

ДИНАМИКА МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ В ЗОНАХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ

М.С. Усенбеков¹, Т.К. Исабек¹, А.И. Полчин², А.Е. Жумабекова¹

¹ НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»,
Караганда, Республика Казахстан, e-mail: aila1980@mail.ru

² Угольный департамент, АО «Арселор Миттал Темиртау», Сарань, Республика Казахстан

Аннотация: Вследствие увеличения газового и горного давления с углублением горных работ на газообильных угольных пластах шахт Карагандинского бассейна происходит резкое повышение опасности возникновения внезапных выбросов угля и газа метана. С увеличением глубины горизонтов нарастает частота и сила энергии внезапного выброса. Внезапные выбросы в Карагандинском бассейне в основном происходят в зонах геологических нарушений. Приведены результаты исследований динамики газовыделения при приближении проходческих забоев к зонам нарушений и при их пересечении на шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау». Собраны показатели газовыделения в подготовительных выработках при пересечении геологических нарушений. Обследовались подготовительные горные выработки 5 шахт бассейна. Результаты анализа на выбросоопасных пластах в исходящей струе выработок показали, что на пластах Карагандинской свиты концентрация метана при подходе к нарушению была ниже, чем при его пересечении в 47% случаях, выше – в 13%, равна – в 40%. Результаты исследований по установлению динамики газовыделения при ведении горных работ на нарушенных участках угольного массива и результаты экспериментальных работ применительно к горно-геологическим условиям шахт Карагандинского бассейна является актуальной научно-технической задачей, которая позволяет распознавать опасность приближения забоя к тектоническому нарушению и тем самым способствовать принятию эффективных решений по снижению опасности внезапных выбросов.

Ключевые слова: уголь, метан, внезапные выбросы, сорбционные свойства, кинетика десорбции, горные работы, тектонические нарушения, динамика газовыделения.

Благодарность: Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета по науке Министерства образования и науки Республики Казахстан, грант № AP13268841.

Для цитирования: Усенбеков М. С., Исабек Т. К., Полчин А. И., Жумабекова А. Е. Динамика метановыделения при ведении горных работ в зонах геологических нарушений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 12. – С. 141–151. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_12_0_141.

Methane emission dynamics in mining in zones of geological faults

M.S. Usenbekov¹, T.K. Isabek¹, A.I. Polchin², A.E. Zhumabekova¹

¹ NJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University»,
Karaganda, Republic of Kazakhstan, e-mail: aila1980@mail.ru

² Coal Department, «Arcelor Mittal Temirtau» JSC, Saran, Republic of Kazakhstan

Abstract: The increase in gas pressure and in overlying rock pressure in deeper level mining of highly gassy coal seams in mines of the Karaganda Basin elevates hazard of coal and methane outbursts. Furthermore, the frequency and energy of outbursts jump. Outbursts in the Karaganda Basin occur mainly in the zones of geological faults. This study describes dynamics of gas emission as heading fronts approach and intersect the zones of faults in mines of the Coal Department of ArcelorMittal Temirtau. The measures of gas emission are collected in temporary roadways as they intersect geological faults. The scope of the studies embraced temporary roadways in 5 mines in the Basin. The analyses of return ventilation air in the temporary roadways driven in outburst-hazardous coal seams show that methane concentration on approach of a fault is lower than on its intersection in 47% of cases, is higher in 13% of cases and is the same in 40% of cases. Determination of gas emission dynamics during mining in faulted areas of coal seams and the experimental research in the geological conditions of mines in the Karaganda Basin is a topical problem of science and technology as it enables detection of hazards as production faces approach tectonic faults, which promotes effective decision-making on the outburst hazard risk reduction.

Key words: coal, methane, outbursts, adsorption properties, desorption kinetics, mining operations, tectonic faults, gas emission dynamics.

Acknowledgements: The study was supported by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Grant No. AP13268841.

For citation: Usenbekov M. S., Isabek T. K., Polchin A. I., Zhumabekova A. E. Methane emission dynamics in mining in zones of geological faults. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(12):141-151. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_12_0_141.

Введение

Углубление рабочих горизонтов при ведении горных работ на шахтах Карагандинского угольного бассейна до 600 м от поверхности и более повышает опасность внезапных выбросов угля газа. Причинами тому является повышение газового давления в пласте до 5,0 МПа и более, увеличение горного давления. Эти факторы вызывают увеличение частоты и энергии внезапного выброса. Если в интервале глубин 200–300 м в среднем на внезапный выброс приходится 43 т угля и 4700 м³ метана, то в интервале глубин 400–560 м эти параметры соответственно увеличились до 151,7 т угля и 11 600 м³ газа.

