

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ КРАЕВОЙ ЧАСТИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА ОТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

С.Н. Ширяев¹, А.А. Черепов¹, О.А. Петрова²

¹ ООО «Распадская угольная компания», Новокузнецк, Россия,
e-mail: Sergey.Shiryayev2@evraz.com

² Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
Прокопьевск, Россия

Аннотация: Представлены результаты исследований распределения напряжений, деформаций и проницаемости в краевой части угольного пласта вблизи длинного очистного забоя. Актуальность темы исследований состоит в недостаточной для горной практики изученности взаимодействующих процессов фильтрации газа и деформирования углеметановых пластов при их подземной разработке. Проблема управления геомеханическими и газифльтрационными процессами в массиве горных пород состоит в необходимости решения комплексной задачи обеспечения устойчивости пород в окрестности подземных выработок и дегазации отработываемых углеметановых пластов. Для обоснования параметров дегазации угольных пластов в окрестности забоев требуется теоретическое обобщение зависимостей проницаемости угольного пласта от напряженно-деформированного состояния угольного пласта и вмещающих пород в конкретных горно-геологических и горнотехнических условиях. Объектом исследований являются взаимодействующие геомеханические и газифльтрационные процессы в угольном пласте. Цель исследования состоит в выявлении закономерностей распределения коэффициента проницаемости угольного массива в краевой части угольного пласта с учетом влияния знакопеременных упругих и упругопластических вертикальных и горизонтальных деформаций угля. Решена методом конечных элементов двумерная задача теории твердого деформируемого тела с использованием в качестве исходных параметров диаграммы упругого и упругопластического деформирования при испытании угольных и породных образцов в лабораторных условиях. По результатам решения упругопластической задачи установлены зависимости проницаемости угольного пласта от напряжений и деформаций. Доказано существенное влияние на проницаемость краевой части пласта не только вертикальных, но и горизонтальных деформаций угля. Новыми результатами исследований являются выявленные закономерности распределения напряжений и деформаций в угольном пласте вблизи очистного забоя и зависимости влияния этих параметров на проницаемость угля и давления метана в краевой части пласта.

Ключевые слова: углеметановый пласт, шахта, очистной забой, напряжения, деформации, проницаемость, теория упругости, теория пластичности, прочность угля, пористость угля.

Для цитирования: Ширяев С. Н., Черепов А. А., Петрова О. А. Исследование зависимостей проницаемости краевой части угольного пласта от напряженно-деформированного состояния массива горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 9. – С. 62–71. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-09-0-62-71.

Analysis of coal seam permeability around the edges versus stress—strain state of rock mass

S.N. Shiryayev¹, A.A. Cherepov¹, O.A. Petrova²

¹ LLC «Raspadskaya coal company», Novokuznetsk, Russia, e-mail: Sergey.Shiryayev2@evraz.com

² Prokopyevsk branch of Kuzbass State Technical University, Prokopyevsk, Russia

Abstract: The article presents the research results on distribution of stresses, strains and permeability around the edges of coal seam nearby longwall face. This subject is of concern currently as interacting processes of gas flow and deformation in methane-bearing coal seams during underground mining are insufficiently studied. The problem of geomechanical and gas-flow control in rock mass consists in the integration of rock mass stability around underground openings and coal seam methane drainage. Justification of drainage parameters at faces needs theoretical generalization of relationships between coal seam permeability and coal seam—enclosing rock mass stress state in specific geological and geotechnical conditions. The subject of the study is the interacting geomechanical and gas-flow processes in coal seam. The study aims to reveal regular patterns in distribution of coal permeability coefficient around the edges of coal seam with regard to effect of alternating elastic and elastoplastic horizontal and vertical strains in coal. The finite element-based solution of 2D problem on deformable solid uses the input data in the form of the diagrams of elastic and elastoplastic strains obtained in the lab-scale tests of coal and rock specimens. From the elastoplastic problem solution, the relationships of permeability, stresses and strains in coal are established. It is found that coal permeability at the edges of seam is considerably influenced both by horizontal and vertical strains. The new research findings are the revealed patterns of stress and strain distributions in coal seam nearby longwall face, as well as the influence of these parameters on permeability and methane pressure in coal at the edges of seam.

Key words: methane-bearing coal seam, mine, longwall face, stresses, strains, permeability, elasticity theory, plasticity theory, coal strength, coal porosity.

For citation: Shiryayev S. N., Cherepov A. A., Petrova O. A. Analysis of coal seam permeability around the edges versus stress—strain state of rock mass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(9):62-71. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-09-0-62-71.

