

Воздействие механических колебаний на газонасыщенный угольный массив как деформируемую систему

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-4-46-49>

ПАВЛЕНКО М.В.

Канд. техн. наук, доцент,
Горный институт НИТУ «МИСиС»,
119049, г. Москва, Россия,
e-mail: mihail_mggy@mail.ru

БАЗАРОВ Б.А.

Доктор техн. наук,
профессор кафедры «Строительство»
Карагандинского индустриального
университета,
101400, г. Темиртау,
Республика Казахстан

КОНАКБАЕВА А.Н.

Канд. техн. наук,
профессор кафедры «Строительство»
Карагандинского
индустриального университета,
101400, г. Темиртау,
Республика Казахстан

МЕЗЕНЦЕВА А.В.

Старший преподаватель
кафедры «Строительство»,
Карагандинского индустриального
университета,
101400, г. Темиртау,
Республика Казахстан

Статья посвящена особенностям изменения свойств и состояния угольного пласта при воздействии механических колебаний в виде вибровоздействия на газонасыщенный угольный массив для формирования трещин в низкопроницаемом газонасыщенном угольном массиве как деформируемой системы. Способность угольного массива накапливать малые деформации в результате механических воздействий и при этом изменять свои свойства может успешно использоваться для активного вибрационного воздействия для создания газопроницающих трещин в массиве угля. При этом изменения газовыделения на участке воздействия будут не единичны и позволяют считать, что существует возможность использования механических колебаний для активного воздействия на угольный массив, для увеличения его проницаемости, что приведет к интенсивному увеличению метановыделения из угольного пласта. Это подтверждается результатами, полученными как в лабораторных условиях, так и в результате производственных экспериментов. Стоит отметить, что результаты, полученные с помощью каждого из приведенных методов, хорошо согласуются между собой.

Ключевые слова: механические колебания, трещиноватость, газоотдача, газовая проницаемость, угольный массив, вибровоздействие, деформации, система.

Для цитирования: Павленко М.В., Базаров Б.А., Конакбаева А.Н., Мезенцева А.В. Воздействие механических колебаний на газонасыщенный угольный массив как деформируемую систему // Уголь. 2022. № 4. С. 46-49. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-4-46-49.

ВВЕДЕНИЕ

Условия добычи угля на больших глубинах приводят к значительному увеличению количества выделяющегося метана в горные выработки, достигающему иногда сотни раз. Поэтому решение проблемы борьбы с газовыделением в выработки сводится к решению проблемы управления связью метана с углем, которое напрямую зависит от проницаемости угольного массива.

При сравнении природной пористости и проницаемости одного и того же пласта следует отметить, что пористость примерно сохраняется одинаковой в отличие от проницаемости, которая может изменяться в широких пределах. Обычно природная проницаемость составляет небольшие значения и изменяется от 0,001 до 0,1 мД. Однако для мощных угольных пластов, особенно в нарушенных зонах угольного массива, природная проницаемость может изменяться от 5 до 100 мД, что наблюдается в шахтах ООО УК «Прокопьевскуголь» и некоторых шахтах КНР, обрабатывающих мощные угольные пласты [1].

Основное количество метана находится в угле в сорбированном состоянии, при котором метан связан с углем под действием сил молекулярного

притяжения, и в случае возникновения резкого изменения напряжений в угольном массиве метан может переходить в свободное состояние. Резкие колебания напряжений в угольном массиве сопровождаются потерей углем однородности своей структуры, что неизбежно сопровождается образованием новых трещин [2]. Техногенные процессы, обусловленные добычей полезного ископаемого, в совокупности с направленным вибровоздействием на угольный массив позволяют создавать нужные изменения уровней механических напряжений в пласте для приведения его в нестабильное состояние с целью образования новых газопроводящих трещин [3].

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Уголь содержит в себе все компоненты: твердые, жидкие и газообразные вещества, но по соотношению этих компонентов уголь представляет собой хрупкое вещество, способное разрушаться. Создавая в угольном массиве поочередные процессы сжатия и растяжения некоторых областей угольного массива, можно сформировать в нем системы трещин, то есть получить наиболее хрупкую форму разрушения угля [4]. И тогда для полного разрушения угольного вещества, находящегося в состоянии хрупкого разрушения, требуется лишь небольшое количество дополнительной энергии [5, 6]. Эту дополнительную энергию можно получать от источника вибровоздействия. Таким образом, целенаправленно изменяя уровни механических напряжений в угольном массиве, можно перевести массив из стабильного состояния в нестабильное [7]. Частоты вибровоздействия на массив согласуются с собственной частотой угольного массива и исходя из экспериментальных исследований не превышают 40 Гц.

