

2. Шейхов М.А. О применении статистических методов в контроле и управлении качеством продукции / М.А. Шейхов, Р.Д. Устарханова // Вопросы структуризации экономики – Махачкала, 2007. – №3 – с. 46-48.
3. Кострикина И.А. Статистические методы в управлении технологическим процессом / И.А. Кострикина, Т.А. Миклина // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество» – 2009. – Том 2 – с. 195-197.
4. ГОСТ 13586.3-83. Зерно. Правила приемки и методы отбора проб. – Взамен ГОСТ 10839-64; введ. 1984-07-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – с. 15.
5. ГОСТ Р 52554-2006. Пшеница. Технические условия. – Введ. 2007-07-01. – Москва, Стандартинформ, 2006. – с. 13.
6. ГОСТ 13586.5-93. Зерно. Метод определения влажности. – Взамен ГОСТ 13586.5-85; введ. 1995-01-01. – Москва, Стандартинформ, 2009. – с. 10.
7. ГОСТ 27676-88 Зерно и продукты его переработки. Метод определения числа падения. – Введ. 1990-07-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – с. 7.
8. Кане М.М. Системы, методы и инструменты менеджмента качества: учебное пособие. – СПб.: Питер, 2008. – с. 580.
9. Число падения и его значение в торговле пшеницей [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: [http:// www.fczerma.ru](http://www.fczerma.ru).
10. Колесникова Т.Г. Статистические методы контроля качества продукции в системе управления качеством / Т.Г. Колесникова, Л.В. Леонидов // Инновационные технологии управления и права. – 2014. – №3(10) – с. 17-21.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ОБРУШАЮЩЕЙСЯ КРОВЛИ В ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ ПРИ СОПРОТИВЛЕНИИ КРЕПИ В ВИДЕ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ СИЛЫ

Г.Д. Буялич<sup>1,2,a</sup>, К.Г. Буялич<sup>1,b</sup>, В.Ю. Умрихина<sup>1,c</sup>

<sup>1</sup> Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,  
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, Россия, тел. +7 (3842) 39-69-40

<sup>2</sup> Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. +7 (38451) 6-05-37  
E-mail: <sup>a</sup>[gdb@kuzstu.ru](mailto:gdb@kuzstu.ru), <sup>b</sup>[konstantin42@mail.ru](mailto:konstantin42@mail.ru), <sup>c</sup>[Umrevgen@yandex.ru](mailto:Umrevgen@yandex.ru)

Динамическое воздействие кровли на элементы механизированной крепи вызывает их поломку вследствие неправильной технологии изготовления [1–3], раздутия рабочих цилиндров гидростоек как по причине их конструктивных особенностей [2–5], так и по причине большой скорости протекания процесса сдвигания [6–8], что неизбежно ведёт к неправильной работе уплотнений и потере их герметичности [9–11]. Величина и интенсивность вторичных осадков кровли зависит от сопротивления крепи и распределения его по ширине рабочего пространства [6–8, 12–14].

При этом частота колебаний обрушающегося породного блока может совпасть с частотой собственных колебаний металлоконструкции крепи, в результате чего возникает явление резонанса, которое может привести к её разрушению при внешних нагрузках, не превышающих номинальное рабочее сопротивление.

Для исследования колебательного процесса блока кровли при внезапном (хрупком) обрушении пород была принята следующая гипотеза: в процессе отработки угольного пласта блок кровли деформируется под действием собственного веса, равномерно распределённой нагрузки со стороны вышележащих пород (пригрузки) и сосредоточенной силы, численно равной номинальному рабочему сопротивлению крепи и расположенной от забоя на расстоянии, равном расстоянию от забоя до результирующей силы от крепи.

При этом один конец балки над забоем защемлён, другой конец со стороны выработанного пространства – свободно висит. Эта схема изображена на рис. 1. Максимальные перемещения у балки для данной схемы – на свободном конце, а максимальные напряжения – в заделке.

