

**Е.В. МАЛЕЕВ**

(Украина, Днепропетровск, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины)

## **НАПРАВЛЕНИЯ СОКРАЩЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ**

*Актуальность.* На сегодняшний день источниками вредности для предприятий с технологическими процессами, куда относится и Кальчикский карьер, являются процессы, вызывающие шум, ультразвук, вибрацию, статическое электричество, электромагнитные и ионизирующие лучи, запыленность, разлет камней при взрывании пород, ударную волну, сейсмоопасную волну, выбросы вредных ядовитых газов. Наибольшее влияние на территорию и сооружения в целом оказывает сейсмическое воздействие при ведении буровзрывных работ в уменьшенной санитарно-защитной зоне. Поэтому в таких условиях санитарно-защитная зона должна устанавливаться от агрегатов, механизмов, площадок и сооружений, на расчетное безопасное расстояние.

*Цель* данной работы заключается в разработке способов снижения сейсмического воздействия на сооружения в условиях уменьшенной санитарно-защитной зоны до 300 метров.

Одним из важнейших аспектов при проведении взрывных работ является сейсмическая безопасность. Основным параметром при ее оценке принята максимальная скорость смещения грунта. А поскольку наиболее результативным способом снижения скорости колебаний при взрывных работах признано короткозамедленное взрывание, этот метод получил широкое распространение [1] при проведении горных выработок, добыче полезных ископаемых и в строительстве. Интенсивность затухания сейсмических волн зависит от свойств среды, в которых они распространяются. В скальных породах упругие волны движутся с меньшими потерями и передаются на большие расстояния.

Для создания условий высокопроизводительной работы предприятий горнодобывающей промышленности без нарушений устойчивости и стабильного состояния промышленных, гражданских и других объектов, что находятся рядом, возникает необходимость в технологии безопасного ведения взрывных работ. В первую очередь должна обеспечиваться их сейсмобезопасность. Основой данной технологии является применение комплекса способов уменьшения сейсмического эффекта массовых взрывов скважинных зарядов.

В настоящее время существует целый ряд способов уменьшения сейсмического воздействия массовых взрывов на различные объекты, которые нуждаются в защите. Основные способы по типу их применения делятся на три группы:

- способы, основанные на учете природных факторов (горно-геологические условия, рельеф местности, расположение объектов по отношению к месту ведения буровзрывных работ;
- защитные меры;

– технологические способы, позволяющие изменять динамические характеристики сейсмоволн за счет изменения условий взрывания зарядов.

Первая группа способов может применяться исключительно на стадии проектирования горнодобывающего предприятия, или застройки окружающих промышленных, гражданских и других сооружений. Правильно запроектировано расположение карьера и приближенных к нему объектов может свести к минимуму проблему сейсмической безопасности. Сейсмобезопасность в данном случае будет удовлетворяться за счет использования естественных преград на пути распространения сейсмоволн, учета сейсмических свойств грунтов в основаниях будущих сооружений. В случаях, если расположение объектов и горных разработок выбрано без учета вышеуказанных условий, что очень часто встречается, а технологическими способами нельзя добиться допустимых пределов сейсмического воздействия на объекты, которые имеют очень важное значение, приходится прибегать ко второй группе способов, которые называются защитными мерами. Защитные меры могут быть в виде создания сейсмостойких объектов, а также искусственного изменения условий прохождения сейсмических волн. Однако, здания с антисейсмическим укреплением в основном рассчитаны на одноразовые или изредка повторяющиеся нагрузки. Для объектов, расположенных в зоне влияния массовых взрывов и горнодобывающих предприятий, которые подвергаются воздействию многочисленных сейсмических нагрузок в течение многих лет, более рациональным является создание искусственных преград на пути распространения сейсмозрывных волн. Такими препятствиями, активно гасят сейсмическую энергию, или ее отражают, предварительно создавая разрушения зоны массива.

Исследованиями [2, 3] установлено, что скорость сейсмических колебаний за разрушенными зонами обычно уменьшается в 2-3 раза, что позволяет увеличить величину сейсмодопустимого заряда в 4-9 раз.

Использование способов защиты объектов путем предварительного создания экранирующей зоны является самым эффективным при подходе к предельному контуру карьера в том случае, если определенные объекты расположены прямо на его борту.

