

Способ контроля газодинамической активности в приконтурной части угольного пласта

М.С. Плаксин✉, Р.И. Родин, Е.Н. Козырева

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Кемерово, Российская Федерация
✉ plaksin@bk.ru

Резюме: В статье представлены результаты исследования, которые направлены на решение вопросов, связанных с обеспечением безопасности ведения горных работ в подготовительных выработках шахт с точки зрения прогноза и контроля газодинамических явлений. Описанный эксперимент создает основу для разработки способа оценки газодинамической активности в призабойной части угольного пласта с применением инновационного устройства, которое позволяет оценивать изменения газоносности пласта по линии от забоя до зоны геостатических напряжений при проведении подготовительных выработок. Предлагается на основе оценки метанообильности выработки и представленного в работе нового подхода оценки газодинамической опасности пласта разработать метод текущего прогноза выбросоопасности, который позволит увеличить темпы продвижения и обеспечить безопасность ведения горных работ.

Ключевые слова: геомеханические напряжения, давление газа, подготовительная выработка, sudden coal and gas emissions, газоносность, безопасность ведения горных работ

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №22-27-20075, <https://rscf.ru/project/22-27-20075/> и гранта Кемеровской области – Кузбасса.

Для цитирования: Плаксин М.С., Родин Р.И., Козырева Е.Н. Способ контроля газодинамической активности в приконтурной части угольного пласта. *Горная промышленность*. 2023;(S2):144–149. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S2-144-149>

A method for monitoring gas dynamic activity in the marginal part of the coal seam

M.S. Plaksin✉, R.I. Rodin, E.N. Kozyreva

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo,
Russian Federation
✉ plaksin@bk.ru

Abstract: This paper presents the results of the study aimed at solving issues of ensuring the safety of mining operations in the mine development workings in terms of forecasting and controlling gas-dynamic phenomena. The experiment described in the work creates a basis for developing a method to assess gas dynamic activity in the bottomhole part of the coal seam using an innovative device that allows assessing changes in the gas content of the seam along the line from the bottomhole to the geostatic stress zone during the development of preparatory workings.

It is proposed to develop a method of current forecast of emission hazard, which will increase the face advance rates and ensure the safety of mining operations, based on assessing methane mobility in the mine working and the new approach of assessing the gas-dynamic hazard of the formation presented in the paper.

Keywords: geomechanical stresses, gas pressure, development workings, sudden coal and gas outburst, gas content, safety of mining operations

Acknowledgments: The study was carried out at the expense of a grant from the Russian Scientific Foundation No.22-27-20075, <https://rscf.ru/project/22-27-20075/> and a grant from the Kemerovo Region – Kuzbass.

For citation: Plaksin M.S., Rodin R.I., Kozyreva E.N. A method for monitoring gas dynamic activity in the marginal part of the coal seam. *Russian Mining Industry*. 2023;(S2):144–149. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S2-144-149>

Введение

Разработка угольных месторождений приводит к изменению геостатических напряжений вблизи проводимых выработок и формирует зоны повышенного (опорного) горного давления и зоны разгрузки угольного пласта. Данная структуризация массива, особенно на больших глубинах отработки угольных пластов, создает предпосылки к формированию и, самое главное, к реализации различного рода динамических явлений. Разработка высокогазоносных угольных пластов вследствие формирующегося высокого значения давления газа в нем увеличивает возможность реализации горного давления уже в виде газодинамического явления. Для определения критических глубин разработки угольных пластов, обуславливающих необходимость проведения текущего прогноза его удароопасности либо выбросоопасности, проводят региональный прогноз, который базируется на оценке геологоразведочных данных. Представленные результаты исследования в работе направлены в первую очередь на совершенствование текущего прогноза выбросоопасности пласта.

Выбросоопасность угольных пластов

В классическом представлении горное давление в пласте на кромке забоя подготовительной выработки имеет минимально возможное значение и увеличивается вглубь массива до максимального значения в зоне опорного давления, которое в 1,3–1,5 раза выше природных геостатических напряжений. Далее по экспоненциальной зависимости напряжение в пласте снижается до природных значений. При этом значение давления газа в пласте также увеличивается от кромки забоя подготовительной выработки вглубь массива. В зоне повышенных напряжений давление газа должно иметь максимальное значение, т.к. происходит пригрузка пласта в его природном состоянии с максимально возможным газосодержанием, т.е. дегазации пласта в этой зоне происходить не должно.