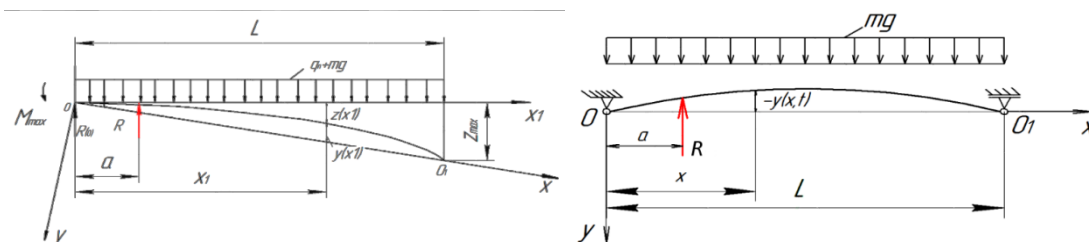


Рис. 1. Расчётная схема нагружения блока (кровли) до и после его хрупкого разрушения

При достижении напряжений в заделке балки допустимых происходит хрупкое разрушение пород кровли (происходит вторичная осадка кровли), заделка мгновенно разрушается, в результате чего балка стремится выпрямиться и накопленная потенциальная энергия деформированной балки переходит в кинетическую энергию колебательного процесса.

Величина кинетической энергии пропорциональна геометрическим размерам блока, массе его пород, величине деформаций до разрушения и приложенных сил.

Расчётная схема после разрушения заделки становится двухопорной.

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 сосредоточенная сила, соответствующая номинальному сопротивлению крепи.

Обозначения на схемах (рис. 1):

$R$  – усилие крепи в виде сосредоточенной силы, равной номинальному рабочему сопротивлению;

$a$  – расстояние от забоя до равнодействующей от усилий со стороны крепи (сосредоточенной силы);

$q_n$  – величина пригрузки со стороны вышележащих пород;

$mg$  – величина пригрузки от собственного веса блока;

$g$  – ускорение свободного падения;

$m$  – распределённая масса блока кровли;

$M_{max}$  – 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 в координатах  $z$ - $x1$ ;

$x1$  – направление оси для определения прогибов блока кровли в момент времени, предшествующий хрупкому разрушению пород кровли;

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

Колебания блока кровли после хрупкого разрушения пород можно описать неоднородным дифференциальным уравнением в частных производных четвёртого 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;

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

Начальным условием для численного решения данного дифференциального уравнения является уравнение прогиба балки в момент времени, предшествующий хрупкому разрушению пород кровли (рис. 1)

$$y(x, 0) = \begin{cases} \left(\frac{x}{24E_0J}\right) \cdot [(q_n + mg)(6L^2x - 4Lx^2 + x^3 - 3L^3) + 2Rx(x - 3a)], & \text{при } x < a, \\ \left(\frac{x}{24E_0J}\right) \cdot [(q_n + mg)(6L^2x - 4Lx^2 + x^3 - 3L^3)], & \text{при } x \geq a. \end{cases}$$

Граничными условиями при решении приведённого дифференциального уравнения будут равенство нулю прогибов и изгибающих моментов в шарнирных опорах балки (блока кровли) в соответствии с Рис. 1:

$$\begin{aligned} y(0, t) &= 0, \\ y(L, t) &= 0, \\ \frac{\partial^2 y(0, t)}{\partial x^2} &= 0, \\ \frac{\partial^2 y(L, t)}{\partial x^2} &= 0 \end{aligned}$$

Принятие реакции крепи в виде сосредоточенной силы упрощает решение данного дифференциального уравнения, описывающего колебательный процесс обрушения кровли, и позволяет в первом приближении оценить параметры колебания блока (частоту, амплитуду и скорость сдвижения) при вторичных осадках.

В результате численного решения данного дифференциального уравнения были получены зависимости амплитуд и форм колебаний блока кровли после его хрупкого разрушения в зависимости от физико-механических свойств пород, параметров кровли и параметров крепи (рис. 2–4), из которых видно, что максимальное значение амплитуды колебания блока находится в месте приложения усилия крепи R.

