

DOI: 10.25558/VOSTNII.2020.13.25.005

УДК 622.831.322:635

© А.А. Фофанов, Т.Л. Ким, Е.А. Плотников, 2020

А.А. ФОФАНОВ

старший преподаватель,
КузГТУ, г. Кемерово
e-mail: thunder55@mail.ru



Т.Л. КИМ

канд. техн. наук, доцент,
заведующий кафедрой физики
КузГТУ, г. Кемерово
e-mail: tanyakim@list.ru



Е.А. ПЛОТНИКОВ

канд. техн. наук,
заместитель начальника участка
шахта «Распадская», г. Междуреченск
e-mail: plotnikov_ea@raspadskaya.com



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНО ВЫБРОСООПАСНЫХ ЗОН УГОЛЬНОГО ПЛАСТА С УЧЕТОМ МЕХАНОДЕСТРУКЦИИ УГЛЯ

В статье представлена методика определения потенциально выбросоопасных зон угольного пласта с учетом механодеструкции угля. Существующие способы прогноза выбросоопасности угольных пластов не учитывают газ, выделяющийся при разрушении угля. С помощью разработанной методики можно делать заключение о потенциальной выбросоопасности участка угольного пласта по величине интенсивности газовыделения из разрушенного угля. Методика предполагает определение удельной интенсивности газовыделения и объема разрушенного угля. Если экспериментально установленная интенсивность газовыделения $Q_{\text{экс}} > Q_{\text{крит}}$, то данный участок пласта считается выбросоопасным. Критическую интенсивность газовыделения рассчитывают с учётом параметров данного шахтопласта.

Ключевые слова: УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ, МЕХАНОДЕСТРУКЦИЯ УГЛЯ, ВЫБРОСООПАСНОСТЬ.

Прогноз выбросоопасности при подземной разработке угольных пластов на сегодняшний день остается актуальной проблемой для месторождений Кузбасса, где добывается более 60 % угля России. С увеличением глу-

бины ведения горных работ возникает опасность возникновения внезапных выбросов угля и газа, которые зачастую приводят к разрушительным последствиям в угольных шахтах. Повышение безопасности горных ра-

бот возможно путём разработки надёжных методик установления выбросоопасных зон угольных пластов, учитывающих различные факторы, влияющих на формирование газодинамических явлений (ГДЯ). На сегодняшний день более половины шахтопластов Кузбасса отнесены к категориям опасных или угрожаемых по ГДЯ.

В ходе регионального прогноза устанавливаются критические по ГДЯ глубины для угольного месторождения по газовому фактору. На глубинах, ниже критической, применяется локальный прогноз выбросоопасности, к которому относится текущий прогноз по структуре пласта и начальной скорости газовыделения при поинтервальном бурении шпуров. Этот метод дает наиболее достоверную информацию, но без учета фактора напряженного состояния угольного пласта.

Известен сейсмоакустический метод текущего прогноза, основанный на фиксации генерирующих трещин под действием горного давления и давления газа [1]. Этот метод плохо защищен от внешних и внутренних помех и шумов действующего оборудования, кроме того, некоторые пласты имеют очень слабую акустическую активность. Спектрально-акустический метод лишён недостатков акустического метода, но также не учитывает газовый фактор. С появлением аппаратуры автоматизированного контроля метана, разработанной ИГД им. А.А. Скочинского и институтом «Гипроуглеавтоматизация», и метода прогноза выбросоопасности на основе ее применения появилась возможность автоматического контроля газового фактора при прогнозе внезапных выбросов угля и газа [2]. Большинство факторов выбросоопасности учитывается методами регионального и зонального прогноза, задачей текущего прогноза является выявление участков, на которых имеет место превышение основными факторами, определяющими выбросоопасность, некоторых критерийных значений.

ООО «Информационные Горные Технологии» для ПАО «Распадская» разработали «Автоматизированную систему контроля состояния горного массива, контроля и прогноза внезапных выбросов и горных ударов»,

которая основана на регистрации сейсмических и акустических сигналов естественного и искусственного происхождения, обусловленных различными процессами в массиве горных пород. Данная аппаратура находится в стадии испытаний и пока неясно, как будет оцениваться газовый фактор при прогнозе внезапных выбросов угля и газа.

Методы прогноза ГДЯ, основанные на анализе реакции пласта на бурение контрольных шпуров, также имеют ряд существенных недостатков.

