УДК 622.235(088.8)

ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ БЛОКОВЫХ СТРУКТУР ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН

Шестакова А.О., аспирант
Научный руководитель: В.В. Иванов, д.т.н., проф.
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

По имеющимся в настоящее время теоретическим представлениям в геодинамике литосфера разделена разломами и трещинами на блоки различных размеров [1]. В сейсмоактивных районах эти блоки испытывают как горизонтальные, так и вертикальные смещения. При внешних импульсных воздействиях по условному периоду колебаний и декременту затухания можно оценить размеры блоков и параметры, характеризующие их взаимодействие по разломам.

Рассмотрим систему сил, действующих на блок, считая его для простоты расчётов прямоугольным параллелепипедом (см. рис.1)

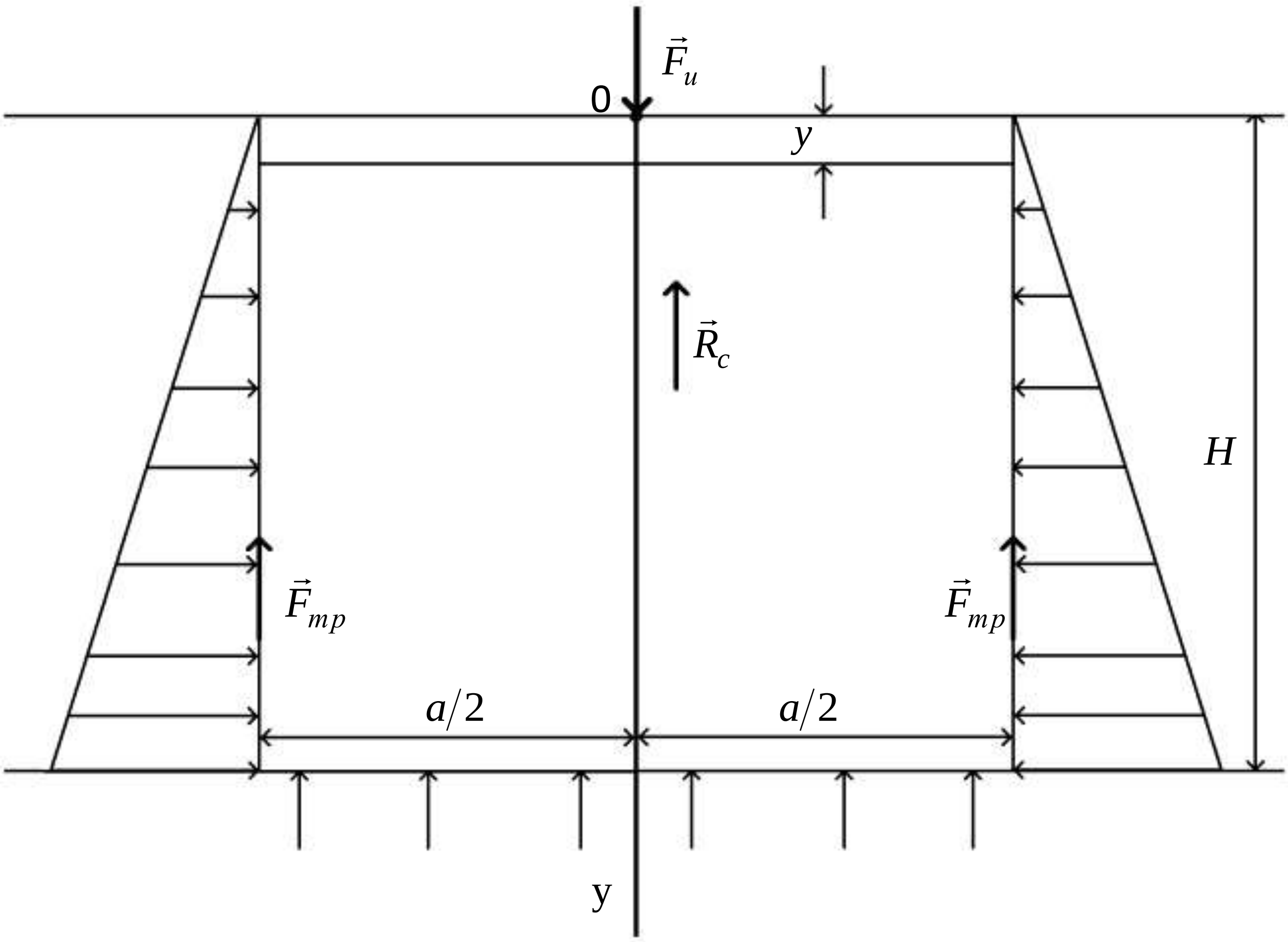

Рис.1 Схема к расчёту колебаний блока при импульсных воздействиях (пояснения обозначений – в тексте)

Будем считать, что срыв блока массой m по трещинам разлома осуществляется при достижении внешней силой значений $F_u^{\max}$, при которых на поверхности разлома образуется «глинка трения» и коэффициент трения достигает своего минимального динамического значения (f_d). Очевидно (см. рис.1), что на блок действуют силы трения, гравистатические компоненты напряжений, обусловленные весом пород, импульсная сила $\vec{F}_u$ и сила вязкого сопротивления $\vec{\mathrm{R}}_c$, пропорциональная скорости движения блока по разломам.

Для нахождения максимального значения силы $F_u^{\max}$, учтём, что на глубине z действует нормальное к поверхности разрыва напряжение:

$$\sigma_n = g\,\mathrm{z}\left(\rho - \rho_\omega\right),$$

где ρ – плотность горных пород; ρ_ω– плотность воды в порах разлома (заметим, что давление воды в порах вследствие гидростатического сжатия уменьшает нормальные напряжения на поверхности разлома).

Интегрируя по z в пределах от 0 до H, легко найти суммарную силу трения, действующую на боковые поверхности блока:

$$F_{mp} = \frac{f_S\left(\rho - \rho_\omega\right) g\,\mathrm{a}\,\mathrm{H}^2}{2},$$