В работе [1] подтверждаются представления о том, что рост и снижение давления газа в призабойной части угольных пластов происходят почти одновременно с соответствующими изменениями в эпюре напряжений. При этом зона дегазации призабойной части превышает зону разгрузки от напряжений в пласте. Однако в момент обнажения пласта скорость развития фронта механической разгрузки гораздо выше скорости снижения газового давления с учетом невысокой проницаемости пласта в условиях напряженного состояния. Таким образом, возможна ситуация, когда скорость снижения давления газа не будет успевать за динамикой изменения механических напряжений, что приведет к созданию условий реализации упругой энергии газа в виде внезапного выброса угля и газа.

На рис. 1 представлены графики изменения давления для выбросоопасного и невыбросоопасного состояний пласта. С учетом этой особенности регулирование скорости подвигания забоя подготовительной выработки по высокогазоносным угольным пластам является наиболее действенным подходом с точки зрения применения противобросных мер.

В источнике [2] представлена статистика по текущему прогнозу выбросоопасности угольных пластов. Согласно данной статистике не более 10% выполненных текущих прогнозов на выбросоопасность пласта соответствуют категории «опасно». При этом лишь десятая часть прогнозов категории «опасно» могут в действительности реализоваться в виде газодинамических явлений.

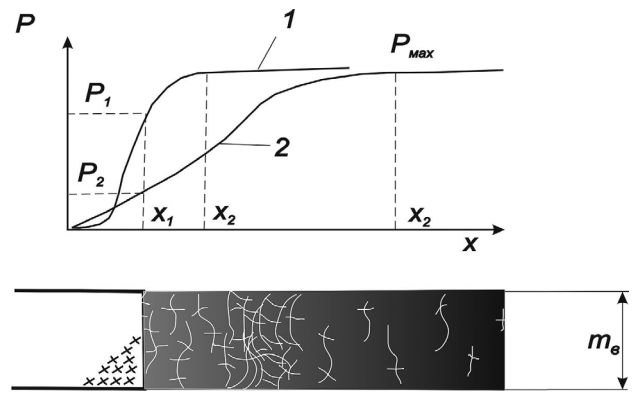


Рис. 1
Варианты изменения давления газа в угольном пласте при проходке подготовительных выработок: 1 – выбросоопасное состояние пласта; 2 – невыбросоопасное состояние пласта; P_1, P_2 – давление газа для соответствующего уровня выбросоопасности, МПа; X_1 – точка, соответствующая значению давления P в зоне разгрузки пласта, м; X_2 – точка, соответствующая максимально возможному значению давления P_{max} при реализации газового потенциала пласта, м
 Источник: [3]

Fig. 1. Options for changing the gas pressure in the coal seam while driving the development working: 1 – outburst hazard; 2 – non-outburst hazard; P_1, P_2 – gas pressure for the appropriate level of outburst hazard, MPa; X_1 – the point corresponding to the pressure value P in the reservoir discharge zone, m; X_2 – the point corresponding to the maximum possible pressure value P_{max} when realizing the gas potential of the reservoir, m
 Source: [3]

Техническое решение по исследованию давления газа в призабойной части угольного пласта

В практике угольной промышленности Кузбасса текущий прогноз границ выбросоопасных зон при проведении подготовительных выработок по пласту осуществляется по начальной скорости газовыделения и выходу бурового штыба из метровых интервалов передовых контрольных шпуров глубиной 5,5 м по пачке нарушенного угля (зона выбросоопасна, если начальная скорость газовыделения – не позднее 2 мин после бурения и выход бурового штыба имеют высокие значения)¹. Довольно часто в производстве применяют геофизические методы прогноза (акустической эмиссии, электромагнитной эмиссии) [4].

