

DOI: 10.25558/VOSTNII.2024.87.24.003

УДК 622.691, 62-623.1, 550.832.4

© Е.А. Уткаев, С.В. Соколов, Е.А. Салтымаков, М.П. Макеев, 2024

**Е. А. УТКАЕВ**

канд. техн. наук,  
заведующий лабораторией  
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово  
e-mail: utkaev@mail.ru

**С. В. СОКОЛОВ**

канд. техн. наук,  
старший научный сотрудник  
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово  
e-mail: sokoloviu.s@yandex.ru

**Е. А. САЛТЫМАКОВ**

ведущий инженер  
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово,  
e-mail: easaltymakov@yandex.ru

**М.П. МАКЕЕВ**

канд. техн. наук  
Старший научный сотрудник  
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово  
e-mail: makeev75@ya.ru

## ВЛИЯНИЕ ГИДРОРАЗРЫВА НА ОСТАТОЧНУЮ ГАЗОНОСТЬ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

*Представлен комплексный подход к изучению физико-механических свойств угленосного массива на основе прямого метода определения остаточной газоносности угля и метода регистрации электромагнитной эмиссии. Приведены результаты лабораторных и натурных исследований угля и вмещающих пород. Установлено снижение газоносности угольного пласта в окрестностях горной выработки на 40 % относительно природной. В пределах исследованного интервала выемочного столба геофизическим методом выделена зона повышенной трещиноватости в результате гидровоздействия на пласт через скважину. Отличия амплитудных колебаний от зафиксированных до проведения стимуляции составили от 12 до 135 %. Представлены рекомендации по внедрению предлагаемого подхода для разработки и совершенствования мероприятий по увеличению газоотдачи высокогазоносных угольных пластов с низкой проницаемостью на угледобывающих предприятиях РФ.*

Ключевые слова: УГЛЕПОРОДНЫЙ МАССИВ, ОСТАТОЧНАЯ ГАЗОНОСНОСТЬ, ГАЗОТДАЧА, ГИДРОВОЗДЕЙСТВИЕ НА УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ, УГОЛЬНЫЙ КЕРН, МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЕ, ДЕСОРБЦИЯ, КЕРНООТБОРНИК, ЕСТЕСТВЕННЫЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ИМПУЛЬС.

Повышение газоотдачи угольных пластов и вмещающих пород Кузнецкого угольного бассейна при проведении дегазации является актуальным направлением обеспечения безопасного ведения горных работ при добыче угля подземным способом. Так, в [1] научно обоснована необходимость применения продолжительной дегазации высокогазоносных угольных пластов с целью увеличения времени работы комбайна, а также установлена взаимосвязь между газоотдачей угольных пластов и временем проведения дегазации. Показано, что эффективность методов повышения газоотдачи зависит от геологических условий залегания углепородного массива, выбора технологии и оборудования для добычи. В [2] представлены методы стимуляции газоотдачи угольных пластов, включая гидравлический разрыв, заключающийся в закачке воды под высоким давлением в углепородный массив с использованием специальных реагентов для улучшения проницаемости пласта, а также использование механических устройств для увеличения площади разупрочнения. В [3] отмечается, что для повышения эффективности методов стимуляции газоотдачи угольных пластов целесообразно обеспечивать мониторинг геомеханического состояния углепородного массива до, после и во время работ по разупрочнению угольных пластов и вмещающих пород [4, 5] с применением комплекса геофизических, сейсмометрических, гидрогеологических и геотехнических методов. В условиях Кузнецкого угольного бассейна целесообразно применять методы, направленные на изучение фильтрационных свойств горных пород, и методы, позволяющие фиксировать развитие трещиноватости в глубине массива.

Для оценки влияния проводимых мероприятий по разупрочнению углепородного массива с целью снижения газовой нагрузки на выемочный участок при очистных работах, предложен комплекс методов, основанный на изучении остаточной газоносности угля до и после гидровоздействия, а также естественной электромагнитной эмиссии.

Вне зависимости от количества происходящих разрывов массива основным оценочным параметром эффективности мероприятий по снижению газовой нагрузки является количество метана, которое удалено средствами дегазации [6, 7]. Данный параметр определен как разница между значениями остаточной газоносности угля до и после гидровоздействия.

