

DOI: 10.25558/VOSTNII.2021.74.22.006

УДК 622.831.322

© М.С. Плаксин, 2021

М.С. ПЛАКСИН

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



ПОДХОД К ОПИСАНИЮ ПОГРЕШНОСТИ ЗАМЕРОВ ГАЗОНОСНОСТИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА ПРЯМЫМ МЕТОДОМ

В статье рассматривается гипотеза о том, что высокий разброс значений при определении газоносности угольного пласта вследствие ведения геологоразведочных работ зависит от распределения метана в угле по формам его существования в угольном пласте при прочих равных условиях. Отмечается негативное влияние «коэффициента запаса» при расчете газообильности выработки на производительность горных работ.

Ключевые слова: ГАЗОНОСНОСТЬ, МЕТАНООБИЛЬНОСТЬ, УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ, ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ВЫРАБОТКИ, ГАЗОКИНЕТИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ.

При разработке газоносных угольных пластов подземным способом угледобывающие предприятия в России сталкиваются с проблемой определения количества метана, содержащегося в угольном пласте, в дальнейшем реализуемого в атмосферу рабочего пространства. Для расчета параметров вентиляции, обеспечивающих требуемое безопасное газосодержание в атмосфере выработки, необходимо на этапе проектирования с удовлетворяющей точностью прогнозировать газообильность выработки. При этом «качество» прогноза напрямую зависит от определения величины природного содержания метана в угле (газоносности).

При разработке методов определения безопасных условий ведения горных работ большое внимание уделяется «порядку» точности входящих в алгоритм расчета параметров. При этом чем ниже точность, тем выше должен быть «коэффициент запаса». В связи с этим,

уточнение газоносности угольных пластов послужит дополнительной основой для повышения точности при расчетах параметров газообильности, вентиляционных и дегазационных систем шахты, а также для принятия оптимальных технологических решений.

Расчет газообильности горной выработки заключается на первом этапе в определении газоносности разрабатываемого пласта в зоне проведения выработки, на втором — непосредственно газообильности выработки с учетом горнотехнологических параметров ее проведения.

ПОГРЕШНОСТЬ ПРИ ЗАМЕРЕ ГАЗОНОСНОСТИ ПЛАСТА

В настоящее время в России, согласно [1], для определения газоносности применяются прямой [2] и косвенный методы [3]. Проблема применения косвенного метода заключается в

первую очередь в том, что уголь принимается как «сосуд» для газа метана с максимальной емкостью, хотя газоносность может значительно снизиться в результате влияния, например, технологических работ.

В нормативном документе [1] указывается, что природная газоносность угольных пластов действующих, строящихся и реконструируемых шахт принимается по данным геологоразведочных работ с применением прямого метода замера газоносности с дневной поверхности. Прямой метод основан на применении специальных керногазонаборников, позволяющих отобрать пробы угля, пород и газа в их естественном соотношении и определять содержание газа в керне, близкое к природному.

На достоверность определения газоносности прямым методом большое влияние оказывает время подъема угольного керна до его герметизации, т. е. количество газа, утерянного до герметизации. Касательно учета потерянного газа в работе [4] указано, что объем потерянного газа при определении газоносности методом Московского геологоразведочного института (МГРИ) составляет около 40 %. В источнике [5] указано, что доля потерянного газа составляет порядка 15–20 %, а

поправочный коэффициент составляет 1,3. В источнике [1] указывается, что геологоразведочная газоносность рассчитывается с учетом поправочного коэффициента, величина которого устанавливается для каждого бассейна и составляет 1,1–1,25. Столь значительные поправочные коэффициенты указывают на низкую надежность результата. Таким образом, коэффициент прибавки в среднем равен 30 % (от 1,1 до 1,4).

На рисунке 1 представлены данные по замерам газоносности, заимствованные из работы [5]. Внимание привлекает значительный разброс значений, например, до глубины 350 м. Разброс сопоставим или превышает само значение измеряемой газоносности. Также большой разброс присутствует в измерениях по данным газообильности шахт. Авторами замеров в качестве причин «колебания» значений газоносности для одной глубины указывается сильно развитая складчатая и разрывная тектоника.

