УДК 622.831

О.В.КОЛОСОВА
Факультет освоения подземного пространства,
аспирантка кафедры строительства горных предприятий
и подземных сооружений

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Определены параметры динамических явлений (ДЯ), влияющие на сейсмостойкость подземных сооружений. Показано, что основными исходными данными для определения скорости колебаний в массиве являются максимальная энергия ожидаемого динамического явления и расстояние от контура выработки до его очага. Расстояние от контура выработки до центра ДЯ принимается в зависимости от расположения выработки относительно зоны повышенной сейсмической активности. В зонах, реально опасных по динамическим проявлениям горного давления, расстояние до очага ДЯ принимается с учетом размеров области разуплотненных пород с пониженными напряжениями и размеров зоны повышенных напряжений (опорного давления), образующихся вокруг выработки.

Установлены закономерности распределения динамических напряжений вокруг выработки в зависимости от расстояния до центра ДЯ и энергии горного удара. При помощи компьютерной программы TABLE CURVE 2D выявлена гиперболическая зависимость, которая использована для расчета динамических напряжений при оценке устойчивости горных выработок и выборе параметров сейсмостойкой крепи для капитальных и подготовительных горных выработок шахт Североуральского бокситового бассейна.

The parameters of dynamic phenomena influential on seismic stability of underground structures are determined. Maximum energy of an expected dynamic phenomenon and distance from a contour of development up to his center are basic data for definition of oscillations speed in the solid. Distance from a contour of development up to center of a dynamic phenomenon is received depending on arrangement of development concerning a zone of heightened seismic activity. distance up to the center of a dynamic phenomenon is received in zones, substantially dangerous on dynamic rock pressure manifestations with allowance for of sizes of area of friable rocks with undervoltages, and sizes of heightened pressure zone generatored around of development.

Are established of regularity of distribution of dynamic stresses around of development (manufacture) depending on distance of a dynamic phenomenon and energy of a rock bump. The hyperbolic relation was detected with computer program TABLE CURVE 2D, which one was used for calculation of dynamic stresses: at an estimation of mine workings stability and selection of supports seismically steady parameters in Severouralsk of bauxite basin.

При землетрясениях и горных ударах, природа которых связана с разрывом сплошности массива горных пород в области концентрации напряжений, часть высвобождающейся энергии переходит в энергию сейсмических волн, которая составляет примерно 10 %. В качестве очага горных ударов принимается радиус сферически симметричной области, в которой выделяется основное (не менее 90 %) количество сейсмической энергии. С очагом отождествляют также возникающую при горных ударах область неупругих деформаций, которая является разгружающей зоной (зоной разрушения) внутри массива.

Параметры горных ударов оцениваются по сейсмограммам, регистрируемым на наземных и подземных сейсмических станциях. На сейсмограммах над трассой указываются моменты времени в выборках. Одна

выборка соответствует 0,002 с, в левом верхнем углу – номер точки N и компонента, дата и время события (по Гринвичу), слева от трассы – длительность сигнала в секундах и момент первого вступления.

Линейный размер R_c зоны разгрузки (разрушения) пород, нагруженных ранее до значений, равных пределу прочности пород $\sigma_{сж}$, рассчитывается по формуле, предложенной В.С.Ямщиковым*:

$$R_c = \sqrt[3]{\frac{EG}{\sigma_{сж}^2}},$$

где E – полная энергия горного удара, Дж; G – модуль сдвига горной породы.

Полная энергия горного удара определяется по сейсмическим записям и связана с продолжительностью колебаний зависимостью

$$\log E = 2{,}24 + 2{,}76 \lg \tau,$$

где τ – продолжительность колебаний, с.

Учитывая, что наиболее важным признаком ДЯ является энергетический, во ВНИМИ была составлена энергетическая классификация ДЯ, в которой указывается зона хрупкого разрушения R_c, для конкретного вида и энергии ДЯ.