Для этого выполнен отбор проб угля, и методом оценки скорости десорбции метана с учетом динамики фильтрации и диффузии метана изучена остаточная газоносность [8]. Отбор проб угля осуществляется специальным керноборником из скважины с глубины 30 м, пробуренной непосредственно в угольный пласт с рабочего горизонта, с последующим их размещением в герметичные колбы. Далее в лабораторных условиях при известных значениях атмосферного давления, температуры окружающего воздуха, температуры в термостате фиксируется время и объем выделившегося газа из герметичного сосуда. Кроме того, определены внешняя влага, влага аналитической пробы и зольность угля. Результаты расчетов и измерений представлены на рис. 1.

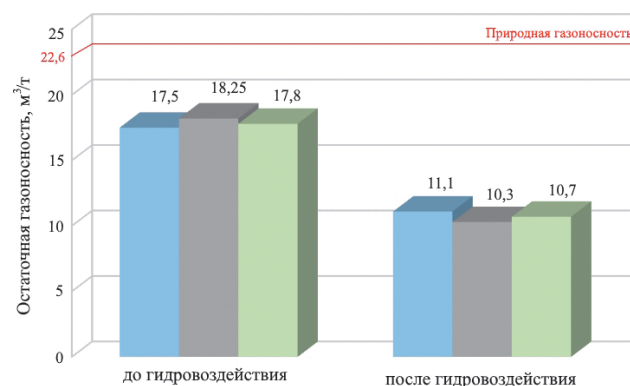


Рис. 1. Результаты измерений остаточной газоносности угля до и после гидровоздействия

Установлено, что остаточная газоносность исследуемого участка ниже природной, что является закономерным явлением, так как второе упомянутое определяется в результате бурения вертикальных скважин, как правило, на этапе геологоразведки, а первое — из скважин, пробуренных с подготовительных горных выработок, которые нарушают целостность

углепородного массива, и в результате процессов массопереноса метана в область пониженного горного давления и вентиляции шахты часть метана удаляется. В рамках оценки эффективности гидровоздействия остаточная газоносность снизилась на 7,1 м<sup>3</sup>/т.

Для всестороннего изучения сложного технологического процесса гидровоздействия и дальнейшего планирования его параметров вдоль выемочного участка необходимо иметь представление о площадном распространении каналов для выхода метана [9–13]. Для решения этой задачи использован подход, позволяющий изучить приконтурную часть подготовительных выработок (до 15 м) методом регистрации электромагнитной эмиссии по всей длине выемочного участка (300–400 м в условиях Кузбасса).

Естественная электромагнитная эмиссия происходит в ходе образования новых трещин, раскрытия или схлопывания существующих в результате перераспределения горного давления после нарушения равновесного состояния массива гидровоздействием [13–15]. Высокочувствительным к такому роду сигналов прибором выполнены замеры на исследуемом участке с шагом 10 м в горной выработке, из которой непосредственно пробурены скважины гидроразрыва, а также в параллельной ей для дальнейшей интерполяции полученного результата. Выполнены измерения в 22 точках в каждой из выработок по 3 замера в точке. Итого 264 физических наблюдений.

Оценочными параметрами являются: «А» — аномальный пороговый уровень пиковых амплитуд импульсов, «В» — оценка скорости нарастания пиковых амплитуд импульсов выше порогового уровня. Согласно руководству по эксплуатации геофизической аппаратуры определены граничные критерии «А1», «А2», «В1», «В2», «В3». Значения, попадающие в красную область или превышающие критерии «А2» и «В3», относятся к помехам и шумам, вызванным шахтовым электрооборудованием или полимерной (металлической) сеткой, используемой для ограждения (крепления) горных выработок.

Анализ данных на предмет помех представлен на рис. 2.

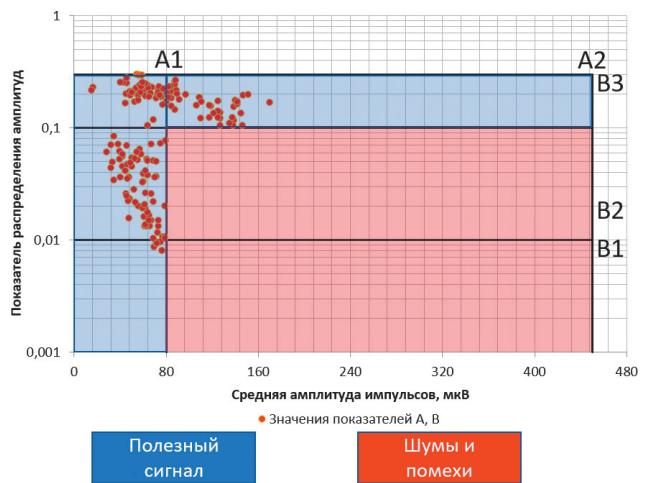


Рис. 2. Фильтрация зарегистрированной информации. «А1», «А2», «В1», «В2», «В3» — критерии наведенных помех

После фильтрации данных выполнено сопоставление значений амплитуды естественных электромагнитных импульсов до и после гидровоздействия. Для сопоставительного анализа построен график изменения амплитуды сигнала до и после гидровоздействия вдоль каждой выработки (рис. 3).