Введение

Одним из факторов, определяющих интенсивность фильтрации метана в угольных пластах, является их проницаемость. По результатам шахтных исследований с помощью гидравлических датчиков установлено [1—3], что в краевой части пласта на расстоянии до 20 м от лавы происходит постепенное увеличение механических напряжений, переход угля в запрельное состояние и увеличение его проницаемости, что сопровождается резким увеличением газовыделения. В зоне максимального опорного горного давления на расстоянии более 20 м от лавы происходит уплотнение угольного массива, уменьшение прони-

цаемости угольного пласта и, как следствие, снижение метановыделения в 10—12 раз по сравнению с максимальным дебитом.

Однако в указанных источниках не учтено влияние горизонтальных напряжений и деформаций, которые согласно [4] также оказывают существенное влияние на параметры проницаемости и метановыделения [17]. Кроме того, результаты шахтных измерений в конкретных горно-геологических условиях не могут быть использованы в других ситуациях, то есть для обоснования параметров дегазации угольных пластов в окрестности очистного забоя требуется теоретическое обобщение зависимостей проницаемости уголь-

ного пласта от параметров напряженно-деформированного состояния угольного пласта и вмещающих пород в конкретных горно-геологических и горнотехнических условиях [13, 16].

В этой связи исследования, направленные на обоснование зависимостей проницаемости угольного пласта от напряжений и деформаций в окрестности очистного забоя являются актуальными при проектировании дегазации метаносных угольных пластов.

Цель исследований: выявление закономерностей распределения коэффициента проницаемости угольного массива в краевой части угольного пласта с учетом влияния знакопеременных упругих и упруго-пластических вертикальных и горизонтальных деформаций угля. Установлено, что основным критерием увеличения коэффициента проницаемости угольного пласта является изменения знака горизонтальных деформаций от сжимающих к растягивающим.

Метод исследования: численное моделирование взаимодействующих геомеханических и газифильтрационных процессов в метаносных угольных пластах.

Почти во всех вариантах уравнений движения газов и жидкостей в массиве горных пород используются величины коэффициента проницаемости, вязкости, пористости, численные значения которых получены в лабораторных условиях на ненагруженных образцах угля и породы [15]. В реальных условиях эти параметры зависят от давления газа, формы существования метана в угольной матрице, водонасыщенности, структуры и напряженно-деформированного состояния массива горных пород.

В известных методиках расчета параметров газовой фильтрации в реальных массивах горных пород учитываются, как правило, только вертикальные механические напряжения и давление га-

за. При расчете используются эмпирические или теоретические параметры эпюры опорного горного давления [5–8]. В шахтных условиях преобладает сложное напряженно-деформированное состояние массива горных пород. Важно определить, какая составляющая тензора напряжений или их комбинация существенно влияет на проницаемость угольного пласта и вмещающих пород. В этой связи возникает задача выявления по результатам теоретических и натурных исследований закономерностей неравномерного изменения проницаемости угля и пород в краевой части пласта [14].

В качестве первого приближения для оценки изменения проницаемости углеметанового пласта предлагается использовать упругие деформации, полученные при решении пространственной задачи теории упругости [5]:

$$\frac{k_i}{k_0} = 1 + \frac{3}{5}c(\varepsilon_i + 2\varepsilon_j + \varepsilon_k) + \frac{3}{35}c^2 \cdot \\ \cdot (2\varepsilon_i^2 + 4\varepsilon_i\varepsilon_j + 4\varepsilon_i\varepsilon_k + 6\varepsilon_j\varepsilon_k + 9\varepsilon_i^2 + 9\varepsilon_k^2) + \\ + \frac{c^3}{105}(5\varepsilon_i^3 + 6\varepsilon_i^2\varepsilon_j + 6\varepsilon_i^2\varepsilon_k + 6\varepsilon_i\varepsilon_j\varepsilon_k + 9\varepsilon_j^2\varepsilon_i + \\ + 9\varepsilon_i\varepsilon_k^2 + 12\varepsilon_j^2\varepsilon_k + 12\varepsilon_k^2\varepsilon_j + 20\varepsilon_i^3 + 20\varepsilon_k^3) \quad (1)$$

где k_i — коэффициент проницаемости угольного пласта с хаотичной трещиноватостью в условиях объемного напряженно-деформированного состояния массива горных пород, м²; k_0 — коэффициент проницаемости угольного пласта в разгруженном состоянии (лабораторный образец), м²; m_0 — трещинная пористость угля или пород в разгруженном состоянии (образце породы, угля), доли ед.; $\varepsilon_i, \varepsilon_j, \varepsilon_k$ — главные компоненты тензора деформаций; $c = 1/m_0$; i, j, k — индексы, последовательно принимающие значения 1, 2, 3.

