



II РУДНИЧНАЯ АЭРОГАЗОДИНАМИКА

DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.61.29.006

УДК 622.453

© В.И. Клишин, О.В. Тайлаков, А.П. Садов, Е.А. Уткаев, М.П. Макеев, 2022

В.И. КЛИШИН

член-корр. РАН,

директор

Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово

e-mail: klishinvi@icc.kemsc.ru

О.В. ТАЙЛАКОВ

д-р техн. наук, проф.,

генеральный директор

АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово

главный научный сотрудник

ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово

e-mail: oleg2579@gmail.com

А.П. САДОВ

начальник управления дегазации и утилизации метана

ОАО «СУЭК-Кузбасс», г. Ленинск-Кузнецкий

Е.А. УТКАЕВ

канд. техн. наук,

старший научный сотрудник

ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово

e-mail: utkaev@mail.ru

М.П. МАКЕЕВ

канд. техн. наук,

старший научный сотрудник

ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово

e-mail: makeev75@ya.ru

ДЕГАЗАЦИЯ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА НАКЛОННО-НАПРАВЛЕННЫМИ СКВАЖИНАМИ

Рассмотрена технология дегазации выработанного пространства протяженными наклонными скважинами, пробуренными с поверхности. В сопоставительном анализе показано, что их применение позволяет повысить объем извлекаемого метана в сравнении с типовой

технологией дегазации сближенного пласта скважинами, пробуренными над куполом обрушения из параллельной выработки. Предложен подход к разработке и обоснованию схемы заложения наклонно-направленных скважин. Приводятся результаты оценивания параметров дегазации выработанного пространства наклонно-направленными скважинами, пробуренными над куполом обрушения с поверхности. Показано, что для снижения газосодержания в горно-геологических условиях выбранной шахты бурение шести наклонно-направленных скважин с поверхности обеспечивает двукратный объем капируемого метана относительно типовой схемы. Ожидается, что расширенное применение технологии направленного бурения позволит повысить эффективность дегазации угольных пластов и безопасность угледобычи подземным способом в Кузбассе.

Ключевые слова: ДЕГАЗАЦИЯ, УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ, ВЫЕМОЧНЫЙ СТОЛБ, НАКЛОННО-НАПРАВЛЕННАЯ СКВАЖИНА, ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕГАЗАЦИИ, КАПИРУЕМЫЙ МЕТАН.

Способы дегазации, используемые на угольных шахтах Кузбасса, включают: предварительную дегазацию неразгруженных пластов в течение 6–12 месяцев скважинами, пробуренными из подземных выработок, с коэффициентом дегазации 0,15–0,25; текущую дегазацию неразгруженных пластов в течение 1–2 месяцев барьерными скважинами, пробуренными из горных выработок, с коэффициентом дегазации 0,15–0,30; дегазацию выработанного пространства и сближенных пластов угля в течение 3–12 месяцев скважинами, пробуренными с земной поверхности или из горных выработок, с коэффициентом дегазации 0,30–0,40 [1–3].

Для повышения эффективности дегазации широкое применение на угледобывающих предприятиях находит технология направленного бурения скважин, которая позволяет обуривать угольный пласт веером протяженных скважин из одной точки горной выработки или с поверхности. Выбор технологии дегазации в горно-геологических условиях залегания свиты пластов разрабатываемого месторождения зависит от совокупности факторов, которые включают природную газоносность (более 13 м³/т) и проницаемость дегазуемого пласта, сложность рельефа местности (при бурении скважин с поверхности), крепость перебуриваемых пород. При этом необходимо обеспечивать контроль эффективности проводимых мероприятий по дегазации угольных пластов, например, путем отбора угольных проб из горных

выработок с борта лавы до и после дегазации, анализа темпов и объема выхода буровой мелочи [4, 5], просвечивания массива горных пород акустическими волнами с последующей регистрацией изменений трещинно-порового пространства на основе изучения скоростных законов распространения акустических сигналов в углепородном массиве до и после бурения скважин [6].

