

РАСЧЕТНАЯ СХЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ КОЛЕБАНИЯ КРОВЛИ МЕТОДОМ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

В. Ю. Умрихина, аспирант, II год
Научный руководитель: Г.Д. Буялич, д.т.н., проф.
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Во время вторичных осадок кровли при отработке угольных пластов с тяжёлыми кровлями происходит динамическое нагружение секций механизированной крепи [1–5].

В работах [6-7] динамические колебания блока кровли при ее обрушении были описаны неоднородным дифференциальным уравнением в частных производных четвертого порядка, а в работах [8-10] произведены расчеты с помощью программы Maple и получены результаты численного решения данного уравнения. Реакция крепи была представлена в виде сосредоточенной силы или распределённой трапециевидной нагрузки.

В работе [11] было найдено общее решение дифференциального уравнения в частных производных четвертого порядка по методу Фурье с помощью программы Excel.

А в статьях [12-13] рассмотрены особенности проведения статического структурного и модального анализа методом конечных элементов и определены частоты собственных колебаний блока кровли.

Расчётная схема для описания колебательного процесса блока кровли рис. 1, была представлена двухопорной балкой, которая имеет две опоры на вышележащие породы, равномерно распределённую нагрузку со стороны вышележащих пород и прогибы y , соответствующие деформированному блоку в момент времени, предшествующий хрупкому разрушению. Со стороны крепи на блок действует распределённая трапециевидная нагрузка, соответствующая сопротивлению крепи.

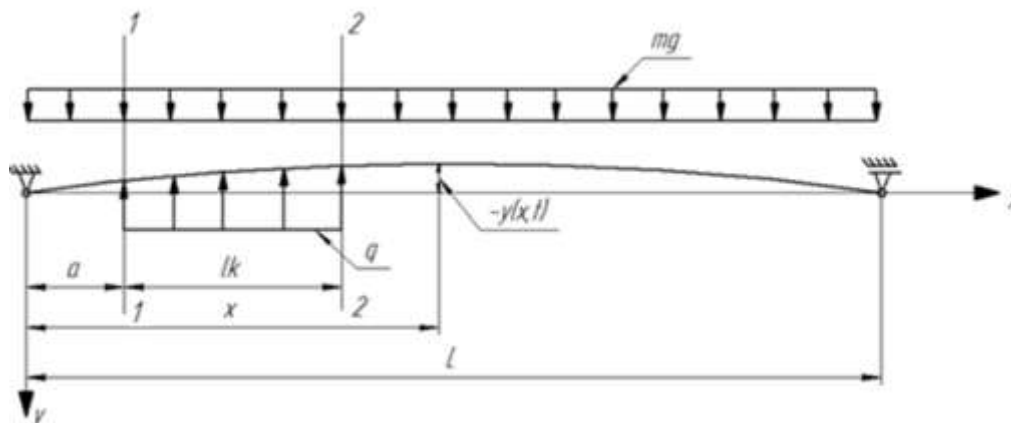


Рис. 1. Расчётная схема для определения колебаний блока (кровли) в момент проявления осадок

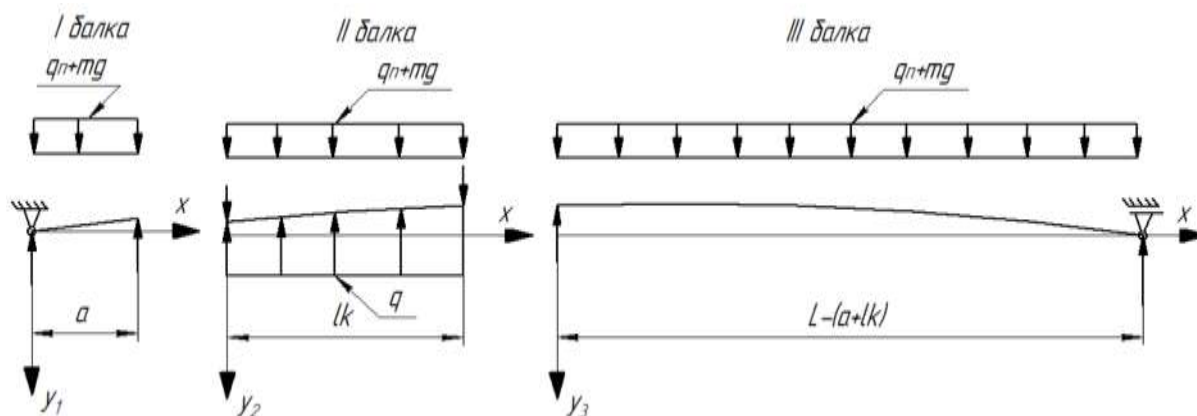


Рис. 2. Расчётные схемы модели блока кровли после расчленения на отдельные балки постоянного сечения

