



II РУДНИЧНАЯ АЭРОГАЗОДИНАМИКА

УДК 622.831.322

© М. С. Плаксин, Р. И. Родин, Г. В. Иванов, И. В. Радиковский, 2024

М.С. ПЛАКСИН

канд. техн. наук,
старший научный сотрудник
Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово
e-mail: plaksin@bk.ru



Р.И. РОДИН

научный сотрудник
Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово
ассистент
КузГТУ, г. Кемерово
e-mail: rodinri@mail.ru



Г.В. ИВАНОВ

д-р техн. наук, проф.
КузГТУ, г. Кемерово
e-mail: igv@kuzstu.ru



И.В. РАДИКОВСКИЙ

заместитель главного инженера
по вентиляции и дегазации
ООО «ММК-Уголь» шахта «Им. С.М. Тихова»,
пос. Свердловский
e-mail: Radikovskiy.iv@mmk.ru



НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОВОГО ДАВЛЕНИЯ В ПРИЗАБОЙНОЙ ЧАСТИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

Газовый фактор является основным препятствием повышения темпов отработки угольных пластов средней и высокой газоносности. Кроме возможности загазирования атмосферы выработки метан в угольном пласте является одним из основных активаторов проявления внезапных выбросов угля и газа.

Подвигания забоя подготовительной выработки вызывает активное развитие газогеохимических процессов в ее окрестности, количественный контроль параметров данных процессов позволит усовершенствовать меры по прогнозированию и предотвращению негативных явлений, связанных с газовым фактором.

В статье представлен подход к количественной оценке распределения газового давления в призабойной части подготовительной выработки, основанный на экспериментальных данных.

Выполненный расчет показал, что протяженность зоны пониженного газового давления в остановленной подготовительной выработке на экспериментальном участке может достигнуть 18 м, что значительно превышает зону механической разгрузки и зону опорного давления.

Ключевые слова: УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ, ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ВЫРАБОТКИ, ГАЗОВЫЙ ФАКТОР, ГАЗОНОСНОСТЬ, МЕТАНООБИЛЬНОСТЬ, ГАЗОДИНАМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ, ДАВЛЕНИЕ ГАЗА В УГОЛЬНОМ ПЛАСТЕ.

Измерение и контроль параметров, характеризующих состояние газонасыщенного углепородного массива вследствие периодического подвигания забоя, является важнейшей задачей по обеспечению безопасных условий отработки газоносных угольных пластов по газовому и газодинамическому факторам.

По мере подвигания забоя выработки происходит перемещение зоны опорного давления (рис. 1), от параметров развития которой зависит распределение газового давления в приконтурной части пласта. При этом от распределения газового давления в призабойной части пласта зависят такие характеристики пласта как динамичность газовыделения в выработку и опасность по внезапным выбросам (рис. 2). В целом направление по оценке и контролю параметров газогемеханических процессов в призабойной части пласта при всей своей важности на данный момент не развивается.

В данной статье авторами представлен подход к оценке распределения газового давления в призабойной части пласта по результатам отбора проб угля в шахтных условиях в изолированном от атмосферы выработки режиме с применением инновационного метода [1]. Практическая значимость заключается

в возможности уточнения методов оценки реализации газового потенциала пласта при ведении горных работ [2–5], включая возможности количественной оценки эффективности мер по управлению горным давлением [6].

ВЫПОЛНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

В ходе выполнения эксперимента отбор проб угольного штыба производился посредством устройства измерения газоносности угля (УИГУ), которое обеспечивает изолированный от атмосферы выработки отбор пробы угля с фиксацией расхода газа при его разрушении во время бурения шпура диаметром 43 мм [7]. Пробы отбирались в штыбодержатели, которые позволяют измерять расход газа непосредственно со штыба угля сразу после бурения метрового интервала контрольного шпура. После стабилизации скорости газовыделения со штыба угля штыбодержатель герметизируется. Таким образом, в ходе выполнения эксперимента имеется возможность оценить газокинетические свойства угольного пласта.

Схема места отбора проб в призабойной зоне угольного пласта представлена на рис. 3.

