

## ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ОХРАНЯЕМЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ВЗРЫВАХ НА КАРЬЕРАХ

*В. Д. Воробьев, докт. техн. наук, Л. И. Демешук, канд. техн. наук, В. Н. Кобасов, инж. (ННИИПБОТ), Р. М. Сидор (ОАО «Николаевцемент»), А. М. Пасечник, асп. (НТУУ «КПИ»)*

*Наведено результати експериментальних досліджень щодо визначення зміни швидкості коливань ґрунту з відстанню при підірвних роботах на кар'єрах. Розроблено рекомендації щодо зниження сейсмічної дії промислових вибухів на вапняковому та гіпсовому кар'єрах ВАТ «Миколаївцемент».*

В современных социально-экономических условиях в Украине существенное повышение эффективности работы горнодобывающих предприятий может быть достигнуто за счет снижения расходов на проведение взрывных работ с одновременным повышением качества подготовки горной массы и безопасности этого технологического процесса. Это особенно важно при разработке сложноструктурных месторождений и в районах сельскохозяйственного строительства. В этих условиях различные гражданские и промышленные объекты (жилые дома поселков, здания специального назначения: школы, церкви, больницы, фермы и др.), прилегающие к местам проведения взрывных работ, подвергаются сейсмическому воздействию, которое снижает их стойкость, а в ряде случаев приводит к полному разрушению и провалам в пустоты. Поэтому исследование, обоснование и внедрение сейсмобезопасных параметров массовых взрывов необходимо выполнить как с целью улучшения качества подготовки горной массы, так и для создания безопасных условий эксплуатации гражданских и промышленных зданий и сооружений.

Следует отметить, что проблема сейсмостойкости сельских зданий и сооружений раньше ни в Советском Союзе, ни за границей не поднималась. Публикации, посвященные этому вопросу, практически отсутствуют. Обычно при решении вопросов обеспечения сейсмостойкости сельских объектов использовались результаты исследований, касающихся зданий различного назначения, что в ряде случаев приводило к нежелательным последствиям [1].

В разработку антисейсмических мероприятий при проведении взрывных работ значительный вклад внесли отечественные и зарубежные ученые [2–8]. Однако при наличии сложных горно-геологических условий, в особенности применительно к объектам сельской местности, зачастую невозможно использовать известные выводы и рекомендации.

Характерным примером является производство взрывных работ на Домне-Добрянском известняковом и Щирецком гипсовом карьерах ОАО «Николаевцемент» (Львовская обл.). Известняки, разрабатываемые Домне-Добрянским карьером, имеют различную степень трещиноватости, в основном горизонтальной. Производство взрывных работ на этом карьере оказывает

определенное влияние на состояние жилых домов и других объектов расположенного рядом села Добряны.

Гипсовое месторождение, разрабатываемое Щирецким карьером, представлено породами с хаотичной трещиноватостью и сильной закарстованностью (20...25%). Места расположения карьеров и их размеры точно не определены. На расстоянии более 1 км от карьера находится с. Писки. В направлении карьера, в 160 м от этого села, расположено озеро, которое одновременно с находящимися в массиве карстами может оказывать определенное влияние на характер распространения сейсмических волн при ведении взрывных работ (рис. 1).