Внезапные выбросы в Карагандинском бассейне в основном происходят в зонах геологических нарушений уголь-

ных пластов [1]. Сорбционная емкость углей в нарушенных зонах достигает более 30 м³ на тонну угля [2].

Настоящая работа направлена на установление закономерностей и динамики газовыделения при ведении горных работ на нарушенных участках с учетом изменения напряженно-деформированного состояния вследствие влияния горных работ с целью прогнозирования о приближении к нарушениям.

Методы и материалы

Анализ результатов одновременных замеров напряжений и давления газа в массиве позволили установить, что фильтрационные свойства угля в области интенсивного разрушения угля достаточно низки. Вследствие чего процесс дегазации угольного массива в зоне влияния

выработки происходит медленно и растянут во времени, исчисляемый часами и даже сутками.

Это можно объяснить результатом воздействия пород кровли, приводящим к сжатию предварительно разрушенной массы, а также десорбционными свойствами углей различных фракций.

Исследованиями десорбционных свойств газонасыщенного угля [3, 4] различной степени дробления установлено, что крупность фракций играет решающую роль в скорости десорбции.

При проведении горной выработки по угольному пласту вследствие горного давления по характеру напряженно-деформированного состояния впереди забоя можно выделить три области, существенно отличающихся друг от друга (рис. 1). Ближайшая к забою область I характеризуется высокой степенью разрушения угольного пласта. Устойчивость этой области определяется в основном силами сцепления и трения между частицами [5, 6].

Протяженность зоны разрушения I для различных горно-геологических условий колеблется от 0,1 до 1,5 м.

Особенностью области II является разрывы пачек под действием нагрузок со стороны кровли с образованием блоков с интенсивным трещинообразова-

нием параллельно плоскости забоя [7–9]. Протяженность этой области колеблется в пределах 2–3 м.

Третья область крупноблочного разрушения характеризуется переходными процессами с области упругих деформаций в среду пластически-упругую [10].

Процессы десорбции метана вследствие влияния горных работ и типичный пример кинетики десорбции из отдельных мелких фракций и средней угольной пробы приведены на рис. 2. Сорбционная метаносность этой пробы составляла 21,5 см³/г. Из рисунка видно, что в течение первой секунды после сброса давления газа из фракций размером до 100 мкм выделяется практически весь сорбированный углем метан. Из средней пробы угля, содержащей частицы больших размеров, газовыделение протекает значительно медленнее [11–13]. Поэтому при расчете интенсивности внезапного выброса важно знать степень нарушенности угля [14].

В самих блоках после десорбции движение газа проходит в режиме ламинарной фильтрации.

В таком режиме, как показывает практика, абсолютное значение количества метана, выделившегося из призабойной области в выработках сечением 14–17 м² по пласту D₆ в условиях УД АО

