

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОСНОВНОЙ КРОВЛИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЕ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ВТОРИЧНЫХ ОСАДКАХ В ЗОНАХ ВТОРИЧНОЙ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

Фофанов А.А., старший преподаватель

Научный руководитель: Дырдин В.В., д.т.н., профессор

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

При разработке пластов с труднообрушаемой кровлей наблюдаются динамические проявления горного давления в призабойном пространстве и прилегающих подготовительных выработках, связанные с вторичными осадками основной кровли. Чаще всего разрушения крепи подготовительных и очистных выработок, разрушения целиков угля, возникновения горных ударов происходят в результате обрушения кровли, представленной крепкими песчаниками. Возникновение горных ударов характерно для очистных и подготовительных выработок, проводимых по мощному пласту и при отсутствии непосредственной кровли. Зависания пород труднообрушаемой кровли могут вызвать сильные пригрузки краевой части пласта и переход ее в состояние предельного равновесия.

Вопрос формирования интенсивности нагрузок при вторичных осадках основной кровли является важным и малоизученным, а их экспериментальные исследования технически и экономически в настоящее время малоосуществимы. Наиболее приемлемым является компьютерное моделирование физических процессов, протекающих в массивах горных пород. В этой связи расчет характеристик колебаний при вторичных обрушениях основной кровли является актуальной задачей.

В работе [1] приведено описание математической модели затухающих колебаний пород основной кровли и решена задача по определению частот, периода и коэффициента затухания в зависимости от длины консольной балки. В частности, авторами было показано, что при обрушении пород основной кровли возникают ее затухающие колебания, частота которых уменьшается в зависимости от длины консольной балки и не превышает 2.5 Гц. Период затухающих колебаний с увеличением длины консольной балки увеличивается, и его значения лежат в диапазоне $0.25 \div 0.95$ с, в то время как коэффициент затуханий наоборот экспоненциально уменьшается с 0.61 до 0.13 Гц.

Полученных в работе [1] данных недостаточно для описания полной картины влияния пород основной кровли на возможность возникновения горных ударов и выбросоопасных ситуаций. Поэтому в рамках данной модели [1] проведем дополнительный расчёт влияния момента инерции балки на частоту и смещение пород основной кровли, а также упругую энергию, подводимую к угольному массиву в зоне «газового мешка».

Расчётные значения частот затухающих колебаний в зависимости от момента инерции и длины консольной балки представлены на рис. 1.

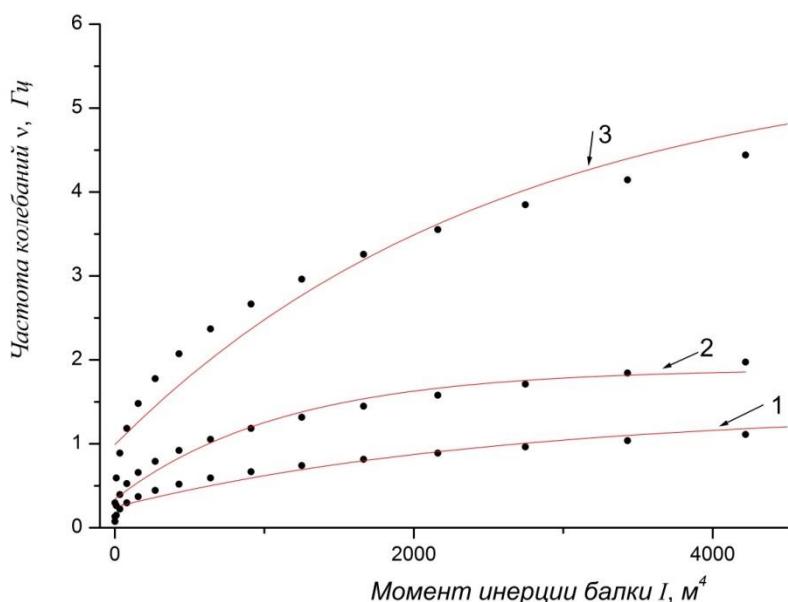


Рис.1. Зависимость частоты затухающих колебаний балки от ее момента инерции, где цифрами обозначены расчеты для балок разной длины: 1 – для балки длиной 100 метров, 2 - для балки длиной 75 метров и 3 – для балки длиной 50 метров

Полученные результаты показывают, что с увеличением ширины и мощности обломившегося блока консольной балки значение частот ее колебаний увеличивается по экспоненциальному закону.

Оценим влияние колебаний пород основной кровли на процессы дезинтеграции угольного массива впереди выработки и проведем расчет поперечных смещений кровли в зоне «газового мешка» при обрушении породного блока длиной $L=l_1-l_2$.