Кроме того, увеличение номинального рабочего сопротивления крепи R и расстояния от забоя до места расположения равнодействующей реакции крепи a вызывает увеличение амплитуды и скорости сдвижения кровли. Увеличение же удельного веса пород кровли уменьшает амплитуду и скорость сдвижения кровли, вследствие увеличения инерционных сил.

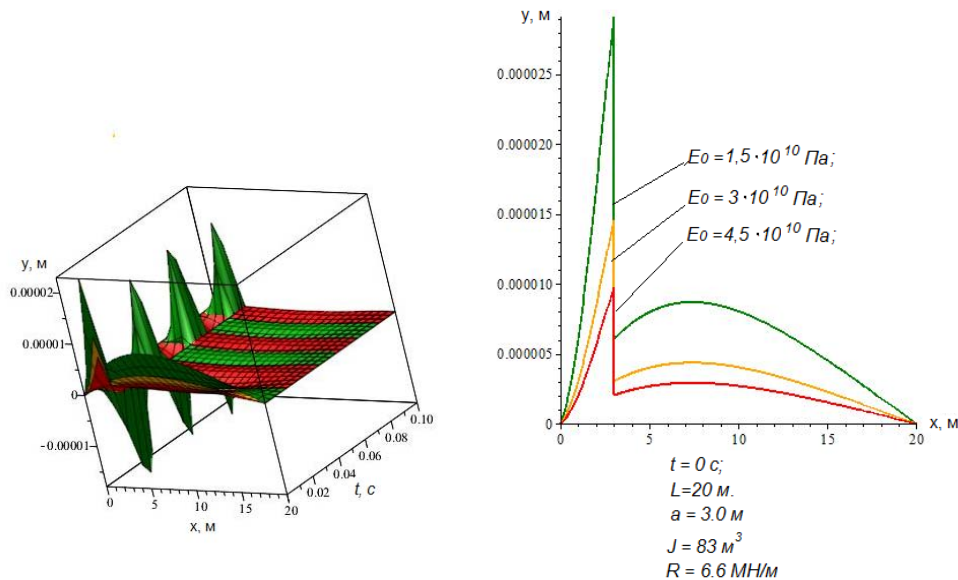


Рис. 2. Изменение амплитуды колебания кровли (y) по времени (t) и длине блока (x) в зависимости от модуля упругости пород кровли ( $E_0$ ) при номинальном рабочем сопротивлении крепи  $R = 6.6$  МН/м, моменте инерции поперечного сечения блока  $J = 83$  м<sup>3</sup>, длине блока  $L = 20$  м и расстоянии от забоя до реакции крепи  $a = 3.0$  м