Формулу (1) можно применять при расчете коэффициентов проницаемости как в плоскости пласта, так и по его мощ-

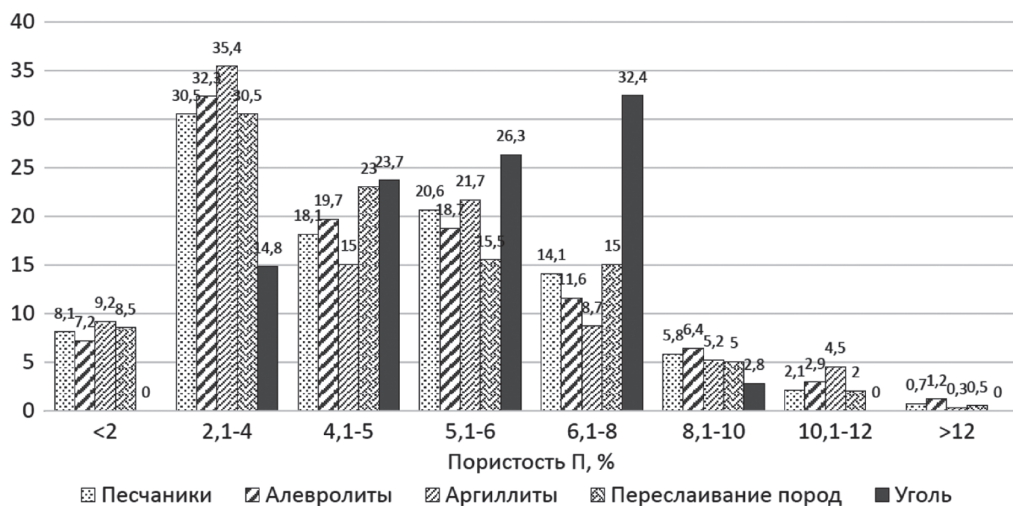


Рис. 1. Гистограммы распределения пористости горных пород угольных месторождений Кузбасса, %
Fig. 1. Histograms of distribution of Kuzbass coal deposits rocks porosity, %

ности. Для расчета по формуле (1) предлагается использовать результаты статистической обработки пористости для

разных типов пород угольных месторождений Кузбасса (рис. 1). Гистограммы на рис. 1 построены по данным [9].

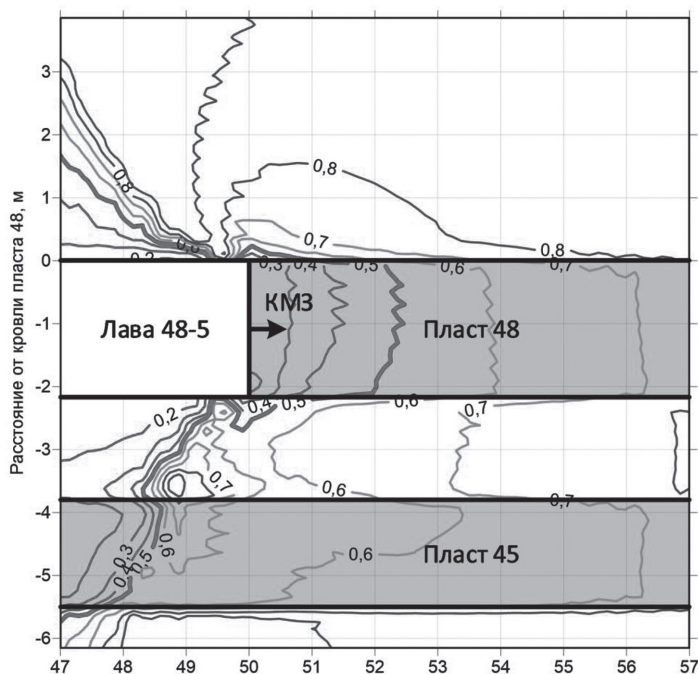


Рис. 2. Изолинии распределения отношения остаточной прочности угля и пород к исходной в окрестности очистного комплексно-механизированного забоя при отработке пласта 48 и надработке пласта 45

Fig. 2. Contour lines of the distribution of the residual strength of coal and rock in the vicinity of a face fully-mechanized working face by working out of the seam 48 and the overworking of seam 45

Для расчета коэффициента проницаемости рассмотрено вертикальное сечение вдоль оси выемочного столба.