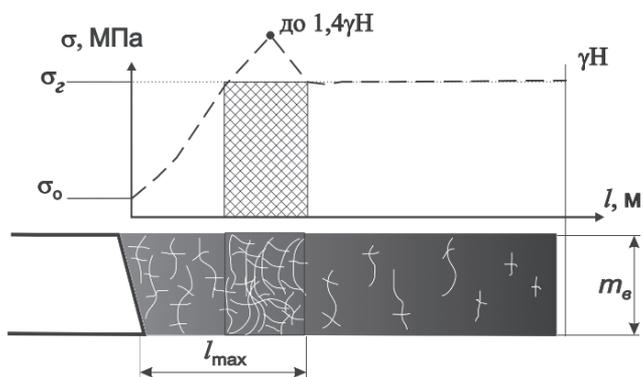


Рис. 1. Изменение напряженного состояния в призабойной части пласта

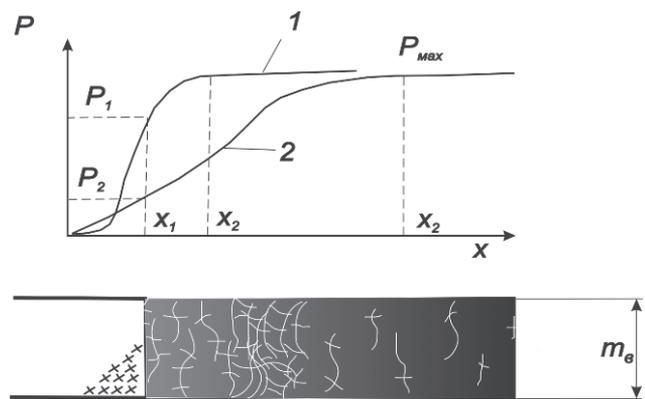


Рис. 2. Схема распределения газового давления P впереди забоя выработки по длине x : на опасном (1) и не опасном (2) по внезапным выбросам участках пластов [1]

