

DOI: 10.26730/1999-4125-2017-5-15-23
УДК 622.121.54

СВЯЗЬ ГЕОМЕХАНИКИ И МЕТАНООБИЛЬНОСТИ ВЫРАБОТОК ПРИ ВЕДЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

RELATIONSHIP OF GEOMECHANICS AND METHANE CONTENT OF MINE WORKINGS WHEN PERFORMING UNDERGROUND MINING OPERATIONS

Шинкевич Максим Валериевич^{1,2},

кандидат техн. наук, старший научный сотрудник, доцент, e-mail: gas_coal@icc.kemsc.ru

Shinkevich Maksim V.^{1,2}, C. Sc. (Engineering), Senior research, Associate Professor

Плаксин Максим Сергеевич¹,

кандидат техн. наук, старший научный сотрудник, e-mail: gas_coal@icc.kemsc.ru

Plaksin Maksim S.¹, C. Sc. (Engineering), Senior research, Associate Professor

¹ Институт угля Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» (ИУ ФИЦ УУХ СО РАН); Россия, 650065, г. Кемерово, проспект Ленинградский, 10

¹ Institute of Coal of the Federal Research Centre of Coal and Chemistry Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; Russia, 650065, Kemerovo, Leningradskij, 10

² Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

² T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация. В статье приведены результаты исследования динамики метанообильности очистных и подготовительных забоев. Показана связь метанообильности выработок и геомеханических процессов. В 90-х годах прошлого века установлены принципиально важные особенности нелинейных геомеханических процессов в зонах влияния горных работ и обусловленные ими изменения метастабильных состояний двухкомпонентных геоматериалов. Любое технологическое воздействие на обрабатываемый угольный пласт интенсифицирует процесс его газоистощения в результате изменения напряженного состояния в приконтурной части пласта, т.е. геомеханические процессы влияют и на газокинетические состояния обрабатываемого пласта, что в конечном счете отражается на метанообильности выработок. Следовательно, контроль и полноценный анализ метанообильности выработок в зоне ведения горных работ позволит оценивать активность газогеохимических процессов, протекающих в приконтурной части пласта, и заблаговременно выявлять различные опасные ситуации, такие как горные удары, внезапные выбросы угля и газа, превышение концентрации газа в результате суфлярного метановыделения и так далее. Отмечается, что при создании алгоритмов для автоматизированной оценки состояния приконтурной части пласта, необходимо уделить внимание качеству получаемой информации систем аэрогазового контроля. Изложенное позволяет количественно интерпретировать развитие газогеохимических процессов при ведении подземных горных работ. Качественный контроль и текущий прогноз газогеохимических процессов, включая метанообильность выемочного участка и подготовительных выработок, позволит оперативно управлять аэрогазовой обстановкой в горных выработках, прогнозировать газодинамические явления и повысить безопасность ведения горных работ.

Abstract. The article presents the results of the study of the methane content dynamics in coal and development faces. The relations of the methane content in mine workings and geomechanical processes are shown. In the 90s of the last century, the fundamentally important features of nonlinear geomechanical processes in the zones affected by mining operations and the resulting changes in the metastable states of two-component geomaterials were identified. Any technological impact on the coal seam being mined intensifies the process of its gas depletion as a result of the change in the stress state in the peripheral part of the seam, i.e. geomechanical processes affect the gas-kinetic conditions of the seam being mined which ultimately affects the methane content of the workings. Therefore, monitoring and a full analysis of methane content of the workings in the area of mining operations will make it possible to assess the activity of gas geomechanical processes occurring in the near-boundary part of the seam and to identify in advance various dangerous situations, such as rock bumps, coal

and gas outbursts, excess gas concentrations resulting from methane blows, etc. It is noted that when creating algorithms for the automated assessment of the condition of the peripheral part of the seam, it is necessary to pay attention to the quality of the information received from the air and gas control systems. The foregoing allows us to quantitatively interpret the development of gas geomechanical processes when performing the underground mining operations. Good quality control and current forecast of gas geomechanical processes, including gas content of extraction panels and development roadways will make it possible to control promptly the air-gas situation in the mine workings, predict gas-dynamic phenomena and increase safety of mining operations.

Ключевые слова: геомеханика, нелинейность, динамика метанообильности, выемочный участок, подготовительная выработка, аэрогазовый контроль, прогноз, управление.

Keywords: Geomechanics, nonlinearity, dynamics of methane content, extraction panel, development heading, control of air and gas, forecast, control.

