

DOI: 10.25558/VOSTNII.2018.7.20.001

УДК 622.241.54

© В.В. Иванов, В.С. Зыков,

В.В. Семенцов, 2018

В.В. ИВАНОВ

д-р техн. наук, проф.,
ведущий научный сотрудник
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово
e-mail: v.ivanov@nc-vostnii.ru



В.С. ЗЫКОВ

д-р техн. наук, проф.,
заместитель генерального директора
по научной работе
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово
e-mail: v.zykov@vostnii.ru



В.В. СЕМЕНЦОВ

канд. техн. наук,
заведующий лабораторией
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово
e-mail: v.sementsov@nc-vostnii.ru



МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ НА РАЗРЕЗАХ

Приводятся результаты математического моделирования спектрального состава сейсмических волн промышленных взрывов на угольных разрезах вблизи подземных горных выработок угольных шахт. Дается оценка влияния промышленных взрывов на устойчивость подземных горных выработок.

Ключевые слова: ПРОМЫШЛЕННЫЙ ВЗРЫВ, СЕЙСМИЧЕСКАЯ ВОЛНА, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПОДЗЕМНАЯ ГОРНАЯ ВЫРАБОТКА, СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ.

Рассмотрим для простоты расчетов серию из четырех промышленных взрывов и обозначим длительность каждого взрывного импульса через t , время замедления между отдельными импульсами обозначим t_z . В дальнейшем мы покажем, как можно распро-

странить полученный результат на любое число взрывов в серии.

Будем считать форму взрывных импульсов прямоугольной, что позволяет без существенных ошибок получить спектральный состав серии взрывов.

Обозначим через A амплитуду смещения в каждом импульсе. В этом случае амплитуду смещения в каждой серии из четырех взрывов можно выразить через известную единичную функцию Хэвисайда:

$$f(t) = A[\eta(t) - \eta(t - \tau) + \eta(t - \tau - \tau_3) - \eta(t - 2\tau - \tau_3) + \eta(t - 2\tau - 2\tau_3) - \eta(t - 3\tau - 2\tau_3) + \eta(t - 3\tau - 3\tau_3) - \eta(t - 4\tau - 3\tau_3)]. \quad (1)$$

Поскольку число серий конечно, теоретически спектр непрерывен и бесконечен, поэтому он разлагается с помощью интеграла Фурье следующим образом [1]:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \eta(t - \tau) e^{-i\omega t} dt = \frac{1}{i\omega} e^{-i\omega\tau}.$$

Применяя преобразование Фурье к уравнению (1), получаем амплитудно-частотную характеристику серии в следующем виде:

$$S(\omega) = \frac{A}{i\omega} [1 - e^{-i\omega\tau} + e^{-i\omega(\tau + \tau_3)} - e^{-i\omega(2\tau + \tau_3)} + e^{-i\omega(2\tau + 2\tau_3)} - e^{-i\omega(3\tau + 2\tau_3)} + e^{-i\omega(3\tau + 3\tau_3)} - e^{-i\omega(4\tau + 3\tau_3)}].$$

Умножая эту функцию на комплексно-сопряженную, после некоторых преобразований получим

$$|S(\omega)|^2 = (64A^2/\omega^2) \sin^2(\omega\tau/2) \cdot \cos^2[\omega(\tau + \tau_3)/2] \cos^2[\omega(\tau + \tau_3)]. \quad (2)$$

Учитывая, что $|S(0)|^2 = 16A^2\tau^2$, легко получить следующий результат:

$$|S(\omega)|^2 / |S(0)|^2 = (4/\omega^2\tau^2) \sin^2(\omega\tau/2) \cos^2[\omega(\tau + \tau_3)/2] \cos^2[\omega(\tau + \tau_3)]. \quad (3)$$

Переходя от ω к частоте f по формуле $\omega = 2\pi f$ и вводя безразмерную частоту $f^* = f\tau$, получим

$$|S(f^*)|^2 / |S(0)|^2 = (1/\pi^2 f^{*2}) \sin^2(\pi f^*) \cos^2 \cdot [\pi f^*(1 + \tau_3^*)/2] \cos^2[2\pi f^*(1 + \tau_3^*)], \quad (4)$$

где $\tau_3^* = \tau_3/\tau$ — безразмерное время замедления.