Как отмечается в [5], метод текущего прогноза выбросоопасности «по начальной скорости газовыделения и выходу буровой мелочи» имеет наибольшую достоверность. По газовыделению g_n и выходу бурового штыба S_{max} из контрольных шпуров можно также прогнозировать опасность пересекаемой подготовительной выработки зоны пласта по суфлярам, внезапным высыпаниям угля и горным ударам. Для такого дифференцированного текущего прогноза удобно пользоваться номограммой, изображенной на рис. 2 [6].

При этом стоит отметить, что данный метод дает лишь качественную картину выбросоопасности пласта (категория «опасно» или «неопасно»). При этом количественно оценить период нарастания или спада газодинамической опасности невозможно.

¹ Руководство по безопасности «Рекомендации по безопасному ведению горных работ на склонных к динамическим явлениям угольных пластах», утвержденное приказом Ростехнадзора №327 от 21 августа 2017 г. Серия 05. Выпуск 53. М.: ЗАО НТЦ ПБ. 2017. 176 с.

Для проведения исследований газокинетических параметров пласта (начальная скорость газовыделения, газоносность, давление газа) в призабойной части пласта предлагается выполнять измерение объема выделившегося газа, начиная с момента разрушения пласта до окончания процесса герметизации пробы угля в штыбприемник. Технически указанный подход реализуется посредством использования устройства измерения скорости газовой выделенности (УИСГ). В разработке и изготовлении устройства принимали участие авторы данной статьи [7].

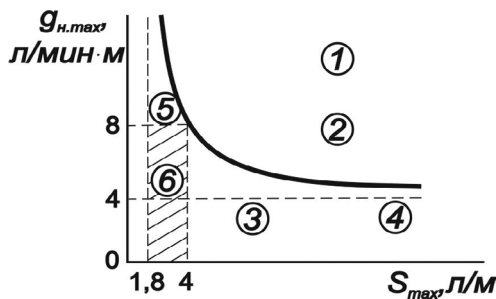


Рис. 2
Номограмма для дифференцированной оценки газодинамической опасности: 1 – опасно по внезапным выбросам угля и газа; 2 – опасно по внезапным выдавливаниям угля; 3 – опасно по горным ударам; 4 – опасно по высыпаниям угля; 5 – опасно по прорывам газа (суфлярам); 6 – неопасно по всем газодинамическим явлениям

Fig.2
Nomograph for differentiated assessment of gas dynamic hazard: 1 – hazardous in terms of sudden emissions of coal and gas; 2 – hazardous in terms of sudden coal squeezing; 3 – hazardous in terms of rock-bursts; 4 – hazardous in terms of coal eruptions; 5 – hazardous in terms of gas breakouts (gas blowers); 6 – not hazardous in terms of all gas dynamic phenomena

Эксперимент

Посредством использования УИСГ был выполнен отбор четырех проб угля в виде штыба в режиме, изолированном от атмосферы горной выработки, как показано на рис. 3. По причине неудовлетворительной герметизации проб в штыбприемниках к достоверному результату эксперимента можно отнести измерения на интервале 2,5–3,5 м.

С момента последнего подвигания забоя подготовительной выработки до проведения эксперимента прошли сутки. Эксперимент проводился с целью совершенствования метода оценки газодинамической активности пласта в его призабойной части с применением результатов высокоточного измерения остаточной газоносности пласта по длине контрольного шпура, пробуренного вглубь массива до зоны природных геостатических напряжений.

В результате проведенного эксперимента величина замеренной газоносности угольного пласта на интервале 2,5–3,5 м прогнозного шпура составила 19,1 м³/т. Высокая точность измерения обеспечивается отсутствием составляющей «LOST GAS» [8; 9] при расчетах величины остаточной газоносности. Таким образом, замеренная величина остаточной газоносности пласта составляет порядка 86% от природной газоносности.

