

**Г.Д. Буялич, К.Г. Буялич, В.Ю. Умрихина**

## **РАСЧЕТ КОЛЕБАНИЙ КРОВЛИ ПРИ ВТОРИЧНЫХ ОСАДКАХ**

Приведены результаты численного решения дифференциального уравнения динамических колебаний блока кровли, нагруженного реакцией крепи в виде распределенной нагрузки. Показана расчетная схема нагружения блока (кровли) перед его хрупким разрушением. По результатам расчетов получены амплитуды и формы колебаний блока кровли после его хрупкого разрушения в зависимости от физико-механических свойств пород, параметров кровли и параметров механизированной крепи.

Ключевые слова: кровля, динамические колебания, крепь, угольный пласт, деформация блока.

**П**ри отработке угольных пластов с труднообрушаемыми кровлями нередко возникают ситуации, в процессе которых происходят вторичные осадки основной кровли с динамическими проявлениями горного давления со стороны боковых пород [1, 2]. При этом скорость и величина воздействия блоков кровли на металлоконструкцию крепи варьируются в широких пределах и определяются силовыми параметрами крепи, а также мощностью и свойствами пород слоев непосредственной и основной кровель [2–5].

В работах [6–11] была предпринята попытка математического описания процесса динамического воздействия блока кровли на крепь после хрупкого разрушения пород. При этом реакция со стороны крепи на блок кровли была представлена в виде сосредоточенной силы.

В данной работе дано описание математического моделирования взаимодействия блока кровли с крепью, реакция которой представлена в виде распределенной нагрузки.

Расчетная схема для описания колебательного процесса блока кровли представлена на рис. 1.

На схемах изображена равномерная пригрузка со стороны вышележащих пород и прогибы  $y$ , соответствующие деформированному блоку в момент времени, предшествующий хрупкому разрушению. Со стороны крепи на блок действует распределенная трапецеидальная нагрузка, соответствующая сопротивлению крепи.

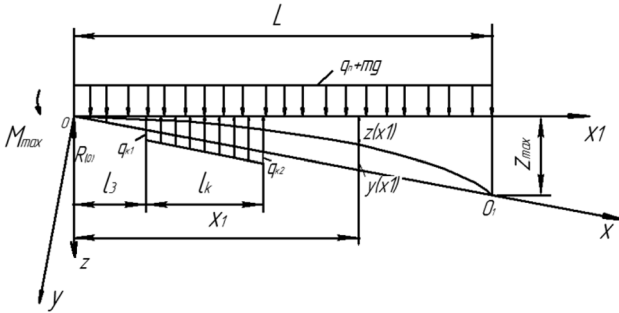


Рис. 1. Расчетная схема нагружения блока (кровли) перед его хрупким разрушением

Обозначения на схемах (рис. 1 и 2):  $q_{k1}$  и  $q_{k2}$  — соответственно, величина распределенной нагрузки от секции крепи со стороны забойной и завальной концов перекрытия;  $l_k$  — длина перекрытия секции крепи;  $l_3$  — расстояние от забоя до забойного конца перекрытия;  $q_{II}$  — величина пригрузки со стороны вышележащих пород;  $mg$  — величина пригрузки от веса блока;  $M_{\max}$  — максимальный изгибающий момент в заделке в момент времени, предшествующий хрупкому разрушению пород кровли;  $R_{(0)}$  — реакция в заделке в момент времени, предшествующий хрупкому разрушению пород кровли;  $L$  — длина блока кровли;  $z_{\max}$  — максимальный прогиб блока кровли в момент времени, предшествующий хрупкому разрушению пород кровли;  $x_1$  — направление оси для определения прогибов блока кровли в момент времени, предшествующий хрупкому разрушению пород кровли;  $y, x$  — направление осей для определения параметров колебаний блока кровли в момент времени, после хрупкого разрушения пород кровли.