На рисунке 1 линия тренда, отражающая изменения значений газоносности в зонах разрывных нарушений, располагается примерно на 8 единиц ниже линии тренда, отражающей изменения значений газоносности вне разрывных нарушений.

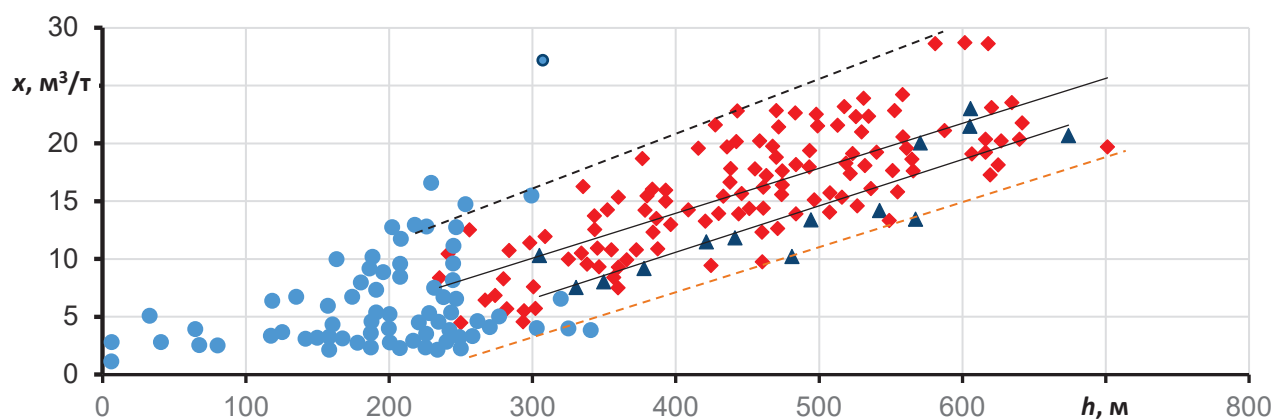


Рис. 1. Изменение газоносности с глубиной залегания угольных пластов от поверхности метановой зоны Анжерской синклинали: ● — по данным газообильности горных выработок; ◆ — по данным геологоразведочных работ; ▲ — в зонах разрывных нарушений; — — — — — линии, отражающие максимальное и минимальное значение газоносности соответственно; — — — — — линии тренда, проведенные по данным геологоразведочных работ (сверху) и данным геологоразведочных работ в зонах разрывных нарушений (снизу)

Представим в виде гипотезы, что столь значительные колебания в замеренных значениях для определенной глубины связаны с изменением распределения метана по формам его существования в пласте без изменения удельного содержания метана в угле. Т. е. меняется количество упущенного газа в связи, например, с изменением содержания газа в свободной фазе. Этим можно объяснить пониженное замеренное значение газоносности в зонах геологической нарушенности. В статье [6] указывается о сложности прогноза и учета объемов газовыделения метана в свободном состоянии с момента разрушения угля вследствие высокой скорости газоисточения образца в начальный момент.

Рассмотрим структуру газоносности пла-

ста по формам его существования.

Метан в угольных пластах в естественных условиях содержится в трех «состояниях» согласно [7]:

$$\chi = \chi_T + \chi_C + \chi_{CB}, \quad (1)$$

где χ_T — газ метан в составе углегазового раствора (абсорбированный), $\text{м}^3/\text{т}$; χ_C — адсорбированный метан, $\text{м}^3/\text{т}$; χ_{CB} — свободный метан, $\text{м}^3/\text{т}$.

На рисунке 2 представлены результаты расчета содержания метана в пласте по формам его существования. Стоит учесть, что расчет представлен как усредненный и соотношения форм могут меняться даже на небольшом участке пласта.