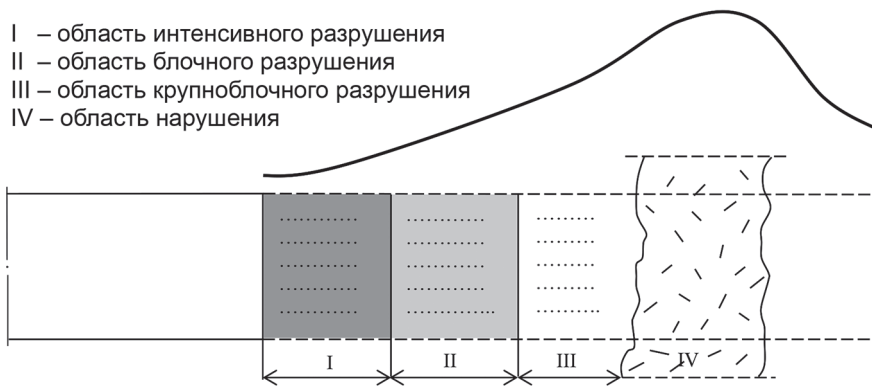


Рис. 1. Области разрушения угля впереди забоя подготовительной выработки

Fig. 1. Areas of destruction of coal ahead of the face of production

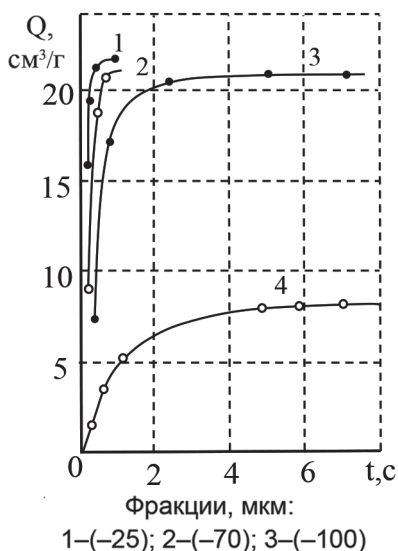


Рис. 2. Кинетика десорбции метана из отдельных фракций (1–3) и средней пробы угля (4)

Fig. 2. Kinetics of methane desorption from rare fractions (1–3) and average coal sample (4)

«АрселорМиттал Темиртау» не превышает 2,05 – 3,0 м³/мин при скорости продвижения 3 – 4 м/сут.

Описание объекта исследований

Известно, что почти все внезапные выбросы на шахтах Карагандинского бассейна произошли в зонах геологических нарушений: взбросы, надвиги, сдвиги, сбросы; крупные и мелкие плитчативные нарушения [23].

Внезапные выбросы угля и газа в большинстве случаев возникают на участках пластов, разорванных дизъюнктивами, и приурочены к плоскостям смесителей дизъюнктивов или располагаются ниже их [15].

Наиболее потенциально выбросоопасны интенсивно-складчатая текстура пласта и землистая структура угля. Такие пласты, пачки и слагающие угли в нетронутом горными работами массиве характеризуются низкой газопроницаемостью, а при обнажении забоями выработок способны легко разрушаться

как хрупкое тело и бурно выделять из себя газ.

Важными отличительными признаками выбросоопасных структур угля в зонах нарушений угольных пластов, где чаще всего происходят внезапные выбросы, следует назвать интенсивную трещиноватость, а следовательно, и пустотность, меньшую прочность, чем уголь в ненарушенном массиве. Зачастую прочность на отрыв не превышает 0,005 МПа. Среднее расстояние между трещинами, определяющее степень дробления, достигает 0,01 мм и менее.

Сильная нарушенность структуры в выбросоопасных зонах проявляется также в повышенной скорости начальной газоотдачи [16]. Анализ зон нарушения сплошности, вычисленных моделированием НДС между дизъюнктивным нарушением и выработкой, показывает, что возможное соединение этих зон от действия растягивающих напряжений может быть одной из причин возникновения газодинамических явлений [17].

Тектоника ослабляет первоначальную связь частиц, нарушает микропористую структуру угля и тем самым открывает доступ к сорбционному объему. Это повышает способность угля быстро отдавать газ при разгрузке пласта от напряжений. При обнажении пласта в тектонически нарушенном, перетертом угле имеется возможность быстрого выхода сорбированного метана [18 – 20].

Фильтрационная способность в этих условиях весьма мала. Под действием опорного давления впереди забоя газопроницаемость нарушенной структуры снижается еще в 3 – 4 раза [21, 22].

На выбросоопасных участках низкая газопроницаемость этих структур обеспечивает сохранение высокого давления газа, заключенного в материале. Наличие в порах и трещинах выбросоопасного материала, газа под давлением, составляющем несколько мегапаскалей,

является чрезвычайно важным обстоятельством. При таких давлениях газ обладает очень большой энергией. Так, каждый кубометр газа, имеющий давление 2,5–4,0 МПа, при адиабатическом расширении до нормального состояния совершает работу порядка $0,5 \times 10^6$ Дж. При этом количество только свободного газа составляет более 1 м^3 на каждый кубометр угля.

Результаты

Импульсные выделения метана в забой выработок в зонах пересечения геологических нарушений происходят внезапно, спонтанно и нередко приводят к повышению концентрации метана до взрывоопасного состояния [9, 22].

Как было ранее отмечено, угольный массив впереди подготовительного забоя подвергается дезинтеграции под действием горного давления. Из трех областей дезинтеграции массива наиболее подвергнута область призабойной части. Однако степень измельчения угля до класса — 100 мкм составляет незначительную часть их объема. Большая часть массива представляет собой крупно-фракционный состав от 10 мм и выше. В таких условиях десорбция газа будет активно осуществляться из первой области с наибольшим содержанием класса до 100 мм, а также на границах разрушений крупных блоков.