Этот результат можно обобщить на серию из любого числа взрывов. Например, если в серии десять взрывов, то амплитудно-частотная характеристика этого числа взрывов имеет следующий вид:

$$|S(f^*)|^2 / |S(0)|^2 = (1/\pi^2 f^{*2}) \sin^2(\pi f^*) \cos^2 \cdot [\pi f^*(1 + \tau_3^*)/2] \cos^2[2\pi f^*(1 + \tau_3^*)] \cos^2[3\pi f^*(1 + \tau_3^*)] \cdot \cos^2[4\pi f^*(1 + \tau_3^*)] \cos^2[5\pi f^*(1 + \tau_3^*)]. \quad (5)$$

На рис. 1 показан спектр серии из четырех промышленных взрывов. Анализ полученных зависимостей показывает, что основная мода (первая гармоника) колебаний практически не зависит от безразмерного времени замедления и равна примерно 0,4-0,5 от величины $1/\tau$ — от величины, обратной длительности импульса в каждом взрыве. Об этом же свидетельствует анализ зависимостей, вытекающих из формулы (5), для серии из десяти промышленных взрывов (рис. 2). Поскольку именно первая гармоника определяет силу воздействия на различные объекты, будем считать, в соответствии с полученными результатами, что частота, равная 0,4-0,5 от частоты $1/\tau$, и есть та частота, которая оказывает существенное влияние на эти объекты. Заметим, кроме того, что более высокочастотные гармоники экспоненциально затухают при распространении в массиве горных пород, а основная гармоника распространяется в массиве существенно дальше, чем более высокочастотные. Определим длину волны, соответствующую этой основной гармонике, по формуле $\Lambda = V(\tau_1 + \tau_3)$, где V — скорость распространения сейсмических волн в массиве, τ_1 — период колебаний на частоте основной гармоники, τ_3 — время замедления. Расчет длины волн на частоте основной гармоники при скоростях распространения 2 000–2 500 м/с дает длину волны порядка 150–212 метров.

Из выполненного расчета следует, что устойчивость подготовительных выработок промышленными взрывами не может быть нарушена, поскольку длина приходящей волны намного больше, чем их поперечный размер. Следует опасаться разрушения выработок с размерами, сопоставимыми с длиной волны [2,3].

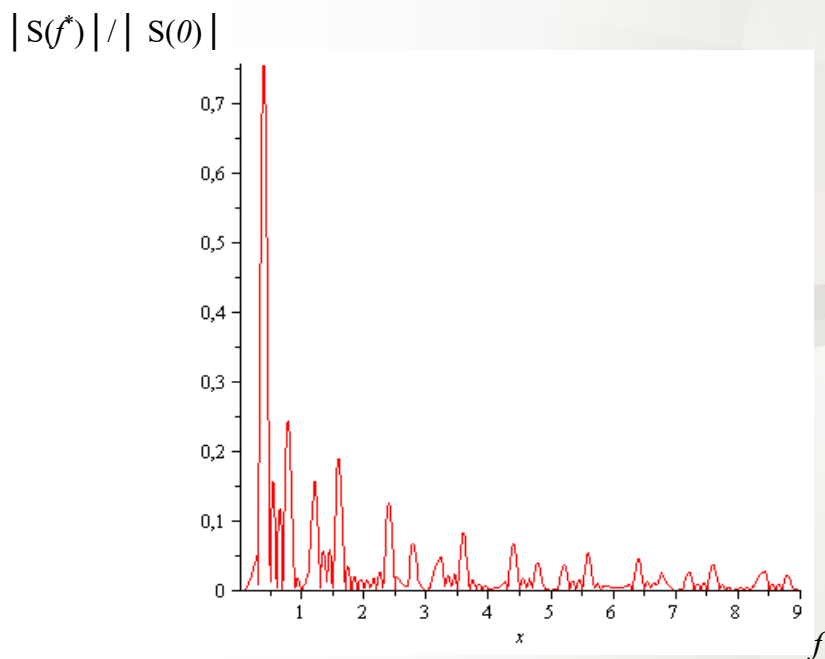


Рис. 1. Амплитудно-частотная характеристика серии из четырех промышленных взрывов; $\tau^*=1,5$