Обязательным условием всех антисейсмических мероприятий, а особенно технологических способов, должно быть повышение качества взрывного разрушения горной массы на основе принципа перераспределения энергии взрывчатого превращения взрывчатых веществ (ВВ) по видам механической работы. Способы технологической группы имеют наибольшие возможности регулирования параметров сейсмозрывных волн и преимущественно не требуют дополнительных затрат на сейсмобезопасность. Среди этой группы наиболее известными являются следующие способы:

- уменьшение массы зарядов;
- увеличение интервалов замедления между группами количества групп при короткозамедленном взрывании серий зарядов,
- изменение порядка инициирования отдельных зарядов или их групп
- изменение диаметра и конструкции скважинных зарядов;

## Екологія

- применение взрывчатых веществ с уменьшенной сейсмоактивностью;
- изменение геометрии расположения скважинных зарядов;
- изменение расположения взрывных блоков по отношению к охраняемым объектам.

*Влияние веса и расположения заряда на сейсмический эффект от взрыва.* Максимальная векторная скорость смещения грунта, масса заряда и расстояние связаны эмпирической зависимостью, предложенной М.А. Садовским и которую можно представить следующей формулой:

$$V = K \left( \frac{\sqrt[m]{Q}}{r} \right)^n,$$

где  $V$  – скорость колебаний, см/сек;  $Q$  – масса заряда, кг;  $r$  – расстояние от места взрыва до места наблюдения, м;  $K$  – эмпирический коэффициент,  $m$  и  $n$  эмпирически определяемые константы.

Формула нашла широкое применение в практике. Установлено по экспериментальным данным, что имеет место увеличение частоты колебаний грунта с увеличением максимальной векторной скорости, то есть с увеличением приведенной массы заряда ВВ максимальной в группе, увеличивается частота колебаний грунта [4] (рис. 1).

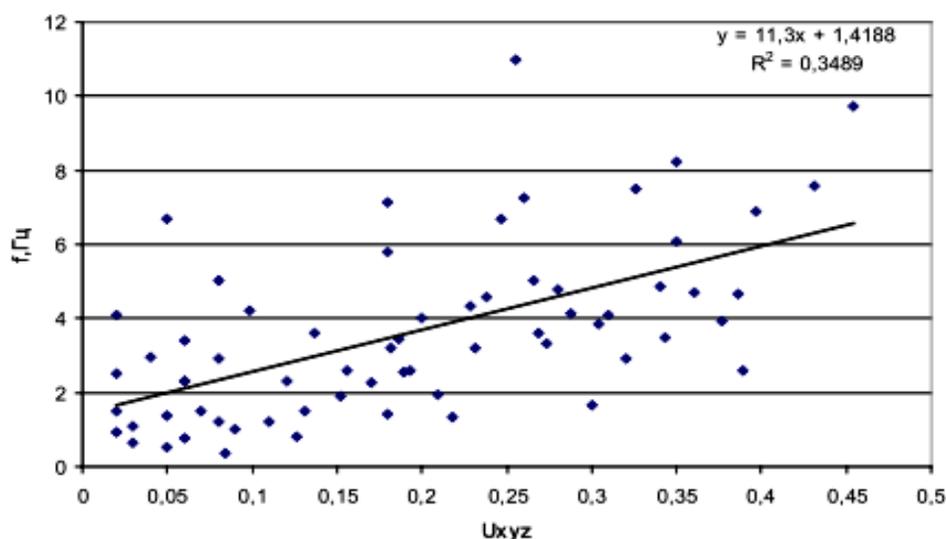


Рис. 1. Зависимость частоты колебания грунта от максимальной частоты колебания грунта

Возрастание сейсмического эффекта от взрыва с увеличением глубины заложения заряда происходит до глубины полного камуфлета, то есть до такой глубины, когда взрыв не вызывает видимых нарушений на поверхности земли. При дальнейшем увеличении глубины заложения заряда интенсивность колебаний на дневной поверхности снижается. Возрастание скоростей смещений объемных и поверхностных волн происходит неодинаково. С увеличением глуби-

ны, скорости и смещения объемных волн неизменно возрастают, а скорости и смещения поверхностных волн возрастают до определенного предела и затем снижаются.