Обозначения на схеме (рис. 1, рис. 2):

l_k – длина перекрытия секции крепи;

a – расстояние от забоя до забойного конца перекрытия;

mg – величина распределённой нагрузки от веса блока;

L – длина блока кровли;

y и x – направление осей для определения параметров колебаний блока кровли в момент времени, после хрупкого разрушения пород кровли;

$y(x, t)$ – прогиб балки на расстоянии x в момент времени t .

В данной работе рассмотрены особенности влияния параметров колебания кровли, методом теории упругости. Для решения этой задачи можно воспользоваться методом И. А. Симвулиди [14], используемым в строительной механике.

Мысленно расчлняя балку рис. 1 плоскостями 1-1 и 2-2, схема расчленения (рис. 2), дает возможность каждую из полученных отдельных балок (I, II и III балки) рассмотреть как простую балку конечной длины.

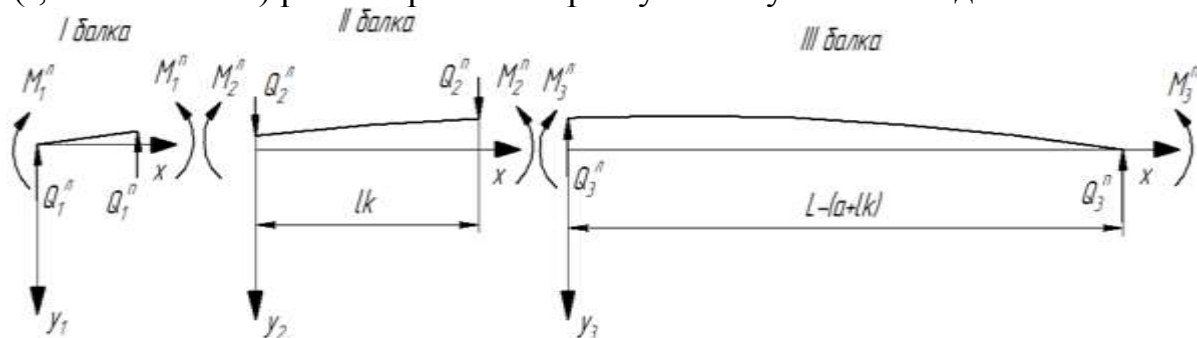


Рис. 3. Схемы заданных нагрузок для каждой балки

Каждая балка рис. 3 будет находиться под действием заданных нагрузок, а также неизвестных поперечных сил $Q_1^n, Q_1^n, Q_2^n, \dots, Q_3^n$ и изгибающих моментов $M_1^n, M_1^n, M_2^n, \dots, M_3^n$, которые возникают в местах разреза, т. е. по их концам взамен отброшенных частей.

Для нахождения деформации для каждой отсечённой балки используем уравнение плоской задачи теории упругости (плоская деформация).

Для каждой балки составляем соответствующие дифференциальные уравнения изгиба ее нейтральной оси.

Для I балки:

$$\frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + \frac{E_0 J}{m} \cdot \frac{\partial^4 y_1}{\partial x^4} = g$$

Для II балки:

$$\frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} + \frac{E_0 J}{m} \cdot \frac{\partial^4 y_2}{\partial x^4} = g - \frac{q}{m}$$

Для III балки:

$$\frac{\partial^2 y_3}{\partial t^2} + \frac{E_0 J}{m} \cdot \frac{\partial^4 y_3}{\partial x^4} = g$$

где $\partial^2 y / \partial t^2$ – вторая производная прогиба блока кровли по времени;

J – момент инерции поперечного сечения блока;

E_0 – модуль упругости пород кровли;

$\partial^4 y / \partial x^4$ – четвертая производная прогиба блока кровли по его длине;

g – ускорение свободного падения;

m – распределенная масса блока кровли

q – распределённая трапециевидная нагрузка со стороны механизированной крепи.