Приняты горно-геологические условия Ерунаковского месторождения Кузбасса (рис. 2). Пласт 48 мощностью 2,20 м залегает на глубине 500 м. Отработка пласта осуществляется длинным очистным забоем, оснащенный механизированной крепью Glinik-13/28, комбайном KSW-460NE, скребковым конвейером Rybnik-850, штрековым перегружателем GROT-850, дробилкой Scorpion-1800P.

Расчет параметров напряженно-деформированного состояния краевой части пласта и вмещающих пород проводился методом конечных элементов по компьютерной программе, разработанной на кафедре геотехнологии СибГИУ [10].

По результатам численного моделирования упругого и упруго-пластичного деформирования определен полный вектор напряжений и деформаций массива горных пород, отношение $n_{пр}$ остаточной прочности к исходной прочности, а так-

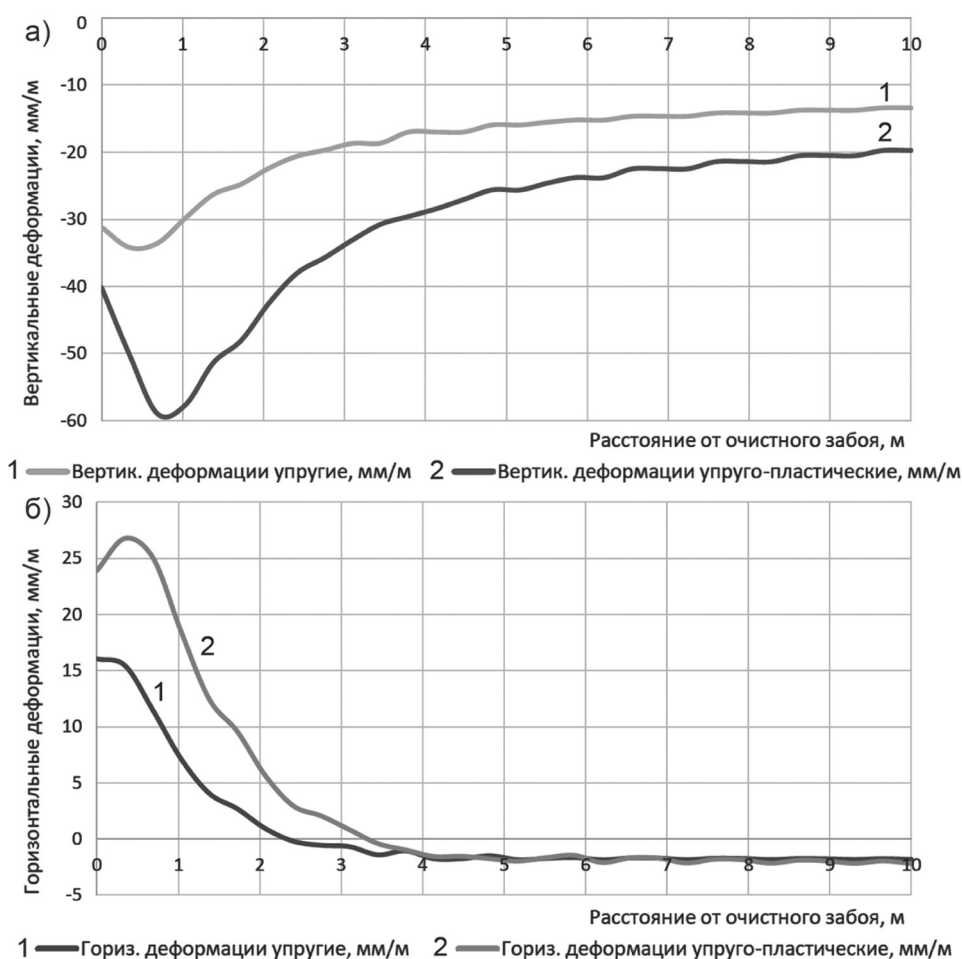


Рис. 3. Графики изменения вертикальных (а) и горизонтальных (б) деформаций ($\varepsilon \cdot 10^3$) в краевой части пласта

Fig. 3. Graphs of changes of vertical (a) and horizontal (b) deformations ($\varepsilon \cdot 10^3$) in the edge part of the seam