Экономически рациональные скорости развития горных работ постоянно повышаются, что существенно снижает адекватность основанных на предшествующем горном опыте методов и средств оценки ситуаций. Основой этой неадекватности является инерционность в совершенствовании нормативно-методической базы горной промышленности. В тоже время, научная основа для необходимого совершенствования методов и средств обеспечения безопасности при подземной добыче угля неуклонно развивается отечественной и зарубежной наукой всех областях знаний [1-21]. В 90-х годах прошлого века установлены принципиально важные особенности нелинейных геомеханических процессов в зонах влияния горных работ [22-24] и обусловленные ими изменения метастабильных состояний углеметановых геоматериалов [25, 26]. Данные результаты позволяют «количественно» интерпретировать развитие газогеохимических процессов при ведении подземных горных работ.

Любое технологическое воздействие на отрабатываемый угольный пласт интенсифицирует процесс его газоистощения вследствие изменения напряженного состояния в приконтурной части пласта, т.е. геомеханические процессы влияют и на газокинетические состояния отрабатываемого пласта, что в конечном счете отражается на метанообильности выработок. Следовательно, контроль и полноценный анализ метанообильности выработок в зоне ведения горных работ позволит оценивать активность газогеохимических процессов, протекающих в приконтурной части пласта, и заблаговременно выявлять опасные ситуации (горные удары, внезапные выбросы угля и газа, превышение ПДК газа в результате суффляжного метановыделения и т.д.).

На данный момент все шахты в Кузбассе оснащены электронными системами аэрогазового мониторинга. Современная система контроля, как правило, снимает данные интенсивности изменения регистрируемых значений (концентраций метана, скорости расхода воздуха). В результате в процессе проведения подготовительных выработок и ведении очистных работ накапливается большой объем данных, в котором «скрыта» информация о развитии газогеохимических про-

цессах при ведении горных работ, необходима разработка и обоснование алгоритмов для интерпретации этих данных.

Прогноз метанообильности при ведении очистных работ

Поскольку динамика метанообильности выемочного участка отражает реакцию вмещающего массива на технологическое воздействие, то, привлекая знания о нелинейности геомеханического процесса при выемке пласта [25], появляется возможность более надежно прогнозировать динамику метанообильности выемочного участка. Оперативное отслеживание которой при движении очистного забоя и решая обратную задачу, обеспечивает уточнение решений по обеспечению ритмичности подвигания забоя. Например, по динамике метанообильности очистного забоя в начальный период отработки выемочного столба, можно [27] оперативно уточнить величину шага первичного обрушения основной кровли, которая является важным технологическим параметром. Для этого рассчитывают газовый потенциал отрабатываемого пласта и осуществляют мониторинг относительного газовыделения по мере отхода лавы от монтажной камеры. Величину первичного шага обрушения основной кровли $L_{ш.о.}$, м устанавливают по расстоянию от монтажной камеры до ближайшей к ней точки минимума значений газокинетического показателя $P_{пл}$, в качестве которого принимают отношение относительного газовыделения к газовому потенциалу пласта (рис.1).

$$L_{ш.о.} = 2l, \text{ м}, \quad (1)$$

где $L_{ш.о.}$ - величина первичного шага обрушения основной кровли, м; l - расстояние от монтажной камеры до ближайшей к ней точки минимума значений газокинетического показателя в ненарушенном массиве, м.

Таким образом, учитывается влияние процесса разгрузки и сдвижения горных пород кровли на газовыделение в призабойное пространство. Способ позволяет с достаточно высокой точностью и оперативно прогнозировать первичный шаг обрушения основной кровли.

Именно перераспределение напряжений, изменяя метастабильные состояния углеметанового пласта, определяют метановыделение через обнаженную поверхность забоя, переток метана