Рис. 3. График изменения амплитуды сигнала до и после гидровоздействия вдоль каждой выработки

Таким образом, в результате выполненных измерений естественных электромагнитных импульсов до и после направленного гидроразрыва кровли угольного пласта в вентиляционном и конвейерном штреках в границах выемочного столба с последующей камеральной обработкой данных и их привязкой к маркшейдерским пикетам установлено, что значения амплитуды регистрируемого сигнала

после гидровоздействия отличаются от зафиксированных до его проведения в интервале от 12 до 135 %. Пикеты, в которых отличие значений попадает в указанный диапазон, средствами САД-систем вынесены на план горных работ, построена зона влияния гидровоздействия на массив горных пород (рис. 4). Установлено, что в результате гидроразрыва в скважинах, расположенных в точках ПК 172 и ПК 173-3, в конвейерном штреке зона влияния составила 160 м, в вентиляционном — 120 м.

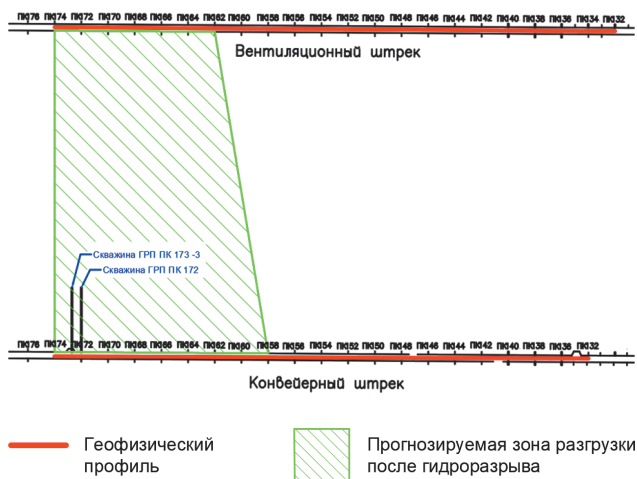


Рис. 4. Прогнозируемая зона разгрузки после направленного гидроразрыва по результатам регистрации естественных электромагнитных импульсов

По результатам проведенных исследований установлено снижение остаточной газонности, относительно природной на 40 %. Это обусловлено развитием дополнительной

системой трещин в результате гидровоздействия на угольный пласт, что подтверждается исследованиями по естественной электромагнитной эмиссии, значения амплитуды регистрируемого сигнала после гидровоздействия отличаются от зафиксированных до его проведения в интервале от 12 до 135 %. Результаты выполненного комплекса исследований состояния угольного пласта могут быть использованы для разработки рекомендаций по применению интервального гидроразрыва. В целях улучшения качества оценки эффективности гидровоздействия на угольный пласт рекомендуется проведение дополнительных работ по геофизическому контролю гидроразрыва с применением метода акустической эхолокации.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации 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. Шулятьева Л. И., Майорова Л. В. Моделирование параметров и организация процесса дегазации выемочных полей угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 8. С. 168–179.
2. Клишин В. И., Тайлаков О. В., Опрук Г. Ю. [и др.] Методы гидроразрыва труднообрушающейся кровли и угольного пласта для исключения динамических явлений в угольных шахтах // Горная промышленность. 2022. № 6. С. 46–53.
3. Сластунов С. В., Мазаник Е. В., Садов А. П., Хаутиев А. М. Б. Технология глубокой дегазационной подготовки угольного пласта на базе его гидрорасчленения через скважины с поверхности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 1. С. 5–14.