Рассмотрим ситуацию приближения проходческого забоя к зоне геологического нарушения.

Предположим, что пик опорного давления приходится на область нарушения (рис. 1). При этом, от нарушения до

груды забоя расстояние составляет 6–7 м. Фильтрационная способность структуры угля нарушенного участка под действием повышенного опорного давления снижается в 3–4 раза. Призабойная часть от груды забоя до нарушения «перемычка» по мере приближения забоя выработки проходила I–II–III стадии дезинтеграции. На участках I–II–III движение десорбированного газа проходит в режиме ламинарной фильтрации.

То есть в такой ситуации выбросоопасный участок никоим образом не проявляет себя как источник повышенной десорбции и активного газовыделения.

Достоверность сделанного вывода подтверждается данными исследований интенсивности газовыделения при приближении к нарушенным участкам в проходческих забоях.

С целью установления динамики газовыделения при приближении к зонам нарушений и при их пересечении на шахтах УД АО «АрселорМиттал Темиртау» собраны показатели газовыделения в подготовительные выработки при пересечении геологических нарушений. Обследовались выработки на следующих шахтах: «Абайская», «Саранская», им. Кузембаева, «Казахстанская», им. Костенко.

В обследовании были задействованы пласты Карагандинской свиты k_2, k_3, k_7, k_{10} и Тентекской свиты — D_6 . Общее количество задействованных выработок — 10, из них по пласту D_6 — 2.

Замеры содержания метана на исходящей струе выработки производились на расстоянии 5–20 м при подходе к нарушению, при переходе нарушения и

Усредненные показатели по всем выработкам Average indicators for all workings

Концентрация CH_4 на исходящей забоя до нарушения, %	Концентрация CH_4 на исходящей забоя при пересечении нарушения, %	Концентрация CH_4 на исходящей забоя после нарушения, %
0,260	0,397	0,297

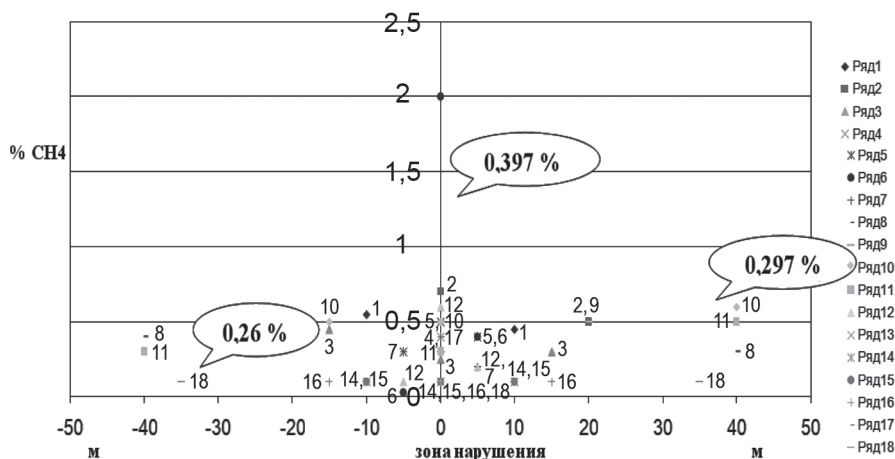


Рис. 3. Содержание метана на исходящей струе при пересечении нарушений на шахтах бассейна
 Fig. 3. The content of methane in the original jet pool in the mines

при отходе на расстоянии от 5 до 40 м. Результаты анализа показали, что на выбросоопасном пласте Д₆ содержание метана в исходящей струе выработки при подходе к нарушению в 67% случаев было ниже, чем при пересечении нарушений и после прохождения нарушения, на пластах Карагандинской свиты концентрация метана при подходе к нарушению была ниже, чем при его пересечении в 47% случаях, выше — в 13%, равна — в 40%.

Усредненные показатели по всем выработкам (таблица) распределились следующим образом (рис. 3)

При дальнейшем продвижении проходческого забоя к зоне геологического нарушения возможно развитие внезапного выброса. «Перемычка» под действием газового давления в пласте, горного давления и снижения ее толщины за счет работы проходческого комбайна теряет несущую способность, разрушается и обнажает плоскость выбросоопасной структуры.