Существующие методики прогноза выбросоопасности не позволяют учитывать газовый фактор в полной мере, так как на самом деле газ в угольных пластах может находиться в различных формах: в свободном, сорбированном, а также в виде твёрдого раствора и кристаллогидратов [3]. По мере разработки угольного пласта в результате механического воздействия может выделяться дополнительный объем газа, в результате чего могут происходить газодинамические явления. Этот дополнительный объем газа ни один из существующих способов прогноза не учитывает.

Авторами предлагается метод определения потенциально выбросоопасных зон угольного пласта с учетом механодеструкции угля. Отличительной особенностью данного метода является то, что прогноз ведется только на участках, которые можно отнести к зонам повышенного горного давления. Данный метод, в отличие от вышеописанных, является экономически менее затратным. Для проведения прогноза необходим минимум оборудования, что является более привлекательным.

Прогнозируемый участок выбирается в краевой зоне угольного пласта при ведении очистных работ на пластах, отнесенных к угрожаемым или опасным по внезапным выбросам угля и газа. Прогноз ведется по выбросоопасной пачке, имеющей характерную зернистую или землисто-зернистую, брекчевидную или подобную структуру.

Суть метода заключается в том, что для каждого шахтопласта из пробуренного на глубину 1,5 ÷ 3 м шпура отбирают две одинаковые по массе и объему пробы угля. Одну

пробу угля отбирают в герметичный стальной стакан, а вторую пробу — контрольную — отбирают в герметичный пакет. Далее в лабораторных условиях первую пробу угля подвергают циклическому механическому разрушению с заданным временным шагом для каждого цикла. После каждого цикла разрушения пробы угля измеряют давление выделившегося угольного газа в стакане.

Разрушение угля проводят до тех пор, пока выделение газа из разрушенного угля не прекратится. По окончании разрушения угля пробу извлекают из стакана и взвешивают на контрольных весах, а в стакан засыпают контрольную пробу с массой, равной массе первой пробы. Контрольную пробу угля подвергают разрушению в той же временной последовательности, как и первую пробу. После каждого цикла дробления измеряют объем разрушенного угля и извлекают пробу угля для ситового анализа.

Ситовый анализ проводят для того, чтобы определить средневзвешенный диаметр частиц разрушенного угля. По данным, полученным при разрушении первой пробы угля, определяют удельную интенсивность газовыделения по методике, опубликованной в работах [5, 6, 7, 9, 10].

Далее строится график экспериментальной зависимости удельной интенсивности газовыделения из единицы массы угля от средневзвешенного диаметра частиц разрушенного угля и времени разрушения для каждого шахтопласта, на которых проводится текущий прогноз выбросоопасности.

Пробы угля при текущем прогнозе данным методом следует отбирать, когда в процессе горных работ лава отойдет на $(0,5 \div 0,6) L$ — шага вторичных осадок. На исследуемом участке бурят скважину и определяют в ней одним из геофизических методов протяженность зоны разрушенного угля по простиранию пласта, а также отбирают пробу угля, которую в лаборатории разрушают в течение определённого времени и с помощью ситового анализа находят средневзвешенный диаметр частиц угля. Далее по экспериментальной зависимости находят интенсивность

удельного газовыделения, которую умножают на объем разрушенного угля и получают общую интенсивность газовыделения из разрушенной зоны пласта. Для оценки возможности сдвижения разрушенной массы угля и перемещения ее в выработку полученную интенсивность газовыделения сравнивают с критической, которую вычисляют для условий данного шахтопласта предварительно по методике, разработанной Борисенко А.А. [4].

Условие, при котором возможен переход динамического разрушения краевой части массива во внезапный выброс угля и газа, т. е. условие начала перемещения угля под действием газового потока после механодеструкции для каждого шахтопласта определяется следующим образом [4]:

$$Q_1 + Q_2 = \frac{K_p \cdot m \cdot b}{\mu} \left[\frac{N \cdot \Psi}{\xi} + \gamma_y \cdot \left(f \cdot \cos \alpha + \frac{\xi \cdot f \cdot m}{b} \cos \alpha \pm \sin \alpha \right) \right], \quad (1)$$