Первоначальное смещение $U(x,0)$ балки может быть определено из разности прогибов $U(x_1,0)$ и $U(x_2,0)$ [2,3] балки соответственно длиной l_1 и l_2 , находящейся под действием равномерно распределенной нагрузки $F_{\text{ин}}$:

$$U_0 = U(x,0) = U(x_1,0) - U(x_2,0) = \frac{F_{\text{ин}}}{12EI_z} [3(l_1^2 - l_2^2)x^2 - 2(l_1 - l_2)x^3], \quad (1)$$

где $U(x_1,0) = \frac{\rho g h b x^2}{24EI_z} [x^2 - 4l_1 x + 6l_1^2]$; $U(x_2,0) = \frac{\rho g h b x^2}{24EI_z} [x^2 - 4l_2 x + 6l_2^2]$;

x – координата, в которой определяется начальное смещение балки $U(x,0)$, $g=9.8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения, ρ – плотность пород основной кровли.

Расчет амплитудных значений смещения пород основной кровли после облома консоли в области «газового мешка» для затухающих колебаний проведён по формуле:

$$U(x, t) = U_0 e^{-\beta t}. \quad (2)$$

Результаты расчета представленные на рис.2 показывают, что с уменьшением коэффициента затухания, время колебаний увеличивается, а время уменьшения амплитудных значений смещений пород основной кровли до нуля увеличивается нелинейно.

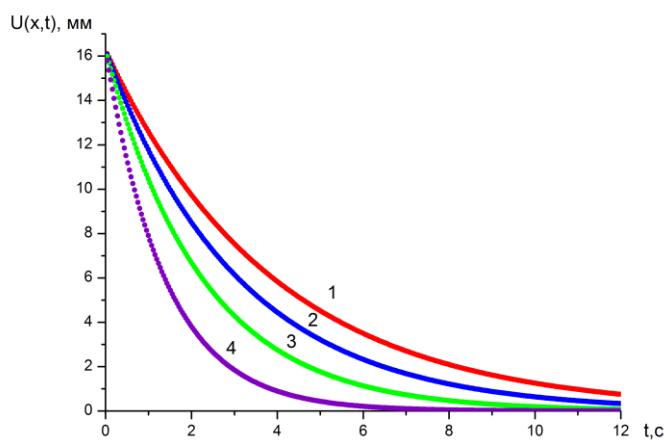


Рис. 2. График зависимости амплитудных значений смещения пород основной кровли после облома консоли в области «газового мешка» при различных значениях коэффициента затуханий, где под цифрой 1 обозначена кривая смещений для $\beta=\omega_0/5$; 2 – кривая смещений для $\beta=\omega_0/4$; 3 – кривая смещений для $\beta=\omega_0/3$; 4 – кривая смещений для $\beta=\omega_0/2$.

Для оценки упругой энергии, воспринимаемой угольным пластом в результате сдвижения пород кровли в области «газового мешка» при ее осадках воспользуемся двумя условиями на контакте кровли с угольным пластом, первое из которых имеет вид:

$$\frac{\varepsilon(x, t)}{\varepsilon_{pl}(x, t)} = \frac{E_{pl}}{E},$$

где E_{pl} и E – модули упругости угольного пласта и кровли соответственно; $\varepsilon(x, t)$ и $\varepsilon_{pl}(x, t)$ – деформации пласта и кровли.

Вторым условием для оценки упругой энергии, воспринимаемой угольным пластом, является равенство суммарной деформации смещению кровли:

$$\varepsilon_{pl}(x, t) + \varepsilon(x, t) = U(x, t).$$

Из этих двух условий определим деформацию пласта:

$$\varepsilon_{nl}(x,t) = U(x,t) \left(1 + \frac{E_{nl}}{E}\right)^{-1}.$$

Энергию деформации угольного пласта найдем по формуле:

$$W_{nl}(x,t) = \int_{x1}^{x2} w(x,t) dx, \quad (3)$$

где x_1, x_2 – границы зоны газового мешка; $w(x,t)$ – плотность упругой энергии, которая вычисляется по формуле:

$$w(x,t) = \frac{1}{2} E_{nl} \varepsilon^2(x,t) = \frac{1}{2} E_{nl} \left(\frac{E}{E_{nl} + E} \right)^2 U^2(x,t). \quad (4)$$

С учетом (3) выражение (4) для упругой энергии примет вид:

$$W_{nl}(x,t) = \frac{1}{2} E_{nl} \left(\frac{E}{E_{nl} + E} \right)^2 \int_{x1}^{x2} U^2(x,t) dx. \quad (5)$$

В уравнение (5) подставим выражение (2) с учетом выражения (1) и после интегрирования по координате x получим окончательную формулу для упругой энергии пласта:

$$W(x,t) = A(t)B(x), \quad (6)$$

где

$$A(t) = \frac{1}{2} E_{nl} \left(\frac{E}{E_{nl} + E} \right)^2 \left(\frac{\rho g h b}{12 EI_z} \right)^2 (l - l_1)^2 e^{-2\beta t},$$

$$B(x) = \left\{ \frac{9}{5} (l + l_1)^2 x^5 - 2(l + l_1)x^6 + \frac{2}{3} x^6 \right\}.$$

Расчёт упругой энергии, подводимой к пласту при колебания кровли, проводился по всей длине балки в различные моменты времени. Параметры для расчёта упругой энергии выбирались следующие:

мощность основной кровли – 15 м; ее ширина – 15 м; длина консольной балки – 75 м; длина обломившегося породного блока – 15 м; модуль упругости пород основной кровли – $7 \cdot 10^{10}$ Па; момент инерции балки – $J_x = 4218,75 \text{ м}^4$; частота затухающих колебаний – 1,97 Гц; коэффициент затуханий принят равным $\omega_0/2$.