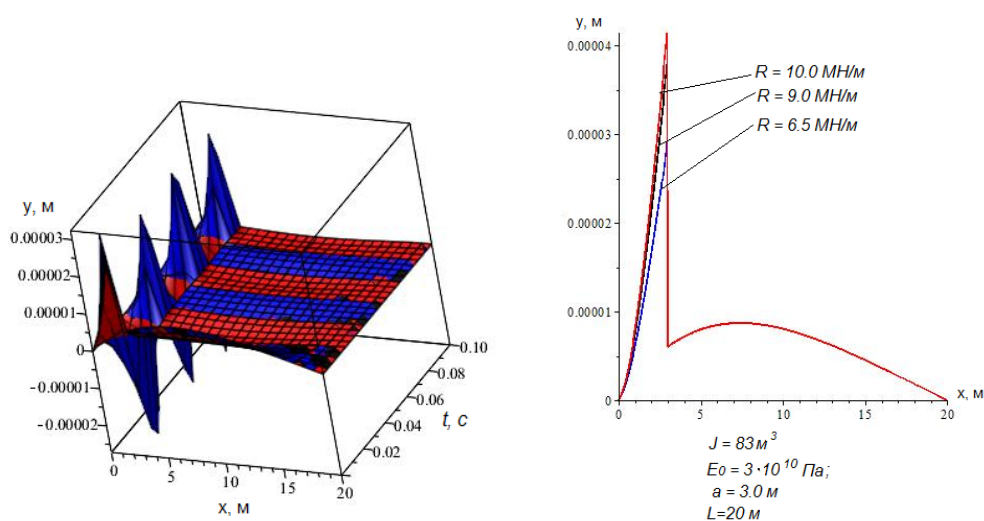


Рис. 3. Изменение амплитуды колебания кровли ( $y$ ) по времени ( $t$ ) и длине блока ( $x$ ) в зависимости от номинального рабочего сопротивления крепи  $R$  при модуле упругости пород кровли  $E_0 = 3 \cdot 10^{10} \text{ Па}$ , моменте инерции поперечного сечения блока  $J = 83 \text{ м}^3$ , длине блока  $L = 20 \text{ м}$  и расстоянии от забоя до реакции крепи  $a = 3.0 \text{ м}$

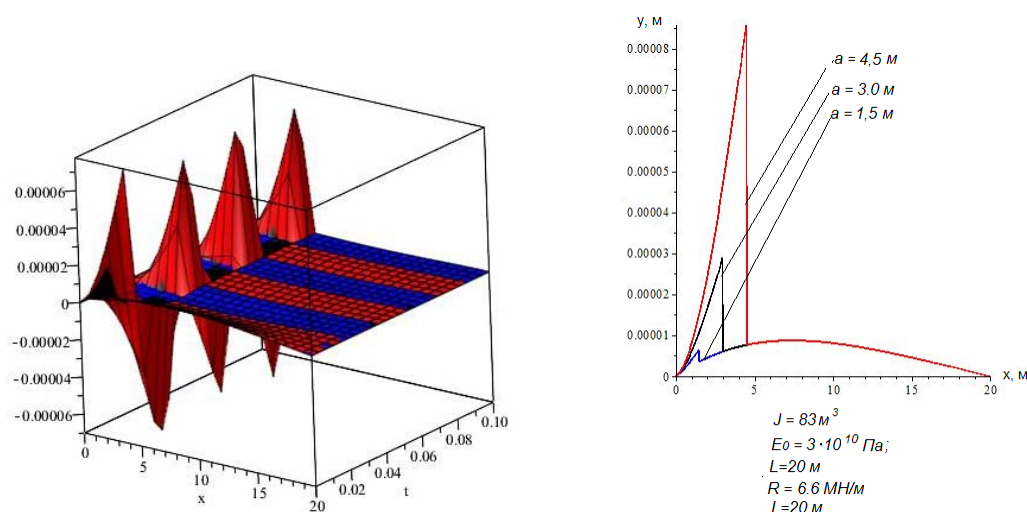


Рис. 4. Изменение амплитуды колебания кровли ( $y$ ) по времени ( $t$ ) и длине блока ( $x$ ) в зависимости от расстояния от забоя до реакции крепи  $a$  при номинальном рабочем сопротивлении крепи  $R = 6.6 \text{ МН/м}$ , модуле упругости пород кровли  $E_0 = 3 \cdot 10^{10} \text{ Па}$ , моменте инерции поперечного сечения блока  $J = 83 \text{ м}^3$ , длине блока  $L = 20 \text{ м}$

Параметры колебания блока кровли при вторичных осадках кровли определяются физико-механическими свойствами пород (удельная масса  $m$ , модуль упругости  $E_0$ ), размерами блока кровли (длина  $L$ , мощность  $h$ ), а также силовыми (номинальное рабочее сопротивление  $R$ ) и геометрическими параметрами крепи (расстояние от забоя до точки приложения равнодействующей от реакции крепи  $a$ ).

Значения параметров колебаний кровли для реакции крепи в виде сосредоточенной силы варьируются в следующих пределах:

- максимальная амплитуда в месте приложения реакции крепи  $A = 0,00001-0,00008 \text{ м}$ ;
- частота колебаний  $f = 25-100 \text{ Гц}$ ;
- скорость сдвижения кровли в месте расположения реакции крепи  $V = 0,002-0,008 \text{ м/с}$ .

Литература.