Применение направленных скважин для дегазации выработанного пространства является альтернативой прямолинейным скважинам. Для выбора и обоснования количества направленных скважин, достаточного для извлечения необходимого объема метана, представляется целесообразным выполнить сопоставительный анализ этого способа в сравнении с использованием прямолинейных скважин.

Рассмотрены две схемы дегазации: скважинами, пробуренными над куполом обрушения из параллельной горной выработки и направленными скважинами, пробуренными с поверхности. Скважины с поверхности бурятся на равноудаленном расстоянии 2 метра друг от друга (рис. 1). Сеть наклонно-направленных скважин пробуривается выше кровли угольного пласта в соответствии с «Паспортом бурения наклонно-направленных скважин с поверхности горного отвода шахты буровым станком» с учетом бурения 6-ти скважин вдоль выемочного столба в интервале от 10 до 30 метров вдоль угольного пласта.

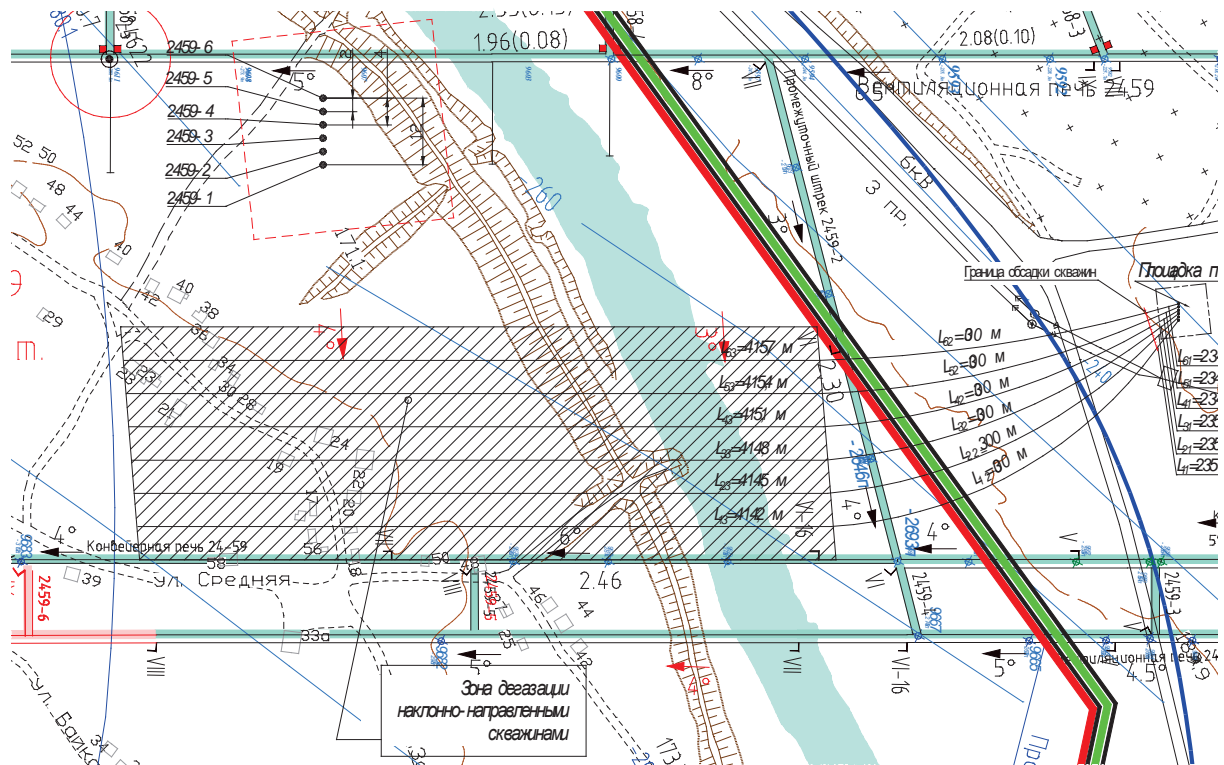


Рис. 1. Расчетная схема расположения наклонно-направленных скважин на плане горных работ

