УДК 622.235.5

В.А. Никифорова

РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД С ДЕФЕКТАМИ РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ ПРИ ВЗРЫВНОМ НАГРУЖЕНИИ

На основі теорії одновимірного гармонічного осцилятора із вимушеними коливаннями, які моделюють імпульс вибуху заряду ВР, визначено, що при близкості власних частот коливань дефектів і частоти коливань вимушуючої дії спостерігається різке зростання амплітуди коливань і дефектів і при їх великій щільності, може призвести до руйнування середовища.

В соответствии с иерархической геофизической моделью [1-4] в горном массиве можно выделить элементы: образованные дефектами различного уровня, Под действием гравитационных сил такая структура находится в постоянном движении. Движение сопровождается преобразованием элементарной иерархии путем слияния микродефектов, развития трещин, подвижки блоков и т.д. Эти преобразования происходят с выделением или поглощением энергии. Каждому уровню разрушения соответствует определенный уровень энергетических превращений.

Наличие дефектов различного уровня является характеристикой породы и определяет ее физико-механические и технологические свойства. При внешнем воздействии на материал каждый уровень дефектов реагирует только на характерные для него энергетические воздействия. При несоответствии уровня дефектности энергетическому воздействию затраты энергии на разрушение могут многократно возрастать.

Таким образом существует принципиальная возможность изменения состояния различных горных пород без увеличения энергетических затрат воздействиями, соответствующими тому уровню дефектности, на котором концентрация дефектов наибольшая для данной породы.

Рассмотрим среду с q уровнями дефектности, в объеме V, который содержится N дефектов различных уровней, n_i-число дефек тов i-того уровня

$$\sum_{i=1}^{q} n_i = N$$

Эти дефекты участвуют в колебательных движениях относительно положений равновесия с частотой, соответствующей уровню дефектности. Если система, какой является среда с дефектами, подвергается внешнему воздействию (например, взрывному), представлющему собой пакет колебаний различной частоты, то на частотах, близких к собственной частоте колебаний дефектов, может наблюдаться резкое увеличение амплитуды колебаний. При высокой концентрации таких дефектов может иметь место интенсивное разрушение среды, при энергии, недостаточной для их прямой активации. Поскольку частотный спектр взрывного импульса с крутым фронтом нарастания колебаний достаточно широк, может происходить активация дефектов в широком диапазоне их размеров [5].

Пусть с волной напряжений от взрыва заряда ВВ к объему V породы поступает энергия E, которая недостаточна для прямой активации дефектов i-того уровня. Эти дефекты участвуют в колебательных движениях с собственной частотой, которая определяется их размерами. Дефект i-того уровня будем моделировать разделом типа трещины длиной l_i. Математическое описание колебаний дефектов производим с применением теории одновременного гармонического осциллятора с вынужденными колебаниями. Вынуждающей силой является импульс от взрыва заряда ВВ, который представляет собой пакет колебаний различной частоты модулированных низкочастотной составляющей:

$$P(t) = P_m \left(\frac{t}{t_m} e^{1-t/t_m} + \sum_k \sin \omega_k t \right) \qquad (1)$$

где P_m и t_m соответственно максимальная амплитуда и время нарастания до максимума нагружающего импульса; в породе с удалением от цилиндрического заряда (r) амплитуда взрывного импульса убывает пропорционально $1/r^2$; w_k -циклическая частота k-той составляющей в пакете колебаний взрывного импульса.

Уравнение колебаний элемента среды, включающей дефект размером l_i. может быть записан в виде:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta\frac{dx}{dt} + \omega_{0i}^2 x = P_m\left(\frac{t}{t_m}e^{1-t/t_m} + \sum_k \sin\omega_k t\right) \quad (2)$$

где p и w0i - соответственно коэффициент затухания колебаний дефекта и циклическая частота собственных колебаний дефекта i-того уровня ;

E, cp - соответственно модуль Юнга и скорость продольных волн среды волн среды..

После введения переменной t = t/tm уравнение (2) принимает вид

$$\frac{d^2x}{d\tau^2} + 2B\frac{dx}{dt} + W^2x = A\left(\tau e^{1-\tau} + \sin\omega_k t_m \tau\right), \quad (3)$$

где B=b/tm, W=w0tm, A=pmcp^2 tm/E li

Общее решение неоднородного уравнения (3) ищем в виде суммы общего решения однородного уравнения в виде:

$$x = Ce^{-B\tau}\sin\left(W_1\tau + \alpha\right)$$

и частного решения неоднородного уравнения

$$\frac{d^2x}{d\tau^2} + 2B\frac{dx}{dt} + W^2x = A\tau e^{1-\tau}, \quad (4)$$

которое ищем в виде x(Kt+L)e-t, где K и L неизвестные коэффициенты. Находим их подставляя x и его производные в (4).