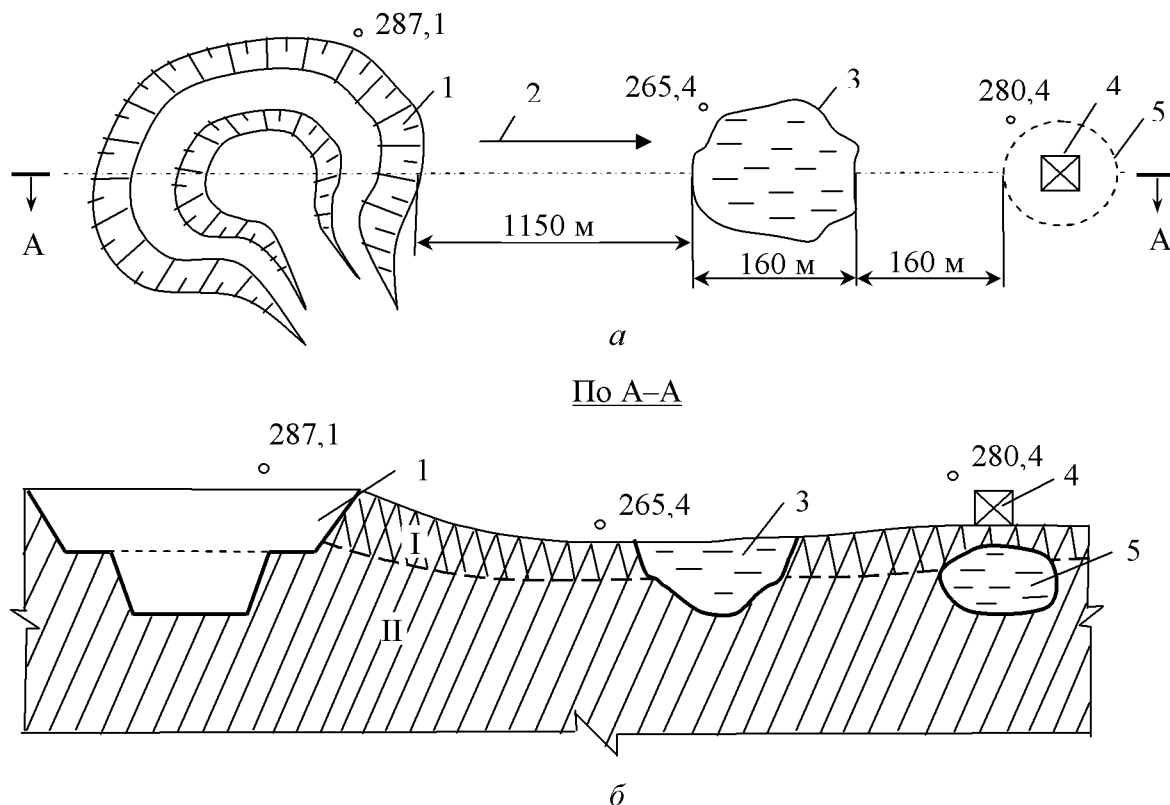


Рис. 1. Схема расположения объектов при распространении сейсмических волн от массовых взрывов на Щирецком карьере в плане (а) и по разрезу А–А (б): 1 – карьер; 2 – направление распространения сейсмических волн; 3 – озеро; 4 – жилой дом в с. Писки; 5 – карст; I – мягкий грунт; II – скальная порода

При возбуждении в массиве горных пород сейсмических колебаний сохранность зданий и сооружений носит вероятностный характер, реализация которого оценивается скоростью колебаний, зависящей от конструктивных особенностей этих объектов, параметров взрыва и свойств подстилающих пород. И если параметры взрыва можно регулировать для достижения допустимой скорости колебаний грунта, то получение достоверных знаний о свойствах горного массива является сложной задачей, для решения которой необходимо проводить специальные исследования свойств и строения массива горных пород.

Можно предположить, что наличие карстов в массиве пород, на котором расположено с. Писки, весной 2006 г. послужило причиной провала жилых домов № 95 и 97 (рис. 2). Не исключается и возможность образования в карсте, заполненном водой, пустот за счет понижения уровня воды в озере на 1,0...1,5 м. Однако эти предположения требуют проверки.

Для установления влияния взрывных работ в Щирецком карьере на жилые дома в с. Писки были проведены работы по обследованию состояния домов и измерению скорости сейсмических колебаний.

Цель работы – проведение экспериментальных исследований и разработка рекомендаций по снижению сейсмического действия взрывных работ в карьерах ОАО «Николаевцемент».



*а*



*б*



*в*



*г*

Рис. 2. Характер разрушения жилых домов в с. Писки: *а* – начало разрушения дома № 97; *б* – воронка после провала дома № 97; *в* – стена дома № 97 и начало разрушения дома № 95; *г* – воронка между домами № 95 и 97 (другой ракурс)

В рамках проводимых исследований были поставлены следующие задачи:  
обследование зданий и сооружений сел Добряны и Писки и их классификация по уровню сейсмобезопасности;

регистрация скорости сейсмоколебаний грунта при взрывах в карьерах с оценкой их влияния на сейсмостойкость зданий и сооружений;

разработка рекомендаций по сейсмобезопасному ведению взрывных работ на Домне-Добрянском и Щирецком карьерах.

Известно, что стойкость жилых домов и сооружений существенно зависит от типа несущих конструкций. Одноэтажные дома населенных пунктов со стенами из кирпича-сырца под воздействием сейсмических колебаний повреждаются сильнее по сравнению с домами со стенами из обожженного кирпича. В сборно-щитовых деревянных домах повреждения минимальные. Крупнопанельные здания более стойкие к динамическим нагрузкам [1].