где f_S – статический коэффициент трения; a – длина и ширина блока.

На подошву блока действует гидростатическая сила:

$$Q = \rho\, g\, H\, a^2.$$

Применяя условие равновесия блока, находим максимальную силу $F_u^{\max}$, способную сдвигать блок вдоль разломов:

$$F_u^{\max} = 2\, f_S\left(\rho - \rho_\omega\right) g\,\mathrm{a}\,\mathrm{H}^2 + \rho\, g\,\mathrm{a}^2\,\mathrm{H}. \qquad (1)$$

В результате срыва блока по поверхностям разломов коэффициент трения резко падает до своего динамического значения f_d и возникают колебания.

Полагая, что начало координат располагается на поверхности земли (см. рис.1), и обозначая смещение блока от положения равновесия буквой y, запишем уравнение движения блока в виде:

$$m\ddot{y} = -4F_{тр} - Q - R_c + F_и^{\max}\left[\eta(t) - \eta(t-\tau)\right], \qquad (2)$$

где $\eta(t) = \begin{cases} 1\text{ , если } t \ge 0 \\ 0\text{ , если } t < 0 \end{cases}$ – функция Хевисайда; $Q = \rho\, g\, a^2 H + c\, y$ – сила, действующая на подошву блока; c – жёсткость пород основания блока; $m = \rho\, H\, a^2$ – масса блока; $R_c = \alpha\dot{y}$; α – коэффициент вязкого сопротивления.

В уравнении (2) полагается, что импульсная нагрузка $F_и^{\max}$ действует в течение малого промежутка времени τ. Сила трения на плоскостях разломов меняет знак в зависимости от направления смещения блока, т.е. в течение одного полупериода он не меняется, а в течение следующего полупериода меняется на противоположный. Поэтому знак силы $F_{тр}$ в уравнении (2) следует выбирать в зависимости от рассматриваемого промежутка времени следующим образом:

$$F_{тр} < 0, \text{ если } nT \le t \le \frac{2n+1}{2}T,$$

$$F_{тр} > 0, \text{ если } \frac{2n+1}{2}T \le t \le (n+1)T,$$

где T – период колебаний; n=0, 1, 2…

Деля левую и правую части уравнения (2) на массу, получим:

$$\ddot{y} + 2b\dot{y} + k^2 y = \mp\frac{2\, f_d\left(1 - \frac{\rho_\omega}{\rho}\right)gH}{a} + \left[g + \frac{2\, f_S\left(1 - \frac{\rho_\omega}{\rho}\right)gH}{a}\right]\cdot\left[\eta(t) - \eta(t-\tau)\right], \qquad (3)$$

где $k^2 = c/\rho\, H\, a^2$; $2\,\mathrm{b} = \alpha/\rho\, H\, a^2$.