Повышение трещиноватости и проницаемости угольного массива приводит к увеличению газовыделения на этом участке. Подобные эффекты изменения газовыделения на участке воздействия на угольный массив не единичны и позволяют считать, что существует возможность использования механических колебаний для активного воздействия на угольный массив для увеличения его проницаемости и интенсивности газовыделения.

В зависимости от количества приложенной дополнительной энергии к массиву, направления его воздействия, а также особенностей самого угля образовавшиеся трещины развиваются широким фронтом на участке воздействия. Полученная трещиноватость представлена множеством трещин, которые могут прорасти самостоятельно и на определенном этапе сливаться между собой. Механизмы образования макро- и микротрещин отличаются друг от друга, естественно, из-за наличия в пласте метана. Вся задача развития трещиноватости в угольном массиве имеет своей целью получение управления сорбционным микропорным объемом угля, в котором находится в связанном состоянии основное количество метана угольных пластов.

Процессы вибровоздействия на угольный массив формируют в угле микротрещины разного размера [8, 9]. Прорастание микротрещин создает определенные зоны с нарушенной структурой отдельных частей угольного массива. Размеры зон обработки зависят от количества и разме-

ров трещин, проницаемости пласта, пластового давления, наличия свободного метана и т.д.

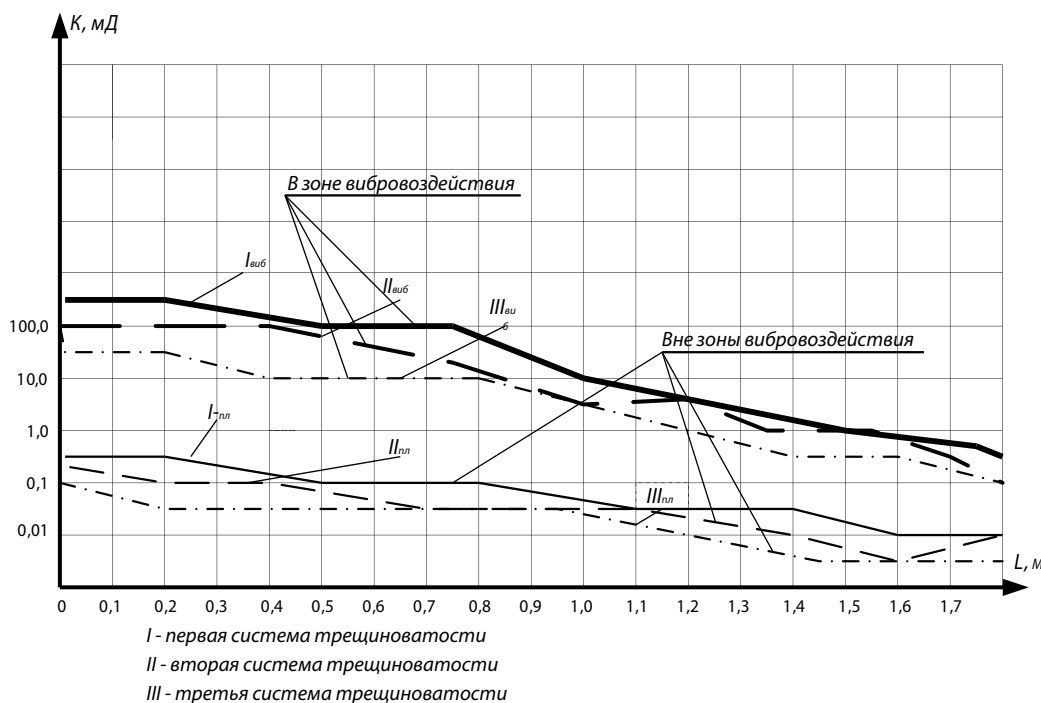
Способность угольного массива накапливать малые деформации в результате механических воздействий и при этом изменять свои свойства может использоваться для активного воздействия при вибрационном воздействии. Опытные данные подтверждают такую возможность. Особенно убедительными являются результаты исследований, проведенных на поле ГОАО «Шахтоуправление им. 17 Партсъезда» ГХК «Шахтерскантрацит» при изучении изменений характера метаноотдачи из пласта К-2 при вибровоздействии из подземных выработок (см. рисунок).