Оценка повреждений жилых домов сел Добряны и Писки, возникших предположительно вследствие проведения взрывных работ, проводилась методом их внешнего осмотра. Методика обследования домов предусматривала установление характера раскрытия трещин (сквозные, не сквозные) и их ширины. Результаты измерений через определенное время уточнялись. Для определения характера изменения трещин, обнаруженных на стенах жилых домов, были установлены «маяки». В результате обследования состояния домов была проведена их классификация по сейсмостойкости. После анализа полученных сведений по шкале сейсмической интенсивности взрывов определялась допустимая скорость сейсмических колебаний при однократном взрыве.

Скорости колебаний, при которых наблюдаются те или иные нарушения в строениях, меняются в незначительных пределах – от 0,3 см/с (осыпание побелки) до 12...18 см/с (повреждение конструктивных элементов построек) [4]. При этом необходимо отметить, что нарушения, вызванные относительно слабыми колебаниями, наблюдаются, как правило, при систематически повторяемых взрывах, от многократного воздействия которых строения стареют вследствие накопления в их элементах остаточных микродеформаций. В современных условиях на горнодобывающих предприятиях взрывы проводятся неоднократно. Таким образом, понятие допустимой скорости при однократном взрыве практически утратило смысл. Поэтому, учитывая многократность взрывов, допустимая скорость была сознательно снижена на 1...2 балла и для сел Добряны и Писки принята равной 0,5 см/с.

Для оценки сейсмического действия массовых взрывов на указанные объекты использовалась стандартная сейсмометрическая аппаратура: сейсμοприемники СМ-3, СМ-3В, аналого-цифровой преобразователь Е14-440 и ПК типа ноутбук. С помощью этой аппаратуры на сейсмограммах (рис. 3) регистрировалась скорость сейсмоколебаний ( $V$ ) грунта в основании жилых домов, находящихся в непосредственной близости от карьера.

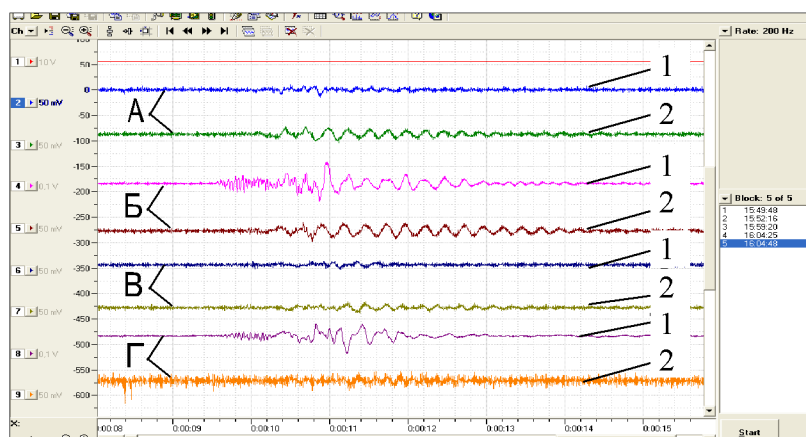


Рис. 3. Характерная осциллограмма массового взрыва: А,...Г – запись в точках измерений в направлении от карьера до села (сверху вниз); 1 и 2 – вертикальная и горизонтальная направляющие

В результате анализа полученных результатов измерений были определены временные, амплитудные и частотные значения зарегистрированных колебаний грунта. Скорость сейсмоколебаний  $V$  определялась по известной методике [8].