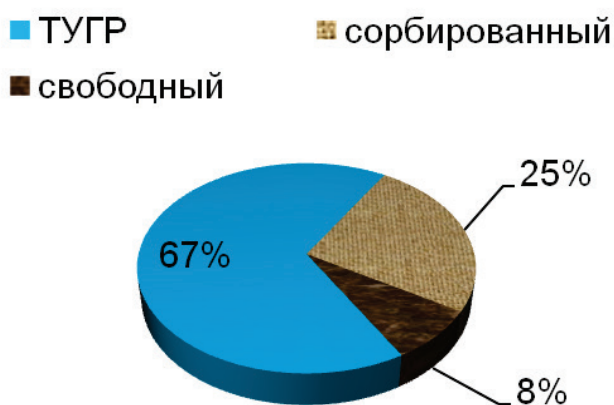


Рис. 2. Структура газоносности угольного пласта по формам существования метана (шахта «Чертинская», пласт 3, Н = 300 м)

На рисунке 3 представлен график изменения газокинетической реакции разгруженного от геостатических напряжений куска угля по формам состояния метана в угле. Наиболее сложная задача — отследить фазу реализации

свободного метана как наиболее активную и не связанную с углем форму. При этом процентное содержание свободного метана в угле может значительно разниться, а, следовательно, и характер газовыделения будет различный.

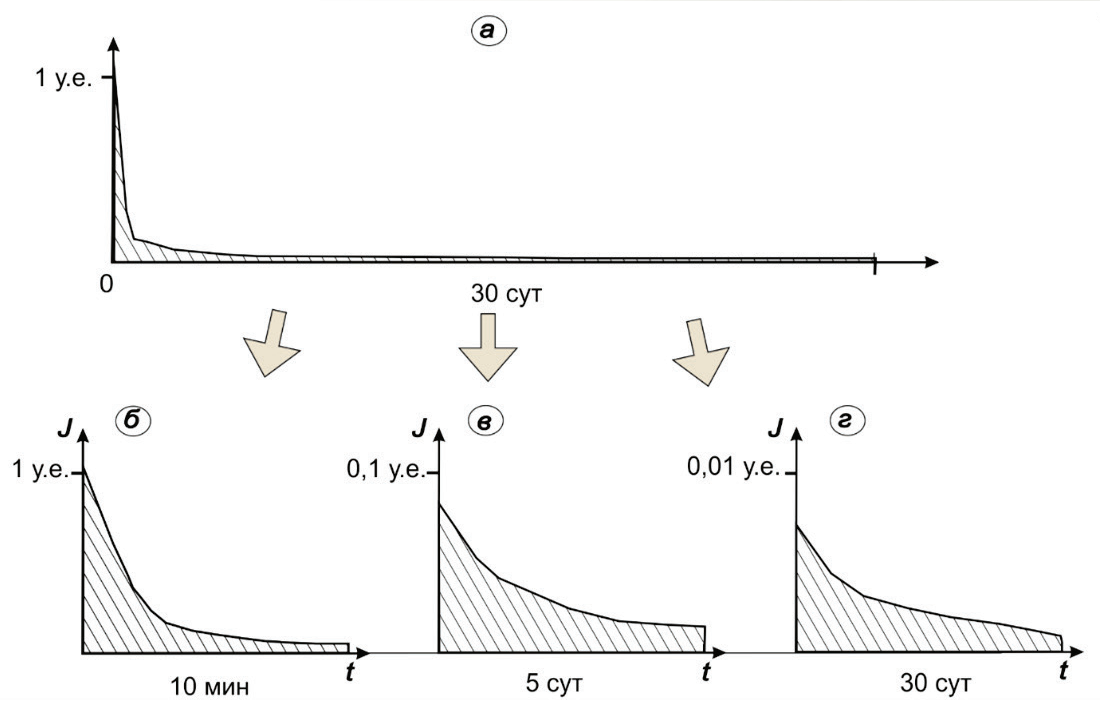


Рис. 3. Интенсивность изменения газовыделения из образца угля (керна) средней газоносности с момента снятия природных напряжений: а) — общее газовыделение; б) — свободная фаза; в) — адсорбированная фаза; г) — адсорбированная фаза

В пользу указанной гипотезы свидетельствуют данные [5], представленные на рис. 4, где значения газоносности, определенные по метаноемкости углей, группируются в довольно

близких диапазонах, тогда как значения газоносности в зонах разрывных нарушений располагаются на максимальном отдалении от средней величины.