1. Коган, Б. И. Технологическое обеспечение надежности цилиндров гидростоек механизированных крепей / Коган Б. И., Буялич Г. Д., Буялич К. Г. // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2012. – № 10. – С. 29–31.

2. Буялич, К. Г. Оценка параметров герметичности гидростоек механизированных крепей : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.06. – Кемерово, 2012. – 18 с.
3. Анализ концентраторов напряжений и усовершенствование конструкции гидростоек / Бурков П. В., Воробьев А. В., Анучин А. В., Бурков В. П. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – Отд. вып. 2 : Горное машиностроение. – С. 172–183.
4. Буялич, Г. Д. Определение деформаций рабочего цилиндра шахтной гидростойки / Г. Д. Буялич, В. В. Воеводин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – Кемерово, 2000. – № 6. – С. 70–71.
5. Буялич, Г. Д. Формы разделки кромок дна и цилиндра гидростоек механизированных крепей / Г. Д. Буялич, А. В. Анучин // 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. 114–115.
6. Расширение технологических возможностей механизированных крепей / Александров Б. А., Коршунов А. Н., Шундулиди А. И., Буялич Г. Д., Леконцев Ю. М., Антонов Ю. А. – Кемерово : Изд-во Томского ун-та, Кузбассвузиздат, 1991. – 372 с.
7. Контактное и силовое взаимодействие механизированных крепей с боковыми породами / Александров Б. А., Буялич Г. Д., Антонов Ю. А., Шейкин В. И. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 2003. – 130 с.
8. Качество взаимодействия механизированных крепей с боковыми породами / Александров Б. А., Антонов Ю. А., Буялич Г. Д., Буялич К. Г., Шейкин В. И. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 2009. – 121 с.
9. Буялич, Г. Д. Анализ работы уплотнений гидростоек механизированных крепей / Буялич Г. Д., Буялич К. Г. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – Отд. вып. 7 : Современные технологии на горнодобывающих предприятиях. – С. 238–248.
10. Buyalich, G. D. Modeling of Hydraulic Power Cylinder Seal Assembly Operation / Buyalich G. D., Buyalich K. G. // Mining 2014 : Taishan Academic Forum – Project on Mine Disaster Prevention and Control: Chinese Coal in the Century: Mining, Green and Safety, China, Qingdao, 17–20 October 2014. – Amsterdam, Paris, Beijing. Atlantis Press, 2014. – Pp. 167–170.
11. Comparative Analysis of the Lip Seal in Hydraulic Power Cylinder / Buyalich G.D., Buyalich K.G. // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol 770, – pp: 402-406. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.770.402.
12. Буялич, Г. Д. Инновационный подход к вопросам монтажа и эксплуатации секции механизированной крепи / Буялич Г. Д., Тарасов В. М., Тарасова Н. И. // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2013. – № 1.1. – С. 115–126.
13. Буялич, Г. Д. О направлении снижения напряженно-деформированного состояния призабойной зоны угольного пласта / Буялич Г. Д., Антонов Ю. А., Шейкин В. И. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – Отд. вып. 2 : Горное машиностроение. – С. 198–202.
14. Особенности взаимодействия с кровлей механизированных крепей третьего поколения / Александров Б. А., Журавлёв Р. П., Антонов Ю. А., Буялич Г. Д. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2003. – № 5. – С. 43–47.

## МОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГИДРОСТОЕК В СОСТАВЕ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ

*Г.Д. Буялич<sup>1,2,a</sup>, С.В. Увакин<sup>1,b</sup>*

<sup>1</sup> *Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, Россия, тел. +7 (3842) 39-69-40*

<sup>2</sup> *Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета 652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, Россия, тел. +7 (38451) 6-05-37 E-mail: <sup>a</sup>gdb@kuzstu.ru, <sup>b</sup>noxious313@gmail.com*

Механизированные крепи, работающие в очистных забоях угольных шахт, подвергаются различным видам нагрузок [1–3], в том числе колебательного характера [4–7]. При совпадении частот действующих на крепь нагрузок и частот собственных колебаний механизированной крепи возможно возникновение явления резонанса.