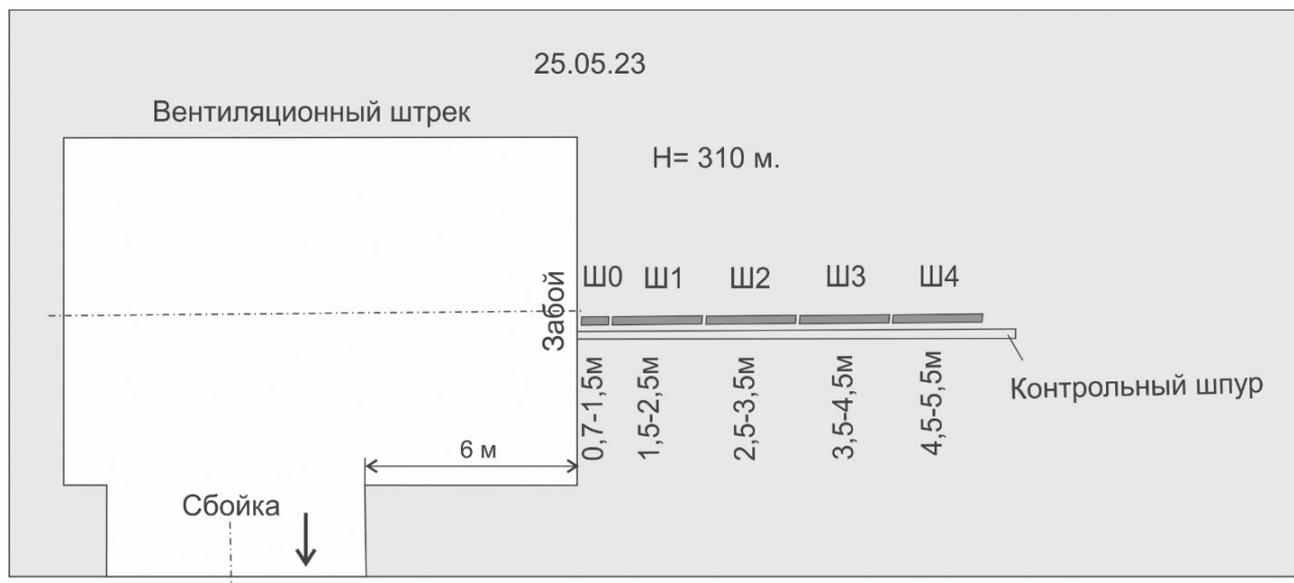


Рис. 3. Схема отбора проб в горной выработке

Для отбора проб в забой выработки на расстоянии 3 м от бортов и 0,5 м от кровли пласта был пробурен контрольный шпур, по его длине выполнено 5 измерений. Первый интервал для отбора проб производился с 0,7 до 1,5 м. Для этого при помощи УИГУ штыб угля собирался в штыбоприемник с измерением расхода газа с начала бурения до момента герметизации угля в штыбоприемнике Ш0. Далее отбирались пробы в штыбоприемники Ш1 (1,5–2,5 м), Ш4 (2,5–3,5 м), Ш2 (3,5–4,5 м), Ш3 (4,5–5,5 м). Итого было отобрано 5 проб с измерением «природных» газокинетических характеристик.

После окончания проведения эксперимента произведена доставка оборудования и образцов угля в лабораторию с расположением проб в термостат для создания нормальных условий для последующих лабораторных исследований.

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УЧАСТКА ОТБОРА ПРОБЫ

Как правило, при подвигании забоя подготовительной выработки, вслед за механической разгрузкой сопоставимо (по глубине внедрения бурового инструмента) перемещается и фронт газового давления впереди призабойной зоны (рис. 1 и 2). Такая синхронизация вызвана резким снижением проницаемости

пласта в зоне опорного давления и периодическим подвиганием забоя. Но применительно к рассматриваемому случаю период остановки забоя составил около 3 месяцев, фронт газового давления ожидаемо переместится вглубь при относительно закрепленной зоне опорного давления. На момент выполнения эксперимента выработка после продолжительного простоя подвигалась на 4 м.

Таким образом, в зоне выполнения эксперимента произошло частичное наложение двух зон механической разгрузки: «продолжительной» — от 90-дневного простоя и «непродолжительной» — после суточного подвигания на 4 м.

Рассчитаем размеры зон механической разгрузки и границу зоны максимальных напряжений. Размер зоны от кромки пласта до максимальных напряжений определим по формулам Мурашева В. И. [8] для шахтных условий места отбора проб.

Напряжения на кромке забоя:

$$K_v = \frac{3,6}{1 + e^{-7,28(f-0,75)}}, \text{ МПа.} \quad (1)$$

Расстояние от кромки пласта до области максимальных напряжений на момент времени t после взятия заходки:

$$X_m = 2,25\sqrt{S} \left(\frac{1,44}{\frac{K_v}{\sigma_0} + 0,44} - 1 \right) (1 - e^{-\alpha t_{cp}}). \quad (2)$$