Схема бурение прямолинейных и наклонно-направленных скважин представлена на рис. 2. Примем, что для дегазации выработанного пространства направленными скважинами необходимо превышение объема их внутрискважинного пространства V_0 соответствующего объема прямолинейных скважин, пробуренных в купол обрушения из параллельной выработки:

$$\frac{V'_0}{V_{\text{вс}}} \geq \frac{V_0}{V_{\text{уч.д}}}$$

$$V_0 = \Sigma V_i,$$

$$V'_0 = \Sigma V'_j,$$

$$V_{\text{вс}} = m \cdot L \cdot h,$$

$$V_{\text{уч.д}} = l \cdot d_{\text{скв}}, \quad (1)$$

где V'_0 — объем метана, дегазируемого скважинами, пробуренными в купол обрушения из параллельной выработки, м^3 ; V_0 — объем метана, дегазируемого наклонно-направленными скважинами, пробуренными в купол обрушения с поверхности, м^3 ; l — длина скважины, м ; m — мощность пласта, м ; L — длина выемочного столба, м ; h — длина очистного забоя, м ; $V_{\text{вс}}$ — объем выемочного столба, м^3 ; $V_{\text{уч.д}}$ — объем участка, дегазируемого скважинами, м^3 ; V_i — объем метана, дегазируемого i -ой скважиной с поверхности, м^3 ; V'_j — объем метана, дегазируемого j -ой скважиной из параллельной выработки, м^3 .

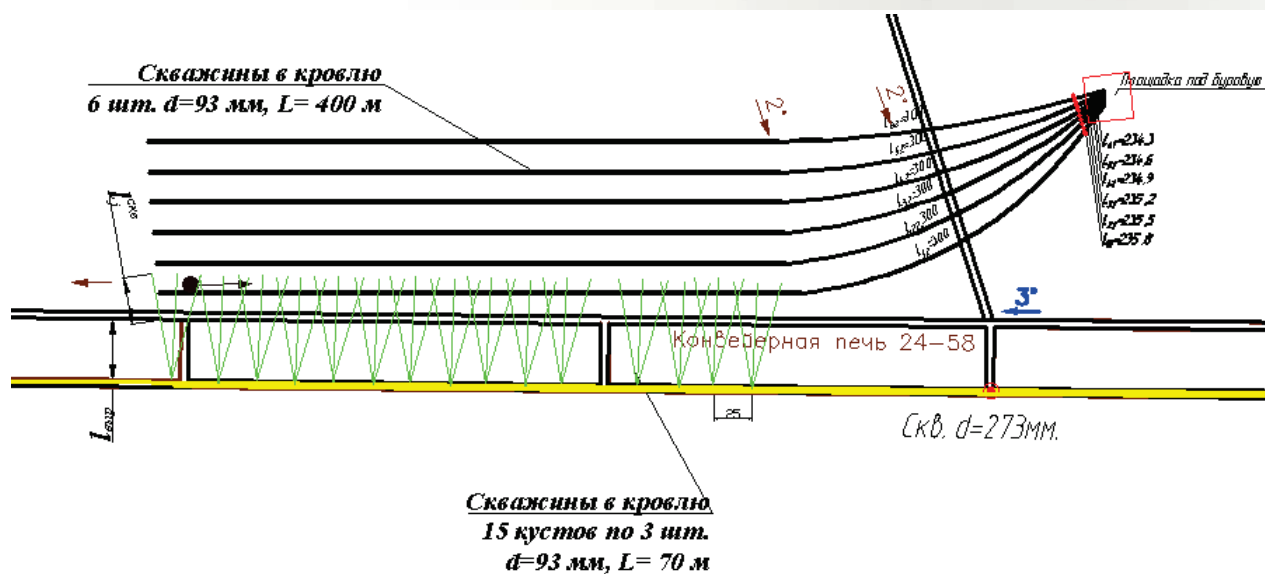


Рис. 2. Расчетная схема дегазационных скважин, пробуренных над куполом обрушения из параллельной горной выработки и с поверхности