Согласно закону Дарси движение метана из дегазируемого участка пласта с момента его обнажения в сторону забоя выработки определяет градиент давления газа от кромки забоя до границы зоны с природным давлением газа. В свою очередь, низкая проницаемость пласта созда-

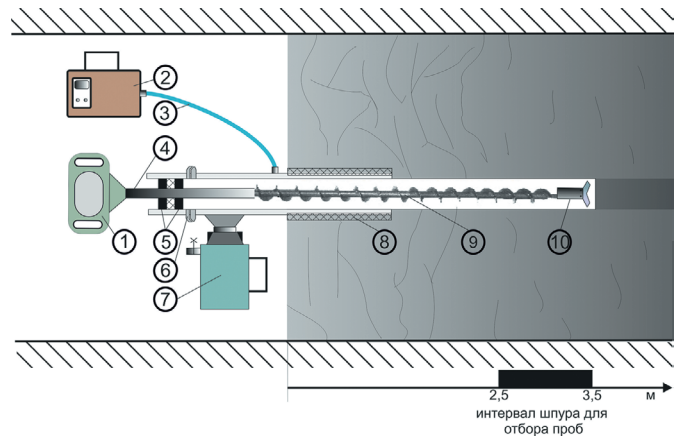


Рис. 3
Схема применения устройства измерения скорости газа (УИСГ) при отборе проб угля: 1 – бурильное сверло; 2 – носимый измерительный комплекс; 3 – пневмомагистраль; 4 – литая штанга; 5 – уплотнители устройства; 6 – быстроразъемное соединение; 7 – штыбприемник; 8 – манжеты герметизатора; 9 – винтовые (транспортные) штанги; 10 – буровой резец диаметром 43 мм

Fig. 3
A schematic view of the gas velocity measuring device (UISG) application in coal sampling: 1 – drill bit; 2 – portable measuring complex; 3 – pneumatic line; 4 – cast rod; 5 – device seals; 6 – quick-release connection; 7 – coal collector; 8 – sealer cuffs; 9 – screw (transport) rods; 10 – a Ø43-mm drilling cutter

ет преграду на пути движения метана к забою выработки. Сама же проницаемость имеет прямую зависимость от изменения напряженного состояния в окрестности проходимой выработки [10; 11].

В работах [3; 12] представлены формулы (1)–(3), которые позволяют выполнять расчет параметров механических напряжений в призабойной зоне участка пласта.

Напряжения на кромке забоя подготовительной выработки, МПа:

$$Kv = \frac{3,6}{1 + e^{-7,28(f-0,75)}}, \tag{1}$$

где f – коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протодьяконова.

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

$$X_m = 2,25\sqrt{S} \left(\frac{1,44}{\frac{Kv}{\gamma H} + 0,44} - 1 \right) (1 - e^{-\alpha t_{cp}}), \tag{2}$$

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

Размер границы призабойной зоны участка пласта до γH , МПа, определим согласно [12]:

$$X_{\gamma H} = \frac{1}{\varphi} \ln \frac{\gamma H}{Kv}, \tag{3}$$

где $\varphi = \frac{2\tau \cdot \tan \rho}{b}$; $\tau = \frac{1 + \sin \rho}{1 - \sin \rho}$; b – половина ширины выработки, м; ρ – угол внутреннего трения угля, град.

В табл. 1 приведены характеристики пласта в исследуемой выработке.

Таблица 1
Горнотехнологические данные
исследуемого участка пласта
23 Никитинского
месторождения
(Центральный путевой уклон)

Table 1
Mining and technological
data of the studied section
of the Nikitinsky deposit
formation 23
(Central track slope)

Показатель, размерность	Значение
Геологоразведочная газоносность, м ³ /т	22
Средний темп подвигания, м/сут	3,5
Мощность обрабатываемого пласта, м	1,6
Коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протоdjяконова	1,3
Глубина пласта в месте отбора проб, м	457

Согласно представленному выше алгоритму расчетные параметры для условий исследуемого участка пласта составляют: $X_{\gamma H} = 4$ м; $X_m = 6,2$ м.

Результаты эксперимента позволяют нам выделить в призабойной части пласта условно три зоны (рис. 4):

- участок I (0–2,5 м) – призабойный участок пласта от кромки пласта до интервала, на котором был проведен замер инновационным методом;
- участок II (2,5–3,5 м) – участок пласта, на котором был выполнен замер газоносности с использованием инновационного метода;
- участок III – призабойный участок пласта за интервалом, на котором был проведен замер инновационным методом.

