Y, Z, а также АЦП Е14-440 и ПК.

Перед проведением измерений все сейсмические датчики проходили метрологическую поверку для получения Свидетельства Госстандарт-метрологии Украины о пригодности измерений.

Результаты измерений представлены в табл. 3.

**Таблица 2**  
**Сравнительная характеристика сейсмических датчиков**

№ п. п.	Наименование	Тип	Количество Измерительных комплексов	Чувствительность	Диапазон частоты, Гц	Электропитание, В	Диапазон рабочей температуры, <sup>0</sup> С	Вес, кг
1	СМ-3	Эл-мех.	1	15В*с/м	2-50	Не треб.	-10 - +40	7.4
2	СМ-3В	Эл-мех.	1	135В*с/м	2-50	Не треб.	-10 - +40	7.4
3	АТП1	Пьезоэл.	3	1В/г	0.2-500	12	-30 - +50	4.0
4	S1073	Пьезоэл.	3	0.4В*с <sup>2</sup> /м	0.2-1000	15	-20 - +40	2.2
5	S2123	Емкост.	3	1500В*с/м	0.5-70	12	-20 - +40	2.5
6	СД1Э	Пьезоэл.	3	100В/г	0.15-400	15	-40 - +65	0.3
7	GS20DX	Эл-мех.	3	*	2 - 250	****	0 - +50	***
8	GS11D	Эл-мех.	3	**	2 - 250	****	0 - +50	***

Примечание: \* Максимальная величина скорости ± 20см/с.

\*\* Максимальная величина скорости ± 18см/с.

\*\*\* Вместе с сейсмографом **Vibracord Plus** весит 4 кг.

\*\*\*\* Подключается к **Vibracord Plus**. (Нет данных).

**Таблица 3**  
**Значения скорости смещения грунта (см/с) по результатам измерения различными сейсмоаппаратурными комплексами**

Составляющая колебаний	Комплекс <b>СМ-3</b> → <b>Е14-440</b> → <b>ПК</b>	<b>Vibracord Plus</b>
X	1.1 (0.178)*	1.33
Y	1.04(0.163)*	0.93
Z	1.6(0.154)*	1.2

Примечание \* - время вступления максимальных амплитуд скорости смещения грунта,с.

Анализ табл.3 показывает, что величины максимальных значений скоростей смещения грунта, зафиксированные указанными аппаратурными комплексами, находятся практически на одном уровне.

Максимальное воздействие от колебательного процесса может оцениваться модулем полного вектора скорости колебаний

$$[u] = \sqrt{(u^x)^2 + (u^y)^2 + (u^z)^2}, \quad (1)$$

если скорость смещения по составляющим колебаний достигает максимума в одно и то же время [11].

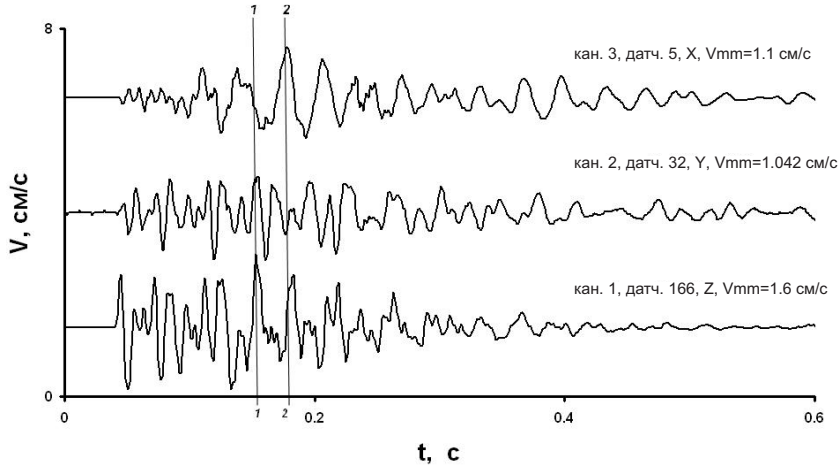
Приведенные данные подтверждаются фрагментом осциллограммы (рис.1), где представлены записи скорости смещения грунта по

трем составляющим (X, Y, Z).