где K_p — коэффициент газопроницаемости разрушенного угля, который можно принять равным $100 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$; m — мощность пласта, м; b — ширина разрушенной части пласта по падению или восстанию, м; μ — динамическая вязкость газа, которая для метана равна $7,76 \cdot 10^{-12} \text{ Па} \cdot \text{с}$; N — несущая способность разрушенного угля, которая не превосходит $2 \cdot 10^5 \text{ Па}$; $\Psi = 2 \cdot \xi \cdot f \cdot \frac{b+m}{b \cdot m}$ — расчетный коэффициент, м^{-1} ; ξ — коэффициент бокового распора, который принимается в пределах $0,3-0,8$; f — коэффициент трения угля, который выбирается в пределах $0,3-0,5$; γ_y — удельный вес угля, Н/м^3 ; α — угол падения пласта, град.; Q_1 , Q_2 — интенсивность газовыделения на фронте разрушения и из разрушенного угля соответственно, $\text{м}^3/\text{с}$. Суфляры не присутствуют, поэтому $Q_2 = Q_{кр}$.

Следовательно, для определения выбросоопасности участка угольного пласта экспериментально определяют величину интен-

сивности газовыделения Q_2 и сравнивают её с критическим значением.

Объем разрушенного угля ΔV определяют по формуле:

$$\Delta V = m \cdot b \cdot \Delta l, \text{ м}^3, \quad (2)$$

где m — мощность угольного пласта, м; Δl — размер разрушенной зоны по простиранию пласта, м; b — ширина разрушенной части пласта по падению или восстанию, м.

Параметр Δl на выбранном участке можно определить методом электрометрии по изменению удельного эффективного сопротивления или по изменению потенциала естественного электрического поля (ЕСЭП) [8]. По методу ЕСЭП измеряют распределение потенциала в контрольном шпуре, из которого отбиралась контрольная проба, с шагом $10 \div 15$ см относительно нулевого электрода, заземленного в массиве на глубине 1,5 м на расстоянии $100 \div 120$ м от очистного забоя (рис. 3).

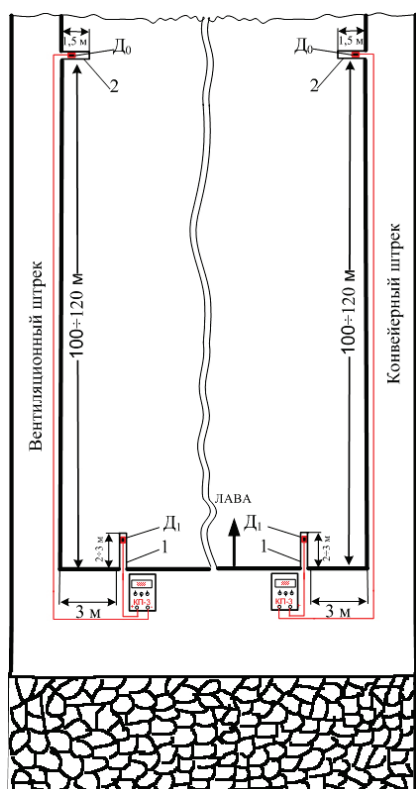


Рис. 1. Схема расположения шпуров для отбора проб угля и измерения потенциала ЕСЭП:

- 1 — шпур для отбора пробы угля и определения размера разрушенной зоны по простиранию пласта; D_1, D_0 — датчики;
- 2 — шпур для определения нулевого потенциала ϕ_0 ;
- КР-3 — измерительный прибор.

После чего строится график зависимости потенциала от расстояния до забоя $\Delta\phi = f(l)$ (рис. 4), по касательной к которому в зоне предельно-напряжённого состояния определяют глубину зоны разрушения Δl .

Интенсивность газовыделения на данном участке угольного пласта находят по формуле:

$$Q_{\text{экс}} = q \cdot \Delta V, \quad (3)$$

где q — удельная интенсивность газовыделения для данного шахтопласта, $\text{м}^3/\text{с} \cdot \text{м}^3$; ΔV — объем разрушенного угля, м^3 .