*Влияние типа ВВ и системы неэлектрического инициирования на сейсмический эффект от взрыва.* Влияние типа ВВ на сейсмический эффект от взрыва установлено сравнительно недавно, ранее считалось, что ВВ различного типа в пределах точности опыта дают одинаковый сейсмический эффект от взрыва. Установлено, что более мощные ВВ дают больший сейсмический эффект по сравнению с менее мощными ВВ. Внутрискважинную сеть необходимо монтировалась с использованием изделий скважинных неэлектрических систем инициирования, поверхностная с использованием изделий поверхностных неэлектрических систем инициирования (25, 42, 67, 109, 176 мс) или детонирующего шнура и реле пиротехнических (20,45, 60, 80 мс). Выбор интервалов замедления при использовании систем неэлектрического инициирования зарядов производится большинством потребителей без учета отклонений фактических интервалов замедлений в элементах поверхностных систем (детонаторах-замедлителях) и, особенно, в скважинных детонаторах. При использовании системы инициирования неэлектрического взрывания (СИНВ) установлен факт разброса амплитуд скоростей колебаний грунта [4] при одной и той же приведенной массе заряда ВВ максимальной в группе, который можно объяснить одновременным взрыванием большего количества зарядов, чем было запроектировано (рис. 2).

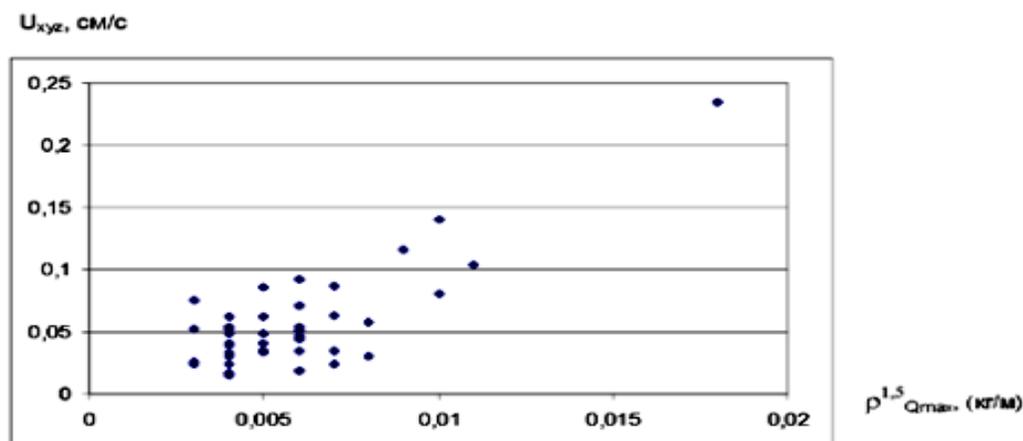


Рис. 2. Поле корреляции максимальной векторной скорости колебания грунта и приведенной массы заряда ВВ максимальной группы

Это происходит из-за фактических отклонений интервалов замедления от номинала капсулей-детонаторов скважинных и поверхностных изделий неэлектрической системы инициирования.



Рис. 3. Взрыв блока с использованием системы СИНВ

Традиционно наибольшее распространение в практике горного дела получил способ уменьшения сейсмической опасности за счет ограничения массы зарядов. Он является самым простым, и его обычно применяют в тех случаях, когда вопрос сейсмичности в конкретных условиях определенного карьера не изученным. Однако, с внедрением прогрессивного короткозамедленного взрывания многочисленными исследованиями установлено, что наибольшей эффективности сейсмотеопасности, а заодно и экономических показателей буровзрывных работ возможно достичь путем ограничения массы зарядов взрывчатого вещества, которая приходится на одну группу замедление. Оптимальные величины интервалов замедление между отдельными взрывами групп зарядов, при которых не наблюдается рост интенсивности сейсмоколебания с увеличением количества групп при короткозамедленном взрывании зависят от акустических свойств массива, его строения, величины и параметров расположения зарядов. Сложность учета всех факторов, влияющих на минимизацию сейсмического эффекта в реальном горном массиве, утверждает о целесообразности подхода к явлению сейсмоэффекта взрыва с позиции минимизации его единичных первичных источников, их способности к излучению сейсмоволн повышенных частот, то есть увеличение продолжительности взрывного нагружения массива, о котором говорилось выше.