Из табл. 3 и рис.1 видно, что разница во времени вступления максимальных амплитуд по составляющим колебаний почти равна периоду колебаний (T=0.029с), т. е. сдвиг фаз достигает 360°, и поэтому модуль полного вектора скорости не может определяться по максимальным значениям составляющих колебаний, зафиксированных в разное время. Сдвиг фаз не должен превышать 90°. К сожалению, эту ошибку допускают многие исследователи [12,13], нарушая не только сейсмологическое понятие модуля полного вектора, но и математическое. В рассматриваемом случае модуль полного вектора скорости определяется по линии 1-1 (рис.1), которая соответствует времени вступления составляющих колебаний 0.153с, или по линии 2-2 (0.178с). В этом случае, максимальное воздействие от колебательного процесса может быть оценено по формуле (1) и его значение составляет 1.9 см/с и 1.66 см/с соответственно.

# ВОПРОСЫ АППАРАТУРНОГО КОНТРОЛЯ И СЕЙСМОБЕЗОПАСНОСТИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ (часть 1)

Взрыв в Кашеевском карьере 03-04-09, измерительная точка 1, R=410м, Q=2240кг, Q<sub>гр</sub>=422кг

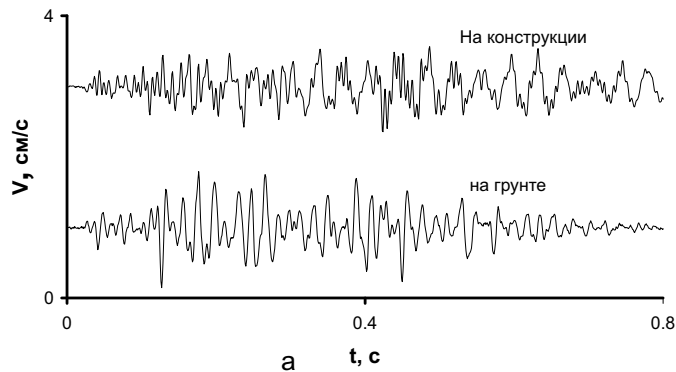


**Рис.1. Осциллограммы массового взрыва получены тремя сейсмоматчиками СМ-3, соориентированны по направлениям X, Y, Z**

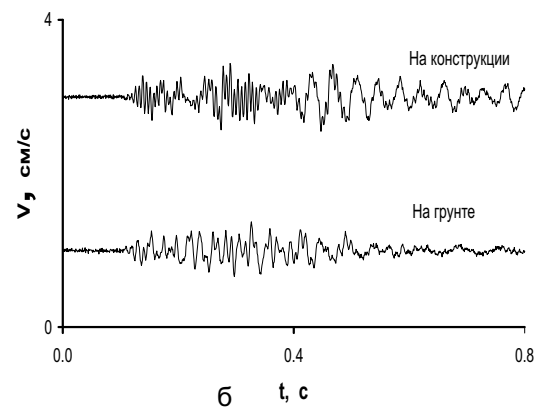
В качестве примера возможностей аппаратного комплекса СМ3→Е14-440→ПК исследуем записи воздействия массовых взрывов в Кашеевском карьере 18 ноября 2008 года на опору ЛЭП, расположенную на расстоянии 380м от взрываемого блока при взрыве №1 и на расстоянии 440м от взрываемого блока при взрыве №2. Сейсμοприемники СМ-3 устанавливались на грунт в основании опоры ЛЭП и на ее конструкции на высоте 4м и положение сейсμοприемников не изменялось между взрывами 1 и 2.

На рис.2 (а, б) представлены осциллограммы соответственно взрывов №1 и №2 по вертикальной составляющей, а в табл.4 приведены максимальные значения скорости смещения.