За обнажением выбросоопасной зоны начинается процесс непосредственно выброса: газовое давление, в сочетании с горным давлением, отделяет от массива частицы угля, расширяющийся газ

транспортирует материал в горную выработку, процесс отделения многократно повторяется, вглубь нарушенной зоны угля распространяется фронт дробления и выноса материала. Для развития выброса в условиях шахт Карагандинского бассейна преобладающее значение имеет газовое давление, так как уголь в выбросоопасной зоне представлен высокотрещиноватой, нарушенной структурой с низкой прочностью. Давление газа в выбросоопасной структуре угольного массива составляет несколько МПа при очень низкой прочности материала на отрыв — до 0,005 МПа. На границе перехода волны дробления внутренняя энергия газа, при практически атмосферном давлении за пределами волны дробления, разрывает частицы материала до тонкодисперсной массы — материал практически взрывается, открывая при этом новую плоскость для разрушения. Таким образом, волна дробления с большой скоростью перемещается вглубь массива выбросоопасной структуры.

Перемещение волны дробления вглубь массива происходит в основном за счет энергии свободного газа. Одновременно вслед за дезинтеграцией выбросоопасной структуры на мелкодисперсные части-

цы идет активная десорбция метана, находящегося в микро- и макропорах материала.

Обсуждение результатов

Десорбционные процессы усиливают газовый поток при дальнейшем разрушении и перемещении массы материала по полости выброса и по горной выработке.

Теоретически скорость распространения волны дробления близка к скорости звука в этой среде. Практически скорость волны дробления может составлять 100 м/с.

При достижении волной дробления границ выбросоопасной зоны вся дробленая масса материала, под действием динамического скоростного напора расширяющегося газа, направляется в выработку. В первую очередь перемещаются пылевидные, порошкообразные и мелкодробленные частицы. Более крупные куски материала требуют большего скоростного напора, поэтому они отстают от потока газа и мелких частиц.

Заключение

При подходе проходческого забоя к зонам геологических нарушений десорбционные процессы в самой нарушенной зоне и прилегающим к ним ненарушенным участкам угольного пласта существенно не отличаются по своей кинетике от обычных процессов десорбции при проведении выработки по ненарушенным участкам. В некоторых ус-

ловиях активность газовыделения в проходческом забое может быть даже меньше вследствие специфических свойств перемятых нарушенных углей в зонах нарушений — пласт уменьшает газоотдачу в 3–4 раза при попадании в область повышенного горного давления и удерживает в себе газ до момента обнажения плоскости нарушенного участка.

Единственным способом распознать опасность приближения забоя к тектоническому нарушению является разведочное бурение на глубину до 30 м в соответствии с разработанными для конкретных условий паспортами [21]. При попадании разведочной скважины в массив угля с нарушенной выбросоопасной структурой, где уголь имеет большую трещиноватость, повышенную пустотность, а, следовательно, и газонасыщенность свободным и сорбированным газом, малую прочность, повышенную скорость начальной газоотдачи, происходят процессы, аналогичные выбросу угля и газа в выработку, только в уменьшенном масштабе. Проявление этих процессов наблюдается в виде следующих признаков:

- импульсное интенсивное газовое давление из буримой скважины;
- интенсивное импульсное выделение диспергированной пылевидной фракции угля (бешеная мука) размером < 0,01 мм;
- снижение температуры газа, исходящего из скважины, на 5–7 °С при адиабатическом его расширении с давления в несколько МПа до атмосферного.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Айтпаева А. Р., Исабек Т. К., Ходжаев Р. Р., Филатов И. А.* К вопросу связи внезапных выбросов с геологическими нарушениями угольных пластов // Горный журнал Казахстана. — 2018. — № 6. — С. 15–17.
2. *Байкенжина А. Ж.* Выявление и картирование тектонических нарушений как индикаторов выбросоопасных зон методом МОГТ-3D в условиях Карагандинского угольного бассейна // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2018. — Т. 329. — № 8. С. 145–155.

3. Петросян А. Э., Иванов Б. М., Крупеня В. Г. Теория внезапных выбросов: Монография. — М.: Наука, 1983. — 151 с.

4. Ульянова Е. В., Малинникова О. Н., Пашичев Б. Н., Малинникова Е. В. Микроструктура ископаемых углей до и после газодинамических явлений // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2019. — № 5. — С. 10–17. DOI: 10.15372/FTPRPI20190502.

