

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ГАЗОНОСНОСТИ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ НА ШАХТЕ ИМ. С.М. КИРОВА

Е.В. Федоров¹, Д.С. Шенин²

¹ ИПКОН РАН, Москва, Россия, e-mail: evfedorov58@gmail.com,

² Шахта им. С.М. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс», Ленинск-Кузнецкий, Россия

Аннотация: Представлены результаты выполненных работ по оценке текущей газоносности угольных пластов Болдыревский и Поленовский шахты им. С.М. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс». Приведено краткое описание применяемой методики определения газоносности, основанной на прямом измерении количества газа, выделяющегося из образца угольного керна. Методика предусматривает измерения объемов выделяющегося газа в шахте (пересчитываемые методом обратной экстраполяции, в объемы газа, «потерянного» с момента отделения керна от массива и до момента его герметизации в контейнер — V_1 , объем газа, выделившегося из керна в лаборатории при атмосферном давлении V_2 и объем остаточного газа, выделившегося из пробы керна при измельчении в герметичной мельнице до крупности 0,2 мм — V_3). Рассмотрено влияние глубины отбора угольного керна на качество кернового материала и величину определяемой газоносности пласта, определено, что оптимальная глубина отбора керна должна быть не менее 15—20 м от стенки выработки. Выполнены анализ экспериментальных результатов, полученных при различных условиях, их сопоставление с данными оценки природной газоносности на стадии геологоразведочных работ (изогазы CH_4) и фактическими данными по ближайшим к местам измерений скважинам.

Ключевые слова: методика, метаноносность, газообильность, природная газоносность, остаточная газоносность, стандарт, дегазация угольных пластов, угольный керн, газовыделение, кернаборник.

Для цитирования: Федоров Е.В., Шенин Д.С. Результаты экспериментальной оценки газоносности разрабатываемых угольных пластов на шахте им. С.М. Кирова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 5. – С. 51–58. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-51-58.

Experimental evaluation data on gas content of working coal seams in Kirov Mine

E.V. Fedorov¹, D.S. Shenin²

¹ Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources
of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, e-mail: evfedorov58@gmail.com,

² S.M. Kirov Mine JSC «SUEK-Kuzbass», Leninsk-Kuznetsky, Russia

Abstract: Evaluation of current gas content of Boldyrev and Polenov coal seams operated by Kirov Mine, SUEK-Kuzbass is presented. The gas content procedure is based on direct measurement of gas emission from a core sample of coal. The procedure provides measurement of in-situ gas emission volumes (converted by inverse extrapolation to: gas volume 'lost' between the moments of

core taking and sealing in a container— V_1 ; gas volume released from the core in the laboratory under the atmospheric pressure— V_2 ; and residual gas volume liberated from the core sample during its milling in an airtight mill down to a size of 0.2 mm— V_3). The study of the effect exerted by the core taking depth on the core quality and coal gas content value shows that the optimal depth of core taking should be not more than 15–20 m from roadway sidewall. The experimental data obtained in different conditions are analyzed and compared with the estimates of natural gas content at the stage of geological exploration (iso-gas CH_4) as well as with the factual data from the nearest boreholes.

Key words: procedure, methane content, gas content, natural gas content, residual gas content, standard, coalbed drainage, coal core, gas release, core sampler.

For citation: Fedorov E.V., Shenin D.S. Experimental evaluation data on gas content of working coal seams in Kirov Mine. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2019;5:51-58. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-51-58.

Введение

Шахта им. С.М. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс» разрабатывает пласты «Болдыревский» и «Поленовский» и относится к сверхкатегорийным по метану [1]. Прогнозные значения природной метаносности угольных пластов по данным геологоразведочных работ на достигнутых глубинах ведения горных работ (500–570 м) приближаются к 24 м³/т [2]. Указанные пласты с глубины 535 м отнесены к угрожаемым по внезапным выбросам угля и газа.

Способы и параметры дегазации основных источников выделения метана угольных шахт выбирают с учетом газообильности и газового баланса очистных выработок [3]. В свою очередь, газообильность горных выработок шахт рассчитывают по газоносности угольных пластов и вмещающих пород, которые определяют на этапе геологоразведочных работ в соответствии с инструкцией [4]. Дополнением к инструкции является отраслевой стандарт ОСТ 41-01-276-87 [5], устанавливающий комплекс методов и порядок лабораторных исследований газовыделения при изучении природной газоносности. Наряду с этим в инструкции подчеркнуто, что из-за невозможности учесть все факторы, определяющие закономерности распределения газа в

угленосной толще, а также несовершенства применяемых технических средств и методов, результаты изучения газоносности угольных пластов на стадии геологоразведочных работ должны уточняться по мере получения новых материалов при строительстве и эксплуатации шахт.