Одним из эффективных способов уменьшения сейсмического эффекта есть также уменьшение диаметра скважинных зарядов. Согласно методу подобия действия взрывов [4] энергия сейсмических колебаний в определенной точке, которая находится на некотором расстоянии от источника, является пропорциональной отношению радиуса заряда до этого расстояния, то есть между расстоянием одинаковой интенсивности сейсмоколебаний и радиусом заряда су-

ществует прямо пропорциональная зависимость. Таким образом, при одинаковом количестве ВВ в серии скважинных зарядов, но при уменьшенном диаметре каждого заряда, будет иметь место большее число единичных источников уменьшенной интенсивности и более высокочастотного состава. В связи с этим с появлением в Украине высокопроизводительной буровой техники иностранного производства наблюдается повсеместный переход на заряды уменьшенного диаметра, особенно на горных предприятиях скальных строительных материалов, расположенных в густонаселенных районах, где остро встал вопрос о необходимости уменьшения размеров санитарно-защитных зон.

Опыт сейсмических исследований в горном деле [2, 3] показал, что значительного эффективности уменьшение сейсмического воздействия промышленных взрывов на различные объекты возможно достичь за счет применения рациональных конструкций скважинных зарядов. Для этой цели разными авторами предложено формирование воздушных промежутков в средней части зарядной камеры [6], в перебуре [7] и кольцевые и радиальные зазоры [5]. Применение таких конструкций способствует увеличению продолжительности действия волн напряжения на массив, повышает их взаимодействие, что в конечном итоге повышает полезную работу взрыва уменьшая уровень сейсмических колебаний [3; 6]. Однако, качества дробления горной массы, а также значительно увеличивает радиус разлета кусков.

Во многих случаях уменьшение сейсмического воздействия добиваются определенным расположением взрывных блоков по отношению к охраняемым объектам.

Основными недостатками существующих инженерных способов уменьшения и сейсмобезопасных промышленных взрывов скважинных зарядов на карьерах есть следующие:

– большинство известных способов уменьшения сейсмонебезопасных взрывов и не предусматривают конкретизации сейсмического эффекта за зоной действия или по видам упругих волн, что приводит к погрешностям его оценки в близкой и дальней зонах.

– недостаточно используются возможности экранизации сейсмической энергии естественным трещинам скальных массивов;

– в расчетах сейсмобезопасности взрывания в трещиноватых скальных массивах не учитывается влияние их обводненности на анизотропию распространения сейсмоколебаний;

– расчеты сейсмоопасных зон осуществляются без учета взаимного ориентирования направленности сейсмоизлучения при конкретных схемах КЗВ и простираения системы природных субвертикальных раскрытых трещин;

– известные способы не предусматривают использование фактора обводненности скального массива для рационального перераспределения взрывной энергии и уменьшения расхода её на сейсмоэффект;

– в расчетах сейсмобезопасности не учитывается ориентирования фронта волны напряжения от взрыва отдельного вертикального скважинного заряда при массовых взрывах в трещиноватых скальных массивах;

## **Екологія**

Доработка указанных недостатков при проектировании массовых взрывов в карьерах основываясь на комплексном использовании условий трещиноватости и обводненности скальных массивов на основе рациональных конструкций и способов инициирования скважинных зарядов позволит эффективнее использовать энергию взрыва и существенно повысить безопасность окружающих зданий, сооружений и объектов другого назначения, которые подлежат охране от негативного воздействия взрывных работ.

Исходя из выше изложенного произведем расчет на сейсмобезопасное действие, взрывов за счет изменения массы зарядов и схем коммутации. На основе результатов расчетов сделаем соответствующие выводы.

*Расчетные результаты параметров сейсмоволн*

Расчет выполняем по методике [3], и результаты представим в таблице 1:

*Таблица 1*

Результаты расчетов скорости сейсмоволн при различных схемах взрывания

№	Масса зарядов, кг	Диагональная схема взрывания		Врубовая схема взрывания		По скважинная схема взрывания	
		$V$ , см/с	$r_c$ , м	$V$ , см/с	$r_c$ , м	$V$ , см/с	$r_c$ , м
$d_{скв}$ , мм							
110	134	1,14	292	0,83	295	0,31	298
150	245	1,55	294	1,14	298	0,38	299
220	532	2,27	295	1,7	295	0,55	300

*Таблица 2*

Результаты расчета безопасных расстояний по разлёту кусков, ударной волне, детонации и ядовитых газов

Диаметр скважины, $d_{скв}$ , мм	Расстояние по разлётам кусков,	Расстояние по ударной волне,	Расстояние по действию детонации, $r_d$ , м	Расстояние по действию ядовитых газов, $r_2$ , м
	$r_{роз}$ , м	$r_в$ , м		
110	290	380	85	263
150	346	451	120	300

По данным таблицы 1-2 ниже построены графики зависимости расстояния распространения сейсмоколебаний  $r_c$  от диаметра скважины  $d$  и скорости  $V$ .