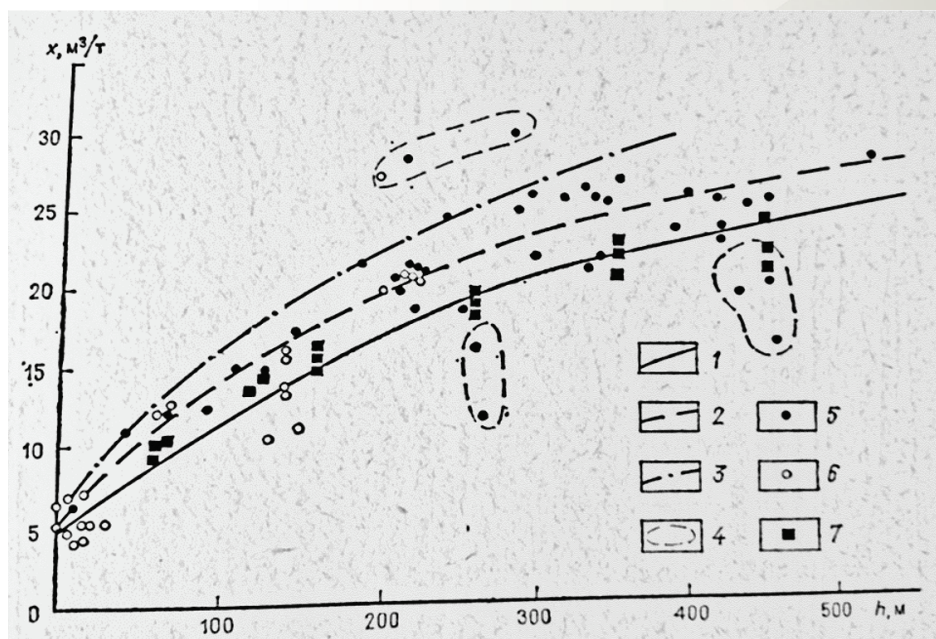


Рис. 4. Изменение природной газоносности угольных пластов с глубиной залегания от поверхности метановой зоны Горбунихинской и Редаковской антиклиналей: 1 — в синклиналичных прогибах; 2 — в крыльях; 3 — в замковых частях; 4 — в зоне разрывных нарушений; 5 — по данным кернагазонаборников; 6 — по данным газообильности горных выработок; 7 — по данным метаноемкости углей и природного давления газов [5]

ПОГРЕШНОСТЬ ПРИ РАСЧЕТЕ ГАЗООБИЛЬНОСТИ ВЫРАБОТКИ

В источнике [1] указано, что «на стадии детальной разведки выполненный объем опробования угольных пластов месторождения (участка) должен обеспечить получение исходных данных о природной газоносности, достаточных для составления прогноза ожидаемой газообильности горных выработок шахты с погрешностью не более 30 %». Логично предположить, что общая погрешность с учетом погрешности при определении газоносности в 30 % составит порядка 60 %, и в любом случае данная погрешность будет определена в сторону завышения реальных показателей. Поскольку дело касается параметров безопасности, можно только предположить, насколько губительно это отразится на производительности горных работ в виде ограничений по газовому фактору.

В работе [8] расчет абсолютной метанообильности подготовительной выработки осуществляется сложением метановыделения с неподвижных обнаженных поверхностей пла-

ста и метановыделения из отбитого угля. При расчете обоих слагаемых используется величина «активной» газоносности (равной природной газоносности за вычетом остаточной).

Объектом для демонстрации необходимости повышения точности прогноза метанообильности выбрана подготовительная выработка из-за меньшего количества источников метановыделения в отличие от очистных выработок [9, 10] и отсутствия значительных дегазационных мероприятий [11–13]. Максимальное метановыделение в подготовительную выработку наблюдается при взятии проходческим комбайном очередной заходки (или в результате наложения реакции нескольких заходов). Алгоритм расчета прогноза газообильности выработки строится исходя из максимально достижимой безопасной концентрации метана в выработке вследствие ведения горных работ с учетом коэффициента запаса.

На рис. 5 представлена газокинетическая реакция угольного пласта на технологическое воздействие в виде взятия проходческой заходки.