5. Tang Z., Yang S., Zhai C., Xu Q. Coal pores and fracture development during CBM drainage: Their promoting effects on the propensity for coal and gas outbursts // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2018, vol. 51, pp. 9–17. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-12-0-88.

6. Малинникова О. Н., Ульянова Е. В., Харченко А. В., Пашичев Б. Н. Влияние микроструктуры угля на газонасыщенность призабойной зоны // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2020. — № 3. — С. 25–33. DOI: 10.15372/FTPRPI20200303.

7. Фельдман Э. П., Василенко Т. А., Калугина Н. А. Физическая кинетика системы угольный пласт — метан: массоперенос, предвыбросные явления // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2014. — № 3. — С. 46–65. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-0-108-120.

8. Zhao Y., Song H., Liu S., Zhang C., Dou L., Cao A. Mechanical anisotropy of coal with considerations of realistic microstructures and external loading directions // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2019, vol. 116, pp. 111–121. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2019.03.005.

9. Минеев С. П., Кочерга В. Н., Янжула А. С. Оценка импульсного метановыделения в зонах геологических нарушений при обрушении пород кровли // Уголь Украины. — 2016. — № 1. — С. 11–18. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-101-111.

10. Liu G., Liu J., Liu L., Ye D., Gao F. A fractal approach to fully-couple coal deformation and gas flow // Fuel. 2019, vol. 240, pp. 219–236. DOI: 10.1016/j.fuel.2018.11.140.

11. Алексеев А. Д., Фельдман Э. П., Василенко Т. А. Массоперенос метана в угле, обусловленный совместной фильтрацией и диффузией // Физика и техника высоких давлений. — 2004. — Т. 14. — № 3. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/168089>.

12. Gent Jiabao, Xu Jiang, Nie Wen, Peng Zhou jian, Zhang Shaolin, Luo Xiaohong Regression analysis of major parameters affecting the intensity of coal and gas outbursts in laboratory // International Journal of Mining Science and Technology. 2017, vol. 27, pp. 327–332. DOI: 10.1016/j.ijmst.2017.01.004.

13. Meng Tang, Xiangtao Kang, Jiachi Ren, Lin Gao, Zhenqian Ma, Dezhong Kong Mining stress distribution and gas drainage application of coal seam group under fault influence // Disaster Mechanisms Linked to the Role of Fluids in Geotechnical Engineering. 2022, vol. 2022, article 8432024. DOI: 10.1155/2022/8432024.

14. Исабек Т. К., Айтпаева А. Р., Хуанган Н., Шаймерденова Р. Т. Моделирование выбросоопасного состояния массива с дизъюнктивным нарушением и горной выработкой методом конечных элементов // Уголь. — 2020. — № 6. — С. 55–60. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-6-55-61.

15. Chaojun Fan, Sihui Li, Mingkun Luo, Du Wenzhang, Zhenhua Yang Coal and gas outburst dynamic system // International Journal of Mining Science and Technology. 2017, vol. 27, no. 1. DOI: 10.1016/j.ijmst.2016.11.003.

16. Айтпаева А. Р., Исабек Т. К., Воробьев А. Е. Механизм возникновения внезапного воспламенения угля и газа в зоне геологических нарушений / Материалы V Международной научно-практической конференции «Наука и образование в современном мире: вызовы XXI века». — Нур-Султан, 2019. — С. 113.

17. Li Zhang, Hui Zhang, Hao Guo A case study of gas drainage to low permeability coal seam // International Journal of Mining Science and Technology. 2017, vol. 27, no. 4, pp. 687–692. DOI: 10.1016/j.ijmst.2017.05.014.

18. Минеев С. П., Прусова А. А., Потапенко А. А., Кочерга В. Н. Оценка возможности импульсного выделения сорбированного метана из угольного пласта // Уголь Украины. – 2014. – № 10. – С. 31–36.

19. Радченко С. А., Матвиенко Н. Г. Методы быстрой оценки в забоях интенсивности метановыделения из угля и пород для повышения безопасности // Безопасность труда в промышленности. – 2014. – № 4. – С. 34–39.

20. Алиев С. Б., Ходжаев Р. Р., Исабек Т. К., Демин В. Ф., Шонтаев А. Ж. Оценка эффективности бурения опережающих скважин в области повышенных напряжений массива на газопроявление из угольного пласта // Уголь. – 2020. – № 11. – С. 10–12. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-11-10-12.