Изменение давления газа с учетом результатов эксперимента на участках I и III, отображенные на рис. 4, получены методом интерполяции при условии, что на кромке пласта давление равно нулю, а в границах природных механических напряжений – природным значениям давления газа.

Ранее в работе [13] авторами статьи уточнена зависимость газосодержания природного угля от давления газа для условий пласта 23 Никитинского месторождения на основании разработанного инновационного подхода по экспериментальным данным и замеров ВостНИИ² газонасыщенных проб угля, а также с использованием теории Лэнгмюра:

$$X = \frac{abP}{1+bP} + 0,23P - 0,43 \quad (4)$$

Исходя из уравнения (4) значение давления газа при газоносности 22 м³/т (природное значение объема газа в угле) равно 37 атм. В случае с газоносностью, равной 19,1 м³/т (замеренное значение), давление газа будет составлять 28 атм. Таким образом, на рис. 4 красной линией отмечено изменение давления газа с учетом его снижения до 28 атм на интервале 2,5–3,5 м. Оценивая характер изменения давления газа в момент проведения эксперимента в забое подготовительной выработки, можно заключить, что исследуемый участок пласта находился в невыбросоопасном состоянии. При условии устранения проблем с герметичностью штубоприемников снизится доля значений, подлежащих интерполяции, что приведет к повышению качества измерения и снижению времени на обработку фактических данных.

На рис. 5 представлено изменение газового давления в забое подготовительной выработки (спустя 24 ч с момента обнажения) и в борту подготовительной выработки (спустя 120 ч с момента обнажения), рассчитанное по замерам

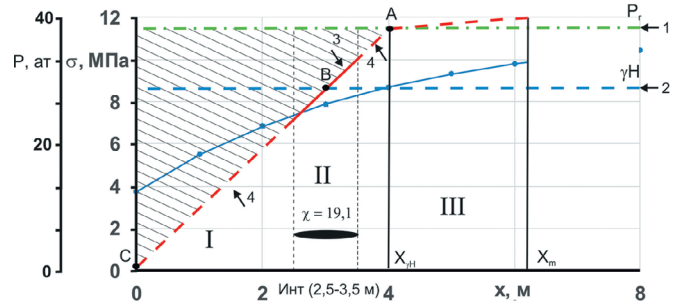


Рис. 4
Графики изменения давления
газа P и напряженного
состояния σ в зоне выполнения
эксперимента (x – газоносность
пробы, см³/г) согласно
рассчитанным X_m ,
 $X_{\gamma H}$: 1 – природное давление
газа на данной глубине
залегания пласта;
2 – геостатическое давление в
месте отбора пробы угля для
фактической глубины
отработки пласта;
3 – давление газа
(по результатам измерения);
4 – давление газа
(интерполяция)

Fig. 4
Graphs of changes in gas
pressure P and the stress
state σ in the test area
(x – gas content of the sample,
cm³/g) according to the
calculated X_m ,
 $X_{\gamma H}$: 1 – natural gas pressure
at a given depth of the
formation;
2 – geostatic pressure at the
coal sampling site for the
actual depth of the formation;
3 – gas pressure (measured
values);
4 – gas pressure
(interpolation)

газоносности по формуле (4). Разность изменения давления газа (рис. 5) спустя сутки и пять суток сопоставима по площади с изменениями нетронутого массива и изменениями давления газа спустя сутки (рис. 4).

