

## О РОЛИ КАПИЛЛЯРНЫХ СИЛ ПРИ ВИБРОВОЗДЕЙСТВИИ НА ГИДРАВЛИЧЕСКИ ОБРАБОТАННЫЙ ГАЗОНАСЫЩЕННЫЙ УГОЛЬНЫЙ МАССИВ

М.В. Павленко<sup>1</sup>, О.В. Скопинцева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> МГИ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия,

<sup>2</sup> Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе,  
e-mail: skopintseva54@mail.ru

**Аннотация:** Суть предлагаемого способа комплексного воздействия на угольный пласт состоит в том, что обработку угольного пласта производят в два этапа, непрерывно следующих друг за другом. На первом этапе создается сеть крупных трещин в блоках пласта (в процессе гидрорасчленения), на втором в процессе вибровоздействия создается система дополнительных мелких трещин путем разветвления крупных трещин, образованных на первом этапе воздействия на пласт. Эффект капиллярного переноса жидкости проявляется при радиусах капилляра менее 10 мкм. Расчеты показывают, что капиллярное давление на мениске жидкости с радиусом капилляра 10 мкм равно 4925 Па, а с радиусом капилляра 1 мкм равно 49 248 Па. Движущая сила капиллярного переноса жидкости действует в одном и том же направлении с силой виброперемещения и приводит к росту амплитуды колебания жидкости в капилляре, что вызывает возрастание энергии колебательной системы уголь– жидкость–газ. Вибровоздействие на пласт «Тройной» в условиях шахты «Комсомольская» ОАО «Воркута-уголь» привело к увеличению проницаемости угольного пласта от 0,1–0,001 мД до 1,0–1,1 мД.

**Ключевые слова:** газонасыщенный угольный массив, сорбционный объем угля, гидравлическая обработка пласта, дегазация, вибровоздействие на пласт, капиллярный перенос жидкости.

**Для цитирования:** Павленко М. В., Скопинцева О. В. О роли капиллярных сил при вибровоздействии на гидравлически обработанный газонасыщенный угольный массив // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 3. – С. 43–50. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-43-50.

### Role of capillary forces in vibratory action on hydraulically treated gas-saturated coal

M.V. Pavlenko<sup>1</sup>, O.V. Skopintseva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia,

<sup>2</sup> Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze, 117997, Moscow, Russia, e-mail: skopintseva54@mail.ru

**Abstract:** The relevance of the study is governed by the requirement to ensure safety of coal mining in the condition of high gas saturation by means of degassing. One of the ways to improve the quality of degassing is vibro-treatment of coal seam after hydraulic fracturing. The essence of the proposed method consists in the integrated effect exerted on coal seam in two stages continuously coming one after another. At the first stage, a network of large cracks is created in coal (by hydraulic fracturing),

and at the second stage, a system of additional small cracks is induced by vibrational impact on the seam, which results in branching of large cracks created at the first stage. This study aims to disclose the physical mechanism of vibrational effect on coal as the method of enhancing capillary impregnation of coal. Results: the effect of capillary fluid transfer occurs when the radii of capillaries are less than 10 microns. The calculations show that the capillary pressure on a liquid meniscus is 4925 Pa at the capillary radius of 10  $\mu\text{m}$  and is 49248 Pa at the capillary radius of 1  $\mu\text{m}$ . The driving force of the capillary fluid transfer acts in the same direction as the force of vibratory displacement and leads to an increase in the amplitude of fluid oscillation in capillaries, which causes an increase in the energy of the carbon–liquid–gas oscillatory system. The vibrational impact on Troinoi coal seam in Komsomolskaya mine of Vorkutaugol has increased permeability of the seam from 0.1–0.001 mD to 1.0–1.1 mD. Vibro-treatment of coal is a method of sufficiently low energy intensity, opening up a new opportunity to use the inertia and elasticity of rock mass to change gaseous state and permeability of coal by creating new systems of cracks and pores.

**Key words:** gas-saturated coal mass, adsorption capacity of coal, hydraulic treatment of coal seam, degassing, vibrational impact on coal seam, capillary fluid transfer, vibrational displacement.