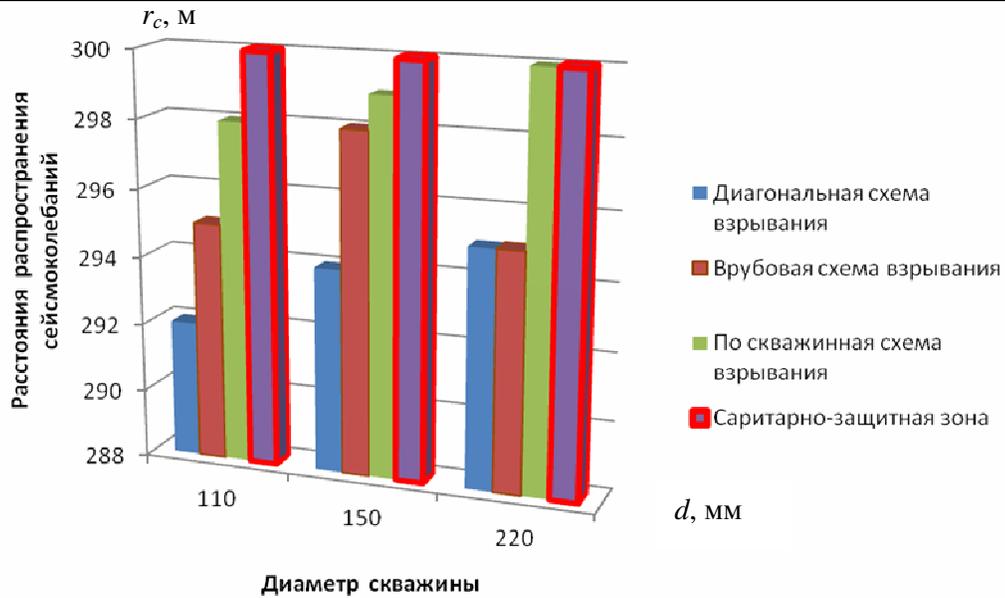


Рис. 1. Зависимость расстояния распространения сейсмических волн от диаметра заряда

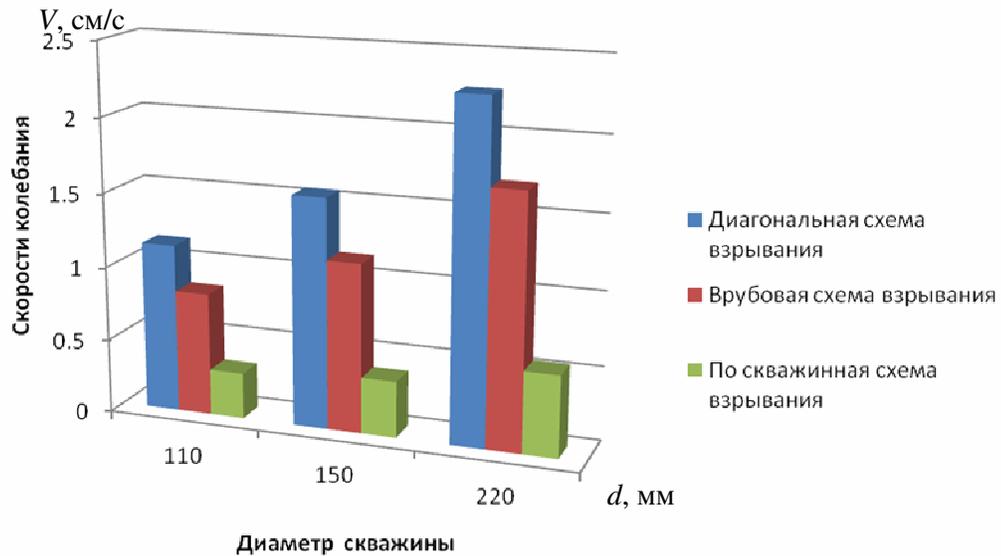


Рис. 2. Зависимость скорости колебания грунта от диаметра скважины

Покажем изменение массы заряда от диаметра (рис. 3).