При этом объем внутрискважинного пространства, задействованный в дегазации скважинами, пробуренными в купол обрушения, ограничен их участком, который находится в зоне обрушения. В предположении, что эта область совпадает с мощностью пласта t и областью нарушенных вмещающих пород после разгрузки угольного пласта t' , а также, что для скважин, пробуренных в купол обрушения из параллельной выработки, приблизительно равен t' для наклонно-направленных скважин, пробуренных в купол обрушения с поверхности, условия (1) можно преобразовать к виду:

$$\frac{\sum_{i=1}^N L_i^{СКВ} \cdot d_i^{СКВ}}{V_{уч.д}} \geq \frac{\sum_{j=1}^M l'_j \cdot d_j^{СКВ}}{V_{уч.д}} \quad (2)$$

Откуда следует, что:

$$V_1 \geq V_2 \quad (3)$$

Здесь

$$V_1 = \sum_{i=1}^N L_i^{СКВ} d_i^{СКВ} \geq V_2 = \sum_{j=1}^M l'_j d_j^{СКВ} \quad (4)$$

где V_1 — объем дегазуемого метана с помощью наклонно-направленных скважин,

пробуренных в купол обрушения с поверхности, m^3 ; V_2 — объем дегазуемого метана, m^3 ; N — количество наклонно-направленных скважин, пробуренных с поверхности; M — количество скважин, пробуренных из параллельной горной выработки в купол обрушения; $L_i^{СКВ}$ — длина прямолинейного участка наклонно-направленной скважины, пробуренной с поверхности, m ; $d_i^{СКВ}$ — диаметр наклонно-направленной скважины, m ; l'_j — эффективная длина скважины, пробуренной из параллельной горной выработки в купол обрушения, m .

$$l'_j = l^{СКВ} - \frac{l_{выр}}{\cos \beta} \quad (5)$$

Здесь $l^{СКВ}$ — длина скважины, пробуренной из параллельной горной выработки в купол обрушения, m ; $l_{выр}$ — длина охранного целика либо расстояние до горной выработки, m ; β — угол наклона скважин к горизонту (угол между осью скважины и горизонтальной плоскостью), град.

Из уравнения (4) следует, что при $l^{СКВ} = 70$ м, $l_{выр} = 40$ м и $\angle \beta = 17^\circ$ $l'_j = 28,1$ м. Результаты сопоставительного анализа применения направленных и прямолинейных скважин приведены в табл. 1.

Исходные данные и результаты расчета объема дегазируемого метана наклонно-направленными скважинами, пробуренными в купол обрушения с поверхности и скважинами, пробуренными в купол обрушения из параллельной горной выработки

Наклонно-направленная скважина, пробуренная в купол обрушения с поверхности		Скважина, пробуренная в купол обрушения из параллельной горной выработки	
Количество скважин, N	6	Количество скважин, M	45
Длина прямолинейного участка наклонно-направленной скважины, L_p , м	400	Эффективная длина скважины, l'_p , м	28,1
Диаметр скважины, d_p , м	0,96	Диаметр скважины, d_p , м	0,93
Объем дегазируемого метана, V_1 , м ³	1736,3	Объем дегазируемого метана, V_2 , м ³	861

Из табл. 1 следует, что условие (3) при заданных исходных параметрах выполняется: $V_1 = 1736,3 \text{ м}^3 > V_2 = 861 \text{ м}^3$. При этом для дегазации выработанного пространства необходимо пробурить более 6 наклонно-направленных скважин.