**For citation:** Pavlenko M.V., Skopintseva O.V. Role of capillary forces in vibratory action on hydraulically treated gas-saturated coal. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2019;3:43-50. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-43-50.

## Введение

Вопрос необходимости дегазации разрабатываемых метаноносных пластов угля является весьма актуальным, особенно на высокопроизводительных выемочных участках при применении современной угледобывающей техники, обеспечивающей добычу угля на пластах с различной мощностью от 5–7 до 15–20 т/мин и более [1–7]. Для ряда шахт, даже при эффективности комплексной дегазации 70–80% при современных нагрузках на очистной забой требуется пластовая дегазация с эффективностью не менее 30–40%. Кардинально повысить метаноотдачу угольного пласта можно путем создания дополнительных систем трещин, применяя комплексное воздействие, которое заключается в последовательном проведении гидрорасчленения с последующим этапом вибрационного воздействия на угольный пласт.

## Теоретические исследования вибровоздействия на капиллярную пропитку угольного массива

Суть предлагаемого способа комплексного воздействия на угольный пласт со-

стоит в том, что обработку угольного пласта производят в два этапа, непрерывно следующих друг за другом. На первом этапе создается сеть крупных трещин в блоках пласта (в процессе гидрорасчленения), а на втором этапе в процессе вибровоздействия создается система дополнительных мелких трещин путем разветвления крупных трещин, образованных на первом этапе воздействия на пласт.

В способ вибрационного воздействия входит комплекс решений по управлению влагонасыщением объема угля при движении жидкости по трещинам и порам. Как показывают данные многих экспериментов, решающая роль в глубокой, объемной пропитке угольного массива жидкостью принадлежит капиллярной пропитке [8, 9].

Условия переноса вещества в капиллярно-пористых телах, полностью и частично заполненных жидкостью, различны. При полном заполнении капилляров жидкостью перенос вещества осуществляется за счет массового движения, обусловленного разностью давлений на концах капилляра. На обоих менисках жидкости возникают противоположно направленные капиллярные потенциалы,

не равные по абсолютной величине. В результате жидкость в капилляре приходит в движение под действием давления, которое продолжается до тех пор, пока потенциалы не выровняются (пока не наступит равенство  $r_1 = r_2$ ) [10]. Это произойдет, когда мениск с  $r_2$  достигнет узкого конца капилляра  $r_1$ . Таким образом, происходит самопроизвольное заполнение капилляров в пористых телах. Под действием внешних сил (гидрорасчленение, вибровоздействие и т.д.) движение жидкости может усиливаться, продолжая движение по всей длине капилляра.

Для разработки основных параметров активных воздействий на угольный пласт, в частности усиления капиллярной пропитки пласта под вибровоздействием, оценим фильтрационные свойства угольного пласта в зонах гидрорасчленения. Как известно, при гидрорасчленении в угольном пласте раскрываются несколько основных систем трещин. В Донецком бассейне исследовалась трещиноватость пласта в зонах скважин № 1 и № 2 на поле шахты «Коммунист», пласт «Наталья» [11]. В зоне воздействия раскрывались три основные системы трещин. По данным наблюдений, средняя величина раскрытия трещин изменялась от 0,5 мм до 0,02 мм, среднее расстояние между трещинами — от 0,5 до 0,005 м.

Так как для капилляров в угольном массиве характерна, прежде всего, кривизна поверхности жидкости в них, то здесь больше всего сказывается влияние дополнительного давления, вызванного кривизной поверхности (давление Лапласа). Непосредственным следствием этого дополнительного давления является так называемый капиллярный подъем.

Рассмотрим влияние давления Лапласа  $p_k$ , которое связано с радиусом пор  $r_0$  следующим соотношением [10]:

$$p_k = \frac{2\sigma \cdot \cos \vartheta}{r_0}, \quad (1)$$

где  $p_k$  — капиллярное давление, Н/м;  $\sigma$  — поверхностное натяжение жидкости, Н/м;  $r_0$  — радиус капилляра, м;  $\vartheta$  — краевой угол смачивания, град.