21. Айтпаева А. Р., Исабек Т. К., Хуанган Н. Мероприятия по предотвращению выбросоопасности угольных пластов в зонах геологических нарушений // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. – 2019. – № 1. – С. 68–75.

22. Минеев С. П., Янжула А. С., Кочерга В. Н., Прусова А. А. Внезапные выделения метана импульсного характера в зонах геологических нарушений / Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. № 123. – Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2015. – С. 48–66. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/135896>.

23. Каталог внезапных выбросов угля и газа, происшедших на шахтах Карагандинского бассейна. – Караганда: УД АО «АрселорМиттал Темиртау», 2018. – 177 с. **ГІАБ**

REFERENCES

1. Aitpaeva A. R., Isabek T. K., Khodzhaev R. R., Filatov I. A. On the issue of connection of sudden outbursts with geological disturbances of coal seams. *Mining Journal of Kazakhstan*. 2018, no. 6, pp. 15–17. [In Russ].

2. Baikenzhina A. Zh. Identification and mapping of tectonic faults as indicators of outburst zones using the CDP-3D method in the conditions of the Karaganda coal basin. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2018, vol. 329, no. 8, pp. 145–155. [In Russ].

3. Petrosyan A. E., Ivanov B. M., Krupenya V. G. *Teoriya vnezapnykh vybrosov*: Monografiya [Theory of sudden outbursts: Monograph], Moscow, Nauka, 1983, 151 p.

4. Ulyanova E. V., Malinnikova O. N., Pashichev B. N., Malinnikova E. V. Microstructure of fossil coals before and after gas dynamic phenomena. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2019, no. 5, pp. 10–17. [In Russ]. DOI: 10.15372/FTPR-PI20190502.

5. Tang Z., Yang S., Zhai C., Xu Q. Coal pores and fracture development during CBM drainage: Their promoting effects on the propensity for coal and gas outbursts. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2018, vol. 51, pp. 9–17. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_12_0_88.

6. Malinnikova O. N., Ulyanova E. V., Kharchenko A. V., Pashichev B. N. Influence of coal microstructure on gas saturation of the bottomhole zone. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2020, no. 3, pp. 25–33. [In Russ]. DOI: 10.15372/FTPR-PI20200303.

7. Feldman E. P., Vasilenko T. A., Kalugina N. A. Physical kinetics of the coal seam – methane system: mass transfer, pre-blowout phenomena. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2014, no. 3, pp. 46–65. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-0-108-120.

8. Zhao Y., Song H., Liu S., Zhang C., Dou L., Cao A. Mechanical anisotropy of coal with considerations of realistic microstructures and external loading directions. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2019, vol. 116, pp. 111–121. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2019.03.005.