В таких условиях для обеспечения безопасного и эффективного ведения очистных работ с использованием высокопроизводительного оборудования требуются объективные данные по природной и остаточной газоносности угольных пластов, оценке эффективности проведения дегазационных мероприятий [6, 7].

Такую информацию получают, как правило, с использованием различного рода шахтных экспериментальных методов, основанных на прямом измерении газовыделения из образцов угля или угольного керна. Определение газоносности угольных пластов в действующих шахтах в большинстве случаев мировой практики основывается на нормах и требованиях американского стандарта ASTM D 7569-10 [8], австралийского стандарта AS 3980-1999 [9], методики Института исследования газа [10], компании DMT GmbH & Co [11], ГОСТ Р 55955-2014 [12]. Все перечисленные стандарты предполагают прямое определение газоносности путем измерения количе-

ства газа, выделяющегося из угольных образцов или буровых скважин в герметичные измерительные сосуды. Одной из таких методик является разработанная институтом ИПКОН РАН на основе австралийского стандарта AS 3980-1999 «Методика определения газоносности разрабатываемых угольных пластов» [13, 14], предусматривающая определение полного объема газовыделения из угольного керна в несколько этапов: измерение объемов выделяющегося в шахте газа (пересчитываемых в объемы газа, «потерянных» при выбурировании керна) — V_1 , объемов газа, выделившегося из керна в лаборатории при атмосферном давлении (V_2) и объемов остаточного газа, выделившегося из пробы керна при измельчении в герметичной мельнице до крупности 0,2 мм — V_3 .

Указанная методика лежит в основе утвержденного Ростехнадзором руководства по безопасности «Рекомендации по определению газоносности угольных пластов» [15] и предназначена для использования по определению природной и остаточной газоносности угольных пластов при прогнозе газообильности подготовительных и очистных выработок и оценке эффективности дегазационных мероприятий.



Рис. 1. Извлечение угольного керна из керноотборника

Fig. 1. Coal core Extraction from the core collector

Методика определения газоносности

Целью первого этапа изучения газоносности угольного пласта является отбор керновых проб, а также установление кинетики начального газовыделения, то есть определение методом обратной экстраполяции количества газа V_1 , «потерянного» с момента отделения керна от массива и до момента его герметизации в контейнере. На рис. 1 показан процесс извлечения керна из керноотборника.

Для измерения объемов газовыделения из керна используется набор оборудования, включающий цилиндрический контейнер из нержавеющей стали с герметично завинчивающейся крышкой, мерный цилиндр объемом 2000 мл, газосборный мешок объемом до 1500 мл, откачивающую грушу, шланги и фитинги, а также барометр и термометр (рис. 2). За счет разряжения, создаваемого грушей, в мерном цилиндре образуется столб затворной жидкости (водный 20% раствор NaCl). По мере поступления газа из контейнера с керном в верхнюю часть цилиндра уровень затвора опускается. Суть измерений сводится к взятию отсчетов уровня по шкале мерного цилиндра в течение 20 мин с интервалом в 1–2 мин.



Рис. 2. Установка для измерения выделяющегося газа V_1 в шахте

Fig. 2. Installation for measurement of evolved gas V_1 in the mine



Рис. 3. Установка для измерения объема выделяющегося газа при атмосферном давлении в лаборатории

Fig. 3. Installation for measuring the volume of released gas at atmospheric pressure in the laboratory

В шахтных условиях заполняется «Протокол измерений», в котором фиксируются: температура, давление, время начала и окончания выбуривания керна, время герметизации керна в контейнере; отбирается проба газа для исследования компонентного состава в лаборатории. Время между моментами отделения керна от массива и помещением его в контейнер во избежание чрезмерной потери газа не должно превышать 10 мин.

После доставки контейнера с керном из шахты в лабораторию производятся измерения выделяющихся из керна объемов газа на установке, аналогичной описанной выше (рис. 3). Последний абзац на с. 3 «Для измерения объемов газовой выделения из керна используется набор оборудования, включающий цилиндрический...».

Заполняется протокол лабораторных измерений с фиксацией веса контейнера с керном, атмосферного давления, температуры. Измерения проводят до тех пор, пока объемы газовой выделения за

20 мин не превысят 2 минимальных делений на мерном цилиндре. Производят отбор газа для исследования его компонентного состава. Отбирают пробы для определения кажущейся плотности угля для дальнейших исследований.