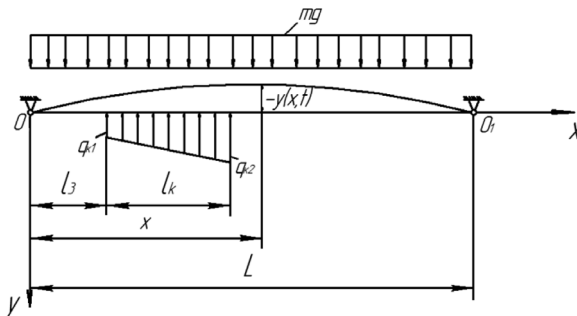


Рис. 2. Расчетная схема блока кровли после хрупкого разрушения

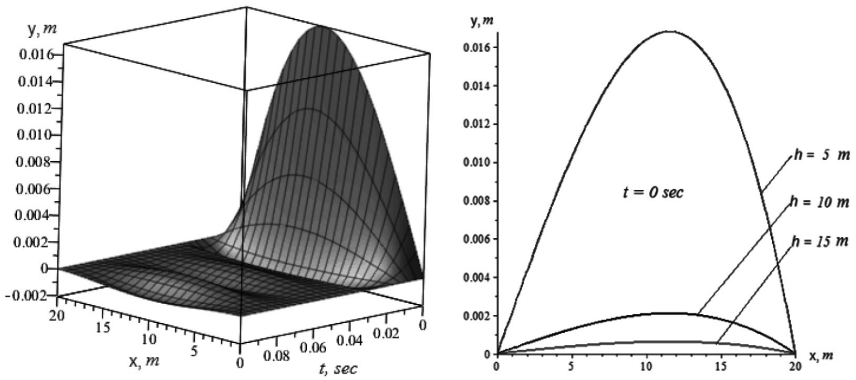


Рис. 3. Изменение амплитуды колебания кровли ( $y$ ) по времени ( $t$ ) и длине блока ( $x$ ) в зависимости от мощности кровли ( $h$ ) при  $E_0 = 3 \cdot 10^{10}$  Па,  $q_{k1} = 6 \cdot 10^6$  Н/м,  $q_{k2} = 11 \cdot 10^6$  Н/м,  $l_k = 3,0$  м,  $l_3 = 0,3$  м

Колебания блока кровли можно описать неоднородным дифференциальным уравнением в частных производных четвертого порядка

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

где  $\partial^2 y / \partial t^2$  – вторая производная прогиба блока кровли по времени;  $J$  – момент инерции поперечного сечения блока;  $E_0$  – модуль упругости первого рода пород кровли;  $\partial^4 y / \partial x^4$  – четвер-

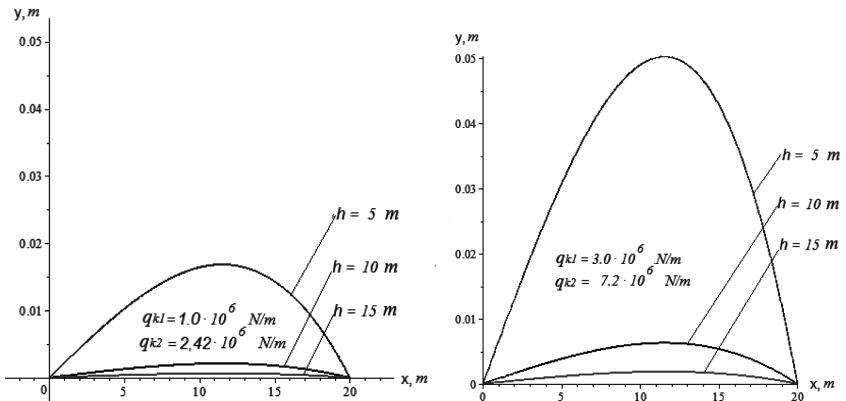


Рис. 4. Изменение амплитуды колебания кровли по длине блока при различных силовых параметрах крепи  $q_1$  и  $q_2$  при  $E_0 = 3 \cdot 10^{10}$  Па,  $l_k = 3,0$  м,  $l_3 = 0,3$  м,  $L = 20$  м и времени  $t = 0$  с

тая производная прогиба блока кровли по его длине;  $g$  – ускорение свободного падения;  $m$  – распределенная масса блока кровли.