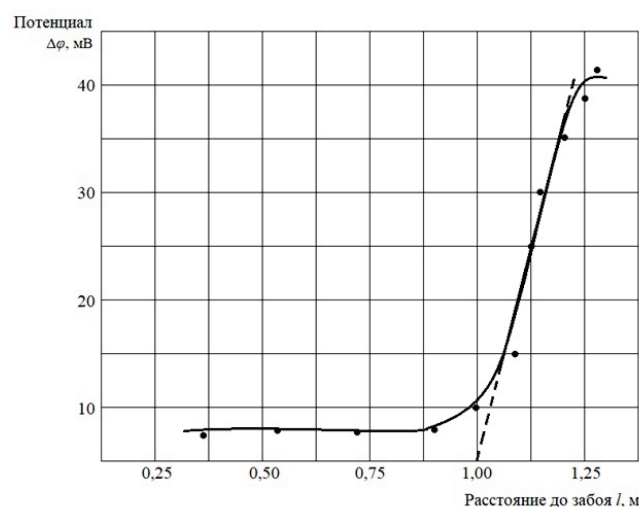


Рис. 2. Пример графика зависимости потенциала ЕСЭП $\Delta\phi$ в скважине от расстояния до очистного забоя [9, 10]

После этого можно сделать заключение о выбросоопасности данного участка угольного пласта: если интенсивность газовыделения больше критической $Q_{\text{экс}} > Q_{\text{крит}}$, то данный участок выработки считается выбросоопасным. Если интенсивность газовыделения меньше критической $Q_{\text{экс}} < Q_{\text{крит}}$, то участок выработки считается невыбросоопасным.

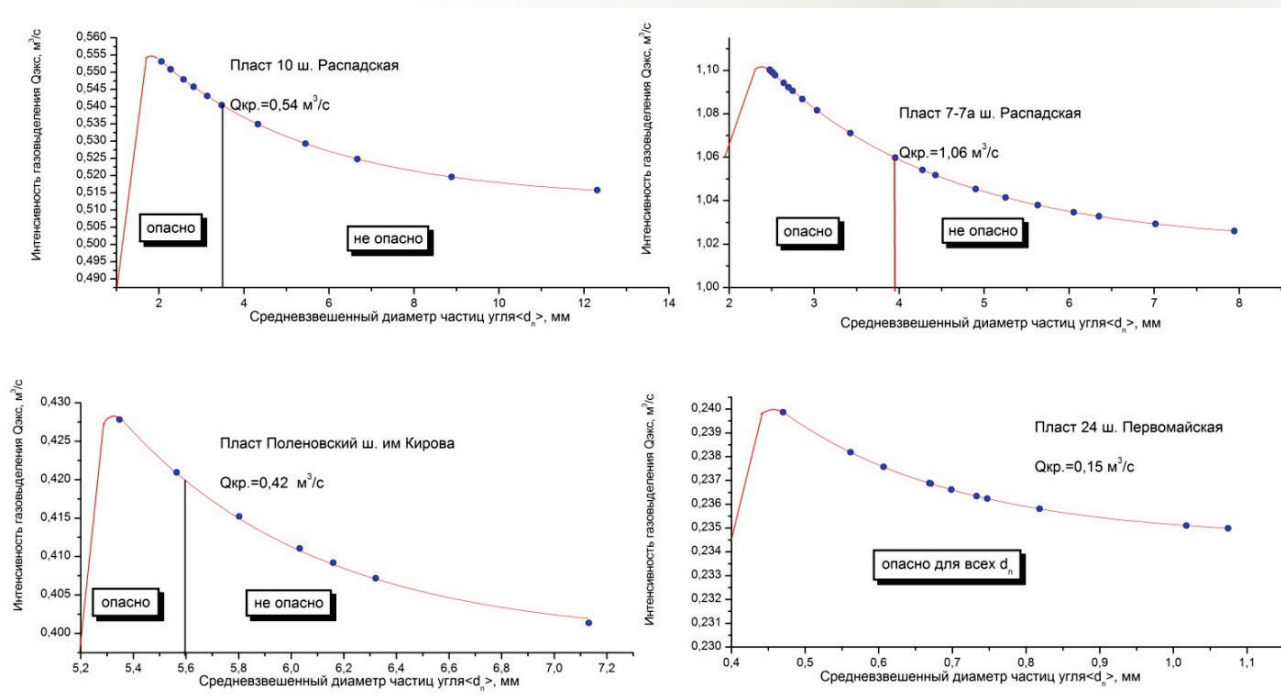


Рис. 3. Графики зависимости экспериментальных значений интенсивности газовыделения от средневзвешенного диаметра частиц разрушенного угля

Результаты исследований, проведенные нами на ряде угольных шахт Кузбасса, представленные на рис. 5, показали, что для пласта 7-7а шахты «Распадская» при значении средневзвешенного диаметра частиц угля больше 4 мм значение интенсивности газовыделения меньше критического значения и участок не является выбросоопасным. Для пласта 24 шахты «Первомайская» критическое значение интенсивности газовыделения меньше значений интенсивности газовыделения, установленных для всех значений средневзвешенного диаметра частиц угля после механодеструкции. Следовательно, данный участок пласта 24 является опасным по внезапным выбросам угля и газа. Для пласта Поленовский ш. им. Кирова значение $Q_{кр}$ достигается при значениях средневзвешенного диаметра частиц разрушенного угля порядка 5,6 мм и менее.