Результаты показали, что вибровоздействие в пласте вызывает заметное увеличение числа новых трещин в массиве угля. Установлено, что даже при слабых вибрационных колебаниях на участке воздействия образуется повышенная трещиноватость с последующим увеличением метаноотдачи. Все это вселяет надежду на то, что путем воздействия на угольный массив механическими колебаниями, производимыми мощными вибраторами, размещенными в глубине массива, есть возможность провоцировать высвобождение накопленной упругой энергии на отдельных участках пласта с образованием трещин как каналов для выделения метана из глубины массива.

Проблема извлечения угольного метана напрямую связана с проблемой обеспечения безопасности угольных шахт, предупреждением возможных катастроф на шахтах, вызванных взрывами газа и угольной пыли [10]. Вопросы безопасности горных работ, а также обеспечения эффективности угледобычи приобрели свою значимость в последнее время в связи с ухудшением горно-геологических условий и осложнением горных работ на шахтах, обрабатывающих высокогазоносные угольные пласты, опасные по взрывам пыли [11, 12]. Этот фактор является сдерживающим по причине ограничения работ при превышении концентрации метана в рабочей атмосфере шахты [13]. Вибрационное воздействие на угольный массив является новым способом, создающим значительную систему трещин, способствующих повышению эффективности последующей дегазации массива, которая обеспечивает снижение риска газификации выработок и повышение аэрологической безопасности угольных шахт [14].

В лаве № 2-2 и 18-м восточном вентиляционном уклоне ГОАО «Шахтоуправление им. 17 Партсъезда» были проведены испытания технологии вибровоздействия на угольный пласт К-2. Горно-геологические условия лавы и уклона были одинаковыми. Наблюдения были проведены на добычном участке с одинаковыми горно-геологическими условиями – в лаве № 2-2 и 18-м восточном вентиляционном уклоне пласта К-2 ГОАО «Шахтоуправление им. 17 Партсъезда». В верхней, средней и нижней частях лавы проводились измерения, которые включали количественные замеры параметров трещин, описание их происхождения и минерального заполнения.

Анализ полученных данных показал, что в нарушенном вибровоздействием массиве угля сформировались три системы трещин. Наиболее выражены трещины основной системы, которые состоят из двух взаимно перпендикулярных систем естественных нормально секущих внутрислойных



Основные системы трещин в нарушенном вибровоздействием массиве угля

трещин. Вторая система трещин менее многочисленна, чем первая; трещины второй системы имеют ломаную поверхность вследствие большей густоты трещин первой системы. Третья система трещин еще менее многочисленна, чем вторая, и обладала явно выраженной густотой лишь на отдельных обработанных блоках угля.

Механизм развития трещинообразования при вибрационном воздействии на пласт следующий: если естественные нормально секущие трещины имеют выдержанную ориентировку, то, сливаясь в искусственную внутрипластовую, такие трещины имеют извилистую форму, зияние таких трещин изменяется от 0,1 до 5 мм. Зияние наиболее крупных искусственных трещин составляет 10 мм и более.

Анализ результатов исследований показал, что системы трещин, создаваемых в пласте К-2, принадлежат к одному генетическому типу; существенно отличаются от трещин, находящихся за пределом вибровоздействия. Установлено, что трещиноватость краевой части угольного пласта после вибровоздействия увеличилась в 2-4 раза, по сравнению с первоначальной до вибровоздействия, при этом и газовая проницаемость краевой части пласта также стала выше на 2-4 порядка (см. рисунок).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных шахтных испытаний по оценке изменения трещиноватости пласта в зоне вибрационного воздействия установлено, что искусственные трещины, образованные вибровоздействием, находятся как в вертикальных, так и в горизонтальных направлениях пласта. В угольном массиве, в результате деформации структуры угольного массива под влиянием внешних воздействий, возникают условия для образования нескольких систем трещин [15]. При этом можно управлять особенностями изменения свойств угольного массива, создавая нужное направление систем трещин. Наиболее сильные деформации испытывает краевая часть угольного пласта, трещи-

новатость и газовая проницаемость которой увеличивается до четырех раз, что влечет за собой существенную газоотдачу обработанного вибровоздействием участка угольного пласта.