Рассчитаем разность капиллярных потенциалов, т.е. движущую силу переноса жидкости по капиллярам. Известно, что поверхностное натяжение воды  $\sigma = 72 \text{ мН/м} = 0,072 \text{ Н/м}$ . Возьмем указанные выше диаметры капилляров при гидрорасчленении от 0,5 мм до 0,02 мм (от 500 мкм до 20 мкм).

Капиллярное давление на мениске жидкости с радиусом 10 мкм будет равно:

$$p_{k10} = \frac{2 \cdot 0,072 \cdot \cos 70^\circ}{10 \cdot 10^{-6}} = \frac{0,144 \cdot 0,342}{10^{-5}} = \frac{0,049248}{10^{-5}} = 0,4925 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

Капиллярное давление на мениске жидкости с радиусом 250 мкм будет равно:

$$p_{k250} = \frac{2 \cdot 0,072 \cdot \cos 70^\circ}{250 \cdot 10^{-6}} = \frac{0,144 \cdot 0,342}{25 \cdot 10^{-5}} = \frac{0,04925}{25 \cdot 10^{-5}} = 0,001969 \cdot 10^5 = 0,197 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

При уменьшении радиуса капилляра от 250 мкм до 10 мкм движущей силой будет разность потенциалов:

$$\Delta \psi_k = p_{k10} - p_{k250} = 4925 - 197 = 4728 \text{ Па}$$

Рассчитаем капиллярное давление на мениске жидкости с различными радиусами от 10 мкм до 500 мкм и сведем данные в таблице.

Построим график зависимости изменения капиллярного давления от радиуса капилляра по значениям из таблицы.

Из анализа рис. 1 следует, что эффект капиллярного переноса жидкости проявляется при радиусах капилляра менее 10 мкм. Даже при радиусе ка-

**Значения капиллярного потенциала и энергии переноса жидкости по капиллярам**

*Values of capillary potential and energy of fluid transfer through capillaries*

№ п/п	Радиус капилляра, $r$ , мкм	Давление Лапласа, $p_{кп}$ , Па	Разность капиллярных потенциалов, $p_{кп} - p_{кп+1}$ , Па (Дж/м <sup>3</sup> )
1	10	4925	3940,04
2	50	984,96	492,48
3	100	492,48	164,16
4	150	328,32	82,08
5	200	246,24	49,24
6	250	197,0	32,84
7	300	164,16	23,46
8	350	140,70	17,58
9	400	123,12	13,68
10	450	109,44	10,944
11	500	98,496	

пилляра 50 мкм давление Лапласа не столь велико (984,96 Па), а при радиусе 500 мкм — совсем сходит на «нет» (98,5 Па). Расчеты показывают, что капиллярное давление на мениске жидкости с радиусом капилляра 1 мкм равно 49 248 Па (для сравнения: максимальное давление, развиваемое самым мощным на сегодняшний день вентилятором главного проветривания ВЦД 47,5 У равно 9000 Па).

Рассмотрим физический механизм вибрационного воздействия на капилляры, заполненные жидкостью, и определим направление перемещения жидкости в капилляре. Для упрощения структуры капиллярно-пористых тел рассмотрим капилляр, заполненный смачиваемой жидкостью, в виде усеченного конуса с радиусами  $r_1$  и  $r_2$ . Произведем вибрационное воздействие на капилляр с частотой  $\nu$  и амплитудой  $A$ . Условимся, что сила трения равна нулю, а другие силы уравновешены, поэтому нашу систему можно считать замкнутой, и ее полная энергия при движении не может измениться. Тогда потенциальная энергия жидкости  $U$  в поле сил тяжести при одном периоде колебания увеличится на [10]:

$$U = \rho S g A^2, \quad (2)$$

где  $S$  — площадь сечения капилляра,  $\rho$  — плотность жидкости,  $g$  — ускорение свободного падения.