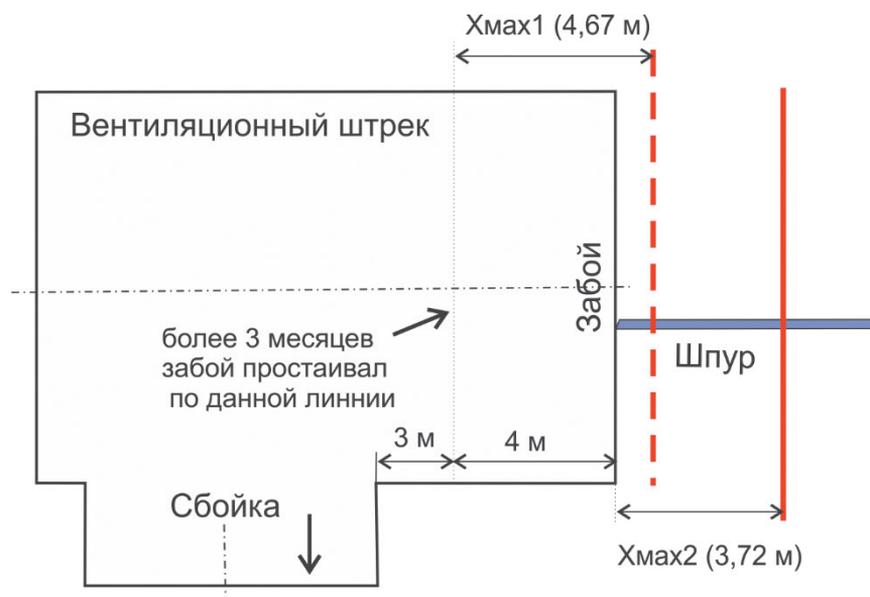


Рис. 4. Схема к описанию геомеханических расчетов

где S — сечение подготовительной выработки по углю, м²; σ_0 — геостатическое давление, МПа; α — реологический параметр, равный 0,08 1/ч; t_{cp} — усредненное время между циклами, ч;

В ходе выполнения расчетов применительно к условиям выполнения эксперимента расстояние от кромки пласта до области максимальных напряжений на момент времени 90 сут. (X_{max1}) составило 4,67 м (рис. 4), расстояние от кромки пласта до области максимальных напряжений на момент времени 1 сут. (X_{max2}) составило 3,72 м (рис. 4).

На рис. 5 представлены результаты определения технологической газоносности (газоносности измененной, относительно природной, в результате ведения горных работ) угольных проб, как видно из графика, в зоне отбора проб угля наблюдается очень низкая газоносность, что выражается влиянием длительного простоя подготовительного забоя.

ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА

Подход к определению функции давления газа в угольном пласте от его технологической газоносности состоит из двух этапов.

На первом этапе определяется максимальное газовое давление, используя накопленный опыт в определении природного пластового

давления для пластов Кузнецкого бассейна согласно [1]:

$$P_{max}=0,092(H-45). \quad (3)$$

На втором этапе выполняется определение зависимости давления газа от его содержания в угольном пласте с учетом условий залегания угольного пласта в месте отбора проб используя выражение (3). Выражение для определения давления газа примет вид:

$$P_i=1,07x_i+2,5 \quad (4)$$

Выражение (4) можно условно определить как «первое линейное приближение» в попытке оценить зависимость давления газа в призабойной части угольного пласта от технологической газоносности, в качестве недостатков такого подхода можно отметить принятие остаточной газоносности на границе забоя равной 2,5 м³/т согласно [9] и отсутствия поправки, учитывающей особенности сорбционной составляющей в насыщении угля метаном (по теории Ленгмюра).

На рис. 6 представлен результат оценки зоны падения газового давления в призабойной части остановленной на 3 месяца подготовительной выработки, исходя из представленных данных зона снижения газового давления составила порядка 18 м относительно границы продолжительной остановки