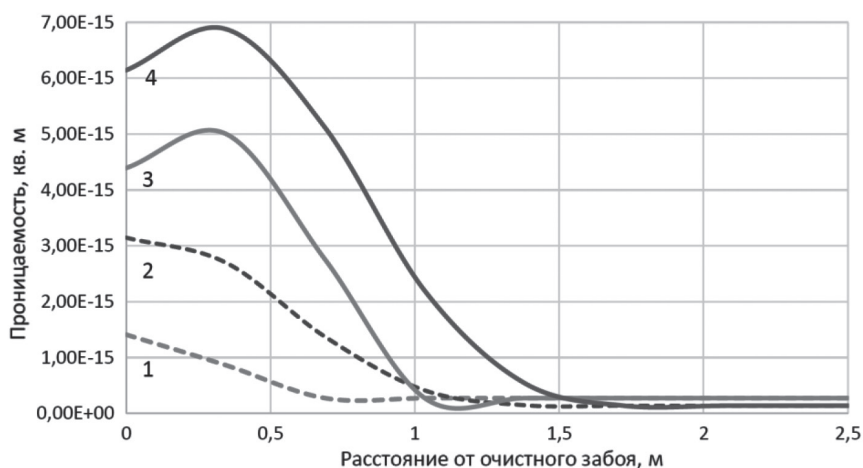


Рис. 4. Распределение проницаемости угольного пласта в окрестности очистного забоя: 1 — по простиранию пласта при упругом деформировании угля; 2 — по нормали к напластованию при упругом деформировании угля; 3 — по простиранию пласта при упруго-пластическом деформировании угля; 4 — по нормали к напластованию при упруго-пластическом деформировании угля

Fig. 4. The distribution of the permeability of the coal seam in the vicinity of the working face: 1 — on the strike of the formation with elastic deformation of coal; 2 — normal to the formation with elastic deformation of coal; 3 — on the strike of the formation with elastic-plastic deformation of coal; 4 — normal to the formation with elastic-plastic deformation of coal

же по формулам (1) и (2) коэффициент проницаемости угольного пласта по простиранию и по нормали к напластованию. Указанные параметры рассматривались по результатам решения упругой задачи, что соответствует напряженно-деформированному состоянию пласта сразу после выемки комбайном полосы, и упруго-пластического решения с учетом времени релаксации напряжений и частичной дезинтеграции угля в краевой части пласта. По результатам численных экспериментов, измерений ширины зоны трещин при эндоскопической съемке и по методике ВНИМИ аппаратурой АЭШ-1F [12], установлено, что границей зоны разрушения является отношение остаточной прочности угля разных марок к исходной прочности $n_{np} = 0,4–0,5$. Согласно графикам на рис. 2 эта граница соответствует расстоянию 1,5–2,5 м от краевой части пласта, то есть примерно равному мощности пласта. Возможность деформирования краевой части пласта подтверждается графиками распределе-

ния вертикальных и горизонтальных деформаций (рис. 3).

Согласно графикам вертикальные деформации — сжимающие ($\varepsilon_v < 0$), а горизонтальные — растягивающие ($\varepsilon_r > 0$). Упругие вертикальные и горизонтальные деформации сразу после выемки угольной полосы комбайном почти в два раза меньше упруго-пластических, которые возникают через 1,5–2,0 ч. Это связано с релаксацией напряжений во времени, необходимым для выемки угольной полосы по длине всей лавы. Увеличение упруго-пластических деформаций приводит к раскрытию нормальных к напластованию трещин, формированию зон повышенной проницаемости (рис. 4).

Согласно графикам на рис. 4 наиболее интенсивно увеличивается коэффициент проницаемости в пределах ширины вынимаемой полосы угольного пласта (0,7–1,0 м), что подтверждается увеличением выделения метана из очистного забоя в период работы очистного комбайна.

Расчет давления метана в окрестности очистного забоя по формуле (3)
Calculation of methane pressure in the vicinity of the working face by the formula (3)

Состояние пласта	Давление метана (МПа) при расстоянии от забоя, м						
	0	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50
Упругое	0,33	0,36	0,44	0,60	0,85	1,11	1,31
Упруго-пластическое	0,13	0,11	0,13	0,23	0,36	0,60	1,11
Отношение давления	2,54	3,27	3,38	2,61	2,36	1,85	1,18
Градиент давления метана, МПа/м		0,24	0,32	0,64	1,00	1,04	0,80

По известной проницаемости угольного пласта было вычислено давление метана в краевой части пласта, для этого использована предложенная В.А. Колмаковым [3] зависимость

$$k = k_0 e^{-bP}, \quad (2)$$

где k — проницаемость угля в краевой части пласта, м^2 ; k_0 — проницаемость ненагруженного угольного образца в лабораторных условиях, м^2 ; P — давление газа в угольном пласте, МПа; b — коэффициент, м^{-1} .

