УДК 624.042

В.В.КАРПЕНКО, Ю.Н.ОГОРОДНИКОВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

ПАРАМЕТРЫ ПРЯМЫХ ПРОДОЛЬНЫХ И ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ПРИ ГОРНЫХ УДАРАХ В СКАЛЬНЫХ ПОРОДАХ

Предложен подход к оценке амплитуд, периодов и длительностей действия упругих сейсмических волн, как продольных, так и поперечных, генерируемых горными ударами, характеризующимися выделенной энергией. Приводятся расчеты эпюр напряжений и массовых скоростей упругих сейсмических волн от горных ударов, дано сопоставление расчетной и реальной эпюры горного удара, характеризующегося энергией 10 кДж.

The method of approach of estimation of the amplitudes, periods and durations of the action of resilient seismic waves, both longitudional and transversal, generated by mining strokes characterized by energy exuded, is proposed. The calculations of the epures of stress and mass velocities of the resilient seismic waves generated by mining strokes wave adduced, the comparison of the rated and the real epures of the mining stress, characterized by the energy of 10 kJ is given.

На шахтах СУБРа очаги горных ударов приурочены, в основном, к крыльям крупных тектонических нарушений, оставленным в выработанном пространстве участкам с некондиционной мощностью бокситовой залежи, безрудным зонам, барьерным целикам, разделяющим смежные этажи, зонам опорного давления внутри фронта очистных работ. Имеются расчетные зависимости для определения границ очагов разрушения от крупных горных ударов различной мощности. Проблемной остается задача прогнозирования эффектов воздействия сейсмических волн на устойчивость горных выработок, массовых скоростей на выходе продольных волн на обнажения, концентрации и амплитуд колебаний динамических напряжений во вмещающем выработки массиве при совместном действии статических напряжений, прямых продольных и поперечных волн.

Решение задачи дает математическая модель, разработанная в СПГГИ. Адекватность результатов натурным условиям зависит от обоснованности исходных параметров модели – амплитуд прямых продольных и поперечных волн, длительности периодов колебаний и продолжительности действия упругих сейсмических волн, натекающих на выработку. В этой связи представляет интерес анализ существующих теоретических представлений и экспериментальных данных о зависимости параметров сейсмических колебаний от энергии динамического явления и расстояния до его очага.

Классификация горных ударов по энергии, выделенной в процессе динамического явления, приведена в ряде работ [4, 5]. В таблице содержится классификация горных ударов, предложенная Е.И.Шемякиным [5] (в целом эта классификация аналогична

Классификация горных ударов по энергии

Класс	Наименование	Энергия удара E, Дж
1	Очень слабый горный удар	Менее 10^4
2	Слабый горный удар	От 10^4 до 10^5
3	Сильный горный удар	От 10^5 до 10^6
4	Очень сильный горный удар	От 10^6 до 10^7
5	Мощный горный удар	От 10^7 до 10^8
6	Особо мощный горный удар	От 10^8 до 10^9
7	Техногенное землетрясение*	Более 10^9
8	Мелкофокусное землетрясение**	–

* Очаг в зоне влияния горных работ.
** Очаг вне зоны влияния горных работ.

предложенной в работе [4]). Некоторое преимущество классификации горных ударов, предложенной Е.И.Шемякиным, перед другими состоит в том, что в ней намечен переход к таким сейсмическим явлениям, как землетрясения.

В той же статье [1] Е.И.Шемякин предлагает оценивать объем V зоны разрушения при горном ударе по формуле, предложенной И.Цибои для оценки объема очага землетрясения $V = 3 \cdot 10^{-2}E$, где V – измеряется в кубических метрах, E – в джоулях. Из формулы для объема очага землетрясения следует, что радиус этой зоны можно оценить по формуле $R \approx 0{,}193E^{1/3}$ м. В работе [2] радиус очага землетрясения предложено находить по формуле, структура которой аналогична $R \approx 0{,}0631E^{0{,}4}$ м. Воспользовавшись гипотезой об эквивалентности слабого землетрясения горному удару, радиус зоны разрушения при горном ударе можно оценить по этим же формулам. Основанием для возможности такой гипотезы может служить построенная по отчетным данным оценка, предложенная для определения радиуса зоны разрушения $R \approx 1{,}236E^{0{,}222}$ м, при горном ударе для района СУБРа.

Зависимости радиусов зон разрушения при слабых землетрясениях и горном ударе от энергии динамического явления приведены на рис.1. Сплошной и пунктирной линиями изображены результаты расчетов зон разрушения по формулам, предложенным в работах [2, 5]. Точками показаны расчеты зоны разрушения для района СУБРа.