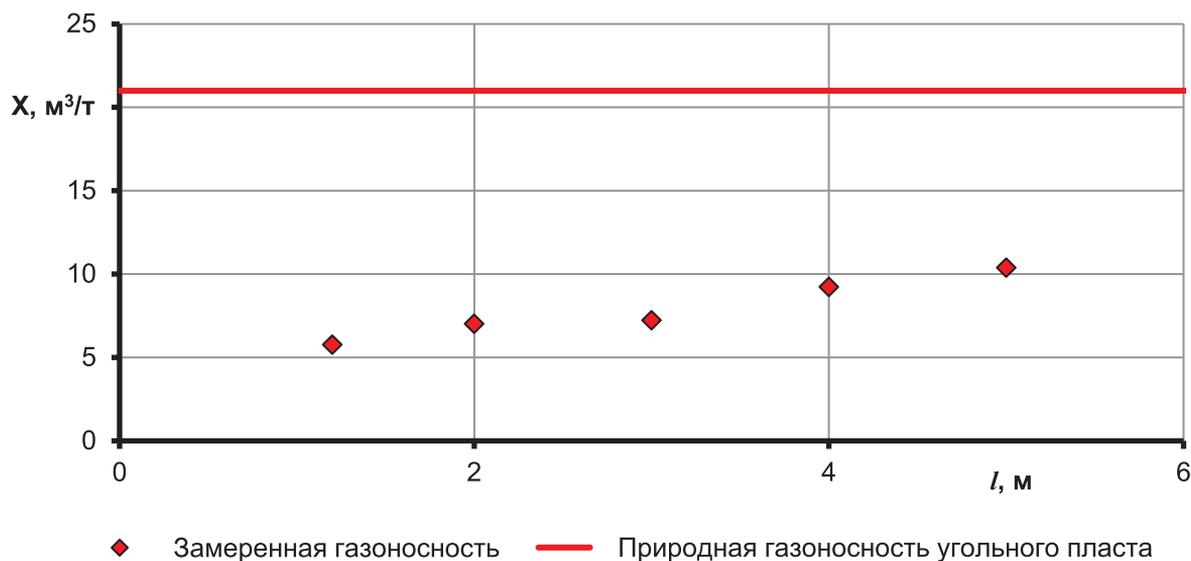


Рис. 5. Результаты замеров технологической газонасыщенности угольного пласта в его призабойной части

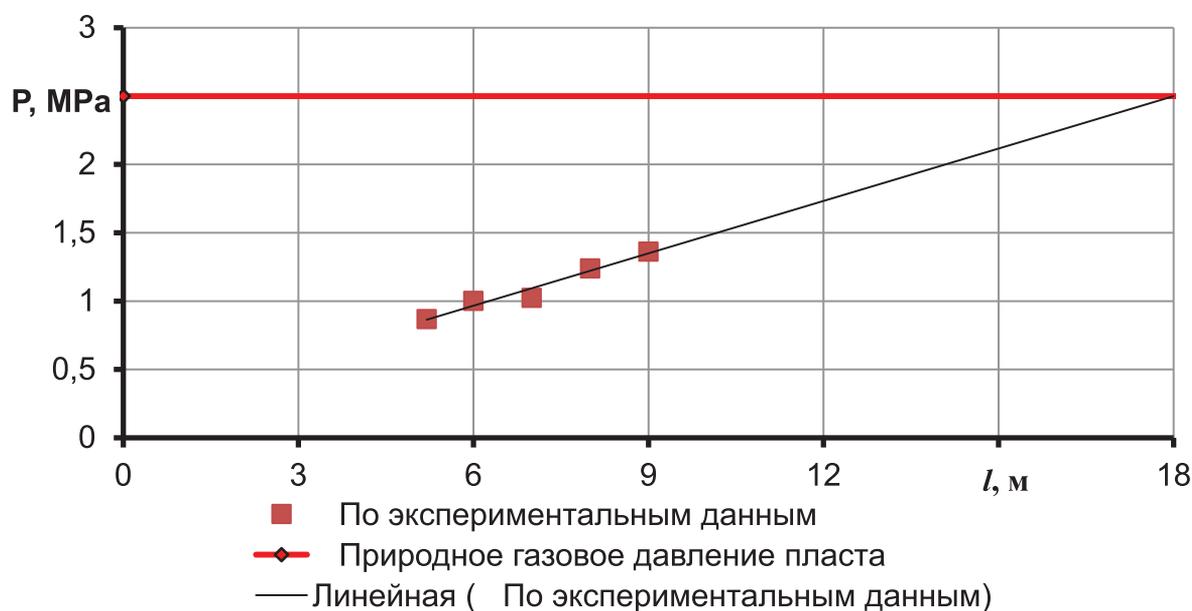


Рис. 6. Оценка газового давления по результатам расчета

забоя. Таким образом, размер зоны пониженного газового давления в призабойной части пласта по мере длительной остановки забоя может значительно превышать зону механической разгрузки и опорного давления.

Стоит отметить тот факт, что в зоне пониженного газового давления угольного пласта газонасыщенность природной быть не может, поэтому полученный результат, указывает на ошибочность определения природной газонасыщенности угольного пласта в части привязки к зоне опорного давления в нормативном документе [10], где указано «Для определения

природной и (или) остаточной газонасыщенности угольных пластов пробы угля рекомендуется отбирать вне зон опорного давления». В целом, как отмечается в [11, 12], развиваемый и применяемый в России метод прямого измерения газонасыщенности угольного пласта [13], является в общей своей части копией базового метода определения газонасыщенности американского горного бюро [14], и содержит в себе ряд неточностей, что недопустимо и при любой возможности необходимо сводить к минимуму при определении параметров, влияющих на безопасность ведения горных работ.