Так как большая часть объема разгружающейся породы может рассматриваться как разрушенная, на что уходит значительная часть полной энергии E, то коэффициент излучения сейсмических волн определяется из соотношения энергий:

$$\eta = \frac{E_c}{E} = \left[\frac{\Delta\sigma}{\sigma_{сж} - \sigma_p}\right]^2,$$

где E_c – энергия сейсмических волн, Дж; σ_p – остаточная прочность массива по экспериментальным данным испытаний горных пород; $\Delta\sigma$ – уменьшение напряжений при разгрузке массива, оцениваемое через амплитуду сейсмических волн при выходе их из зоны диссипации (рассеивания).

Для горных ударов $\eta \approx 10^{-3} - 10^{-4}$.

Основная излучаемая упругая энергия расходуется на генерацию поперечной волны. Сопутствующие продольные волны обусловлены сжатием одних слоев и растяжением других при изгибе перед сдвиговым разрывом.

Максимальное количество сейсмической энергии (до 80 %) выделяется на частотах 5-300 Гц. В момент полного разрушения массива частота колебаний уменьшается до 5-10 Гц, а смещения пород достигают десятков миллиметров. В этом случае

$$\Delta\sigma = v_{max} \rho C_p,$$

где v_{max} – максимальная скорость колебаний массива («массовая» скорость) при прохождении волны динамических напряжений, зависящая от энергии динамического явления (ДЯ) и расстояния до его очага, м/с; C_p – скорость продольной волны в массиве, для шахт СУБРа в среднем $C_p = 6000$ м/с; ρ – плотность пород (для условий СУБРа $\rho = 0{,}027$ МН·с^2/м^4).

Исходными данными для определения скорости колебаний в массиве являются максимальная энергия ожидаемого динамического явления E_{max} и расстояние от контура выработки до его очага R. Расстояние от контура выработки до центра ДЯ принимается в зависимости от расположения выработки относительно зоны повышенной сейсмической активности. В зонах, реально опасных по динамическим проявлениям горного давления, расстояние до очага ДЯ принимается с учетом размеров области разуплотненных пород с пониженными напряжениями и размеров зоны повышенных напряжений (опорного давления), образующихся вокруг выработки.

Скорость колебаний массива v получена по данным обработки сейсмограмм. Амплитуда A скорости колебаний на сейсмограммах изменяется с расстоянием до очага R по зависимости**

$$A = K_{см}/R,$$

---

* *Ямщиков В.С.* Волновые процессы в массиве горных пород. М.: Недра, 1984. 271 с.

** *Кутузов Б.Н.* Взрывное и механическое разрушение горных пород. М.: Недра, 1973. 311 с.

r, м	Δσ, МПа				
	$E = 1{,}49 \cdot 10^2$ Дж, $R_c = 5$ м	$E = 3{,}79 \cdot 10^3$ Дж, $R_c = 15$ м	$E = 1{,}20 \cdot 10^4$ Дж, $R_c = 20$ м	$E = 1{,}49 \cdot 10^5$ Дж, $R_c = 35$ м	$E = 1{,}29 \cdot 10^6$ Дж, $R_c = 50$ м
1000	0,0094	0,04698	0,2556	0,889	2,649
496	0,01442	0,00722	0,3888	1,356	4,029
200	0,046	0,238	1,273	4,464	13,194
100	0,1134	0,57672	3,09	10,89	32,076
50	0,23	1,1567	6,192	21,801	64,272
20	0,567	2,8933	15,4791	54,468	160,59
10	1,14858	5,793	30,966	109,242	321,3
5	2,299	11,5911	61,89	218,016	642,087