Пусть сечения капилляра по разным менискам смачиваемой жидкости будут  $S_1$  (крайнее левое положение) и  $S_2$  (крайнее правое положение). В крайнем левом положении ( $x = A$ , где  $x$  — начало отсчета по координатной оси  $X$ , при котором центр тяжести жидкости находится в положении равновесия) потенциальная энергия равна  $U_{\text{левое}} = \rho S_1 g A^2$ . Кинетическая энергия в этот момент равна

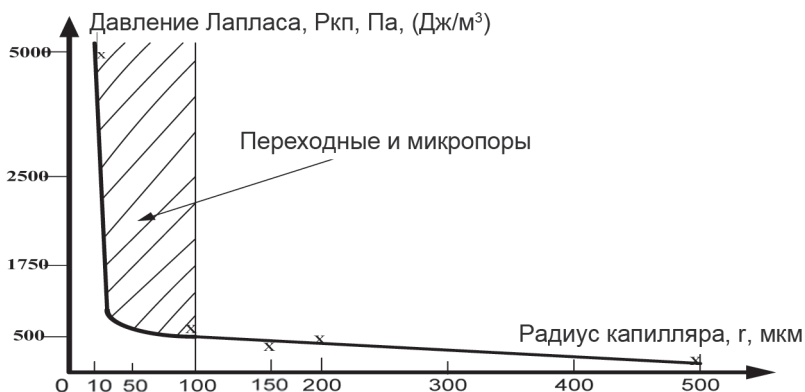


Рис. 1. Зависимость изменения капиллярного потенциала от радиуса поры

Fig. 1. Dependence of capillary potential change on pore radius

нулю, потому что нулю равна скорость движения жидкости. Значит, потенциальная энергия  $U_{\text{левоe}} = \rho S_1 g A^2$  — это полная механическая энергия системы в этот момент. Когда движущаяся жидкость окажется в крайнем правом положении ( $x = -A$ ), кинетическая энергия снова будет равна нулю, и полная энергия системы опять будет равна потенциальной. А полная энергия не может измениться. Значит, она снова равна  $U_{\text{правое}} = U_{\text{левоe}} = \rho S_2 g A^2 = \rho S_1 g A^2$ . Так как  $S_2 > S_1$ , это значит, что амплитуда смещения в крайнем правом положении меньше амплитуды смещения в крайнем левом положении (рис. 2). Следовательно, будет иметь место перемещение жидкости в сторону меньшего сечения за счет вибровоздействия.

В действительности, кроме сил вибрации будут еще действовать силы трения и капиллярного давления. Величина добавочного давления поверхностного натяжения  $\Delta P$  (рис. 2), способствующего перемещению жидкости в капилляре, рассчитывается по формуле [10]:

$$\Delta P = P_{k1} - P_{k2} = \sigma \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right), \quad (3)$$

где  $r_1, r_2$  — радиусы кривизны на границе раздела фаз газ — жидкость, м;  $P_{k1}$  — давление поверхностного натяжения жид-

кости со стороны большего сечения поры, Па;  $P_{k2}$  — давление поверхностного натяжения жидкости со стороны меньшего сечения поры, Па. Действительно, в случае уменьшения радиуса поры ниже приведенное выражение будет больше нуля:

$$\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} > 0, \quad (4)$$

и, следовательно, избыток давления поверхностного натяжения перемещает жидкость в сторону меньшего сечения поры.

Силы трения совершают отрицательную работу, а движущая сила капиллярного переноса жидкости действует в одном и том же направлении с силой виброперемещения и приводит к росту амплитуды, тем более что такая вибрационная сила, пусть даже небольшая, будет добавляться к давлению Лапласа каждый период колебания.

Качественные изменения капиллярной пропитки угольного массива будут происходить в области резонансных частот, то есть при совпадении вынуждающей силы вибровоздействия с собственной частотой колебания определенного участка угольного массива. Увеличение амплитуды колебаний в  $n$  раз вызывает возрастание энергии колебательной системы в  $n^2$  раз, что приводит к суще-