ВЫВОДЫ:

— представлен подход к оценке параметров газового давления в призабойной части пласта, базирующийся на экспериментальных данных;

— зона снижения газового давления в призабойной части угольного пласта по результатам замеров составила 18 м, что значительно превысило границу зоны механической разгрузки;

— обоснована необходимость в проведении исследований для усовершенствования методов определения границ зоны угольного пласта с природной газоносностью.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» проект FWEZ-2021-0001 «Создание многофункциональных систем мониторинга и прогноза газодинамических явлений, контроля напряженного состояния, разработка методов их предотвращения и оценки эффективности при подземной разработке угольных месторождений» (рег. № АААА-А21-121012290020-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернов О. И., Пузырев В. Н. Прогноз внезапных выбросов угля и газа. М: Недра. 1979. 296 с.
2. Шинкевич М. В. Газовыделение из отработываемого пласта с учётом геомеханических процессов во вмещающем массиве // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № S6. С. 278–285.
3. Козырева Е. Н., Шинкевич М. В., Назаров Н. Ю. Некоторые особенности управления метанообильностью высокопроизводительного выемочного участка // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 9. С. 322–325.
4. Полевщиков Г. Я., Козырева Е. Н., Шинкевич М. В. Обоснование технологических решений по управлению метанообильностью выемочного участка с учетом геомеханических процессов // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2014. № 2. С. 37–44.
5. Skoczylas N., Dutka B., Sobczyk J. Mechanical and gaseous properties of coal briquettes in terms of outburst risk // Fuel. 2014. P. 45–52.
6. Клишин В. Н., Кокоулин Д. И., Кубанычбек Б., Дурнин К. М. Разупрочнение угольного пласта, в качестве метода интенсификации выделения метана // Уголь. 2010. № 4. С. 40–42.
7. Плаксин М. С. Особенности выполнения замеров газоносности угольного пласта при проведении подготовительных выработок // Вестник научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2020. № 4. С. 25–30.
8. Мурашев В. И. Разработка научных основ безопасного ведения горных работ в угольных шахтах на основе исследования геомеханических процессов: автореф. дис. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук. М., 1980. 35 с.
9. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. Макеевка-Донбасс: 1989. 238 с.
10. Рекомендации по определению газоносности угольных пластов. (Руководство по безопасности): приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 30 августа 2023 г. N 314
11. Plaksin M. S., Kozyreva E. N. Determining the Gas Content of Coal Beds // Coke and Chemistry. 2021. Vol. 64. No. 4. P. 144–147.
12. Li Junqian, Lu Shuangfang, Zhang Pengfei, Cai Jianchao, Li Wenbiao, Wang Siyuan, Feng Wenjun Estimation of gas-in-place content in coal and shale reservoirs: A process analysis method and its preliminary application // Fuel. Vol. 259. 2020. P. 116266.
13. Тайлаков О. В., Кормин А. Н. Особенности методов определения газоносности угольных пластов // Научный журнал Российского газового общества. 2019. № 1. С. 35–38.

14. Diamon W. P., Levine J. R. Direct method determination of the gas content of coal – Procedures and results: U.S. Bureau of Mines Report of Investigations 8515. 1981. 36 p.

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

UDC 622.831.322

© M. S. Plaksin, R. I. Rodin, G. V. Ivanov, I. V. Radikovskiy, 2024

M.S. PLAKSIN

Candidate of Engineering Sciences,

Senior Researcher

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo

e-mail: plaksin@bk.ru

R.I. RODIN

Research Associate

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo

Assistant

KuzSTU, Kemerovo

e-mail: rodinri@mail.ru

G.V. IVANOV

Doctor of Engineering Sciences, Professor

KuzSTU, Kemerovo

e-mail: igv@kuzstu.ru

I.V. RADIKOVSKY

Deputy Chief Engineer for Ventilation and Degassing

«MMK-Coal» mine «S. M. Tikhov», LLC,

Kemerovo, Leninsk-Kuznetsk Municipal District, village Sverdlovsk

e-mail: Radikovskiy.iv@mmk.ru

FIELD STUDIES OF THE DISTRIBUTION OF GAS PRESSURE IN THE BOTTOMHOLE PART OF A COAL SEAM

The gas factor is the main obstacle to increasing the rate of mining of coal seams of medium and high gas content. In addition to the possibility of gasification of the atmosphere, methane production in the coal seam is one of the main activators of the manifestation of sudden emissions of coal and gas.