Таким образом, в сопоставительном анализе подтверждена возможность и эффективность применения наклонно-направленных скважин для каптирования дегазационного метана при приближении очистного забоя и формировании выработанного пространства, которое сопровождается разрушением угля и высвобождением метана в горные выработки. Такой подход предотвращает загазирование горных выработок, которое может приводить к приостановке работы очистного комбайна в течение времени, необходимого для нормализации газовой обстановки на выемочном участке [7–10]. При этом отметим, что дебит скважин, пробуренных над куполом обруше-

ния из параллельной горной выработки, снижается по мере продвижения очистного забоя, в то время как наклонно-направленные скважины продолжают каптировать метан на поверхность вплоть до полной отработки выемочного столба.

Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. № 1144-р (соглашение № 075-15-2022-1191).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ширяев С.Н., Агеев П.Г., Черепов А.А., Петрова О.А., Фрянов В.Н. Обоснование направлений развития способов и средств дегазации угольных шахт // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2018. № 3(25). С. 28–32.
2. Ютяев Е.П., Садов А.П., Мешков А.А., Хаутиев А.М., Тайлаков О.В., Уткаев Е.А. Оценка фильтрационных свойств угля в гидродинамических испытаниях дегазационных пластовых скважин // Уголь. 2017. № 11(1100). С. 24–29.
3. Клишин В.И., Опрук Г.Ю., Телегуз А.С., Николаев А.В., Махраков С.И., Печенев И.А. Реализация метода направленного гидроразрыва (НГР) при решении геотехнологических задач управления повышенным горным // Уголь. 2021. № 11(1148). С. 6–12.
4. Тайлаков О.В., Кормин А.Н., Уткаев Е.А. Оценка газоносности и проницаемости уголь-

ных пластов в шахтных условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № S49. С. 148–157.

5. Козырева Е.Н. Об изучении особенностей свойств углей средней стадии метаморфизма // Кокс и химия. 2022. № 7. С. 2–6.

6. Шадрин А.В. Развитие методов текущего прогноза внезапных выбросов угля и газа на шахтах Кузбасса // Безопасность труда в промышленности. 2019. № 7. С. 22–31.

7. Тайлаков О.В., Соколов С.В. К вопросу повышения достоверности прогноза динамических явлений и контроля напряженного состояния в угольных шахтах с использованием сейсмоакустических методов // Горная промышленность. 2017. № 6(136). С. 72.

8. Забурдяев В.С. Выделение метана из отбитого в очистном забое угля // Безопасность труда в промышленности. 2019. № 11. С. 13–17.

9. Wang Guofa, Ren Huaiwei, Pang Yihui, Cao Xiangang, Zhao Guorui, Chen Hongyue, Du Yibo, Mao Shanjun, Xu Yajun, Ren Shihua, Cheng Jianyuan, Liu Siping. Research and engineering progress of intelligent coal mine technical system in early stages // Coal Science and Technology (Peking). 2020. Vol. 48. No. 7. P. 1–27.

10. Мелехин Е.С., Кузина Е.С. Стимулирование процессов отработки высоко газоносных угольных пластов // Уголь. 2019. № 6(1119). С. 46–51.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.61.29.006

UDC 622.453

© V.I. Klishin, O.V. Tailakov, A.P. Sedov, E.A. Utkaeв, M.P. Makeev, 2022

V.I. KLISHIN

Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director
Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo
e-mail: klishinvi@icc.kemsc.ru

O.V. TAILAKOV

Doctor of Engineering Sciences, Professor,
General Director
JSC «NC VostNII», Kemerovo
Chief Researcher
Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo
e-mail: tailakov@nc-vostnii.ru

A.P. SEDOV

Head of the Methane Degassing and Utilization Department
JSC «SUEK-Kuzbass», Leninsk-Kuznetsky

E.A. UTKAEV

Candidate of Engineering Sciences,
Senior Researcher
Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo
e-mail: utkaev@mail.ru