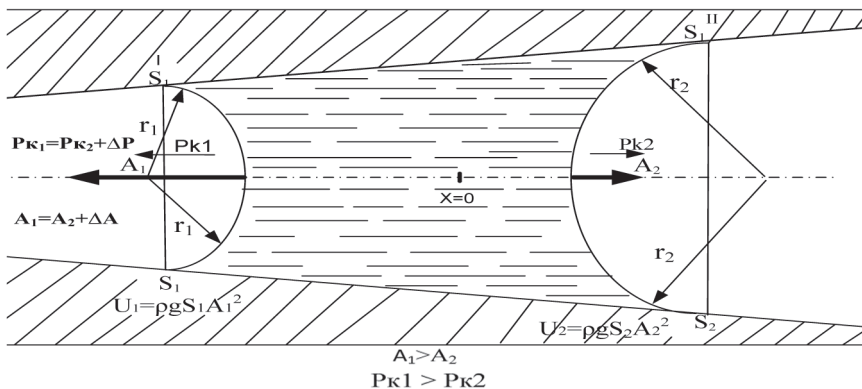


Рис. 2. Физический механизм вибрационного и капиллярного действий на перемещение жидкости  
Fig. 2. The physical mechanism of vibration and capillary action on the movement of fluid

ственным энергетическим эффектам по сравнению с энергией возбуждения вибраций малой амплитуды и частоты [10]. Энергия вибрационного воздействия направлена на дальнейшее (после гидровоздействия) раскрытие трещин и продвижение жидкости вглубь массива по капиллярам более мелкого радиуса, т.е. по капиллярам радиуса менее 10 мкм (область переходных и микропор), что и представляет собой сорбционный объем угля, который оставался малодоступным при гидрорасчленении угольного пласта.

Капиллярный эффект может наблюдаться не только в цилиндрических капиллярах, но и между параллельными поверхностями трещины в угле. Жидкость перемещается между двумя поверхностями трещины, разделенными узким зазором. Если поверхности трещины параллельны друг другу, то мениск имеет цилиндрическую форму. Капиллярный эффект также наблюдается в эмульсионных взрывчатых веществах ячеистой структуры [12, 13].

Наблюдения, проведенные по пласту «Тройной» в условиях шахты «Комсомольская» ОАО «Воркутауголь» [11], показали, что вибровоздействие на пласт, способствует активизации процессов повышения трещиноватости. Оно привело к понижению уровня жидкости в скважине № 4447. Проницаемость угольного пласта увеличилась от 0,1–0,001 мД (в связи с понижением уровня воды в скважине на 5–7 м) до 1,0–1,1 мД, что подтверждается увеличением объема поглощения массивом воды и увеличением степени пропитки угля в зоне воздействия.

Сравнивая данные, полученные в процессе изучения зоны вибрационной обработки (пласт К-2, «Шахтоуправление им. 17 Партсъезда»), можно сделать вывод об интенсификации дегазации вследствие увеличения проницаемости угля на два-три порядка [11, 14]. Такой значи-

тельный рост проницаемости возможен вследствие образования и расширения трещин как экзогенного, так и эндогенного характера в угольном массиве, а также перестройки пористой структуры угля в сторону увеличения микро- и макропор.

### **Заключение**

Вибрационное воздействие на угольный массив является способом достаточно малой энергоемкости, открывающим новую возможность использования инерционности и упругости самого горного массива, изменяющим не только газовое состояние массива угля, но и его реологические свойства. Этот способ позволяет увеличить не только трещиноватость, но и газопроницаемость угольного пласта путем создания новых систем трещин и пор, перейти от ламинарной к турбулентной фильтрации жидкости, получить эффект виброползучести.

### **Выводы**

1. Суть предлагаемого способа комплексного воздействия на угольный пласт состоит в том, что обработку угольного пласта производят в два этапа, непрерывно следующих друг за другом. На первом этапе создается сеть крупных трещин в блоках пласта (в процессе гидрорасчленения), а на втором этапе в процессе вибровоздействия создается система дополнительных мелких трещин путем разветвления крупных трещин, образованных на первом этапе воздействия на пласт.

2. Эффект капиллярного переноса жидкости проявляется при радиусах капилляра менее 10 мкм. Расчеты показывают, что капиллярное давление на мениске жидкости с радиусом капилляра 10 мкм равно 4925 Па, а с радиусом капилляра 1 мкм равно 49 248 Па.