4. Liu P. et al. Evaluation of underground coal gas drainage performance: mine site measurements and parametric sensitivity analysis // *Process Safety and Environmental Protection*. 2021. Vol. 148. P. 711–723.
5. Wu C. et al. A dynamic evaluation technique for assessing gas output from coal seams during commingling production within a coalbed methane well: a case study from the Qinshui Basin // *International Journal of Coal Science & Technology*. 2020. Vol. 7. P. 122–132.
6. Клишин В. И., Тайлаков О. В., Уткаев Е. А., Соколов С. В. Особенности контроля гидродинамического воздействия на угольный пласт при поинтервальном разрыве // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2023. № 6(160). С. 77–83.
7. Lan T., Fan C., Han J., Zhang H., Sun J. Controlling Mechanism of Rock Burst by CO<sub>2</sub> Fracturing Blasting Based on Rock Burst System // *Shock and Vibration*. 2020. Vol 5. P. 1–9.
8. Подображин С. Н. Обоснование применения импульсов высокой энергии и гидравлической среды для увеличения проницаемости угольного пласта при нагнетании жидкости // *Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*. 2023. № 1. С. 42–47.
9. Мулев С. Н., Старников В. Н., Романевич О. А. Современный этап развития геофизического метода регистрации естественного электромагнитного излучения (ЕЭМИ) // *Уголь*. 2019. № 10(1123). С. 6–14.
10. Романевич К. В., Мулев С. Н. Алгоритм классификации сигналов электромагнитного излучения горных пород для прогнозирования опасных геодинамических процессов // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. 2023. Т. 10. № 3. С. 83–89.
11. Тайлаков О. В., Застрелов Д. Н., Салтымаков Е. А., Соколов С. В. Изучение пород кровли угольного пласта средствами электротомографии // *Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов*. 2021. № 7. С. 305–310.
12. Li Z., Lei Y., Wang E., et. al. Characteristics of electromagnetic radiation and the acoustic emission response of multi-scale rock-like material failure and their application // *Foundations*. 2022. Vol. 2. P. 763–780.
13. Li X., Chen S., Wang E., Li Z., et. al. Rockburst mechanism in coal rock with structural surface and the microseismic (MS) and electromagnetic radiation (EMR) response // *Engineering Failure Analysis*. 2021. Vol. 124.
14. Гречишкин П. В., Харченко В. Ф., Розонов Е. Ю. [и др.] Повышение эффективности оценки состояния пород кровли выработок с применением различных методов в условиях шахты «Чертинская-Коксовая» // *Уголь*. 2019. № 10(1123). С. 42–46.
15. Тайлаков О. В., Салтымаков Е. А., Соколов С. В., Колесниченко С. Е. Мониторинг фоновых физических полей угольной шахты // *Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности*. 2022. № 4. С. 71–76.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2024.87.24.003

UDC 622.691, 62-623.1, 550.832.4

© Е. А. Уткаев, С. В. Соколов, Е. А. Салтымаков, М. Р. Makeev, 2024

**Е. А. УТКАЕВ**

Candidate of Engineering Sciences,

Senior Researcher

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo

e-mail: utkaev@mail.ru

**S. V. SOKOLOV**

Candidate of Engineering Sciences,  
Researcher

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo  
e-mail: sokoloviu.s@yandex.ru

**E. A. SALTMAKOV**

Lead Engineer,

Coal Methane Recovery Resources and Technologies Laboratory  
Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo  
e-mail: easaltymakov@yandex.ru

**M. P. MAKEEV**

Candidate of Engineering Sciences,  
Senior Researcher

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo  
e-mail: makeev75@ya.ru

**THE EFFECT OF HYDRAULIC FRACTURING ON THE RESIDUAL GAS CONTENT OF THE COAL SEAM**

*A comprehensive approach to the study of the physico-mechanical properties of a carbonaceous massif based on a direct method for determining the residual gas content of coal and a method for registering electromagnetic emission is presented. The results of laboratory and field studies of coal and host rocks are presented. A decrease in the gas content of the coal seam in the vicinity of the mine by 40 % relative to the natural one has been established. Within the studied interval of the excavation column, a zone of increased fracturing as a result of hydroelectric action on the formation through the well was identified by the geophysical method. The differences in amplitude fluctuations from those recorded before the stimulation ranged from 12 to 135 %. Recommendations on the implementation of the proposed approach for the development and improvement of measures to increase the gas recovery of high-gas-bearing coal seams with low permeability at coal mining enterprises of the Russian Federation are presented.*

Keywords: CARBONACEOUS MASSIF, RESIDUAL GAS CONTENT, GAS RECOVERY, HYDROELECTRIC EFFECT ON THE COAL SEAM, COAL CORE, METHANE RELEASE, DESORPTION, CORE COLLECTOR, NATURAL ELECTROMAGNETIC PULSE.