После преобразования (2) получена зависимость

$$P = -\frac{1}{b} \ln \frac{k}{k_0}. \quad (3)$$

Для определения коэффициента b приняты следующие граничные условия: давление газа на обнаженной поверхности пласта равно атмосферному $P = 0,1$ МПа; проницаемость ненагруженного угольного образца согласно [3] $k_0 = 10,0 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$.

Тогда согласно принятым граничным условиям, максимальной проницаемости на обнаженной поверхности пласта $k = 7,0 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$ (см. график 4, рис. 4) после преобразования формулы (3) получено $b = 3,57$.

Результаты расчета давления газа по формуле (3) на разных расстояниях от очистного забоя с использованием графиков на рис. 4 представлены в таблице.

Согласно таблице давлением метана в краевой части пласта 48 постепенно возрастает вглубь угольного массива, а точка с максимальным градиентом

давления расположена на расстоянии 1,25 м от линии забоя. Следовательно, при выемке комбайном угольной полосы шириной 0,8–1,0 м выделяется максимальное количество метана, а при склонности угольного пласта к внезапным выбросам угля и метана возможен внезапный выброс.

Учитывая наличие весьма сближенного надрабатываемого пласта 45 возрастает риск прорыва метана из нижнего пласта в очистной забой верхнего отрабатываемого пласта.

По вычисленным значениям давления газа (таблица) и коэффициента проницаемости (рис. 4) определяются по известным методикам [7, 11] метановыделение с единичной поверхности обнажения угольного пласта и дебит метана в очистной забой.

Выводы

- Установлено, что границей зоны разрушения угля в краевой части пласта является отношение остаточной прочности угля к исходной прочности $n_{\text{пр}} = 0,4–0,5$. Эта граница соответствует расстоянию 1,5–2,5 м от краевой части пласта, то есть примерно равному мощности пласта.

- Выявлены зависимости коэффициента проницаемости угольного массива в краевой части угольного пласта с учетом влияния упругих и упруго-пластических деформаций угля. Установлено, что основным критерием увеличения коэффициента проницаемости угольного пласта является изменения знака горизон-

тальных деформаций от сжимающих к растягивающим.

- Разработана методика определения коэффициента проницаемости угольного пласта и градиента давления ме-

тана в пределах ширины вынимаемой очистным комбайном угольной полосы для использования в качестве исходных данных при расчете метановыделения с единичной поверхности очистного забоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рубан А.Д., Артемьев В.Б., Забурдяев В.С., Захаров В.Н., Логинов А.К., Ютяев Е.П. Подготовка и разработка высокогазоносных угольных пластов. — М.: Горная книга, 2010. — 500 с.
2. Беспятов Г.А., Вылегжанин В.Н., Золотых С.С. Синергетика выбросоопасной горной среды. — Новосибирск: Наука, 1996. — 191 с.
3. Колмаков В.А. Метановыделение и борьба с ним в шахтах. — М.: Недра, 1981. — 134 с.
4. Поздеев И.А. Разработка и обоснование метода определения газоносности угольных пластов с учетом динамики процессов фильтрации и диффузии метана: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. — Новосибирск: Институт Горного дела СО РАН, 2018. — 21 с.
5. Петухов И.М., Линьков А.М., Сидоров В.С. Расчетные методы в механике горных ударов и выбросов: Справочное пособие. — М.: Недра, 1992. — 256 с.
6. Шепелева С.А., Дырдин В.В., Ким Т.Д., Смирнов В.Г., Гвоздкова Т.Н. Метан и выбросоопасность угольных пластов. — Томск: Изд-во ТГУ, 2015. — 180 с.
7. Качурин Н.М., Ермаков А.Ю., Вал.В. Сенкус. Аэрогазодинамика очистных и подготовительных участков при отработке мощных пологих пластов. — Кемерово: АИ Кузбассвуиздат, 2017. — 287 с.
8. Шинкевич М.В., Родин Р.И. Реализация газового потенциала в процессе разрушения угля и его роль в структуризации поверхности частиц и порового пространства // Вестник КузГТУ. — 2017. — № 6. — С. 54–60.
9. Штумпф Г.Г., Рыжков Ю.А., Шаламанов В.А., Петров А.И. Физико-технические свойства горных пород и углей. — М.: Недра, 1994. — 447 с.
10. Фрянов В.Н., Петрова О.А., Петрова Т.В. Комплекс проблемно-ориентированных программ для моделирования формирования и распределения опасных зон в газоносном геомассиве: свидетельство о регистрации электронного ресурса. № 21123, дата регистрации 03 августа 2015 года // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов «Наука и образование». № 08–09 (75–76) август-сентябрь 2015.
11. Колмаков В.А., Колмаков В.В., Мазикин В.П. О необходимости изменения существующей оценки газообильности шахт // Уголь. — 2000. — № 6. — С. 57–58.
12. Черепов А.А., Павлова Л.Д. Оценка соответствия результатов численного моделирования и шахтных исследований параметров напряженно-деформированного состояния массива горных пород // Вестник КузГТУ. — 2017. — № 6. — С. 61–68.
13. C. Özgen Karacan, Ricardo A. Olea. Stochastic reservoir simulation for the modeling of uncertainty in coal seam degasification // Fuel, 15 May 2015, vol. 148, pp. 87–97.
14. Yanhua Zhang, Jim Underschultz, Laurent Langhi, Dirk Mallants, Julian Stran Numerical modelling of coal seam depressurization during coal seam gas production and its effect on the geomechanical stability of faults and coal beds // International Journal of Coal Geology, 1 July 2018, vol. 195, pp. 1–13.
15. Feng Gao, Yi Xue, Yanan Gao, Zhizhen Zhang, Teng Teng, Xin Liang Fully coupled thermo-hydro-mechanical model for extraction of coal seam gas with slotted boreholes // Journal of Natural Gas Science and Engineering, April 2016, Vol. 31, pp. 226–235.
16. C. Özgen Karacan. Analysis of gob gas venthole production performances for strata gas control in longwall mining // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, October 2015, vol. 79, pp. 9–18.
17. Fengde Zhou, Guangqing Yao, Stephen Tyson. Impact of geological modeling processes on spatial coalbed methane resource estimation // International Journal of Coal Geology. 1 July 2015, vol. 146, pp. 14–27. **ПЛАБ**