**Взрыв №1 в Кашеевском карьере 18-11-08**



**Взрыв №2 в Кашеевском карьере 18-11-08**



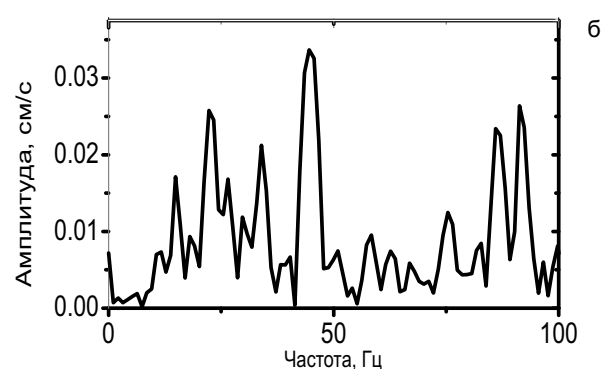
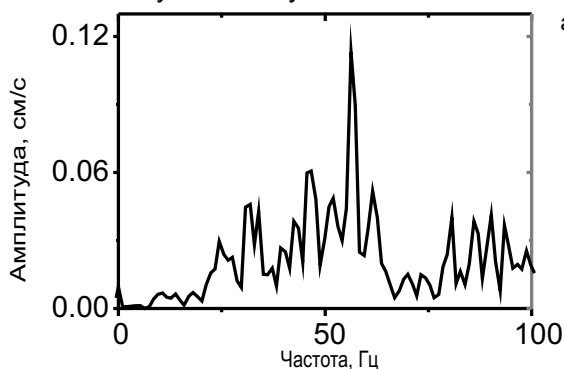
**Рис. 2. Осциллограммы массовых взрывов №1 и №2 по вертикальной составляющей**

**Таблица 4**  
**Максимальные значения скорости смещения (см/с) конструкции опоры и грунта**

Место установки сейсμοприемника	Взрыв №1	Взрыв №2
Конструкция опоры	0.64 см/с	0.45 см/с
Грунт основания опоры	0.85 см/с	0.37 см/с

Анализируя осциллограммы и данные табл. 4, можно заметить, что при взрыве №1 скорость колебания грунта больше, чем скорость колебания конструкции опоры, а при взрыве №2 – наоборот. В связи с этим могут возникнуть сомнения в качестве

записи или обработки данных эксперимента. Однако анализ амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) сейсмических колебаний, полученных комплексом и представленных на рис. 3 и 4, снимают эти сомнения.



**Рис. 3. АЧХ сейсмических колебаний, записанных сейсμοприемниками на грунте (а) и на конструкции опоры (б) при взрыве №1**

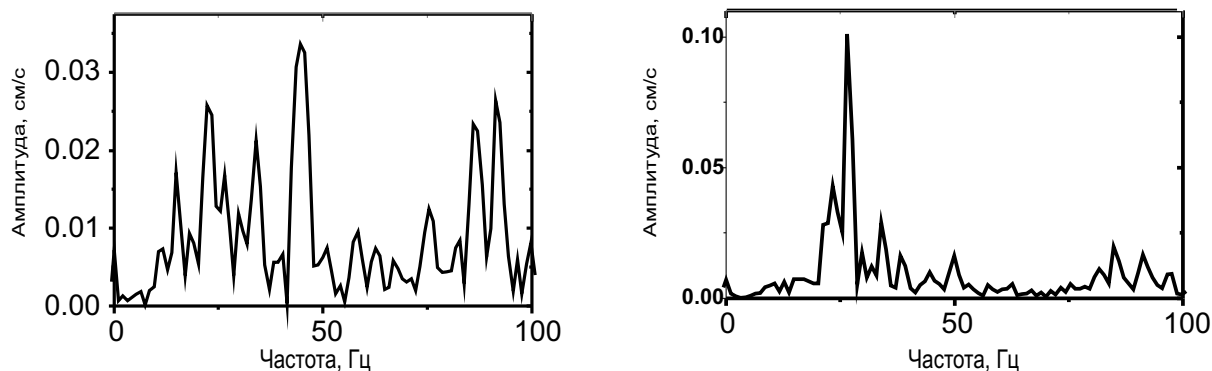


Рис. 4. АЧХ сейсмических колебаний, записанных сейсмоприемниками на грунте (а) и на конструкции опоры (б) при взрыве №2

Анализируя АЧХ, представленные на рис. 3б и 4б, можно отметить, что они для конструкции опоры при взрывах №1 и №2 имеют ярко выраженный пик амплитуды колебаний на частоте 26.5 Гц, которая является частотой собственных (свободных) колебаний конструкции опоры ЛЭП. Ярко выраженных амплитудных максимумов на частотах, близких к 26.5 Гц среди сейсмических колебаний, зафиксированных на грунте при взрыве №1, не было (рис.3а).