После определения объемов газа V_2 керн извлекают из контейнера, из него отбирают две пробы весом по 160 г для измельчения в герметичной мельнице в течение 7 минут до крупности 0,2 мм с отбором выделяющегося при этом газа и измерением его объемов на установке, показанной на рис. 4.

Заполняется протокол измерения объемов газа V_3 с указанием веса отобранных проб, температуры и атмосферного давления в момент измерений, среднего значения (по двум пробам) объема газа. Измельченный уголь отбирается для лабораторных определений пикнометрической плотности и определения зольности и влажности угля.

После проведенных шахтных и лабораторных измерений объемов газа, вы-

делившегося из угольного керна, вычисления кажущейся и пикнометрической плотности угля, его зольности и влажности производят вычисления природной газоносности угольного пласта в месте отбора керна. Для этого полученные объемы газа приводят к стандартным условиям. Затем по приведенным к стандартным условиям значениям V_1 определяют объем газа, выделившегося (потерянного) при выбурировании керна $V_{1н}$. После этого, отнесением получившихся объемов $V_{1н}$, V_2 , V_3 к соответствующим массам угля (керны и пробы для мельницы) и их суммированием получают значение природной газоносности угольного пласта в $\text{м}^3/\text{т}$. А с учетом определенной зольности и влажности проб — природную газоносность в $\text{м}^3/\text{т}$ сухой беззольной массы.

Результаты натуральных исследований

Экспериментальные исследования газоносности угольных пластов проводились в период 2017—2018 гг. в подгото-

вительных выработках по пласту «Болдыревский» и «Поленовский» на участках бурения пластовых дегазационных скважин. Бурение выполнялось с помощью самоходных установок VLD-1000A и IDC-90, позволяющих вести направленное бурение скважин диаметром 96 мм на глубину 1000 м и более.

Всего было выполнено восемь серий измерений с отбором и исследованием 4—5 кернов в каждой серии. Средняя относительная погрешность результатов измерений в каждой серии составляла 7—9%. В соответствии с «Методикой определения газоносности разрабатываемых угольных пластов», отбор кернового материала производится за пределами зоны влияния выработки. В ходе выполнения работ глубина отбора кернового материала изменялась в пределах от 6 до 20 м по нормали к стенке горной выработки. Бурение более глубоких скважин было признано нецелесообразным, поскольку при глубинах свыше 20 м суммарное время на подъем снаряда, из-



Рис. 4. Измерение объемов газа, выделяющегося при измельчении пробы угля в герметичной мельнице

Fig. 4. Measurement of the volume of gas released during the grinding of coal samples in a sealed mill

Результаты оценки газоносности угольных пластов ш. им. С.М. Кирова
Results of assessment of gas content of coal seams Sh. them. S.M. Kirov

№ п/п	Место отбора керна: пласт, выработка	Глубина, м	Текущая величина газоносности $Q_{от}$, м ³ /т (H — глубина отбора керна)	Природная газоносность (изогазы CH ₄) Q, м ³ /т	Природная газоносность Q, м ³ /т, (№ ближайшей скв.)
1	Пл. «Болдыревский». Вентиляционная печь 2457	360	9,6 (H=12–18)	12	н/д
2	Пл. «Болдыревский». Вентиляционная печь 2458	375	11,7 (H=12–18)	13	н/д
3	Пл. «Болдыревский». Промежуточный штрек 2458-2	395	11,9 (H=10–15)	15	н/д
4	Пл. «Болдыревский». Промежуточный штрек 2460-2	460	10,5 (H=6–12)	17	12,37; 15,23 (№ 25014)
5	Пл. «Болдыревский». Промежуточный штрек 2460-1 (север)	500	10,0 (H=9–13)	19	13,0 (№ 25022)
6	Пл. «Болдыревский». Промежуточный штрек 2460-1 (юг)	510	9,6 (H=10–12)	19	13,0 (№ 25022)
7	Пл. «Поленовский», сопр. ЦМПШ-ВП 2597	500	8,3 (H=6–10)	16	12,45 (№ 10811)
8	Пл. «Поленовский», сопр. ЦМПШ-ВП 2597	500	11,2 (H=12–20)	16	12,45 (№ 10811)

влечение угольного керна из керноотборника и его герметизацию в контейнере превышало регламентированные данной методикой 10 мин.

Анализ полученных результатов показывает, что увеличение глубины, с которой выбуривается керн в скважине, при прочих равных условиях, как правило, ведет к улучшению качества угольного керна и к росту определяемой величины газоносности пласта.