Решение данного дифференциального уравнения, найденное в общем виде по методу Фурье [4–6] для реакции крепи, представленной в виде сосредоточенной силы, показало, что в месте приложения реакции крепи перемещения пород кровли имеют ярко выраженный колебательный характер и определяются параметрами как крепи, так и кровли.

В данной работе приводится решение дифференциального уравнения численным методом при граничных и начальных условиях, соответствующих приведенным расчетным схемам с распределенной нагрузкой со стороны крепи, приложенными усилиями и деформациями блока перед его хрупким разрушением.

По результатам расчетов получены амплитуды и формы колебаний блока кровли после его хрупкого разрушения в зависимости от физико-механических свойств пород, параметров кровли и параметров механизированной крепи.

Примеры расчетов деформации кровли по длине блока единичной ширины в различные моменты времени при изменении мощности  $h$  приведены на рис. 3–5.

Анализ результатов моделирования динамических колебаний кровли показывает, что при трапециoidalной распределенной нагрузке со стороны крепи амплитуда колебаний кровли составляет  $A = 0,002–0,018$  м, частота колебаний  $f = 2,7–16,6$  Гц,

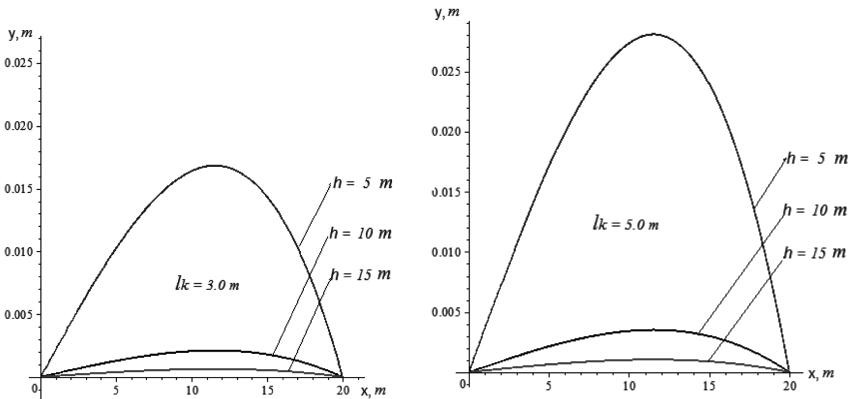


Рис. 5. Изменение амплитуды колебания кровли по длине блока при различных длинах перекрытия крепи  $l_k$  при  $E_0 = 3 \cdot 10^{10}$  Па,  $q_{k1} = 1 \cdot 10^6$  Н/м,  $q_{k2} = 2,42 \cdot 10^6$  Н/м,  $l_k = 3,0$  м,  $l_3 = 0,3$  м,  $L = 20$  м и времени  $t = 0$  с

скорость смещения  $V = 0,05-0,1$  м/с. При этом наибольшее влияние на параметры колебаний кровли оказывают модуль упругости пород ( $E_0$ ), момент инерции балки ( $J$ ) и координаты приложения распределенной нагрузки от действия крепи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буялич Г. Д., Антонов Ю. А., Шейкин В. И. Механизм взаимодействия механизированных крепей с кровлями угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. ОВЗ. Горное машиностроение. – 2012. – С. 122–125.

2. Буялич Г. Д. Направления совершенствования механизированных крепей для отработки угольных пластов в сложных горно-геологических условиях / Горная техника: добыча, транспортировка и переработка полезных ископаемых: каталог-справочник. – СПб.: Славутич, 2007. – С. 10–16.

3. Буялич Г. Д., Леконцев Ю. М., Александров Б. А. Исследование работы предохранительного клапана ЭКП в период резких осадков кровли // Механизация горных работ: межвузовский сборник научных трудов. Кузбас. политехн. ин-т. – Кемерово, 1978. – Вып. 2. – С. 49–55.