Таким образом частное решение уравнения (4) имеет вид

$$\bar{x} = \left(\frac{A'\tau}{1-2B+W^2} + \frac{2A'}{(1-2B+W^2)^2}\right)e^{-\tau} \quad (5)$$

где A'= Ae

Частное решение уравнения

$$\frac{d^2x}{d\tau^2} + 2B\frac{dx}{dt} + W^2x = A\sin\omega_k t_m \tau \quad (6)$$

ищем в виде

$$\bar{\bar{x}} = M\cos p\tau + N\sin p\tau\ ,$$

где p и w0i - соответственно коэффициент затухания колебаний где p=wktm, M и N - неизвестные коэффициенты: которые ищем подставляя в (6) x и его производные.

Частное решение неоднородного уравнения (6) имеет вид

$$\bar{\bar{x}} = \frac{2ABp}{(W^2 - p^2)^2 + 4B^2p^2} \cos p\tau + A \frac{W^2 - p^2}{(W^2 - p^2)^2 + 4B^2p^2} \sin p\tau \quad (7)$$

После преобразования оно может быть записано в виде

$$\bar{\bar{x}} = Q(p\tau - \delta)$$

Выражение d = arctg (2Bp/W2-p2) представляет собой сдвиг фаз. Амплитуда Q вынужденных колебаний дефекта не зависит от времени, прямо пропорциональна амплитуде внешнего воздействия P_m и обратно пропорциональна размерам дефекта l_i

$$Q = \frac{P_m c_p^2 t_m^2}{E l_i} \frac{1}{(W^2 - p^2)^2 + 4B^2p^2} \quad (8)$$

Максимум амплитуды имеет место при p=(W2-2B2)1/2. При этой частоте внешнего воздействия амплитуда колебаний дефекта будет максимальной и равной

$$Q = \frac{P_m c_p^2}{2 E l_i \beta \sqrt{(W^2 - p^2)^2}}$$

Если выражение в знаменателе (8) (W2-p2)2+4B2p2=0, что может быть при p=W и B=0, имеет место явление резонанса. При близости частот вынуждающего воздействия и собственных частот колебаний дефектов амплитуда их колебаний может оказаться столь велика, что при большой плотности дефектов этого уровня это может привести к разрушению породы, даже если амплитуда напряжений от взрыва заряда ВВ (например, на большом удалении от заряда) недостаточна для ее разрушения.

В многокомпонентной среде, какой являются горные породы, могут оказаться минералы, обладающие высокой объемной плотностью дефектов, в кристаллах которых под воздействием взрыва определенного ВВ может достигаться резонансный режим колебаний.

При подводе одинаковой энергии такие минералы будут разрушаться более интенсивно по сравнению с минералами, в которых режим колебаний дефектов не достигается.

На основании такого подхода можно объяснить интенсивное измельчение кварца при разрушении кварцсодержащих пород. Исследования, проведенные в отделе механики взрыва ИГТМ НАН Украины, показали, что при взрывном и механической разрушении кварцсодержащих пород (гранитов, железистых кварцитов, песчаников) доля кварца в пылевидных частицах с размерами 8-10 мкм составляет 75-90 % и более, несмотря на то, что кварц является одним из самых прочных материалов и его доля в породе не превышает 40 % в граните и 30 % в железистом кварците [6]. В этих же исследованиях с применением поляризационной микроскопии установлена высокая степень дефектности кварца по сравнению с другими минералами. Зерна кварца имеют наибольшую объемную плотность дефектов строения. В бескварцевых породах, например, доломитизированном известняке, не происходит такого интенсивного измельчения породы. Количество пылевидных частиц в этих породах на порядок меньше, чем в кварцсодержащих и их количественное содержание отражает минералогический состав породы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Садовский М.А. Естественная кусковатость горной породы// Докл. АН СССР. - 1979. - 274. - № 4. - С.829-831.

2. Садовский М.А. О распределении размеров твердых отдельностей// Докл. АН СССР. - 1983. - 269. - № 1. - С.69-72.

3. Садовский М.А., Писаренко В.Ф., Родионов В.Н. От сейсмологии к геомеханике. О модели геофизической среды//Вестник АН СССР. - 1983. - № 1. - С.82-88.

4. Булат А.Ф. Геомеханические проблемы разработки угольных пластов на больших глубинах// Геотехническая механика, Киев: Наук. думка, 1993. - С.24-28.

5. Исаков А.Л., Белобородов В.Н. О механизме разрушения кристаллов при взрывном воздействии// Физ.-техн. пробл. разраб. полез. ископ. - 1991. - № 5. - С.47-56.

6. Ефремов Э.И., Петренко В.Д., Кратковский И.Л. Проблема разрушения и дезинтеграции полиминеральных горных пород при различных видах нагружения// Международная конференция по механике горных пород. - 27 сент.- 1 окт. - М.: 1994. - С.62-70.