3. Движущая сила капиллярного переноса жидкости действует в одном и



том же направлении с силой вибропере-  
мещения и приводит к росту амплитуды  
колебания жидкости в капилляре, что  
вызывает возрастание энергии колеба-  
тельной системы уголь-жидкость-газ.

4. Вибровоздействие на пласт «Трой-  
ной» в условиях шахты «Комсомольская»  
ОАО «Воркутауголь» привело к увеличе-  
нию проницаемости угольного пласта от  
0,1–0,001 мД до 1,0–1,1 мД.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wei J. P., Wang H. L., Wang D. K., Yao B. H. An improved model of gas flow in coal based on the effect of penetration and diffusion // *Journal of China University of Mining & Technology*. 2016. Vol. 45, no 5, Pp. 873–878.
2. Yao B., Ma Q., Wei J., Ma J., Cai D. Effect of protective coal seam mining and gas extraction on gas transport in a coal seam // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2016. Vol. 26, no 4, Pp. 637–643.
3. Li X. L., Wang E. Y., Li Z. H., Liu Z. T., Song D. Z., Qiu L. M.. Rock burst monitoring by integrated microseismic and electromagnetic radiation methods // *Rock Mechanics & Rock Engineering*. 2016. Vol. 49, no 11, Pp. 4393–4406.
4. Omid Dorostkar, Robert A. Guyer, Paul A. Johnson, Chris Marone, Jan Carmeliet On the role of fluids in stick-slip dynamics of saturated granular fault gouge using a coupled computational fluid dynamics-discrete element. approach // *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, May 2017. DOI:10.1002/2017jb014099.
5. Jia P., Tang C. A., Zhang Y. B. Numerical study on zonal disintegration of rock mass around deep underground openings / *Harmonising Rock Engineering and the Environment: proceedings of the 12th ISRM International Congress on Rock Mechanics*. Florida: CRC Press. 2012. Pp. 179–180.
6. Баловцев С. В. К методике прогноза взрывобезопасности выемочных участков угольных шахт // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2018. — № 11. — С. 218–226. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-218-226.
7. Баловцев С. В. Оценка аэрологического риска аварий на выемочных участках угольных шахт, опасных по взрывам газа и пыли // *Горный журнал*. — 2015. — № 5. — С. 91–93. DOI: 10.17580/gzh.2015.05.19.
8. Скопинцева О. В., Иляхин С. В., Савельев Д. И., Прокопович А. Ю., Вертинский А. С. Обоснование рациональных параметров обеспыливающей обработки угольного массива в шахтах // *Горный журнал*. — 2014. — № 5. — С. 17–19.
9. Скопинцева О. В., Ганова С. Д., Демин Н. В., Папичев В. И. Комплексный метод снижения пылевой и газовой опасностей в угольных шахтах // *Горный журнал*. — 2018. — № 11. — С. 97–100. DOI:10.17580/gzh.2018.11.18.
10. Фролов Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы: Учебник для вузов. — М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. — 464 с.
11. Павленко М. В. Обоснование технологии подготовки газоносного угольного пласта на базе комплексного воздействия // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2018. — № 3. — С. 91–97.
12. Маслов И. Ю., Брюховецкий О. С., Брагин П. А., Иляхин С. В. Экспресс-метод определения работоспособности эмульсионных взрывчатых веществ // *Горный журнал*. — 2018. — № 11. — С. 82–87. DOI:10.17580/gzh.2018.11.15.
13. Борычев В. М., Иляхин С. В., Брюховецкий О. С. Влияние горно-технических факторов на выбор величины перебура скважинного заряда // *Горный журнал*. — 2018. — № 11. — С. 87–91. DOI:10.17580/gzh.2018.11.16.
14. Егорова Е. А., Коликов К. С., Мегид Х. А. Оценка проницаемости угольного пласта с учетом неоднородности в геологической структуре // *Горный журнал*. — 2016. — № 6. — С. 56–59. **ПЛАБ**

## REFERENCES

1. Wei J. P., Wang H. L., Wang D. K., Yao B. H. An improved model of gas flow in coal based on the effect of penetration and diffusion. *Journal of China University of Mining & Technology*. 2016. Vol. 45, no 5, Pp. 873–878.