The rapid development of gas-geomechanical processes in its vicinity causes the movement of the face of the preparatory work, quantitative control of the parameters of these processes will improve measures to predict and prevent negative phenomena associated with the gas factor.

The article presents an approach to quantifying the distribution of gas pressure in the bottom-hole part of the preparatory work, based on experimental data.

The performed calculation showed that the length of the zone of reduced gas pressure in the stopped preparatory development at the experimental site can reach 18 m, which significantly exceeds the zone of mechanical unloading and the zone of reference pressure.

Keywords: COAL SEAM, PREPARATORY WORKINGS, GAS FACTOR, GAS CONTENT, METHANE ABUNDANCE, GAS DYNAMIC HAZARD, GAS PRESSURE IN THE COAL SEAM.

REFERENCES

1. Chernov O. I., Puzyrev V. N. Forecast of sudden emissions of coal and gas. M: Subsoil. 1979. 296 p. [In Russ.].
2. Shinkevich M. V. Gas release from the mined formation taking into account geomechanical processes in the host massif // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal) [Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)]. 2013. No. S6. P. 278–285. [In Russ.].
3. Kozyreva E. N., Shinkevich M. V., Nazarov N. Yu. Some features of methane abundance management of a high-performance excavation site // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal) [Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)]. 2011. No. 9. P. 322–325. [In Russ.].
4. Polevshchikov G. Ya., Kozyreva E. N., Shinkevich M. V. Substantiation of technological solutions for managing the methane abundance of the excavation site taking into account geomechanical processes // Bulletin of the Scientific center for safety of work in the coal industry [Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noy promyshlennosti]. 2014. No. 2. P. 37–44. [In Russ.].
5. Skoczylas N., Dutka B., Sobczyk J. Mechanical and gaseous properties of coal briquettes in terms of outburst risk // Fuel. 2014. P. 45–52.
6. Klishin V. N., Kokoulin D. I., Kubanychbek B., Durnin K. M. Softening of the coal seam as a method of intensification of methane release // Coal. 2010. No. 4. P. 40–42. [In Russ.].
7. Plaksin M. S. Features of performing measurements of the gas content of a coal seam during preparatory workings // Bulletin of the Scientific Center of VostNII for industrial and environmental safety [Vestnik Nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnosti]. 2020. No. 4. P. 25–30. [In Russ.].
8. Murashev V. I. Development of scientific foundations for safe mining in coal mines based on the study of geomechanical processes: abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Engineering Sciences. M., 1980. 35 p. [In Russ.].
9. Guidelines for the design of ventilation of coal mines. Makeyevka-Donbass: 1989. 238 p. [In Russ.].
10. Recommendations for determining the gas content of coal seams. (Safety Guide): Order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision dated August 30, 2023 No. 314. [In Russ.].
11. Plaksin M. S., Kozyreva E. N. Determining the Gas Content of Coal Beds // Coke and Chemistry. 2021. Vol. 64. No. 4. P. 144–147.
12. Li Junqian, Lu Shuangfang, Zhang Pengfei, Cai Jianchao, Li Wenbiao, Wang Siyuan, Feng Wenjun Estimation of gas-in-place content in coal and shale reservoirs: A process analysis method and its preliminary application // Fuel. Vol. 259. 2020. P. 116266.
13. Tailakov O. V., Kormin A. N. Features of methods for determining the gas content of coal seams // Scientific Journal of the Russian Gas Society [Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo gazovogo obshchestva]. 2019. No. 1. P. 35–38. [In Russ.].
14. Diamon W. P., Levine J. R. Direct method determination of the gas content of coal – Procedures and results: U.S. Bureau of Mines Report of Investigations 8515. 1981. 36 p.
15. ASTM D 7569-0 Standard practice for determination of gas content of coal — direct desorption method. ASTM International, West Conshohocken, PA, – 2010.