Поэтому резонансных явлений при взаимодействии СВВ с конструкцией опоры не происходило, и скорость колебаний конструкции опоры оказалась меньше, чем в приходящей СВВ из-за диссипативных потерь энергии при распространении колебаний по конструкции опоры. При взрыве №2 АЧХ сейсмических колебаний, зафиксированных в грунте в основании опоры (рис.4а), содержит амплитудный максимум на частоте, близкой к частоте собственных колебаний конструкции опоры (22.5 Гц), в данном случае сработал эффект резонансного явления между СВВ и конструкцией опоры, что привело к увеличению скорости ее колебания по сравнению со скоростью смещения грунта в 1.22 раза.

В результате проведенных исследований получено подтверждение того, что при исследовании действия СВВ на охраняемый объект необходимо проводить спектральный анализ колебательного процесса, записанного всеми сейсмодатчиками, а также аргументировано показано, что модуль полного вектора скорости смещения по значениям составляющих колебаний (X, Y, Z) определяется только в одно и то же время колебательного процесса. Исследования, приведенные выше проводились с использованием разработанного авторами аппаратного комплекса для мониторинга сейсмического воздействия взрывных волн на охраняемые объекты [14].

#### Список литературы

1. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. М.: Недра, 1976. – 271 с.
2. Цейтлин Я. И., Смолий Н. И. Сейсмические и

ударные воздушные волны промышленных взрывов. – М.: Недра, 1981. – 192 с.

3. Богацкий В. Ф., Пергамент В. Х. Сейсмическая безопасность при взрывных работах. – М.: Недра, 1978. – 128 с.
4. Кузнецов Г.В., Сисин А.Г. Действие сейсмозрывных волн на сооружения. Тр. "УНИИПромедь", вып.9, 1966. – С. 159-164.
5. Садовский М. А. Простейшие приемы определения сейсмической опасности массовых взрывов. – М.: Изд. АН СССР, 1946. – 29 с.
6. Сафонов Л. В., Кузнецов Г. В. Сейсмический эффект взрыва скважинных зарядов. – М.: Наука. – 1967. – 102 с.
7. Миронов П. С. Взрывы и сейсмобезопасность сооружений. – М.: Недра, 1973. – 168 с.
8. Безопасность взрывных работ в промышленности / Под ред. Б. Н. Кутузова. – М.: Недра, 1992. – 544 с.
9. Бойко В. В. 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.
10. Единые правила безопасности при взрывных работах.-К.: "Норматив", 1992. – 171с.
11. Физика взрыва /Под ред. Л.П. Орленко. Том 1. - М.:Физматлит, 2002. – 832 с.
12. Здешиц В.М. Измерение векторной скорости сейсмических колебаний с помощью запоминающего цифрового осциллографа TDS-2014//Вісник Криворізьського технічного університету. – Кривий Ріг, Вип.16. – 2007. – С.191-196.
13. Несмашний Е.О. Методика та результати визначення рівня сейсмічного навантаження на житлові будинки при проведенні вибухових робіт на кар'єрах Кривбасу/ Е.О. Несмашний, В.М. Здешиць, О.І. Бондурівська // Вісник КТУ. – Кривий Ріг. –Вип.4(14)–2006. –С.187-191.
14. Бойко В.В. Мобильная измерительная лаборатория/ В.В. Бойко., В.А. Лемешко, В.В.Бойко.(мл) и др. // Промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика. – Киев. –Вып.1. –2006. –С. 30-31.