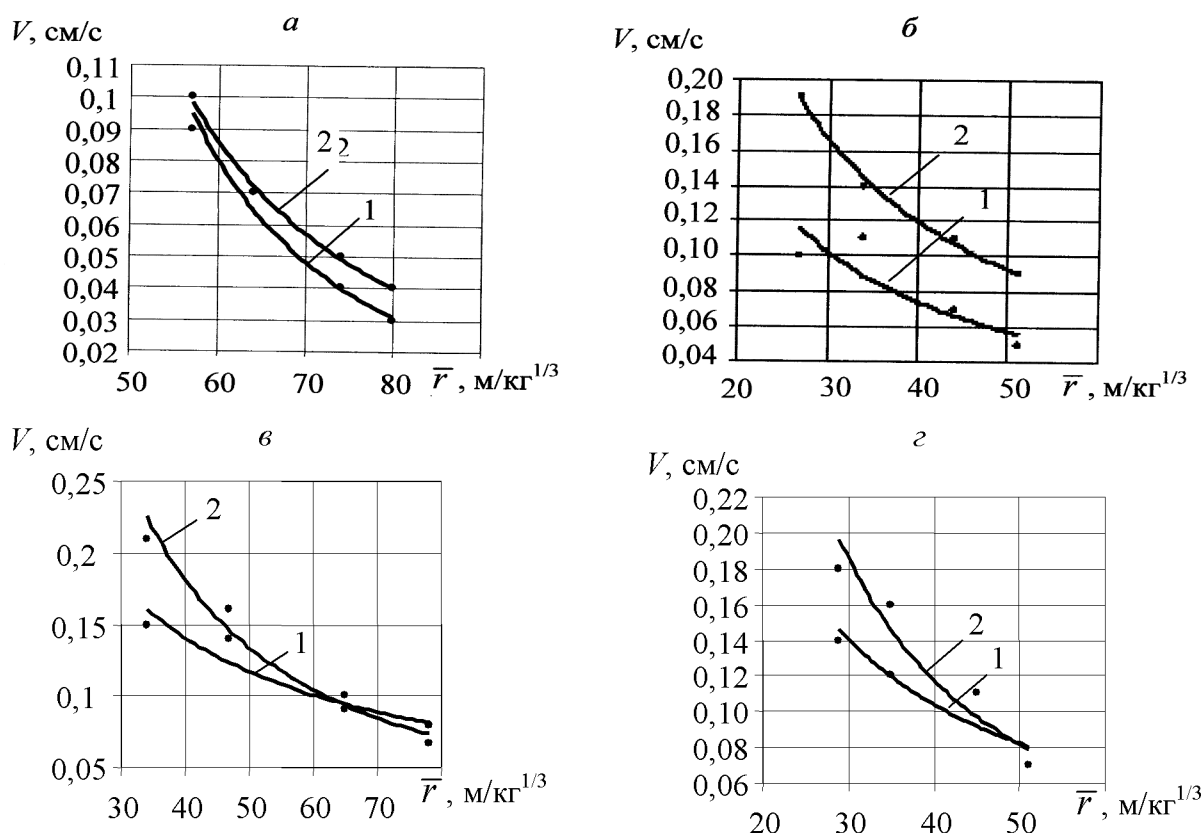


Рис. 4. Изменение скорости колебаний грунта по горизонтальной (1) и вертикальной (2) составляющих при взрывах на Добрянском карьере: а – 05.07.2006 г.; б – 06.07.2006 г.; в – 20.09.2006 г.; г – 22.09.2006 г.

Полученное значение  $V$  в каждой измерительной точке вносилось в таблицу. Эти данные вместе с данными о параметрах взрыва составляли основу для анализа. По экспериментальным значениям  $V$  устанавливались функциональные графические зависимости  $V = f(\bar{r})$  (рис. 4), где  $\bar{r}$  – эквивалентное приведенное расстояние,  $\text{м/кг}^{1/3}$ , ( $\bar{r} = R/\sqrt[3]{Q}$ );  $R$  – абсолютное расстояние от места взрыва до точки измерения, м;  $Q$  – масса взрываемого ВВ, кг.

Из рис. 4 следует, что с увеличением расстояния от места взрыва величина  $V$  уменьшается. Максимальное значение  $V$ , где  $R = 280$  м, полученное при проведении взрыва 05.07.2006 г., равняется 0,21 см/с, минимальное при  $R = 1200$  м – 0,03 см/с, взрыв 20.09.2006 г.

Представленные зависимости  $V = f(\bar{r})$  аппроксимируются следующими уравнениями:

рис. 4, а: 1 –  $V = 2,9202 r^{-0,82}$  ;

2 –  $V = 27,035 r^{-1,36}$  ;

рис. 4, в: 1 –  $V = 62423 r^{-3,31}$  ;

2 –  $V = 4384 r^{-2,65}$  ;

рис. 4, б: 1 –  $V = 5,0419 r^{-1,05}$  ;

2 –  $V = 44,115 r^{-1,61}$  ;

рис. 4, г: 1 –  $V = 4,9134 r^{-1,134}$  ;

2 –  $V = 8,0849 r^{-1,14}$  .



Скорость колебания грунта при массовых взрывах на Щирецком карьере с расстоянием уменьшается от 0,08...0,09 до 0,02...0,03 см/с (рис. 5).