ВЫВОДЫ

1. Разработана методика установления выбросоопасности участка угольного пласта, которая учитывает не только свободный и сорбированный газ, но также газ, находящийся в состоянии твёрдого углегазового раствора.
2. Методика основана на предварительном получении зависимости интенсивности газовыделения от средневзвешенного диаметра частиц угля, полученных в результате механодеструкции.
3. При контроле выбросоопасности устанавливают объём разрушенного угля и средневзвешенный диаметр частиц угля при механодеструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шаталов В.А. Зональность внезапных выбросов угля и газа на шахтах Донбасса. М.: Госгортехиздат, 1962. 216 с.
2. Пат. 2064590 С1 РФ, МПК E21F 5/00. Способ прогноза опасности возникновения газодинамических явлений при проходке подготовительных выработок по выбросоопасным и высокогазоносным пластам / заявители Зыков В.С., Черкасов В.С., Крючков В.И.; патентоо-

бладатель: Восточный научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности. № 93003070/03; заявл. 18.01.1993; опубл. 27.07.1996.

3. Инербаев Т.М., Субботин О.С., Белослудов В.Р., Белослудов Р.В., Кавазов Е., Кудо Д.И. Динамические, термодинамические и механические свойства газовых гидратов структуры I и II // Российский химический журнал. 2003. Т. 48. № 3. С. 19–27.

4. Борисенко А.А. Условия возникновения и механизм внезапных выбросов и других газодинамических явлений в шахтах // Способы и средства разработки выбросопасных угольных пластов. 1979. Вып. 182. С. 3–10.

5. Фофанов А.А., Плотников Е.А., Дырдин В.В., Ким Т.Л. Определение интенсивности газовой выделения из разрушенного угля // Сборник материалов VIII международной научно-практической конференции. Кемерово. 2019. С. 119.1–119.5.

6. Дырдин В.В., Ким Т.Л., Фофанов А.А., Плотников Е.А., Воронкина Н.М. Газовыделение при механодеструкции угля // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2019. № 5. С. 44–53.

7. Дырдин В.В., Фофанов А.А., Ким Т.Л., Смирнов В.Г., Тациенко В.П., Козлов А.А. Влияние механодеструкции угля на формирование газодинамических процессов при подземной разработке угольных пластов // Безопасность труда в промышленности. 2017. № 8. С. 10–15.

8. Тарасов Б.Г., Дырдин В.В. Рудничная геоэлектрика. М.: Недра, 1977. 126 с.

9. Пат. 2672070 РФ, МПК E21F 17/18, G01N 7/14(2006.01). Способ определения интенсивности газовой выделения из разрушенного угля / заявители Дырдин В.В., Фофанов А.А., Ким Т.Л., Плотников Е.А., Шепелева С.А., Смирнов В.Г.; патентообладатель Кузбасский государственный технический университет (КузГТУ). № 2017138769; заявл. 07.11.2017; опубл. 09.11.2018.

10. Пат. 2700854 РФ, МПК E21F 5/00(2006.01). Способ определения выбросоопасности в очистных выработках при отработке угольных пластов с труднообрушаемыми кровлями / заявители Дырдин В.В., Фофанов А.А., Ким Т.Л., Плотников Е.А., Шепелева С.А., Смирнов В.Г.; патентообладатель Кузбасский государственный технический университет (КузГТУ). № 2019107199; заявл. 13.03.2019; опубл. 23.09.2019.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2020.13.25.005