В настоящее время принято, что не существует единой аналитической зависимости между энергией динамического явления и его магнитудой, позволяющей описать для всех геологических районов Земли имеющиеся совокупности экспериментальных данных. Поэтому при расчетах длительности T_d действия продольных волн и их периода колебаний t_p использовались две зависимости [1] между энергией динамического явления и его магнитудой M:

$$\lg E = 4{,}3 + 1{,}8M\ ,\ \lg E = 4{,}8 + 1{,}5M\ . \qquad (1)$$

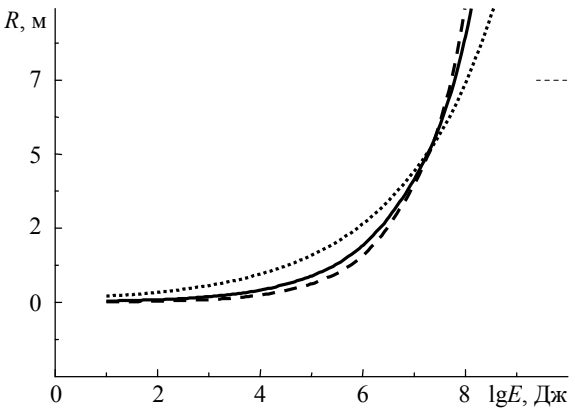


Рис.1. Размеры зоны разрушения в зависимости от энергетического класса $\lg E$ динамического явления

В монографии [1] приведены две зависимости, полученные Б.Гуттенбергом и Ф.Ф.Рихтером, которые устанавливают связь между логарифмами периода $\lg t_p$ и длительности $\lg T_d$ продольных колебаний и магнитудой M:

$$\lg t_p = -1{,}5 + 0{,}22M\ ,\ \lg T_d = -0{,}7 + 0{,}25M\ .$$

Принимая во внимание связь между энергетическим классом динамического явления $\lg E$ и магнитудой, находим аналитические зависимости, позволяющие рассчитывать периоды и длительности продольных колебаний упругой среды в зависимости от $\lg E$:

для первой зависимости в формуле (1)

$$t_p = 0{,}00942 \cdot 10^{0{,}122\lg E},\ T_d = 0{,}0505 \cdot 10^{0{,}139\lg E}, \qquad (2)$$

для второй зависимости в формуле (1)

$$t_p = 0{,}00625 \cdot 10^{0{,}147\lg E},\ T_d = 0{,}0316 \cdot 10^{0{,}167\lg E}. \qquad (3)$$

На рис.2 и 3 сплошными линиями изображены результаты расчетов по формулам (2) периода t_p и длительности T_d колебаний упругой среды, а пунктирными линиями – результаты расчетов тех же параметров по формулам (3). Как следует из результатов расчета, различия в зависимостях (1) между $\lg E$ и магнитудой M несущественно влияют на значения периода и длительности колебаний упругой среды.

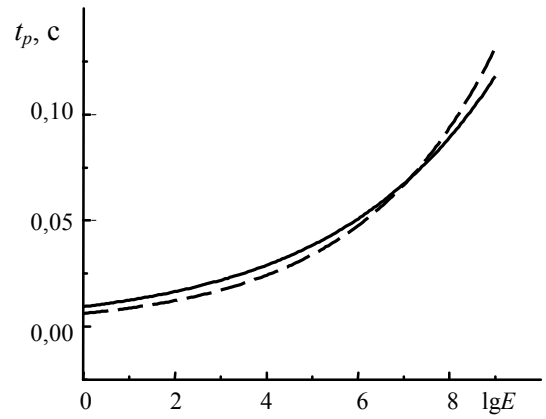


Рис.2. Периоды типовых продольных колебаний упругой среды при динамических явлениях в зависимости от их энергетического класса lg$E$

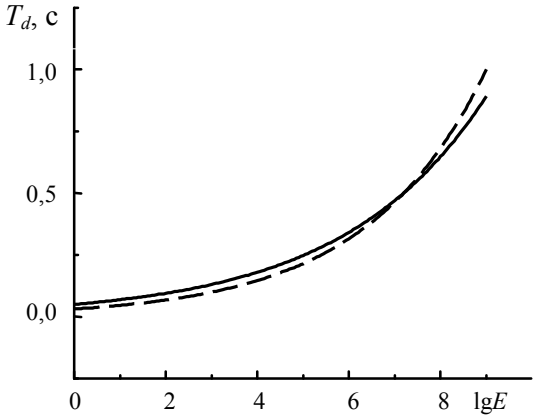


Рис.3. Длительности типовых продольных колебаний упругой среды при динамических явлениях в зависимости от их энергетического класса lg$E$

По результатам обработки сейсмограмм породного массива Североуральских месторождений с энергией горных ударов от 10^2 до 10^7 Дж предложены следующие формулы для амплитуд напряжений и массовых скоростей в прямых продольных волнах:

$$\sigma_{\max}^{(p)} = 0{,}0213\rho c_p \sqrt{E} / R ;$$

$$V_{\max}^{(p)} = 0{,}0213\sqrt{E} / R ,$$

где E – энергия, выделившаяся при горном ударе, Дж; R – расстояние от границы зоны разрушения, м.