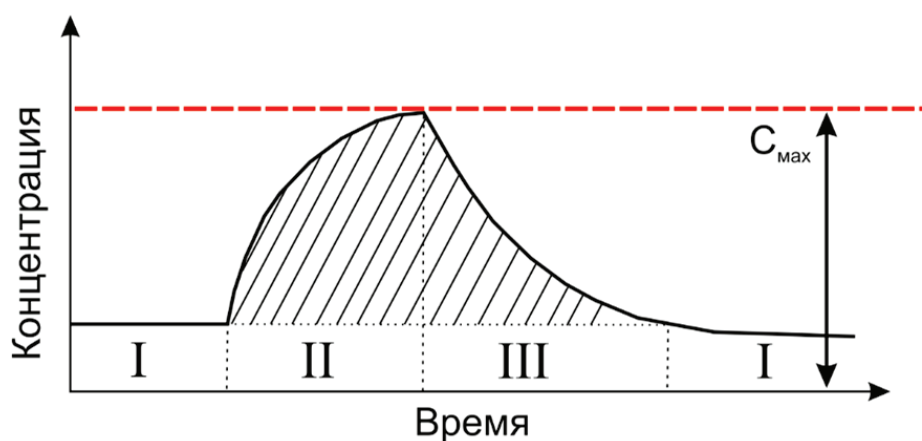


Рис. 5. Изменение концентрации метана в забое подготовительной выработки в момент взятия заходки проходческим комбайном по угольному пласту: I — фоновое метановыделение; II — метановыделение в процессе взятия заходки; III — метановыделение после взятия; $C_{\max}$ — максимальная концентрация метана.

Безопасная (разрешенная) концентрация метана в забое выработки составляет до 2 %, но в случае с использованием коэффициента запаса прогнозная скорость подвигания может быть снижена до 60 %.

При этом вариации с количеством метана в свободной форме могут значительно

изменить «картину» газовыделения в подготовительной выработке, например, при входе выработки в зону влияния геологического нарушения, метановыделение при взятии заходки значительно повысится (поз. II и III, рис. 5), тогда как фоновое (поз. I, рис. 5) снизится без изменения удельного газосодержания угля.

ВЫВОД

Представленные результаты указывают на необходимость и возможность развития методов уточнения газоносности. Совершенствование этих методов ведёт к повышению точности расчета параметров газообильности горных выработок, что, в свою очередь, способствует росту темпов ведения горных работ по газоносным угольным пластам.

Представленная автором статьи гипотеза ссылается на основополагающий труд по определению газоносности пласта [5] и требует развития и уточнений (вследствие нехватки данных представленных в [5] и невозможности их получения). В качестве одного из направлений по решению указанной проблемы в ИУ ФИЦ УУХ СО РАН разработано устройство, способное выполнить замер газоносности без компоненты упущенного газа [14].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по дегазации угольных шахт. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2012. Серия 5. Выпуск 22. 250 с.
2. Рекомендации по определению газоносности угольных пластов. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2017. 44 с.
3. Потокина Р.Р., Журавлева Н.В., Исмагилов З.Р. Лабораторные методы определения газоносности угольных пластов // Химия в интересах устойчивого развития. 2013. Т. 21. № 5. С. 519–523.
4. Инструкция по определению и прогнозу метаноносности угольных пластов и вмещающих пород при геологоразведочных работах. М.: Недра, 1977. 96 с.
5. Газоносность угольных бассейнов и месторождений СССР. М.: Недра, 1979. Т. 2. 456 с.
6. Junqian Li, Shuangfang Lu, Pengfei Zhang, Jianchao Cai, Wenbiao Li, Siyuan Wang, Wenjun Feng 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.
7. Алексеев А.Д., Айруни А.Т., Зверев И.В. и др. Свойства органического вещества угля образовывать с газами метастабильные однофазные системы по типу твердых растворов // Диплом № 9 на научное открытие. АЕН, 1994.
8. Инструкция по применению схем проветривания выемочных участков шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2017. Серия 05. Выпуск 21. 128 с.
9. Козырева Е.Н., Шинкевич М.В. Структуризация массива горных пород в условиях отработки угольного пласта длинными столбами // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2015. № 2. С. 21–27.
10. Козырева Е.Н., Шинкевич М.В. Уточнение технологических решений при проектировании выемочных участков и управлении газовыделением // Вестник КузГТУ. 2014. № 3. С. 28–32.
11. Козырева Е.Н., Рябцев А.А. Газодинамическая активность угольного пласта и необходимость применения его дегазации // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2018. № 1. С. 8–13.
12. Родин Р.И. Эффективность дегазации шахт Кузбасса // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2011. № 2. С. 116–119.
13. Клишин В.И., Кокоулин Д.И., Кубанычбек Б. и др. Разупрочнение угольного пласта. в качестве метода интенсификации выделения метана // Уголь. 2010. № 4. С. 40–42.
14. Плаксин М.С., Родин Р.И., Титов В.П. Технические основы создания инновационного устройства и оперативного метода определения газоносности угольного пласта // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № S49. С. 165–173.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2021.74.22.006