UDC 622.831.322:635

© А.А. Fofanov, T.L. Kim, E.A. Plotnikov, 2020

A.A. FOFANOV

Senior Teacher

KuzSTU, Kemerovo

e-mail: thunder55@mail.ru

T.L. KIM

Candidate of Engineering Sciences,

Associate Professor,

Department Head Of Physics

KuzSTU, Kemerovo

e-mail: tanyakim@list.ru

E.A. PLOTNIKOV

Candidate of Engineering Sciences,
Deputy Chief of Mine Section
Raspadskaya mine, Mezhdurechensk
e-mail: plotnikov_ea@raspadskaya.com

DETERMINATION OF POTENTIALLY EMISSION HAZARDOUS ZONES OF COAL BED TAKING INTO ACCOUNT COAL MECHANICAL DESTRUCTION

The article presents the procedure for determining potentially emission-hazardous zones of the coal bed taking into account the mechanical degradation of coal. Existing methods of predicting the emission hazard of coal seam do not take into account the gas released by the destruction of coal. With the help of the developed method it is possible to make a conclusion on potential emission hazard of the coal bed section by the value of gas release intensity from the broken coal. The technique involves determination of specific intensity of gas release and volume of broken coal. If experimentally determined intensity of gas release $Q_{ex} > Q_{crit}$, this section of formation is considered to be hazardous. Critical intensity of gas release is calculated taking into account parameters of this mine mill.

Keywords: COALSEAM, COAL MECHANICAL DESTRUCTION, EMISSION HAZARD.

REFERENCES

1. Shatalov V.A. Zoning of sudden emissions of coal and gas in the mines of Donbass. Moscow: Gosgortekhzdat, 1962. 216 p. (In Russ.).
2. Pat. 2064590 C1 RF, MPK E21F 5/00. Method for predicting the danger of gas-dynamic phenomena when penetrating preparatory workings for emission-hazardous and high-gas-bearing formations / applicants Zykov V.S., Cherkasov V.S., Kryuchkov V.I.; patent holder: Eastern Research Institute for the Safety of Work in the Mining Industry. No. 93003070/03; stated 18.01.1993; published 27.07.1996. (In Russ.).
3. Inerbaev T.M., Subbotin O.S., Belosludov V.R., Belosludov R.V., Kavazoe E., Kudo D.I. Dynamic, thermodynamic and mechanical properties of gas hydrates of structure I and II // Russian Chemical Journal. 2003. T. 48. No. 3. P. 19–27. (In Russ.).
4. Borisenko A.A. Conditions for the occurrence and mechanism of sudden emissions and other gas-dynamic phenomena in mines // Methods and means of developing hazardous coal seams. 1979. Issue 182. P. 3–10. (In Russ.).
5. Fofanov A.A., Plotnikov E.A., Dyrdin V.V., Kim T.L. Determining the intensity of gas evolution from destroyed coal // Proceedings of the VIII international scientific and practical conference. Kemerovo. 2019. (In Russ.).
6. Dyrdin V.V., Kim T.L., Fofanov A.A., Plotnikov E.A., Voronkina N.M. Gas evolution during mechanical destruction of coal // News of higher educational institutions. Mountain Journal. 2019. No. 5. P. 44–53. (In Russ.).
7. Dyrdin V.V., Fofanov A.A., Kim T.L., Smirnov V.G., Tatsienko V.P., Kozlov A.A. The effect of mechanical degradation of coal on the formation of gas-dynamic processes during underground mining of coal seams // Occupational Safety in Industry. 2017. No. 8. P. 10–15. (In Russ.).
8. Tarasov B.G., Dyrdin V.V. Mine geoelectrics. M.: Nedra, 1977. 126 p. (In Russ.).
9. Pat. 2672070 RF, IPC E21F 17/18, G01N 7/14 (2006.01). The method of determining the intensity of gas evolution from the destroyed coal / applicants Dyrdin V.V., Fofanov A.A., Kim T.L., Plotnikov E.A., Shepeleva S.A., Smirnov V.G.; patent holder Kuzbass State Technical University (KuzSTU). No. 2017138769; declared 11.07.2017; publ. 11.09.2018. (In Russ.).
10. Pat. 2700854 RF, IPC E21F 5/00 (2006.01). A method for determining the outburst hazard in mine workings during mining of coal seams with hard-to-collapse roofs / applicants Dyrdin V.V., Fofanov A.A., Kim T.L., Plotnikov E.A., Shepeleva S.A., Smirnov V.G.; patent holder Kuzbass State Technical University (KuzSTU). No. 2019107199; declared 13.03.2019; publ. 23.09.2019. (In Russ.).