В монографии [1] на основании анализа экспериментальных данных предложена аналитическая зависимость между периодами продольных t_p и поперечных t_s колебаний упругих сейсмических волн $t_s = (1{,}4 \div 1{,}5)t_p$. В этой же монографии предложена связь между амплитудами напряжений продольных и поперечных волн

$$\sigma_{\max}^{(s)} = (3{,}467 + 0{,}04\lg E)\sigma_{\max}^{(p)} .$$

Структура типовых эпюр упругих сейсмических волн предложена в монографии [3]. Распространяя эти подходы на исследования горных ударов, для эпюр продольных и поперечных волн горных ударов можно предложить следующие функциональные зависимости:

$$f_p(t) = m_p t^2 e^{-\alpha_p t} \sin \omega_p t ;$$

$$f_s(t) = m_s t^2 e^{-\alpha_s t} \sin \omega_s t ,$$

в которых параметры $m_p, m_s, \alpha_p, \alpha_s, \omega_p, \omega_s$ являются функциями энергии горного удара E.

Результаты расчетов типовых эпюр продольных (сплошная линия) и поперечных – сдвиговых (штриховая линия) волн горных ударов с энергий $E = 10^5$ Дж приведены на рис.4. На рис.5 сплошной линией с кружками изображена экспериментально зарегистрированная эпюра продольной волны горного удара с энергией $E = 10^4$ Дж, заимствованная из монографии [4], сплошной линией – расчетная эпюра прямой продольной волны, соответствующая такому же горному удару.

Удовлетворительное соответствие приведенных на рис.5 расчетных и экспериментально зарегистрированных эпюр прямых продольных волн позволяет использовать намеченный подход к проведению вычислительного эксперимента, направленного на совместное взаимодействие с выработками упругих сейсмических продольных и поперечных волн, генерируемых горными ударами.

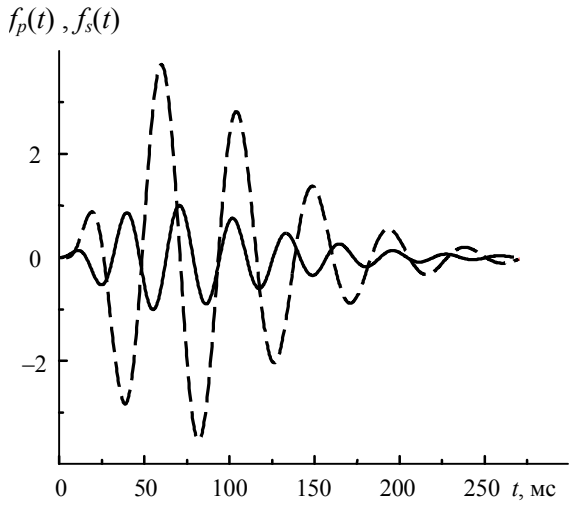


Рис.4. Типовые эпюры продольных и поперечных сейсмических волн горных ударов с энергией $E = 10^5$ Дж

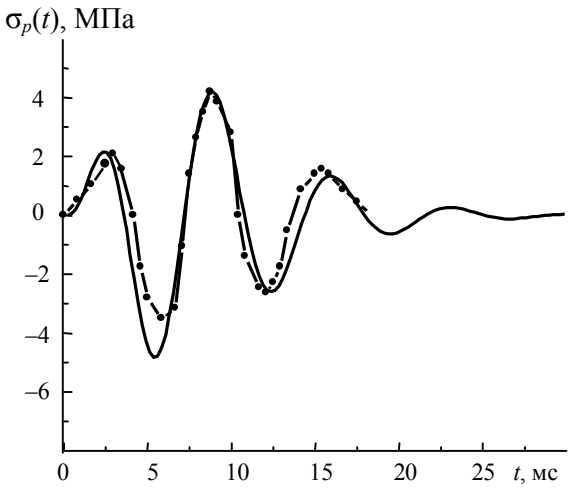


Рис.5. Сравнение расчетных и экспериментальных эпюр продольных сейсмических волн, генерируемых горным ударом с энергией $E = 10^4$ Дж

По амплитудам и длительности колебаний продольных и поперечных волн можно заметить, что сдвиговые поперечные волны, провоцирующие концентрацию и многократные колебательные изменения касательных напряжений во вмещающих трещиноватом массиве, являются основным фактором, способным вызвать деформации крепи и обрушения пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Антонова А.А.* Основные экспериментальные зависимости динамики сейсмических волн / А.А.Антонова, Ф.Ф.Аптикаев, Р.И.Курочкина, И.Л.Нерсесов, Т.Г.Раутиан, В.И.Халтурин. М.: Наука, 1968. 288 с.

2. *Аптикаев Ф.Ф.* Сейсмические колебания при землетрясениях и взрывах. М.: Наука, 1969. 104 с.

3. Динамические характеристики сейсмических волн в реальных средах / И.С.Берзон, А.М.Епинатьева, Г.Н.Парийская и др. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 576 с.

4. *Петухов И.М.* Горные удары на угольных шахтах. М.: Недра, 1972.

5. *Шемякин Е.И.* К вопросу о классификации горных ударов / Е.И.Шемякин, М.В.Курленя, Г.И.Кулаков // ФТПРПИ. 1986. № 5. С.3-11.