2. Yao B., Ma Q., Wei J., Ma J., Cai D. Effect of protective coal seam mining and gas extraction on gas transport in a coal seam. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2016. Vol. 26, no 4, Pp. 637–643.

3. Li X.L., Wang E.Y., Li Z.H., Liu Z.T., Song D.Z., Qiu L.M.. Rock burst monitoring by integrated microseismic and electromagnetic radiation methods. *Rock Mechanics & Rock Engineering*. 2016. Vol. 49, no 11, Pp. 4393–4406.

4. Omid Dorostkar, Robert A. Guyer, Paul A. Johnson, Chris Marone, Jan Carmeliet On the role of fluids in stick-slip dynamics of saturated granular fault gouge using a coupled computational fluid dynamics-discrete element. approach. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, May 2017. DOI:10.1002/2017jb014099.

5. Jia P., Tang C.A., Zhang Y.B. Numerical study on zonal disintegration of rock mass around deep underground openings. *Harmonising Rock Engineering and the Environment: proceedings of the 12th ISRM International Congress on Rock Mechanics*. Florida: CRC Press. 2012. Pp. 179–180.

6. Balovtsev S.V. Explosion safety procedure for working areas in coal mines. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2018, no 11, pp. 218–226. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-218-226. [In Russ].

7. Balovtsev S.V. Assessment of the upper-air risk of accidents at mining areas of coal mines that are dangerous for gas and dust explosions. *Gornyy zhurnal*. 2015, no 5, pp. 91–93. DOI: 10.17580/gzh.2015.05.19. [In Russ].

8. Skopintseva O.V., Ilyakhin S.V., Savel'ev D.I., Prokopovich A.Yu., Vertinskiy A.S. Substantiation of rational parameters of dust removal treatment of coal massif in mines. *Gornyy zhurnal*. 2014, no 5, pp. 17–19. [In Russ].

9. Skopintseva O.V., Ganova S.D., Demin N.V., Papichev V.I. Integrated method of dust and gas hazard reduction in coal. *Gornyy zhurnal*. 2018, no 11, pp. 97–100. DOI:10.17580/gzh.2018.11.18. [In Russ].

10. Frolov Yu.G. *The course of colloid chemistry. Surface phenomena and disperse systems*: Textbook for high schools. Moscow, OOO TID «All'yans», 2004, 464 p.

11. Pavlenko M.V. Substantiation of gas-bearing coal preparation technology based on integrated treatment. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2018, no 3, pp. 91–97. [In Russ].

12. Maslov I.Yu., Bryukhovetskiy O.S., Bragin P.A., Ilyakhin S.V. Express-method determination of emulsion explosive efficiency. *Gornyy zhurnal*. 2018, no 11, pp. 82–87. DOI:10.17580/gzh.2018.11.15. [In Russ].

13. Borychev V.M., Ilyakhin S.V., Bryukhovetskiy O.S. Effect of mine-technical factors on the choice of overdrill value in blasting. *Gornyy zhurnal*. 2018, no 11, pp. 87–91. DOI:10.17580/gzh.2018.11.16. [In Russ].

14. Egorova E.A., Kolikov K.S., Megid Kh.A. Estimation of the permeability of a coal seam with allowance for heterogeneity in the geological structure. *Gornyy zhurnal*. 2016, no 6, pp. 56–59. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Павленко Михаил Васильевич* — кандидат технических наук, доцент, МГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: mihail\_mgggy@mail.ru,  
*Скопинцева Ольга Васильевна* — доктор технических наук, профессор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ), e-mail: skopintseva54@mail.ru.  
**Для контактов:** Скопинцева О. В., e-mail: skopintseva54@mail.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*M.V. Pavlenko*, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Mining Institute, National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia, e-mail: mihail\_mgggy@mail.ru,  
*O.V. Skopintseva*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze (MGRI-RSGPU), 117997, Moscow, Russia, e-mail: skopintseva54@mail.ru.  
**Corresponding author:** O.V. Skopintseva, e-mail: skopintseva54@mail.ru.