Используемый подход при оценке параметров механических напряжений по выражениям (1)–(3) можно представить как «классический» для нормальных условий, в случаях с пересечением выработкой выбросоопасной зоны газонасыщенного угленосного массива ситуация может значительно меняться. В работе [1] на основе данных экспериментальных замеров отмечается, что «средняя глубина областей разгрузки (спада напряжений) в краевой части пластов впереди забоев уменьшалась с 5,1 м на неопасных пластах и в неопасных зонах до 3,8 м в выбросоопасных зонах и до 2,2 м в местах внезапных выбросов. Коэффициент концентрации напряжений в краевой части пластов возрастал с 1,4 на неопасных пластах и в неопасных зонах до 2,4 в выбросоопасных зонах, а в местах внезапных выбросов достигал 4,7». С учетом взаимосвязи газогемеханических процессов в призабойной зоне угленосного массива с использованием разработанного подхода появляется возможность контроля и выявления «экстремальных» изменений напряженного состояния приконтурной части угольного пласта. Например, на основании вышесказанного можно отметить, что в результате представленной ситуации реализации газового давления в течение 4 сут, отраженной на рис. 5, для условий пласта 23 на 1 м ширины выработки через поверхность пласта за четверо суток выделится более 2 м³ метана, в случае реализации аномального снижения размеров области разгрузки в призабойной части пласта и снижения проницаемости за счет повышения концентрации напряжений можно ожидать снижения газовыделения через указанную поверхность до 1 м³ и менее при прочих равных условиях. Столь значительные изменения дебитов метана в атмосферу выработки возможно контролировать на основании данных штатной системы аэрогазового контроля.

2 Каталог метаноемкости углей Кузбасса. Кемерово: ВостНИИ. 1968. 32 с.

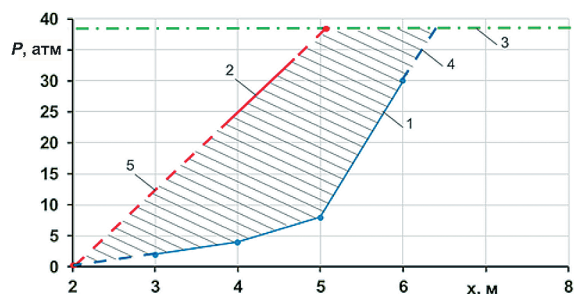


Рис. 5
Измерение давления газа в приконтурной части пласта с момента обнажения пласта: 1, 2 – давление газа по результатам измерений спустя пять суток и одни сутки соответственно; 3 – природное давление газа на данной глубине залегания пласта; 4, 5 – давление газа (интерполяция) спустя пять суток и одни сутки соответственно

Fig. 5
Measurement of the gas pressure in the marginal part of the formation from the moment of the formation exposure: 1, 2 – measured gas pressure after 5 days and one day, respectively; 3 – natural gas pressure at a given depth of the formation; 4, 5 – gas pressure (interpolation) after 5 days and one day, respectively

Преимуществами представленного метода являются: первое – метод позволяет количественно, а не качественно (опасно – неопасно) оценивать газодинамическую опасность, в отличие от нормативного метода (метода бурения прогнозных шпуров и оценки начальной скорости газовой выделенности из них); второе – в отличие от нормативного метода в представленном методе бурение контрольных шпуров не требуется выполнять на регулярной основе, т.е. метод условно является «полубесконтактным».

Уточнения касательно второго преимущества: анализ результатов прогноза выбросоопасности за последние десятилетия показал, что подготовительные выработки, проводимые по потенциально выбросоопасным участ-

кам угольных пластов, составляют не более 10% от общей их протяженности, т.е. на протяжении 90% проведения выработок прогноз выбросоопасности не требуется. Отслеживание приближения выработки к потенциально выбросоопасным участкам предлагается по объему газа, поступающему в выработку. В работе [14] указано, что при подходе выработки к выбросоопасным зонам объем поступающего газа в выработку из пласта может увеличиваться до 10% на одно продвижение подготовительного забоя (на 0,8 м). На рис. 4 и рис. 5 площадь заштрихованной части давления газа является величиной прямо пропорционально изменяемой с объемами поступающего в выработку газа. То есть применение метода оценки распределения газа в призабойной зоне пласта необходимо в случае изменения объема поступающего метана в выработку на величину более 3–7% на одно продвижение, наблюдаемых не менее пяти продвижений забоя подряд, для уточнения газодинамической активности.

Заключение

Представлены результаты измерений газового давления в приконтурной части угольного пласта, выполненные с использованием инновационного метода отбора проб.

Величина изменения газового давления вглубь массива за первые сутки после остановки забоя выработки близка (сопоставима) с величиной изменения в последующие четверо суток.

Выполненный анализ указывает на возможность использования представленного способа для количественной оценки газодинамической опасности в призабойной части пласта при проведении подготовительной выработки.