Представляет интерес сопоставление результатов, получаемых при экспериментальном определении газоносности в соответствии с методикой, с данными, полученными на стадии проведения геологоразведочных работ (изогазы CH₄) и фактическими данными по имеющимся (в ряде случаев) ближайшим к месту отбора керна скважинам.

В таблице представлены сводные результаты экспериментальной оценки газоносности для пластов «Болдыревский» и «Поленовский» ш. им. С.М. Кирова.

Выводы

Анализ полученных результатов, позволяет сделать следующие основные выводы:

- Полученные в ходе исследований результаты показывают существенную зависимость определяемой величины газоносности от качества керна и глубины отбора керна в скважине. Так, увеличение глубины отбора керна с 6–7,5 м (1–1,5 диаметра выработки) до 18–20 м (3–4 диаметра выработки) сопровождается ростом величины газоносности до 44% и более.

- Сопоставление полученных в ходе экспериментов данных с результатами оценки газоносности на стадии геологоразведочных работ показывает, что значения текущей величины газоносности существенно (в ряде случаев на 20–49%) ниже параметров природной газоносности (изогазы CH₄) за счет естественной дегазации углеродного массива при проведении подготовительных

выработок и бурении пластовых дегазационных скважин.

• Сопоставимые результаты определения газоносности по использованной нами методике с проектными показате-

лями природной газоносности (изогазы CH_4) достигаются при получении качественного kernового материала и глубине отбора керна 15–20 м от стенки выработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рубан А. Д., Забурдяев В. С., Матвиенко Н. Г., Артемьев В. В. Основы проектирования дегазации угольных шахт и рудников России. — М.: Горное дело, 2011. — 271 с. (Библиотека горного инженера, кн. 3, т. 9, Рудничная аэрология).

2. Геологические материалы к ТЭО постоянных разведочных кондиций по участкам «Поле шахты имени Кирова» и «Кировский Глубокий» Ленинского каменноугольного месторождения АО «СУЭК-Кузбасс». — Ленинск-Кузнецкий: ООО «Георесурс», 2013. — 134 с.

3. Инструкция по дегазации угольных шахт. Серия 05. Выпуск 22. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2012. — 250 с.

4. Инструкция по определению и прогнозу газоносности угольных пластов и вмещающих пород при геологоразведочных работах. (Институт горного дела им. А. А. Скочинского). — М.: Недра, 1977. — 96 с.

5. ОСТ 41-01-276-87 Природная газоносность угольных месторождений. Методы лабораторного изучения. — Ростов-на-Дону: Ростапринт ВНИГРИУголь, 1988. — 28 с.

6. Skoczylas N., Dutka B., Sobczyk J. Mechanical and gaseous properties of coal briquettes in terms of outburst risk / (2014) Fuel, 134, pp. 45–52. DOI: 10.1016/j.fuel.2014.05.037.

7. Zhai C., Xiang X., Xu J., Wu S. The characteristics and main influencing factors affecting coal and gas outbursts in Chinese Pingdingshan mining region // Natural Hazards, 2016, 82 (1), pp. 507–530. DOI: 10.1007/s11069-016-2195-2.

8. ASTM D 7569-0 Standard practice for determination of gas content of coal — direct desorption method. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.

9. Australian Standard AS 3980-1999: Guide to the determination of gas content of coal seams. Direct desorption method. Standards Association of Australia, 1999. North Sydney, NSW. M. Avriel. Nonlinear Programming: Analysis and Methods. Dover Publishing, 2003.

10. McLennan J. D., Schafer P. S., Pratt T. J. A Guide to Determining Coalbed Gas, Gas Research Institute Report GRI-94/0396. Chicago, Illinois. 1995. 123 p.

11. Imgrund T., Bauer F. Relaxation and gas drainage boreholes for high performance longwall operations in low permeability coal seams. Mining Report, 149.2013. pp. 159–166. DOI: 10.1002/mire.201300019.

12. ГОСТ Р 55955-2015. Стандартная практика определения содержания газа в угле. — М.: Стандартинформ, 2014. — 14 с.

13. Ахметгареев Р. А., Федоров Е. В. О стандартах определения содержания газа в угле // Безопасность труда в промышленности. — 2015. — № 11. — С. 30–35.

14. Ахметгареев Р. А., Федоров Е. В. Опытные промышленные испытания методики определения газоносности разрабатываемого угольного пласта // Безопасность труда в промышленности. — 2015. — № 9. — С. 43–48.