Список литературы

1. Сластунов С.В. Заблаговременная дегазация и добыча метана из угольных месторождений. М.: МГГУ, 1996. 442 с.
2. Dawe R.A., Mahers E.G., Williams J.K. Pore scale physical modeling of transport phenomena in porous media. In «Advances in transport phenomena in porous media». Martinus Nijhoff, 1987. P. 48-76.
3. Вибрационное воздействие через скважины и технология дегазационной подготовки низкопроницаемого угольного пласта / М.В. Павленко, Н.Г. Барнов, Д.А. Кузиев и др. // Уголь. 2020. № 1. С. 36-40. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-1-36-40.
4. Садовский М.А. Автомодельность геодинамических процессов // Вестник АН СССР. 1986. № 8. С. 3-11.
5. Лопухов Г.П. О механизме вибросейсмического воздействия на нефтяной пласт, представленный иерархической блочной средой // Ежегодник ВНИИнефть. 1996. С. 63-90.
6. Об эффективности вибросейсмического воздействия с дневной поверхности на нефтепродуктивные пласты / М.В. Курленя, Б.Ф. Симонов, С.В. Сердюков и др. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1998. № 1. С. 14-17.
7. Pavlenko M.V. The Formation of zones of the coal fray volumetric impregnation as a result of the vibration impact / 23th International Conference Engineering Mechanics 2017. Czech Republik. Svratka, 2017. P. 758-761.
8. Rock burst monitoring by integrated microseismic and electromagnetic radiation methods / X.L. Li, E.Y. Wang, Z.H. Li et al. // Rock Mechanics & Rock Engineering. 2016. Vol. 49(11). P. 4393-4406.
9. Павленко М.В., Скопинцева О.В. О роли капиллярных сил при вибровоздействии на гидравлически обработанный газонасыщенный угольный массив // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 3. С. 43-50.

10. Скопинцева О.В., Баловцев С.В. Управление аэрологическими рисками угольных шахт на основе статистических данных системы аэрогазового контроля // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 1. С. 78-89.
11. Influencing factors on permeability of loaded gas-bearing coal mass / Wei Jianping, Li Bo, Wang Kai et al. // Journal of Mining and Safety Engineering. 2014. No 31. P. 322-327.
12. Wang Dengke, Wei Jianping, Yin Guangzhi. Investigation on change of permeability of coal containing gas under complex stress paths // Chinese Journal of rock Mechanics and Engineering. 2012. No 31. P. 303-310.
13. Prospects of safety control in combination of mining and metallurgy industries / A.E. Filin, O.M. Zinovieva, L.A. Kolesnikova et al. // Eurasian Mining. 2018. No. 1. P. 31-34.
14. Selection of an effective technology for the degasification of coal beds / S.V. Slastunov, K.S. Kolikov, A.A. Zakharova et al. // Solid Fuel Chemistry. 2015. Vol. 49. No 6. P. 381-386.
15. Pavlenko M.V. Operational control of efficient and effective treatment of coal bed using complex action taking into account resonant natural frequencies of the block / 24th International Conference Engineering Mechanics 2018. Czech Republic. Svratka, 15–18 may 2018. P. 645-648.

UNDERGROUND MINING

Original Paper

UDC 622.831.325.3(043.3) © M.V. Pavlenko, B.A. Bazarov, A.N. Konakbaeva, A.V. Mezentsseva, 2022
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № 4, pp. 46-49
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-4-46-49>

Title

THE EFFECT OF MECHANICAL VIBRATIONS IN A GAS-SATURATED COAL MASSIF AS A DEFORMABLE SYSTEM

Author

Pavlenko M.V.¹, Bazarov B.A.², Konakbaeva A.N.², Mezentsseva A.V.²

¹ National University of Science and Technology "MISIS" (NUST "MISIS"), Moscow, 119049, Russian Federation

² Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan

Authors Information

Pavlenko M.V., PhD (Engineering), Associate Professor,
 e-mail mihail_mggy@mail.ru

Bazarov B.A., Doctor of Engineering Sciences,
 Professor of the Department of Construction

Konakbaeva A.N., PhD (Engineering),

Professor of the Department of Construction

Mezentsseva A.V., Senior Lecturer of the Department of Construction

Abstract

The article is devoted to the peculiarities of changes in the properties and state of a coal seam under the influence of mechanical vibrations in the form of vibration on a gas-saturated coal mass for the formation of cracks in a low-permeability gas-saturated coal mass as a deformable system. The ability of a coal mass to accumulate small deformations as a result of mechanical influences and at the same time change its properties can be successfully used for active exposure to vibration to create gas-conducting cracks in the coal mass. Similar effects occur during coal mining, while changes in gas release at the impact site are not isolated and suggest that there is a possibility of using mechanical vibrations to actively influence the coal mass, to increase its permeability, which leads to an intensive increase in methane release from the coal seam. This is confirmed by the results obtained both in laboratory conditions and as a result of industrial experiments. It is worth noting that the results obtained using each of the above methods are in good agreement.