В совокупности с оценкой метанообильности выработки по данным системы аэрогазового контроля шахты появляется возможность в «полубесконтактном» режиме выполнять мониторинг газодинамической ситуации в призабойной части пласта, что позволит значительно повысить темпы продвижения забоя подготовительных выработок без ущерба для безопасности ведения горных работ.

Список литературы

1. Фейт Г.Н. *Геомеханические основы прогноза и снижения выбросоопасности угольных пластов на больших глубинах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук.* М.: 1994. 53 с.
2. Зыков В.С. *Внезапные выбросы угля и газа и другие газодинамические явления в шахтах.* Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН; 2010. 333 с.
3. Чернов О.И., Пузырев В.Н. *Прогноз внезапных выбросов угля и газа.* М.: Недра; 1979. 296 с.
4. Niu Y., Wang E., Li Z., Gao F., Zhang Z., Li B., Zhang X. Identification of Coal and Gas Outburst-Hazardous Zones by Electric Potential Inversion During Mining Process in Deep Coal Seam. *Rock Mechanics and Rock Engineering.* 2022;55(6):3439–3450. <https://doi.org/10.1007/s00603-022-02804-z>
5. Щадрин А.В., Клишин В.И. Комбинация подсистем многофункциональной системы безопасности шахты для прогноза динамических явлений. *Известия Тульского государственного университета: Науки о Земле.* 2023;(1):81–108. <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2023-1-1-81-108>
6. Ковалев В.А., Пузырев В.Н., Шевченко Л.А. *Аэрология горных предприятий.* Кемерово: Кузбасский гос. техн. ун-т им. Т.Ф. Горбачева, 2013. 161 с.
7. Плаксин М.С., Альков В.И., Родин Р.И., Рябцев А.А., Козырева Е.Н., Худынцев Е.А. *Устройство для определения газоносности угольного пласта.* Патент №2021100534 на изобретение Российская Федерация. Заявл. 14.01.2021, опублик. 23.03.2022, бюл. №9. 4 с.
8. Liu Y., Du Y., Li Z., Zhao F., Zuo W., Wei J., Mitri H. A rapid and accurate direct measurement method of underground coal seam gas content based on dynamic diffusion theory. *International Journal of Mining Science and Technology.* 2020;30(6):799–810. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.07.004>
9. Wang Z.Y., Cheng Y.P., Wang L., Zhou H.X., He X.X., Yi M.H., Xi C. Characterization of pore structure and the gas diffusion properties of tectonic and intact coal: Implications for lost gas calculation. *Process Safety and Environmental Protection.* 2020;135:12–21. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.12.020>
10. Плаксин М.С., Родин Р.И., Альков В.И. Обоснование технологии ориентированного поинтервального гидроразрыва угольного пласта через дегазационные скважины. *Горный информационно-аналитический бюллетень.* 2018;(S49):98–105. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-11-49-98-105>

11. Ван Л., Цзян Б., Ван Ц., Ван Ц., Цюй Ч. Влияние локальных напряжений и трещин на проницаемость угольного пласта в блоке Линьфэнь (юго-восточная часть бассейна Ордос, Китай). *Геология и геофизика*. 2018;59(3):372–385. <https://doi.org/10.15372/GiG20180308>
12. Мурашев В.И. *Разработка научных основ безопасного ведения горных работ в угольных шахтах на основе исследования геомеханических процессов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук*. М.; 1980. 35 с.
13. Плаксин М.С., Родин Р.И. Влияние растворенного метана на погрешность измерений при определении газоносности угольного пласта прямыми методами. *Кокс и химия*. 2022;(3):16–20. https://doi.org/10.52351/00232815_2022_03_16
14. Плаксин М.С. *Разработка метода оценки газодинамической активности угольного пласта при проведении подготовительных выработок: автореф. дис. ... канд. техн. наук*. Кемерово; 2012. 24 с.