UDC 622.831.322

© M.S. Plaksin, 2021

M.S. PLAKSIN

Candidate of Engineering Sciences,

Senior Researcher

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo

e-mail: plaksin@bk.ru

APPROACH TO DESCRIPTION OF ERROR OF MEASUREMENT OF GAS CONTENT OF COAL BED BY DIRECT METHOD

The article considers the hypothesis that the high variation of values in determining the gas content of a coal seam due to geological exploration depends on the distribution of methane in coal according to the forms of its existence in a coal seam, other things being equal. There is a negative impact of the «reserve factor» in calculating the gas abundance of production on the productivity of mining operations.

Keywords: GAS CONTENT, METHANE ABUNDANCE, COAL BED, PREPARATORY WORKS, GAS KINETIC HAZARD.

REFERENCES

1. Instructions for degassing coal mines. M.: STC «Industrial Safety» CJSC, 2012. Series 5. Issue 22. 250 p. [In Russ.].
2. Recommendations for determining the gas content of coal seams. M.: STC «Industrial Safety» CJSC, 2017. 44 p. [In Russ.].
3. Potokina R.R., Zhuravleva N.V., Ismagilov Z.R. Laboratory methods for determining the gas content of coal seams // Chemistry for sustainable development [Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya]. 2013. Vol. 21. No. 5. P. 519–523. [In Russ.].
4. Instructions for determining and predicting the methane content of coal seams and enclosing rocks during exploration. M.: Nedra, 1977. 96 p. [In Russ.].
5. Gas content of coal basins and deposits in the USSR. M.: Nedra, 1979. Vol. 2. 456 p. [In Russ.].
6. Junqian Li, Shuangfang Lu, Pengfei Zhang, Jianchao Cai, Wenbiao Li, Siyuan Wang, Wenjun Feng 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.
7. Alekseev A.D., Airuni A.T., Zverev I.V. et al. Properties of organic matter of coal to form metastable single-phase systems with gases as solid solutions // Diploma No. 9 for scientific discovery. AEN, 1994. [In Russ.].
8. Instructions for the use of ventilation schemes for excavated sections of mines with an isolated extraction of methane from the worked-out space using gas suction units. M.: STC «Industrial Safety» CJSC, 2017. Series 05. Issue 21. 128 p. [In Russ.].
9. Kozyreva E.N., Shinkevich M.V. Structurization of the rock mass in the conditions of coal seam mining with long pillars // Bulletin of the scientific center for the safety of work in the coal industry [Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti]. 2015. No. 2. P. 21–27. [In Russ.].
10. Kozyreva E.N., Shinkevich M.V. Refinement of technological solutions in the design of mining areas and gas emission control // Bulletin of KuzSTU [Vestnik KuzGTU]. 2014. No. 3. P. 28–32. [In Russ.].

11. Kozyreva E.N., Ryabtsev A.A. Gas-dynamic activity of a coal seam and the need for its degassing // Bulletin of the scientific center for the safety of work in the coal industry [Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti]. 2018. No. 1. P. 8–13. [In Russ.].

12 Rodin R.I. Efficiency of degassing of mines of Kuzbass // Bulletin of the scientific center for the safety of work in the coal industry [Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti]. 2011. No. 2. P. 116–119. [In Russ.].

13. Klishin V.I., Kokulin D.I., Kubanychbek B. et al. Weakening of the coal seam. as a method for intensifying the release of methane // Coal [Ugol]. 2010. No. 4. P. 40–42. [In Russ.].

14. Plaksin M.S., Rodin R.I., Titov V.P. Technical foundations for creating an innovative device and an operational method for determining the gas content of a coal seam // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal) [Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)]. 2018. No. S49. P. 165–173. [In Russ.].