**REFERENCES**

1. Shulyatyeva L. I., Mayorova L. V. Modeling of parameters and organization of the degassing process of coal mine dredging fields // Mining information and Analytical bulletin [Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten]. 2022. No. 8. P. 168–179. [In Russ.].
2. Klishin V. I., Tailakov O. V., Opruk G. Yu. [et al.] Methods of hydraulic fracturing of a hard-to-collapse roof and coal seam to exclude dynamic phenomena in coal mines // Mining Industry [Gornaya promyshlennost]. 2022. No. 6. P. 46–53. [In Russ.].
3. Slastunov S. V., Mazanik E. V., Sadov A. P., Khautiev A. M. B. Technology of deep degassing preparation of a coal seam based on its hydraulic separation through wells from the surface // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal) [Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)]. 2020. No. 1. P. 5–14. [In Russ.].

4. Liu P. et al. Evaluation of underground coal gas drainage performance: mine site measurements and parametric sensitivity analysis // *Process Safety and Environmental Protection*. 2021. Vol. 148. P. 711–723.
5. Wu C. et al. A dynamic evaluation technique for assessing gas output from coal seams during commingling production within a coalbed methane well: a case study from the Qinshui Basin // *International Journal of Coal Science & Technology*. 2020. Vol. 7. P. 122–132.
6. Klishin V. I., Tailakov O. V., Utkaev E. A., Sokolov S. V. Features of control of hydrodynamic effects on a coal seam during an interstellar rupture // *Bulletin of the Kuzbass State Technical University [Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta]*. 2023. No. 6(160). P. 77–83. [In Russ.].
7. Lan T., Fan C., Han J., Zhang H., Sun J. Controlling Mechanism of Rock Burst by CO<sub>2</sub> Fracturing Blasting Based on Rock Burst System // *Shock and Vibration*. 2020. Vol 5. P. 1–9.
8. Podobrazhin S. N. Substantiation of the use of high-energy pulses and a hydraulic medium to increase the permeability of a coal seam during liquid injection // *Bulletin of the Scientific Center for the Safety of work in the coal industry [Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti]*. 2023. No. 1. P. 42–47. [In Russ.].
9. Mulev S. N., Starikov V. N., Romanovich O. A. The modern stage of development of the geophysical method of registration of natural electromagnetic radiation (EMI) // *Coal [Ugol]*. 2019. No. 10(1123). P. 6–14. [In Russ.].
10. Romanevich K. V., Mulev S. N. Algorithm of classification of electromagnetic radiation signals of rocks for forecasting dangerous geodynamic processes // *Fundamental and applied issues of mining sciences [Fundamentalnyye i prikladnyye voprosy gornyykh nauk]*. 2023. Vol. 10. No. 3. P. 83–89. [In Russ.].
11. Tailakov O. V., Strellov D. N., Saltykov E. A., Sokolov S. V. Studying the rocks of the roof of a coal seam by means of electrotomography // *High-tech technologies for the development and use of mineral resources [Naukoyemkiye tekhnologii razrabotki i ispolzovaniya mineralnykh resursov]*. 2021. No. 7. P. 305–310. [In Russ.].
12. Li Z., Lei Y., Wang E., et. al. Characteristics of electromagnetic radiation and the acoustic emission response of multi-scale rock-like material failure and their application // *Foundations*. 2022. Vol. 2. P. 763–780.
13. Li X., Chen S., Wang E., Li Z., et. al. Rockburst mechanism in coal rock with structural surface and the microseismic (MS) and electromagnetic radiation (EMR) response // *Engineering Failure Analysis*. 2021. Vol. 124.
14. Grechishkin P. V., Kharchenko V. F., Rozonov E. Yu. [et al.] Improving the efficiency of assessing the condition of the roof rocks of workings using various methods in the conditions of the Chertinskaya-Koksovaya mine // *Coal [Ugol]*. 2019. No. 10(1123). P. 42–46. [In Russ.].
15. Tailakov O. V., Saltykov E. A., Sokolov S. V., Kolesnichenko S. E. Monitoring of background physical fields of a coal mine // *Bulletin of the VostNII Scientific Center for Industrial and Environmental Safety [Vestnik Nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnosti]*. 2022. No. 4. P. 71–76. [In Russ.].