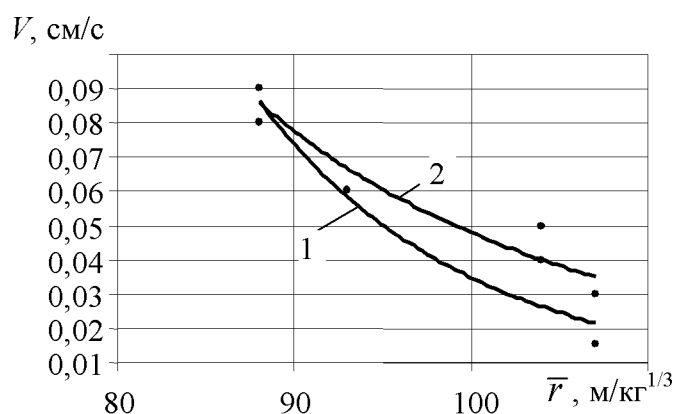


Рис. 5. Изменение скорости колебаний грунта по горизонтальной (1) и вертикальной (2) составляющих при взрывах на Щирецком карьере (04.07.2006 г.)

Характер изменения функциональных зависимостей 1 и 2, полученных по результатам экспериментальных данных, аппроксимируются соответственно уравнениями логарифмического вида:

$$V = -0,29 \ln(r) + 1,38;$$

$$V = -0,25 \ln(r) + 1,22.$$

Таким образом, анализ результатов измерений скорости сейсмоколебаний грунта при взрыве скважинных зарядов на карьерах указывает на то, что она не превышает предельно допустимого уровня (0,5 см/с).

Для повышения эффективности и безопасности взрывных работ, снижения сейсмического действия на охраняемые объекты и затрат на взрывные работы могут быть рекомендованы следующие методы и средства взрывания.

1. Скважинные заряды, способные регулировать сейсмическое действие взрыва, с применением различных типов ВВ, средств и способов инициирования.

При наличии блочных массивов пород, разделенных прослойками мягких грунтов, рекомендуется использовать заряды, рассредоточенные инертными и воздушными промежутками. При этом части ВВ располагают в естественных отдельностях, а инертные промежутки – рядом с прослойками мягких грунтов. Скорость сейсмоколебаний в этом случае меньше, чем при взрыве сплошных зарядов, в 1,5...2 раза в ближней зоне и практически одинакова при взрыве зарядов всех конструкций в дальней зоне.

2. Взрывчатые вещества местного приготовления на основе аммиачной селитры с более безопасными и эффективными характеристиками, с уменьшением содержания тротила и увеличением доли ВВ, изготавливаемых из невзрывчатых компонентов.

3. Средства и способы инициирования скважинных зарядов ВВ:

детонирующий шнур низкой энергии (ДШЕ-68ДТ с массой сердцевинки 6 г/м и скоростью детонации 6200...6400 м/с);

электродетонаторы пониженной чувствительности с безопасным током 1 А и гарантийным током 5 А (три группы: 1,3/4,0; 2,5/7,0; 10/30 А);

неэлектрические системы инициирования типа Нонель. К таким системам принадлежат «Дино-Нобель АБ» (Норвегия), «Инсайд-Бикфорд» (США), УЕВ (Испания), СИНВ и «Эдилин» (Россия) и др.

Применение этих систем на горнодобывающих предприятиях Украины позволит в 4...5 раз снизить сейсмический эффект и уменьшить расходы на взрыв 1 м<sup>3</sup> горных пород от 4 до 6 коп.

4. Предварительное щелеобразование при взрыве серии зарядов ВВ в разрушаемом блоке пород; гашение сейсмических колебаний за счет создания щели взрывом первого (окаنتуривающего) ряда зарядов с замедлением относительно других зарядов 50...100 мс на ближнем к поселку фланге взрываемого блока пород; создание экрана (щели) с заполнением его, например, перлитом, на рассчитанном расстоянии от ближайшего к месту взрыва охраняемого объекта.

1. *Мартемьянов А. И.* Сейсмостойкость зданий и сооружений, возводимых в сельской местности. – М.: Стройиздат, 1982. – 176 с.

2. *Густафссон Р.* Шведская техника взрывных работ / Пер. с англ. под ред. проф. Г. П. Демидюка. – М.: Недра, 1977. – 264 с.

3. *Мосинец В. Н., Богацкий В. Ф.* Основные научно-технические проблемы сеймики ближней зоны // Взрыв. дело. – М.: Недра. – 1983. – №85/42. – С. 89–101.

4. *Богацкий В. Ф.* Прогноз и ограничение сейсмической опасности промышленных взрывов // Взрыв. дело. – М.: Недра. – 1989. – №85/42. – С. 201–213.

5. *Долинский Е. Ф.* Обработка результатов измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 191 с.

6. *Линник Ю. В.* Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. – М.: ГИФМЛ, 1958. – 143 с.

7. *Мосинец В. И.* Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. – М.: Недра, 1975. – 271 с.

8. *Фадеев А. Б.* Дробящее и сейсмическое действие взрывов на карьерах. – М.: Недра, 1972. – 132 с.

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