4. Буялич Г. Д. Экспериментально-теоретическая оценка и обоснование параметров механизированных крепей для сложных горно-геологических условий пологих угольных пластов: автореф. ... док-ра техн. наук: 05.05.06. – Кемерово, 2004. – 32 с.

5. Александров Б. А., Буялич Г. Д., Антонов Ю. А. Влияние начального распора механизированной крепи на частоту и интенсивность резких осадков кровли // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2002. – № 6. – С. 21–22.

6. Буялич Г. Д., Антонов Ю. А., Буялич К. Г., Казанцев М. В. Математическая модель процесса динамического обрушения // Горный информационно-аналитический бюллетень. ОВ 7. Современные технологии на горнодобывающих предприятиях. – 2012. – С. 233–237.

7. Буялич Г. Д., Антонов Ю. А., Буялич К. Г., Казанцев М. В., Римова В. М. О модели динамического взаимодействия крепи с кровлей / Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2012: материалы IX Международной научно-практической конференции, Кемерово, 1–2 ноября 2012 г. В 2-х т. Т. 1. – Кемерово: КузГТУ, 2012. – С. 149–153.

8. Буялич Г. Д. Оценка характера взаимодействия крепи с труднообрушаемой кровлей / Совершенствование технологических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых: сборник научных трудов. Ассоциация «Кузбассуглетехнология». – Кемерово, 1995. – № 9. – С. 35–37.

9. Александров Б. А., Буялич Г. Д., Антонов Ю. А., Леконцев Ю. М., Луций М. Г. Особенности взаимодействия механизированных крепей с боковыми породами в сложных горно-геологических условиях пологих и наклонных пластов. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 2002. – 144 с.

10. Буялич Г. Д., Буялич К. Г., Умрихина В. Ю. О форме динамических колебаний блока кровли при реакции крепи в виде сосредоточенной

силы / Перспективы инновационного развития угольных регионов России: сборник трудов IV Международной научно-практической конференции. — Прокопьевск, 2014. — С. 133–134.

11. Буялич Г.Д., Буялич К.Г., Умрихина В.Ю. Моделирование динамических колебаний блока кровли / Инновации в технологиях и образовании: сборник статей VII Международной научно-практической конференции, 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. **PLAB**

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Буялич Геннадий Данилович*<sup>1</sup> — доктор технических наук, профессор, e-mail: gdb@kuzstu.ru,

Юргинский технологический институт (филиал)  
Томского политехнического университета,

*Буялич Константин Геннадьевич*<sup>1</sup> — кандидат технических наук, доцент, e-mail: konstantin42@mail.ru,

*Умрихина Веста Юрьевна*<sup>1</sup> — аспирант,  
e-mail: Umrevgen@yandex.ru,

<sup>1</sup> Кузбасский государственный технический университет  
им. Т.Ф. Горбачева (КузГТУ).

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 6, pp. 115–121.

UDC 622.831

**G.D. Buyalich, K.G. Buyalich, V.Yu. Umrikhina**

#### **CALCULATION OF FLUCTUATIONS IN SECONDARY ROOF COLLAPSES**

The results of numerical solution of the differential equation of dynamic fluctuations block roof, loaded reaction lining in the form of a distributed load.

Shows a diagram of a loading unit (roof) before brittle fracture. The calculation results obtained in the amplitude and shape of the oscillation block of the roof after his brittle fracture depending on the physico-mechanical properties of rocks, the parameters of the roof and roof support options.

Key words: roof, dynamic fluctuations, roof support, the coal seam, the deformation of the unit.

#### AUTHORS

*Buyalich G.D.*<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor,  
e-mail: gdb@kuzstu.ru, Yurga Institute of Technology (Branch)  
of National Research Tomsk Polytechnic University,  
652055, Yurga, Russia,

*Buyalich K.G.*<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,  
e-mail: konstantin42@mail.ru,

*Umrikhina V.Yu.*<sup>1</sup>, Graduate Student,  
e-mail: Umrevgen@yandex.ru,

<sup>1</sup> Kuzbass State Technical University named after T. Gorbachev,  
650000, Kemerovo, Russia.