9. Mineev S. P., Kocherga V. N., Yanzhula A. S. Evaluation of pulsed methane release in zones of geological disturbances during roof collapse. *Ugol' Ukrainy*. 2016, no. 1, pp. 11 – 18. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-101-111.
10. Liu G., Liu J., Liu L., Ye D., Gao F. A fractal approach to fully-couple coal deformation and gas flow. *Fuel*. 2019, vol. 240, pp. 219 – 236. DOI: 10.1016/j.fuel.2018.11.140.
11. Alekseev A. D., Fel'dman E. P., Vasilenko T. A. Methane mass transfer in coal due to joint filtration and diffusion. *Physics and High Pressure Technology*. 2004, vol. 14, no. 3. [In Russ]. <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/168089>.
12. Gent Jiabao, Xu Jiang, Nie Wen, Peng Zhou jian, Zhang Shaolin, Luo Xiaohong Regression analysis of major parameters affecting the intensity of coal and gas outbursts in laboratory. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2017, vol. 27, pp. 327 – 332. DOI: 10.1016/j.ijmst.2017.01.004.
13. Meng Tang, Xiangtao Kang, Jiachi Ren, Lin Gao, Zhenqian Ma, Dezhong Kong Mining stress distribution and gas drainage application of coal seam group under fault influence. *Disaster Mechanisms Linked to the Role of Fluids in Geotechnical Engineering*. 2022, vol. 2022, article 8432024. DOI: 10.1155/2022/8432024.
14. Isabek T. K., Aitpaeva A. R., Huanggan N., Shaimerdenova R. T. Modeling of an outburst hazardous state of a massif with disjunctive disturbance and mining by the finite element method. *Ugol'*. 2020, no. 6, pp. 55 – 60. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-6-55-61.
15. Chaojun Fan, Sihui Li, Mingkun Luo, Du Wenzhang, Zhenhua Yang Coal and gas outburst dynamic system. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2017, vol. 27, no. 1. DOI: 10.1016/j.ijmst.2016.11.003.
16. Aitpaeva A. R., Isabek T. K., Vorobyov A. E. Mechanism of sudden ignition of coal and gas in the zone of geological disturbances. *Materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nauka i obrazovanie v sovremennom mire: vyzovy XXI veka»* [Science and education in the modern world: challenges of XXI century. Materials of the V International Scientific and Practical Conference], Nur-Sultan, 2019, pp. 113.
17. Li Zhang, Hui Zhang, Hao Guo A case study of gas drainage to low permeability coal seam. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2017, vol. 27, no. 4, pp. 687 – 692. DOI: 10.1016/j.ijmst.2017.05.014.
18. Mineev S. P., Prusova A. A., Potapenko A. A., Kocherga V. N. Evaluation of the possibility of pulsed release of sorbed methane from a coal seam. *Ugol' Ukrainy*. 2014, no. 10, pp. 31 – 36. [In Russ].
19. Radchenko S. A., Matvienko N. G. Methods for rapid assessment of the intensity of methane release from coal and rocks in the faces to improve safety. *Occupational Safety in Industry*. 2014, no. 4, pp. 34 – 39. [In Russ].
20. Aliev S. B., Khodzhaev R. R., Isabek T. K., Demin V. F., Shontayev A. Zh. Evaluation of the efficiency of drilling advance wells in the area of increased massif stresses for gas intrusion from a coal seam. *Ugol'*. 2020, no. 11, pp. 10 – 12. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-11-10-12.
21. Aitpaeva A. R., Isabek T. K., Huanggan N. Measures to prevent outburst hazard of coal seams in zones of geological disturbances. *Bulletin of D. Serikbaev East Kazakhstan technical university*. 2019, no. 1, pp. 68 – 75. [In Russ].
22. Mineev S. P., Yanzhula A. S., Kocherga V. N., Prusova A. A. Sudden releases of impulsive methane in zones of geological faults. *Geotechnical Mechanics*, no. 123. Dnipropetrovsk. IGTM NANU, 2015, pp. 48 – 66. <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/135896>.
23. *Katalog vnezapnykh vybrosov uglya i gaza, proisshedshikh na shakhtakh Karagandinskogo basseyna* [Catalog of sudden coal and gas emissions that occurred at the mines of the Karaganda basin], Karaganda, UD AO «ArselorMittal Temirtau», 2018, 177 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Усенбеков Мейрамбек Сабденович*¹ – канд. техн. наук,
доцент, e-mail: meirambek1946@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-3270-0207,

*Исабек Туяк Копейулы*¹ – д-р техн. наук,
профессор, академик КазНАЕН и НАГН РК,
e-mail: tyiak@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-7718-933X,

Полчин Александр Иванович – начальник отдела
вентиляции и дегазации, Угольный департамент,
АО «Арселор Миттал Темиртау», Казахстан,
e-mail: a.polchin@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-6902-0470,

*Жумабекова Айла Ермековна*¹ – доктор PhD,
старший преподаватель,
e-mail: aila1980@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-1501-5382,

¹ НАО «Карагандинский технический университет
имени Абылкаса Сагинова», Республика Казахстан.

Для контактов: Жумабекова А.Е., e-mail: aila1980@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*M.S. Usenbekov*¹, Cand. Sci. (Eng.),
Assistant Professor,
e-mail: meirambek1946@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0003-3270-0207,

*T.K. Isabek*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Academician of KazNANS and NAMS RK,
e-mail: tyiak@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-7718-933X,

A.I. Polchin, Head of Ventilation
and Degassing Department,
Coal Department, «Arcelor Mittal Temirtau» JSC,
101200, Saran, Republic of Kazakhstan,
e-mail: a.polchin@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-6902-0470,

*A.E. Zhumabekova*¹, PhD, Senior Lecturer,
e-mail: aila1980@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-1501-5382,

¹ NJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University»,
100027, Karaganda, Republic of Kazakhstan.

Corresponding author: A.E. Zhumabekova, e-mail: aila1980@mail.ru.

Получена редакцией 25.07.2022; получена после рецензии 12.09.2022; принята к печати 10.11.2022.
Received by the editors 25.07.2022; received after the review 12.09.2022; accepted for printing 10.11.2022.