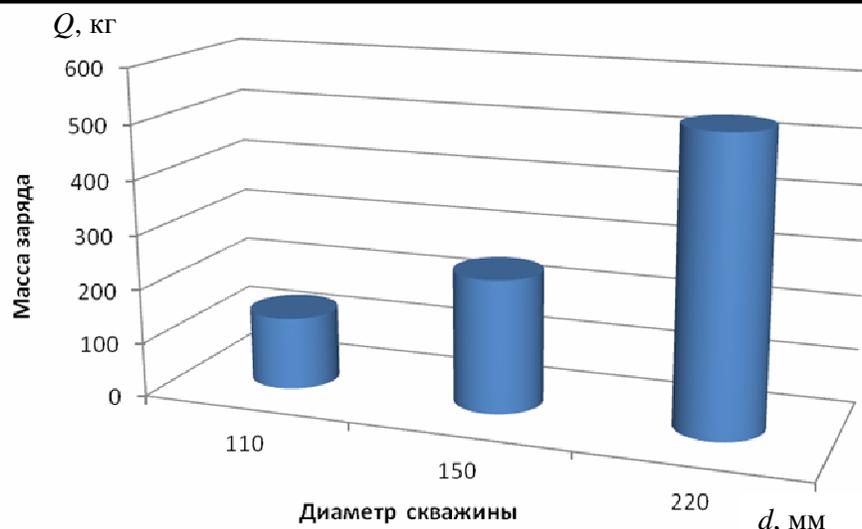


Рис. 3. Зависимость массы заряда от диаметра скважины

На основании выполненных расчетов и построенных графиков, можно сделать следующий вывод:

– по радиусу распространению сейсмической волны в зависимости от диаметра скважинного заряда по размерам СЗЗ (300 м) диагональная схема может применяться при всех диаметрах, а врубовая и по скважинная схема – только при диаметре 110 и 150 мм.

– по скорости колебания грунта, рационально применима только диагональная схема при диаметре 150 мм, (допустимая скорость колебания грунта составляет 1,5 см/с) [3].

Кроме того указанные результаты свидетельствуют о том, что на данном карьере для уменьшения сейсмического воздействия в условиях уменьшенной санитарно-защитной зоны необходимо выполнить следующее:

- применять эмульсионное ВВ типа Украинит-2 ПМ;
- применять диагональную схему взрывания, с замедлением не более 25 мс;
- принимать диаметр скважины 150 мм;
- использовать в конструкции зарядов воздушные промежутки и гидрозабойку;

Как показали исследования действие сейсмических волн вследствие проведения массовых взрывов приобретает наряду с социальными, экономическими, экологическими значениями глобальные проблемы. Было доказано, что изменение конструкции скважинного заряда представляет широкие возможности помимо управления процессом разрушения горных пород, но и распространение сейсмических волн на прилегающие территории и сооружения в целом.

### Список литературы

1. Симоненко В.И. Технологические решения снижающие воздействие горного производства на природную среду при разработке гранитных месторождений Украины [Текст] / **Збагачення корисних копалин, 2014. – Вип. 58(99)-59(100)**

В.И. Симоненко, А.В. Черняев, А.В. Мостыка, С.В. Пацера / Проблемы открытой разработки месторождения полезных ископаемых: материалы науч.-техн. конф. 29-30 ноября 2007 г. Екатеринбург: из-во УТГУ, 2010 – С. 289.

2. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах [Текст] / Мосинец, В.Н. – М.: Недра, 1976. – 221 с.

3. Кравец В.Г. Методы расчета и строительства преград с использованием энергии взрыва [Текст] / В.Г. Кравец, И.И. Денисюк // Взрывные работы в грунте.– К.: Наукова думка, 1975. – С. 168-172.

4. Цейтлин, Я.И., Смолий Н.И Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов. – М.: Недра, 1981. – 192 с.

5. Садовский М.А. Простейшие критерии определения сейсмической опасности массовых взрывов [Текст] / М.А. Садовская. – М.: АН СССР, 1946. – 184 с.

6. Гемба В.И. Сейсмический эффект взрыва заряда, расщепленного воздушным промежуток [Текст] / В.И. Гемба // Сборник научных работ, Магнитогорский горнотехнический институт им. Т.Н. Носов. – 1975. – Вып. 151. – С. 77-83.

7. Прищепа Е.А. Эффеутивный способ снижения сейсмического эффекта в ближней зоне [Текс] //А.А. Прищепа, Ю.Ф. Кучерявый / Взрывное дело. – 1974. – № 71/28 – С. 181-184.

© Малеев Е.В., 2014

*Надійшла до редколегії 06.10.2014 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. М.С. Четвериком*