## REFERENCES

1. Buyalich G. D., Antonov Yu. A., Sheykin V. I. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. Special issue 3. 2012, pp. 122–125.
2. Buyalich G. D. *Gornaya tekhnika: dobycha, transportirovka i pererabotka poleznykh iskopaemykh: katalog-spravochnik* (Mining machinery: Mineral mining, haulage and processing: Reference catalogue), Saint-Petersburg, Slavutich, 2007, pp. 10–16.
3. Buyalich G. D., Lekontsev Yu. M., Aleksandrov B. A. *Mekhanizatsiya gornyykh rabot: mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov. Kuzbasskiy politekhnicheskii institut*, Vyp. 2 (Mechanization of mining operations: Interuniversity collection of papers. Kuzbass Polytechnic Institute), issue 2, Kemerovo, 1978, pp. 49–55.
4. Buyalich G. D. *Eksperimental'no-teoreticheskaya otsenka i obosnovanie parametrov mekhanizirovannykh krepey dlya slozhnykh gorno-geologicheskikh usloviy pologikh ugol'nykh plastov* (Experimental-theoretical estimation and evaluation of powered support parameters for complicated ground conditions of gently dipping coal), Doctor's thesis Kemerovo, 2004, 32 p.
5. Aleksandrov B. A., Buyalich G. D., Antonov Yu. A. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2002, no 6, pp. 21–22.
6. Buyalich G. D., Antonov Yu. A., Buyalich K. G., Kazantsev M. V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. Special issue 7, 2012, pp. 233–237.
7. Buyalich G. D., Antonov Yu. A., Buyalich K. G., Kazantsev M. V., Rimova V. M. *Prirodnye i intellektual'nye resursy Sibiri. Sibresurs 2012: materialy IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, Kemerovo, 1–2 noyabrya 2012 g. T. 1. (Natural and intellectual assets of Siberia. SibResource-2012: The 9th International Scientific–Practical Conference Proceedings, Kemerovo, November 1–2, 2012, vol. 1), Kemerovo, KuzGTU, 2012, pp. 149–153.
8. Buyalich G. D. *Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh protsessov pri razrabotke mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh: sbornik nauchnykh trudov. Assotsiatsiya «Kuzbassugletekhnologiya»* (Process flow improvement in mineral mining: Collection of scientific papers. Kuzbassugletekhnologiya Association), no 9, Kemerovo, 1995, pp. 35–37.
9. Aleksandrov B. A., Buyalich G. D., Antonov Yu. A., Lekontsev Yu. M., Lupiy M. G. *Osobennosti vzaimodeystviya mekhanizirovannykh krepey s bokovymi porodami v slozhnykh gorno-geologicheskikh usloviyakh pologikh i naklonnykh plastov* (Features of sidewall rock and powered support interaction in complicated ground conditions of gently dipping and inclined seams), Tomsk, Izd-vo Tom. un-ta, 2002, 144 p.
10. Buyalich G. D., Buyalich K. G., Umrikhina V. Yu. *Perspektivy innovatsionnogo razvitiya ugol'nykh regionov Rossii: sbornik trudov IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (Prospects of innovative development in coal-mining regions in Russia: The 4th International Scientific–Practical Conference Proceedings), Prokop'evsk, 2014, pp. 133–134.
11. Buyalich G. D., Buyalich K. G., Umrikhina V. Yu. *Innovatsii v tekhnologiyakh i obrazovanii: sbornik statey VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, Belovo, 28–29 marta 2014 g. Ch. 1 (Innovations in technology and education: The 7th International Scientific–Practical Conference Proceedings, Belovo, March 28–29, 2014, part 1), Belovo, Veliko Tyrnovo, Izd-vo filiala KuzGTU v g. Belovo, izd-vo un-ta «Sv. Kirilla i Sv. Mefodiya», 2014, pp. 115–119.