References

1. Feit G.N. *Geomechanical foundations of forecasting and reducing the emission hazard of coal seams at great depths*. [Abstract of Dr. Sci. (Eng.) Thesis]. 1994. 53 p. (In Russ.)
2. Zykov V.S. *Sudden emissions of coal and gas and other gas-dynamic phenomena in mines*. Kemerovo: Institute of Coal and Coal Chemistry SB RAS; 2010. 333 p. (In Russ.)
3. Chernov O.I., Puzyrev V.N. *Forecast of sudden emissions of coal and gas*. Moscow: Nedra; 1979. 296 p. (In Russ.)
4. Niu Y., Wang E., Li Z., Gao F., Zhang Z., Li B., Zhang X. Identification of Coal and Gas Outburst-Hazardous Zones by Electric Potential Inversion During Mining Process in Deep Coal Seam. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2022;55(6):3439–3450. <https://doi.org/10.1007/s00603-022-02804-z>
5. Shadrin A.V., Klishin V.I. Combination of multifunctional subsystems mine safety systems for predicting dynamic phenomena. *Izvestiya Tulkogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2023;(1):81–108. (In Russ.) <https://doi.org/10.46689/2218-5194-2023-1-1-81-108>
6. Kovalev V.A., Puzyrev V.N., Shevchenko L.A. *Aerology of mining enterprises*. Kemerovo: Kuzbass State University. T.F. Gorbachev Technical University; 2013. 161 p. (In Russ.)
7. Plaksin M.S., Alcov V.I., Rodin R.I., Ryabtsev A.A., Kozyreva E.N., Khudyntsev E.A. *A device for determining the gas content of a coal seam*. Patent No.2021100534 C1 RF, E21F 7/00. Announced 14.01.2021; Publ. 23.03.2022. Byul. No. 9; Priority 14.01.2021. 4 p. (In Russ.)
8. Liu Y., Du Y., Li Z., Zhao F., Zuo W., Wei J., Mitri H. A rapid and accurate direct measurement method of underground coal seam gas content based on dynamic diffusion theory. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020;30(6):799–810. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.07.004>
9. Wang Z.Y., Cheng Y.P., Wang L., Zhou H.X., He X.X., Yi M.H., Xi C. Characterization of pore structure and the gas diffusion properties of tectonic and intact coal: Implications for lost gas calculation. *Process Safety and Environmental Protection*. 2020;135:12–21. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.12.020>
10. Plaksin M.S., Rodin R.I., Alkov V.I. The rationale for technology of orienting interval hydraulic fracturing of the coal seam degasification wells using. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2018;(S49):98–105. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-11-49-98-105>
11. Wang L., Jiang B., Wang J., Wang J., Qu Z. Effects of in-situ stress and joint on permeability of the coal bed in linfen block, southeastern Ordos basin, China. *Russian Geology and Geophysics*. 2018;59(3):372–385. (In Russ.) <https://doi.org/10.15372/GiG20180308>
12. Murashev V.I. *Development of scientific foundations of safe mining operations in coal mines based on the study of geomechanical processes: abstract. dis. for a sausage*. [Abstract of Dr. Sci. (Eng.) Thesis]. Moscow; 1980. 35 p. (In Russ.)
13. Plaksin M.S., Rodin R.I. Influence of dissolved methane on the error in direct determination of a coal bed's gas content. *Coke and Chemistry*. 2022;65(3):94–97. <https://doi.org/10.3103/S1068364X22030061>
14. Plaksin M.S. *Development of a method for assessing the gas-dynamic activity of a coal seam during preparatory workings*. [Abstract of PhD Thesis]. Kemerovo; 2012. 24 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Плаксин Максим Сергеевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация; e-mail: plaksin@bk.ru

Родин Роман Иванович – научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация; e-mail: rodinri@mail.ru

Козырева Елена Николаевна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация; e-mail: Kozyrevaen@ic.sbras.ru

Information about the authors

Maksim S. Plaksin – Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation; e-mail: plaksin@bk.ru

Roman I. Rodin – Researcher, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation; e-mail: rodinri@mail.ru

Elena N. Kozyreva – Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation; e-mail: Kozyrevaen@ic.sbras.ru

Article info

Received: 16.07.2023

Revised: 14.08.2023

Accepted: 18.08.2023

Информация о статье

Поступила в редакцию: 16.07.2023

Поступила после рецензирования: 14.08.2023

Принята к публикации: 18.08.2023