15. Руководство по безопасности «Рекомендации по определению газоносности угольных пластов». Серия 5, выпуск 48. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2017. — 44 с. **ГИАБ**

REFERENCES

1. Ruban A. D., Zaburdyayev V. S., Matvienko N. G., Artem'ev V. B. *Osnovy proektirovaniya degazatsii ugol'nykh shakht i rudnikov Rossii* [Degassing design basis for coal and ore mines in Russia], Moscow, Gornoe delo, 2011, 271 p.

2. *Geologicheskie materialy k TEO postoyannykh razvedochnykh konditsiy po uchastkam «Pole shakhty imeni Kirova» i «Kirovskiy Glubokiy» Leninskogo kamennougol'nogo mestorozhdeniya AO «SUEK-Kuzbass»* [Geological data for permanent exploration standard FS in mine fields of Kirov Mine and Kirov Gluboky in the Lenin Coal Basin of SUEK-Kuzbass], Leninsk-Kuznetskiy, ООО «Georesurs», 2013, 134 p. [In Russ].

3. *Instruktsiya po degazatsii ugol'nykh shakht* [Coal mine degassing guidelines], Moscow, ZAO NTTS PB, 2012, 250 p. [In Russ].
4. *Instruktsiya po opredeleniyu i prognozu gazonosnosti ugol'nykh plastov i vmeshchayushchikh porod pri geologorazvedochnykh rabotakh* [Guidelines on gas content estimation and prediction in coal and enclosing rocks during geological exploration], Moscow, Nedra, 1977, 96 p. [In Russ].
5. *Prirodnaya gazonosnost' ugol'nykh mestorozhdeniy. Metody laboratornogo izucheniya. OST 41-01-276-87* [Natural gas content of coal deposits. Laboratory methods. Industry standards 41-01-276-87], Rostov-na-Donu, Rostaprint VNIGRIugol', 1988, 28 p.
6. Skoczylas N., Dutka B., Sobczyk J. Mechanical and gaseous properties of coal briquettes in terms of outburst risk / (2014) *Fuel*, 134, pp. 45–52. DOI: 10.1016/j.fuel.2014.05.037.
7. Zhai C., Xiang X., Xu J., Wu S. The characteristics and main influencing factors affecting coal and gas outbursts in Chinese Pingdingshan mining region. *Natural Hazards*, 2016, 82 (1), pp. 507–530. DOI: 10.1007/s11069-016-2195-2.
8. *ASTM D 7569-0 Standard practice for determination of gas content of coal – direct desorption method*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.
9. *Australian Standard AS 3980-1999: Guide to the determination of gas content of coal seams. Direct desorption method*. Standards Association of Australia, 1999. North Sydney, NSW. M. Avriel. *Nonlinear Programming: Analysis and Methods*. Dover Publishing. 2003.
10. McLennan J.D., Schafer P.S., Pratt T.J. *A Guide to Determining Coalbed Gas, Gas Research Institute Report GRI-94/0396*. Chicago, Illinois. 1995. 123 p.
11. Imgrund T., Bauer F. *Relaxation and gas drainage boreholes for high performance long-wall operations in low permeability coal seams*. Mining Report, 149.2013. pp. 159–166. DOI: 10.1002/mire.201300019.
12. *Standartnaya praktika opredeleniya sodержaniya gaza v ugle. GOST R 55955-2015* [Standard practices of coal gas content determination. State Standart R 55955-2015], Moscow, Standartinform, 2014, 14 p.
13. Akhmetgareev R.A., Fedorov E.V. Standards of coal gas content determination. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2015, no 11, pp. 30–35. [In Russ].
14. Akhmetgareev R.A., Fedorov E.V. Pilot tests of procedure for gas content determination in a working coal seam. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2015, no 9, pp. 43–48. [In Russ].
15. *Rukovodstvo po bezopasnosti «Rekomendatsii po opredeleniyu gazonosnosti ugol'nykh plastov»* [Recommendations on Coalbed Gas Content Determination: Safety Guide], Moscow, ZAO NTTS PB, 2017, 44 p. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Федоров Евгений Вячеславович — кандидат технических наук, зав. отделом, ИПКОН РАН, e-mail: evfedorov58@gmail.com,
 Шенин Дмитрий Сергеевич — главный инженер,
 Шахта им. С.М. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс».
Для контактов: Федоров Е.В., e-mail: evfedorov58@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

E.V. Fedorov, Candidate of Technical Sciences, Head of Department, Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia, e-mail: evfedorov58@gmail.com,
D.V. Shenin, Chief Engineer, S.M. Kirov Mine JSC «SUEK-Kuzbass», Leninsk-Kuznetsky, Russia.
Corresponding author: E.V. Fedorov, e-mail: evfedorov58@gmail.com.