В случае шарнирного опирания балки изгибающие моменты M_1^I , M_3^I принимаем равными нулю.

Для нахождения неизвестных величин для каждой балки необходимо использовать следующие начальные условия:

$$y_1(x, 0) = -((x \cdot (q_{\text{п}} + mg) / (24 \cdot E_0 \cdot J)) \cdot (3 \cdot L^2 - 8 \cdot L \cdot (a + l_k) + 6 \cdot (a + l_k)^2 - x \cdot (6 \cdot a^2 - 4 \cdot a \cdot x + x^2))),$$

$$y_2(x, 0) = -(((x + a) \cdot (q_{\text{п}} + mg) / (24 \cdot E_0 \cdot J)) \cdot (3 \cdot L^2 - 8 \cdot L \cdot (a + l_k) + 6 \cdot (a + l_k)^2 - (x + a) \cdot (6 \cdot l_k^2 - 4 \cdot l_k \cdot (x + a) + (x + a)^2) - q \cdot (6 \cdot l_k^2 - 4 \cdot l_k \cdot (x + a) + ((x + a)^2 - 4 \cdot a \cdot (x + a) + 6 \cdot a^2)))))$$

$$y_3(x, 0) = -(((x + a + l_k) \cdot (q_{\text{п}} + mg) / (24 \cdot E_0 \cdot J)) \cdot (3 \cdot L^2 - 8 \cdot L \cdot (a + l_k) + 6 \cdot (a + l_k)^2 - (x + a + l_k) \cdot (6 \cdot (L - (a + l_k))^2 - 4 \cdot (x + a + l_k) \cdot (L - (a + l_k)) + (x + a + l_k^2)))))$$

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} y_1(x, 0) = 0, \quad \frac{\partial^2}{\partial t^2} y_2(x, 0) = 0, \quad \frac{\partial^2}{\partial t^2} y_3(x, 0) = 0$$

и граничные условия:

$$y_1(0, t) = 0, \quad y_3(L, t) = 0, \quad \frac{\partial^2}{\partial x^2} y_1(0, t) = 0, \quad \frac{\partial^2}{\partial x^2} y_3(L, t) = 0$$

В местах разреза балка дополнительно нагружена перерезывающими силами и изгибающими моментами:

$$y_1(a, t) = y_2(a, t), \quad y_2(a + lk, t) = y_3(a + lk, t),$$

$$-\frac{\partial^2}{\partial x^2} y_1(a, t) = \frac{\partial^2}{\partial x^2} y_2(a, t), \quad -\frac{\partial^2}{\partial x^2} y_2(a + lk, t) = \frac{\partial^2}{\partial x^2} y_3(a + lk, t)$$

$$-\frac{\partial^3}{\partial x^3} y_1(a, t) = \frac{\partial^3}{\partial x^3} y_2(a, t), \quad -\frac{\partial^3}{\partial x^3} y_2(a + lk, t) = \frac{\partial^3}{\partial x^3} y_3(a + lk, t)$$

В результате использования всех перечисленных выше условий рассмотренная схема расчленения модели блока кровли на отдельные балки и

дальнейшие результаты, расчета которые должны быть получены, дают возможность оценить динамические колебания блока кровли, после хрупкого разрушения пород и исключить возможность возникновения резонансных явлений, которые могут возникнуть в процессе работы горных машин.

Список литературы:

1. Расширение технологических возможностей механизированных крепей / Б. А. Александров, А. Н. Коршунов, А. И. Шундулиди, Г. Д. Буялич, Ю. М. Леконцев, Ю. А. Антонов. – Кемерово : Изд-во Томского ун-та, Кузбассвуиздат, 1991. – 372 с.

2. Контактное и силовое взаимодействие механизированных крепей с боковыми породами / Б. А. Александров, Г. Д. Буялич, Ю. А. Антонов, В. И. Шейкин. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 2003. – 130 с.

3. Качество взаимодействия механизированных крепей с боковыми породами / Б. А. Александров, Ю. А. Антонов, Г. Д. Буялич, К. Г. Буялич, В. И. Шейкин. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 2009. – 121 с.