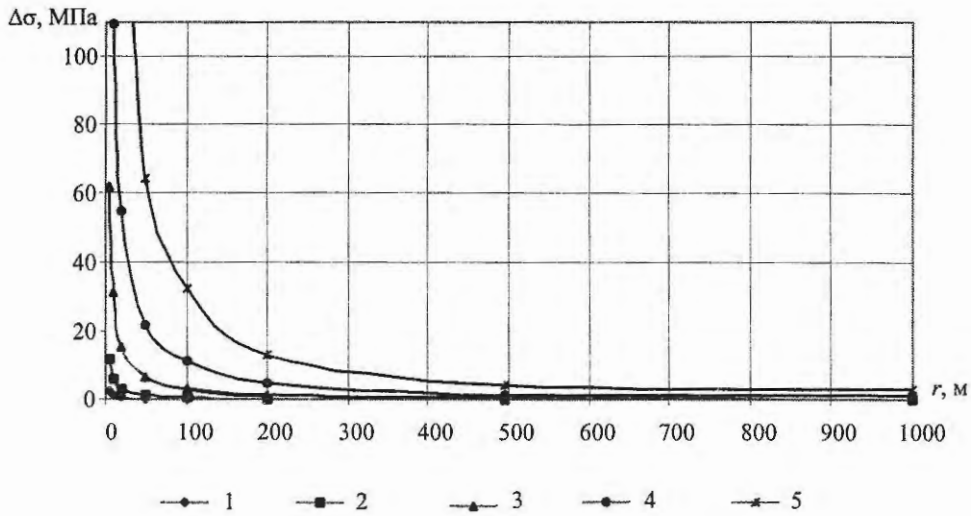


График распределения динамических напряжений вокруг выработки в зависимости от энергии горного удара и расстояния от очага ДЯ
1 – $E = 1{,}49 \cdot 10^2$ Дж; 2 – $E = 3{,}79 \cdot 10^3$ Дж; 3 – $E = 1{,}20 \cdot 10^4$ Дж; 4 – $E = 1{,}49 \cdot 10^5$ Дж; 5 – $E = 1{,}29 \cdot 10^6$ Дж

где $K_{см}$ – коэффициент, зависящий от физико-механических свойств среды и энергии ДЯ, по сейсмограммам ДЯ для породного массива СУБРа $K_{см}$ = 006÷0,043, в зависимости от энергии ДЯ.

Средняя скорость колебаний связана с амплитудой зависимостью $v^2 = A^2/2$, соответственно, $v = 0{,}71A$ м/с.

В таблице приведены вычисленные по приведенным формулам динамические напряжения в прямой волне на расстояниях r от 1000 до 5 м от очага ДЯ с энергиями от 10^2 до 10^6 Дж. Размеры зоны разрушения массива, определенные по экспериментальным данным на шахтах СУБРа, зависят от энергии ДЯ следующим образом:

E, Дж	$1{,}49 \cdot 10^2$	$3{,}79 \cdot 10^3$	$1{,}20 \cdot 10^4$	$1{,}49 \cdot 10^5$	$1{,}29 \cdot 10^6$
R_c, м	5	15	20	35	50

По данным таблицы, были установлены закономерности распределения динамических напряжений вокруг выработки в зависимости от расстояния до очага ДЯ и энергии горного удара (см. рисунок).

При помощи компьютерной программы TABLE CURVE 2D, задавая параметры оси абсцисс и ординат, для каждого ДЯ в отдельности, была выявлена гиперболическая зависимость, которая имеет вид

$$\sigma = 3{,}4 - 2{,}8r + 0{,}974\ln r/r - 0{,}176/r.$$

Таким образом, при горных ударах убывание динамических напряжений при удалении от очага ДЯ подчиняется гиперболической зависимости указанного вида.

Полученные результаты использованы в «Инструкции по выбору типа и параметров крепи капитальных и подготовительных горных выработок шахт Североуральского бокситового бассейна» для расчета динамических напряжений при оценке устойчивости горных выработок и выборе параметров сейсмостойкой крепи.

Научный руководитель д.т.н. проф. *А.Г.Протосеня*