REFERENCES

1. Ruban A.D., Artem'ev V.B., Zaburdyaev V.S., Zakharov V.N., Loginov A.K., Yutyaev E.P. *Podgotovka i razrabotka vysokogazonosnykh ugol'nykh plastov* [Preparation and mining of coal seams with high gas content], Moscow, Gornaya kniga, 2010, 500 p.
2. Bespyatov G.A., Vylegzhanin V.N., Zolotikh S.S. *Sinergetika vybrosopasnoy gornoy sredy*. [Synergetics of outburst-hazardous mining environment] Novosibirsk, Nauka, 1996, 191 p.
3. Kolmakov V.A. *Metanovydelenie i bor'ba s nim v shakhtakh* [Methane release and control in mines], Moscow, Nedra, 1981, 134 p.
4. Pozdeev I.A. *Razrabotka i obosnovanie metoda opredeleniya gazonosnosti ugol'nykh plastov s uchetom dinamiki protsessov fil'tratsii i diffuzii metana* [Development and justification of method to determine gas content of coal seams with regard to methane flow and diffusion dynamics], Candidate's thesis, Novosibirsk, IGD SO RAN, 2018, 21 p.
5. Petukhov I.M., Lin'kov A.M., Sidorov V.S. *Raschetnye metody v mekhanike gornykh udarov i vybrosov*: Spravochnoe posobie [Computational methods in mechanics of rocks and outbursts: Reference aid], Moscow, Nedra, 1992, 256 p.
6. Shepeleva S.A., Dyrdin V.V., Kim T.D., Smirnov V.G., Gvozdkova T.N. *Metan i vybrosopasnost' ugol'nykh plastov* [Methane and outburst hazard of coal seams], Tomsk, Izd-vo TGU, 2015, 180 p.
7. Kachurin N.M., Ermakov A.Yu., Val.V. Senkus. *Aerogazodinamika ochistnykh i podgotovitel'nykh uchastkov pri otrabotke moshchnykh pologikh plastov* [Air-and-gas dynamics in longwalls and gate roads in thick gently dipping seams], Kemerovo, AI Kuzbassvuzizdat, 2017, 287 p.
8. Shinkevich M.V., Rodin R.I. Implementation of gas potential during coal fracture and its role in structuring of coal particle surface and pore space. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2017, no 6, pp. 54–60. [In Russ].
9. Shtumpf G.G., Ryzhkov Yu.A., SHalamanov V.A., Petrov A.I. *Fiziko-tekhnicheskie svoystva gornykh porod i ugley* [Physicotechnical properties of coal and rocks], Moscow, Nedra, 1994, 447 p.
10. Fryanov V.N., Petrova O.A., Petrova T.V. Problem-oriented program system for modeling formation and distribution of hazardous zones gas-bearing geo-mass: Electronic resource registration certificate no. 21123 as of August 3, 2015. *Khroniki ob'edinennogo fonda elektronnykh resursov «Nauka i obrazovanie»*, no 08–09 (75–76) August–September 2015. [In Russ].
11. Kolmakov V.A., Kolmakov V.V., Mazikin V.P. Required modification of existing assessment of gas content in mines. *Ugol'*. 2000, no 6, pp. 57–58. [In Russ].
12. Cherepov A.A., Pavlova L.D. Assessment of conformance between numerical modeling results and in-situ parameters of stress-strain state of rock mass. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2017, no 6, pp. 61–68. [In Russ].
13. C. Özgen Karacan, Ricardo A. Olea. Stochastic reservoir simulation for the modeling of uncertainty in coal seam degasification. *Fuel*, 15 May 2015, vol. 148, pp. 87–97.
14. Yanhua Zhang, Jim Unterschultz, Laurent Langhi, Dirk Mallants, Julian Stran Numerical modelling of coal seam depressurization during coal seam gas production and its effect on the geomechanical stability of faults and coal beds. *International Journal of Coal Geology*, 1 July 2018, vol. 195, pp. 1–13.
15. Feng Gao, Yi Xue, Yanan Gao, Zhizhen Zhang, Teng Teng, Xin Liang Fully coupled thermo-hydro-mechanical model for extraction of coal seam gas with slotted boreholes. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, April 2016, Vol. 31, pp. 226–235.
16. C. Özgen Karacan. Analysis of gob gas venthole production performances for strata gas control in longwall mining. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, October 2015, vol. 79, pp. 9–18.
17. Fengde Zhou, Guangqing Yao, Stephen Tyson. Impact of geological modeling processes on spatial coalbed methane resource estimation. *International Journal of Coal Geology*. 1 July 2015, vol. 146, pp. 14–27.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ширяев Сергей Николаевич¹ — первый заместитель
технического директора, e-mail: Sergey.Shiryayev2@evraz.com,