Полученные результаты расчетов представлены на рис.3.

Сравнение результатов расчета с данными, приведенными в работе [4] показывает, что упругая энергия, подводимая к угольному пласту при колебаниях основной кровли, вызванных ее осадками, сравнима с энергией горных ударов и является достаточной для образования зоны вторичной дезинтеграции угольного массива и возникновения горных ударов.

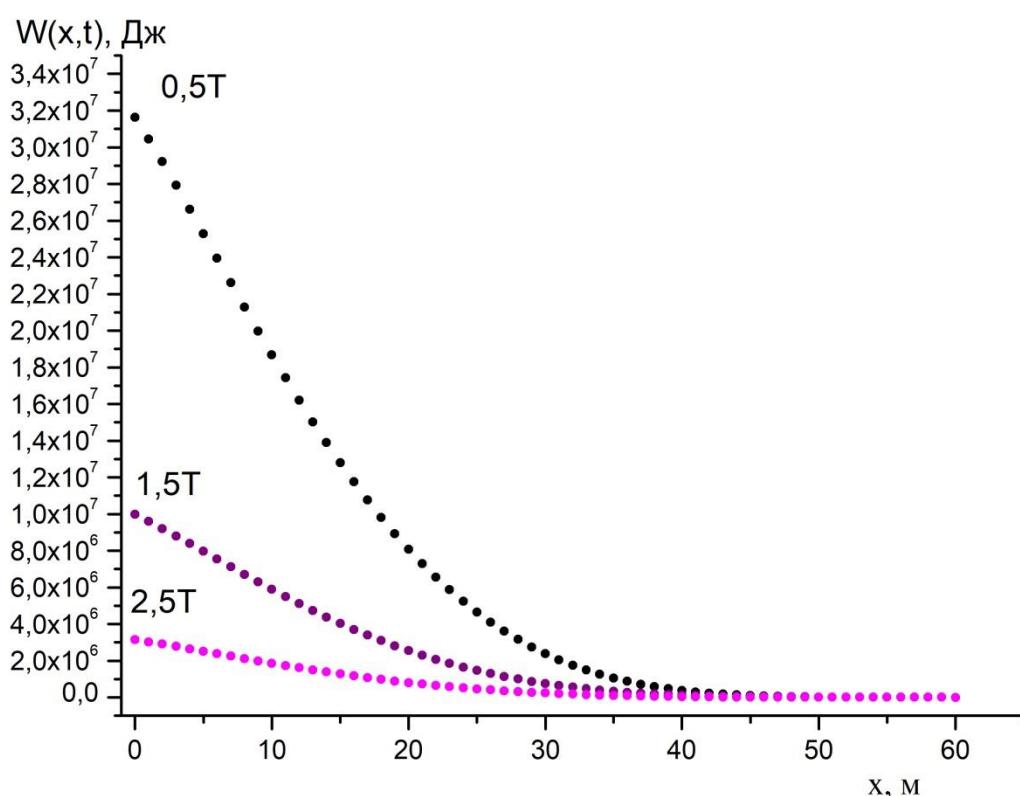


Рис. 6. Зависимость упругой энергии, подводимой к угольному пласту в области «газового мешка» в различные моменты, где T – период колебаний кровли.

Выводы:

1. При обрушении пород основной кровли возникают ее затухающие колебания, частота которых уменьшается в зависимости от длины консольной балки и не превышает 2.5 Гц и возрастает по экспоненциальному закону в зависимости от момента инерции, не превышая 1.6 Гц.
2. Период затухающих колебаний с увеличением длины консольной балки увеличивается, и его значения лежат в диапазоне

0.25÷0.95 с, в то время как коэффициент затуханий наоборот экспоненциально уменьшается с 0.61 до 0.13 Гц.

3. С уменьшением коэффициента затуханий от значений $\omega_0/2$ до значений $\omega_0/5$, время уменьшения амплитуды колебаний пород основной кровли увеличивается с 7 до 20 секунд.
4. В случае, если суммарная нагрузка на отдельные зоны угольного пласта превышает предел прочности, то возможно их разрушение.

Список литературы

1. Фофанов, А. А. К вопросу о частотах колебаний пород основной кровли при вторичных обрушениях/ Фофанов А. А., Дырдин В. В. // Вестник КузГТУ . - 2012 . -№3.-С.9-12.
2. Работнов Ю.Н. Сопротивление материалов – М.: Физматгиз.,1962.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. В 10-ти т. Т. VII. Теория упругости: Учебное пособие. – М: Наука. 1987.
4. Петухов И.М., Егоров П.В., Винокур Б.Ш. Предотвращение горных ударов на рудниках – М.: Недра, 1984.