4. О направлении снижения напряженно-деформированного состояния призабойной зоны угольного пласта / Г. Д. Буялич, Ю. А. Антонов, В. И. Шейкин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – Отд. вып. 2 : Горное машиностроение. – С. 198–202.

5. Буялич, Г. Д. Инновационный подход к вопросам монтажа и эксплуатации секции механизированной крепи / Г. Д. Буялич, В. М. Тарасов, Н. И. Тарасова // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной. – 2013. – № 1.1. – С. 115–126.

6. Буялич Г.Д. Моделирование динамических колебаний блока кровли / Г.Д. Буялич, К.Г. Буялич, В.Ю. Умрихина // Инновации в технологиях и образовании : сб. ст. VII Между-нар. науч.-практ. конф., Белово, 28–29 марта 2014 г. В 4 ч. Ч. 1 /Филиал КузГТУ в г. Белово. – Белово, Велико Тырново : Изд-во филиала КузГТУ в г. Белово, изд-во ун-та «Св. Кирилла и Св. Мефодия, 2014. – С. 115–119.

7. Буялич Г.Д. О форме динамических колебаний блока кровли при реакции крепи в виде сосредоточенной силы / Г.Д. Буялич, К.Г. Буялич, В.Ю. Умрихина // Перспективы инновационного развития угольных регионов России: сб.тр. IV Междунар. науч.-практ. конф., Прокопьевск, 4-5марта.2014 г. –Прокопьевск: изд-во филиала КузГТУ в г. Прокопьевске, 2014. – С.133–134.

8. Calculation of fluctuations in secondary roof collapses / Buyalich G.D., Buyalich K.G., Umrikhina V.Y. // MINER'S WEEK – 2015 : Reports of the XXIII international scientific symposium. – 2015. – С. 520–525.

9. Буялич, Г.Д. О динамических колебаниях блока кровли при реакции крепи в виде распределенной нагрузки / Г.Д. Буялич, К.Г. Буялич, В.Ю. Умрихина // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности : сб. тр. XVI Междунар. науч.-практ.

конф., Кемерово, 7–10 окт. 2014 г. [Электронный ресурс] – Кемерово : СО РАН, КеМНЦ СО РАН, ИУ СО РАН, Кузбас. гос. техн. ун-т, ООО КВК «Экспо-Сибирь», 2014. – 1 электрон. опт. диск (CD–ROM). – Загл. с этикетки диска. – ISBN 978-5-902305-42-2. – С. 108–110.

10. Буялич, Г.Д. Численное моделирование динамических колебаний кровли при ее обрушении / Г.Д. Буялич, К.Г. Буялич, В.Ю. Умрихина // Актуальные проблемы современного машиностроения : сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф., Юрга, 11–12 дек. 2014 г. / Юрг. технолог. ин-т. – Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2014. – С. 199–202.

11. Буялич, Г.Д. Определение характера и величины воздействия колебаний кровли на крепь / Г.Д. Буялич, В.Ю. Умрихина // Инновационные технологии и экономика в машиностроении : сб. тр. V Междунар. науч.-практ. конф., Юрга, 21–23 мая 2015 г. / Юрг. технолог. ин-т. – Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2015. – С. 441–444.

12. Буялич, Г. Д. Исследование параметров колебания кровли методом конечных элементов / Г. Д. Буялич, В, Ю. Умрихина // Современная наука: проблемы и пути их решения : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., Кемерово, 10–12 дек. 2015 г. В 2-х т. Т. 1 / Западно-Сибирский научный центр. – Кемерово : КузГТУ, 2015. – С. 30–33.

13. Буялич, Г. Д. Параметры колебаний кровли при модальном анализе / Г. Д. Буялич, В, Ю. Умрихина // Современные тенденции развития науки и производства: сб. материалов III Междунар. науч.-практ. конф., Кемерово, 21–22 янв. 2016 г. / Западно-Сибирский научный центр. – Кемерово : КузГТУ, 2016. – С. 17–19.

14. Симвулиди И. А. Расчет инженерных конструкций на упругом основании: Учеб. пособие для строит. спец. вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1987. – 576 с.: ил.