Черепов Андрей Александрович¹ — технический директор,
e-mail: Andrey.Cherepov@evraz.com,
Петрова Ольга Александровна — канд. техн. наук, старший научный сотрудник,
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
Прокопьевск, e-mail: ol_petrova@mail.ru,
¹ ООО «Распадская угольная компания».
Для контактов: Ширяев С.Н., e-mail: Sergey.Shiryayev2@evraz.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

S.N. Shiryayev¹, First Deputy Technical Director,
e-mail: Sergey.Shiryayev2@evraz.com,
A.A. Cherepov¹, Technical Director, e-mail: Andrey.Cherepov@evraz.com,
O.A. Petrova, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher,
Prokopyevsk branch of Kuzbass State Technical University,
653033, Prokopyevsk, Russia, e-mail: ol_petrova@mail.ru,
¹ LLC «Raspadskaya coal company», 654027, Novokuznetsk, Russia.
Corresponding author: S.N. Shiryayev, e-mail: Sergey.Shiryayev2@evraz.com.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА В XXI ВЕКЕ. Т. 1, Т. 2 (2019, СВ 6, 368 с.; СВ 7, 536 с.)

В сборник вошли материалы исследований по проблемам обеспечения промышленной безопасности и охраны труда на предприятиях минерально-сырьевого комплекса, в частности статьи, посвященные проветриванию шахт, рудников и подземных сооружений, обеспечению безопасности горных выработок по метановому и пылевому факторам, оценке рисков аварий на опасных производственных объектах, мониторингу геодинамических и сейсмических процессов, совершенствованию систем управления промышленной безопасностью и охраной труда, в том числе вопросам подготовки и повышения квалификации кадров, обеспечению промышленной и экологической безопасности предприятий горнодобывающей, металлургической и нефтегазовой отраслей. Данный выпуск научных трудов подготовлен по материалам IV международной научно-практической конференции «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке», состоявшейся 25—26 октября 2018 г. в Санкт-Петербургском горном университете.

INDUSTRIAL SAFETY OF ENTERPRISES OF MINERAL RESOURCES IN THE XXI CENTURY. VOL. 1, VOL. 2

The collection includes research materials on the problems of industrial safety and labor protection at the enterprises of the mineral complex, in particular articles on ventilation of mines, mines and underground structures, ensuring the safety of mine workings on methane and dust factors, assessment of the risks of accidents at hazardous production facilities, monitoring of geodynamic and seismic processes, improvement of industrial safety and labor protection management systems, including training and advanced training of personnel, ensuring industrial and environmental safety of mining, metallurgical and oil and gas industries. This issue of scientific papers is based on the materials of the IV international scientific and practical conference «Industrial safety of enterprises of mineral resources in the XXI century», held on October 25—26, 2018 at St. Petersburg mining University.