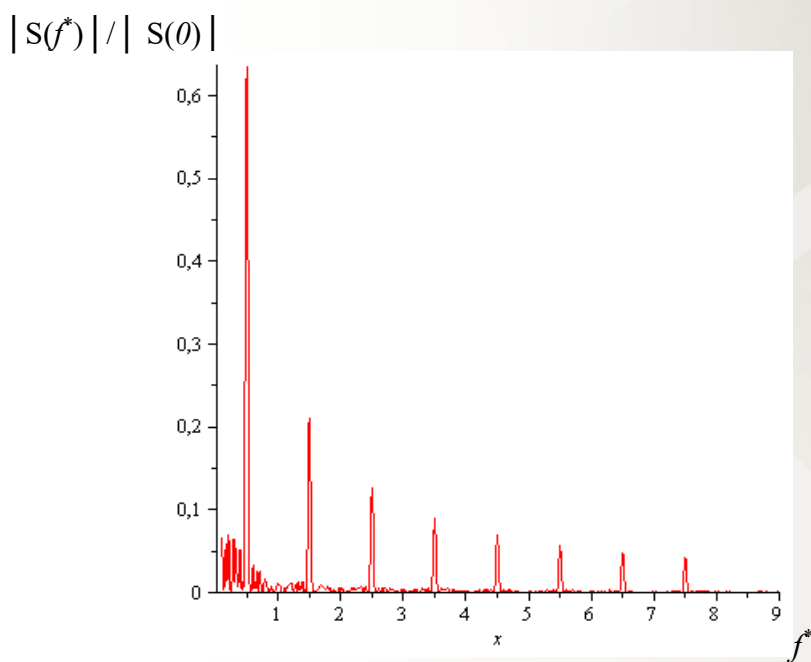


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика серии из десяти взрывов; $\tau^*=1,0$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харкевич А.А. Спектры и анализ. М.: Изд-во физ.-мат. литературы, 1962. 236 с.
2. Медведев С.В. Инженерная сейсмология. М.: Госстройиздат, 1962. 284 с.
3. Ньюмарк Н., Розенблюэт Э. Основы сейсмостойкого строительства. М.: Госстройиздат, 1980. 344 с.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2018.7.20.001

UDC 622.241.54

© V.V. Ivanov, V.S. Zykov, V.V. Sementsov, 2018

V.V. IVANOV

Doctor of Engineering Sciences, Professor

Leading Researcher

JSC «NC VostNII», Kemerovo

e-mail: v.ivanov@nc-vostnii.ru

V.S. ZYKOV

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Deputy General Director for Science

JSC «NC VostNII», Kemerovo

e-mail: zvs@vostnii.ru

V.V. SEMENTSOV

Candidate of Engineering Sciences, Laboratory Head

JSC «NC VostNII», Kemerovo

e-mail: v.sementsov@nc-vostnii.ru

THE MATHEMATIC SIMULATION OF THE SEISMIC WAVES SPECTRAL STRUCTURE OF THE INDUSTRIAL EXPLOSIONS ON OPEN-PIT COAL MINES

The paper presents the results of the mathematic simulation of the seismic waves spectral structure of industrial explosions on open-pit coal mines near the underground coal mines. The assessment of the industrial explosions impact on the stability of underground mine workings is given.

Keywords: INDUSTRIAL EXPLOSION, SEISMIC WAVE, MATHEMATIC SIMULATION, UNDERGROUND MINE, SPECTRAL STRUCTURE.

REFERENCES

1. Kharkevich A.A. Spectra and analysis. Moscow: Izd-vo fiz.-mat. literaturi, 1962. 236 p. (In Russ.).
2. Medvedev S.V. Engineering seismology. Moscow: Gosstroizdat, 1962. 284 p. (In Russ.).
3. Newmark N., Rosenbluet E. Fundamentals of earthquake-resistant construction. Moscow: Stroyizdat, 1980. 344 p. (In Russ.).