M.P. MAKEEV

Candidate of Engineering Sciences,

Senior Researcher

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo

e-mail: makeev75@ya.ru

DEGASSING OF THE DEVELOPED SPACE BY DIRECTIONAL WELLS

The technology of degassing the worked-out space with extended directional wells drilled from the surface was considered. The comparative analysis shows that their use allows to increase the volume of extracted methane in comparison with the typical technology of degassing the adjacent formation by wells drilled above the collapse dome from a parallel mine. Proposed approach to development and substantiation of directional well layout. The results of evaluation of degassing parameters of the worked-out space by directional wells drilled above the collapse dome from the surface are presented. It has been shown that in order to reduce the gas content in the mining and geological conditions of the selected mine, drilling of six directional wells from the surface provides a double volume of captive methane relative to the typical scheme. It is expected that the expanded use of directional drilling technology will improve the efficiency of coal seam degassing and the safety of underground coal mining in Kuzbass.

Keywords: DEGASSING, COAL SEAM, EXTRACTION COLUMN, DIRECTIONAL WELL, DEGASSING EFFICIENCY, CAPTIVE METHANE.

REFERENCES

1. Shiryaev S.N., Ageev P.G., Cherepov A.A., Petrova O.A., Fryanov V.N. Substantiation of the directions of development of methods and means of coal mine degassing // Bulletin of the Siberian State Industrial University [Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrialnogo universiteta]. 2018. No. 3(25). P. 28–32. [In Russ.].
2. Yutyaev E.P., Sadov A.P., Meshkov A.A., Khautiev A.M., Tailakov O.V., Utkaev E.A. Evaluation of filtration properties of coal in hydrodynamic tests of degassing reservoir wells // Coal [Ugol]. 2017. No. 11(1100). P. 24–29. [In Russ.].
3. Klishin V.I., Okrug G.Yu., Teleguz A.S., Nikolaev A.V., Makarov S.I., Pechenev I.A. Implementation of the method of directional hydraulic fracturing (NGR) in solving geotechnological problems of management of elevated mining // Coal [Ugol]. 2021. No. 11(1148). P. 6–12. [In Russ.].
4. Tailakov O.V., Kormin A.N., Utkaev E.A. Assessment of gas content and permeability of coal seams in mine conditions // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal) [Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten (nauchno-tekhnicheskij zhurnal)]. 2018. No. S49. P. 148–157. [In Russ.].
5. Kozyreva E.N. On the study of the characteristics of the properties of coals of the middle stage of metamorphism // Coke and Chemistry [Koks i himiya]. 2022. No. 7. P. 2–6. [In Russ.].
6. Shadrin A.V. Development of methods for the current forecast of sudden emissions of coal and gas at Kuzbass mines // Occupational safety in industry [Bezopasnost truda v promyshlennosti]. 2019. No. 7. P. 22–31. [In Russ.].
7. Tailakov O.V., Sokolov S.V. On the issue of increasing the reliability of the forecast of dynamic phenomena and control of the stress state in coal mines using seism acoustic methods // Mining Industry [Gornaya promyshlennost]. 2017. No. 6(136). P. 72. [In Russ.].
8. Ziburdaev V.S. Extraction of methane from coal beaten off in the treatment face // Occupational safety in industry [Bezopasnost truda v promyshlennosti]. 2019. No. 11. P. 13–17. [In Russ.].
9. Wang Guofa, Ren Huaiwei, Pang Yihui, Cao Xiangang, Zhao Guorui, Chen Hongyue, Du Yibo, Mao Shanjun, Xu Yajun, Ren Shihua, Cheng Jianyuan, Liu Siping. Research and engineering progress of intelligent coal mine technical system in early stages // Coal Science and Technology (Peking). 2020. Vol. 48. No. 7. P. 1–27.
10. Melekhin E.S., Kuzina E.S. Stimulation of mining processes of high-gas-bearing coal seams // Coal [Ugol]. 2019. No. 6(1119). P. 46–51. [In Russ.].