Решение уравнения (3) можно записать в виде:

$$y(t) = B\cdot e^{-bt}\sin\left(k_1 t + \theta\right) + \frac{\lambda \sin\gamma}{k_1 k}. \qquad (4)$$

Решение (4) показывает, что по логарифмическому декременту затухания колебаний можно найти коэффициент вязкого сопротивления α, а по величине условного периода колебаний $T_1 = 2\pi/k_1$ – жёсткость пород основания c. По остаточному смещению блока ($\lambda \sin\gamma/k_1 k$) можно оценить динамический коэффициент трения на берегах разломов f_d.

Газосодержание V_g углей в пластах, расположенных в рассматриваемом блоке, определяется двумя составляющими – объёмом сорбированного газа V_s в единице объёма угля и объёмом свободного газа V_f, содержащегося в полостях, трещинах и порах:

$$V_g = V_s + V_f \text{, м}^3/\text{м}^3. \qquad (5)$$

При резонансных колебаниях блоковых структур под воздействием сейсмических волн дополнительное газовыделение может быть связано с дилатацией пород блока, раскрытием трещин и пор, вызванных относительным изменением объёма блока, а также образованием новых трещин. Относительное изменение объёма блока равно:

$$\theta = \frac{y_{max} a^2}{a^2 H} = \frac{y_{max}}{H}, \qquad (6)$$

где a – продольный и поперечный размеры блока, м; H – высота блока, м; y_{max} – максимальное смещение блока при резонансных колебаниях, м.

Дополнительное максимальное газовыделение, обусловленное переходом газа из сорбированного состояния в свободное, может быть определено по формуле

Тогда максимальный дополнительный объём газа Q, который переходит в свободное состояние при резонансных колебаниях блока можно оценить следующим образом:

$$Q = \theta \left[\left(\sum_{i=1}^{n} m_i \right) \mathrm{a}^2 \Big/ cos\,\alpha \right] \mathrm{a_s}\text{, м}^3, \qquad (7)$$

где α угол падения пластов в свите, расположенных в пределах блока; $\sum_{i=1}^{n} m_i$ – суммарная мощность угольных пластов в свите, попадающих в рассматриваемый блок, м.

$$y_{max} = \frac{A}{\pi b\omega} = \frac{2g\rho\left[2Hf_s\left(1-\rho_\omega/\rho\right)/a+1\right]Ha^2}{\pi\omega\overline{\alpha}}, \quad (8)$$

где $\overline{\alpha}$ – коэффициент вязкого сопротивления, $\frac{H \cdot c}{м}$; $\omega = k = \sqrt{\frac{c}{\rho a^2 H}}$, Гц; c – коэффициент жёсткости пород основания блока, который может быть оценен по формуле $c = \frac{Ea^2}{H}$, где E – модуль Юнга пород основания блока, Па.

Коэффициент вязкого сопротивления $\overline{\alpha}$ оценивается по формуле $\overline{\alpha} = 2b\rho Ha^2$, а параметр b находится по затуханию собственных колебаний блока при однократном импульсном воздействии.

Список литературы

1. Есиков, Н. П. Современные движения земной поверхности с позиций теории деформаций. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1991. – 255 с.

2. Иванов, В. В. Моделирование колебаний блоков земной коры при импульсных воздействиях. Методические указания к проведению практических занятий по курсу "Механика блочных структур" для студентов специальности 070600 "Физические процессы горного производства"//В.В. Иванов, А.И. Шиканов – Кемерово: Изд-во КузГТУ, 2005. – 7 с.