Keywords

Mechanical vibrations, Fracturing, Gas recovery, Gas permeability, Coal mass, Vibration action, Deformations, System.

References

1. Slastunov S.V. Advance degassing and extraction of methane from coal deposits. Moscow, MGGU Publ., 1996, 442 p. (In Russ).
2. Dawe R.A., Mahers E.G. & Williams J.K. Pore scale physical modeling of transport phenomena in porous media / in "Advances in transport phenomena in porous media". Bear J. and Corapcioglu M.Y. eds. Martinus Nijhoff Publ. 1987, pp. 48-76.
3. Pavlenko M.V., Barnov N.G., Kuziev D.A., Kenzhabaev K.N. & Monzoev M.V. Vibration impact through wells and the technology of degassing of the preparation of low-permeability coal seam. Ugol', 2020, (1), pp. 36-40. (In Russ). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-1-36-40.
4. Sadovsky M.A. Self-similarity of geodynamic processes. Vestnik of the USSR Academy of Science, 1986, (8), pp. 3-11. (In Russ).
5. Lopukhov G.P. On the mechanism of vibroseismic impact on an oil reservoir represented by a hierarchical block medium. Yearbook of VNIIneft, 1996, pp. 63-90. (In Russ).

6. Kurlenya M.V., Simonov B.F., Serdyukov S.V., Cherednikov E.H. & Kolodyazhny S.A. On the effectiveness of vibroseismic impact from the daytime surface on oil-producing formations. Physical-technical problems of mining minerals. 1998, (1), pp. 14-17. (In Russ).

7. Pavlenko M.V. The Formation of zones of the coal fray volumetric impregnation as a result of the vibration impact / 23th International Conference Engineering Mechanics 2017. Czech Republic. Svratka, 2017, pp. 758-761.

8. Li X.L., Wang E.Y., Li Z.H., Liu Z.T., Song D.Z. & Qiu L.M. Rock burst monitoring by integrated microseismic and electromagnetic radiation methods. Rock Mechanics & Rock Engineering, 2016, (49), pp. 4393-4406.

9. Pavlenko M.V. & Skopintseva O.V. Role of capillary forces in vibratory action on hydraulically treated gas-saturated coal. Mining information and analytical bulletin, 2019, (30), pp. 3-50. (In Russ).

10. Skopintseva O.V. & Balovtsev S.V. Air quality control in coal mines based on gas monitoring statistics. MIAB. Mining information and analytical bulletin, 2021, (1), pp. 78-89. (In Russ).

11. Wei Jianping, Li Bo, Wang Kai et al. Influencing factors on permeability of loaded gas-bearing coal mass. Journal of Mining and Safety Engineering, 2014, (31), pp. 322-327.

12. Wang Dengke, Wei Jianping, Yin Guangzhi. Investigation on change of permeability of coal containing gas under complex stress paths. Chinese Journal of rock Mechanics and Engineering, 2012, (31), pp. 303-310.

13. Filin A.E., Zinovieva O.M., Kolesnikova L.A. & Merkulova A.M. Prospects of safety control in combination of mining and metallurgy industries. Eurasian Mining, 2018, (1), pp. 31-34.

14. Slastunov S.V., Kolikov K.S., Zakharova A.A. & Mazanik E.V. Selection of an effective technology for the degasification of coal beds. Solid Fuel Chemistry, 2015, Vol. 49, (6), pp. 381-386.

15. Pavlenko M.V. Operational control of efficient and effective treatment of coal bed using complex action taking into account resonant natural frequencies of the block / 24th International Conference Engineering Mechanics 2018. Czech Republic. Svratka, 15–18 may 2018, pp. 645-648.

For citation

Pavlenko M.V., Bazarov B.A., Konakbaeva A.N. & Mezentsseva A.V. The effect of mechanical vibrations in a gas-saturated coal massif as a deformable system. Ugol', 2022, (4), pp. 46-49. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-4-46-49.

Paper info

Received January 18, 2022

Reviewed February 3, 2022

Accepted March 22, 2022