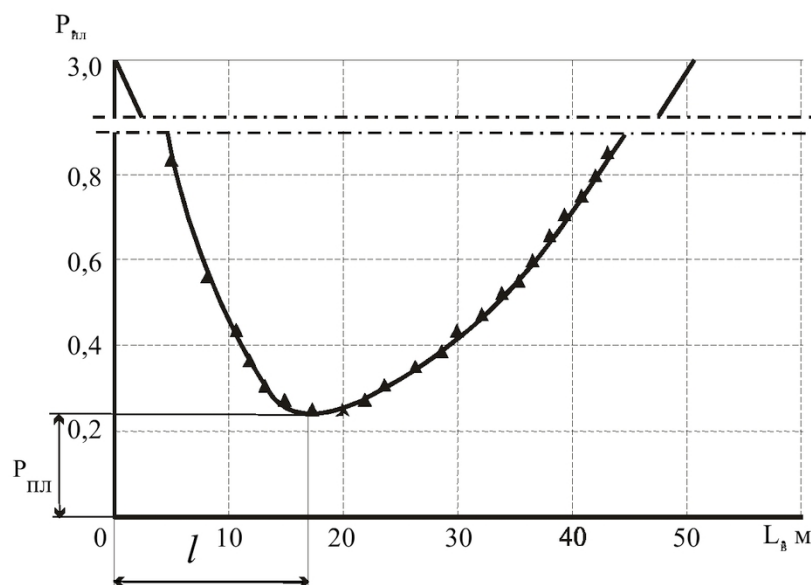


Рис. 1. Определение первичного шага обрушения основной кровли по длине выемочного столба $L_{\text{в}}$
Fig. 1. Determination of the primary step of the main roof caving along the length of extraction pillar $L_{\text{в}}$

из пласта через вмещающие породы в выработанное пространство и остаточную газоносность отбиваемой полосы угля [25].

В работе Малышева Ю.Н., Трубецкого К.Н. и Айруни А.Т. дана эмпирическая функция распада углеметана во времени [28]. Из нее следует, что распад основной части геоматериала происходит за 3 часа. Этот период характеризуется высоким снижением скорости газоистощения.

При современных возможностях добывающих машин движение комбайна с технически возможной скоростью даже на небольшое расстояние нередко вызывает превышение предельно допустимой концентрации метана в исходящей из забоя струе воздуха. Используя установленную зависимость, появляется возможность определять допустимую скорость движения комбайна с учетом скорости подвигания забоя.

Исходя из количества воздуха и предельно допустимой концентрации метана в исходящей струе, допустимое метановыделение из отбитого угля определяется по формуле

$$I_{\text{о.у.д.}} = \frac{100 \cdot I_{\text{пл}} - C_{\text{д}} \cdot I_{\text{пл}} - C_{\text{д}} Q_{\text{исх}}}{C_{\text{д}} - 100}, \quad \text{м}^3/\text{мин}, \quad (2)$$

где $I_{\text{пл}}$ – метановыделение с плоскости забоя, $\text{м}^3/\text{т}$; $C_{\text{д}}$ – предельно допустимая концентрация метана в исходящей струе участка, %; $Q_{\text{исх}}$ – количество исходящего воздуха из очистного забоя, $\text{м}^3/\text{мин}$.

Зная предельно допустимую, по условию проветривания, скорость выделения метана из отбиваемого и транспортируемого угля в исходящей струе воздуха, возможная скорость движения комбайна определяется как

$$v_{\text{к.д.}} = \frac{I_{\text{о.у.д.}}}{m_{\text{в}} l_{\text{см}} \rho_{\text{у}} \Gamma_{\Delta_{\text{о.у.}}} (1 - 1,34 C_3 (1 + t_x)^{C_3 - 1})}, \quad \text{м/мин}, \quad (3)$$

где $v_{\text{к.д.}}$ – допускаемая скорость движения добычного комбайна, м/мин ; $m_{\text{в}}$ – вынимаемая мощность пласта, м ; $l_{\text{см}}$ – глубина вынимаемой стружки, м ; $\rho_{\text{у}}$ – плотность угля, т/м^3 ; $\Gamma_{\Delta_{\text{о.у.}}}$ – газоносность отбиваемой полосы угля за вычетом газоносности угля выдаваемого за пределы выемочного участка, $\text{м}^3/\text{т}$; t_x – время транспортирования угля в пределах выемочного участка, мин ; C_3 – коэффициент скорости распада ТУГР [28].

Здесь

$$\Gamma_{\Delta_{\text{о.у.}}} = \Gamma_{\text{о.у.}} - \Gamma_{\text{ост.техн.}}, \quad \text{м}^3/\text{т}, \quad (4)$$

где $\Gamma_{\text{о.у.}}$ – газоносность пласта в снимаемой стружке, $\text{м}^3/\text{т}$; $\Gamma_{\text{ост.техн.}}$ – остаточная газоносность угля выдаваемого за пределы выемочного участка, $\text{м}^3/\text{т}$ определяется по алгоритму изложенному в [25].

Оперативное управление режимом добычи угля возможно путем использования современных автоматизированных систем аэрогазового контроля. Но необходим переход на качественно новый уровень – прогнозирование газовой обстановки и управление технологическими решениями, как на стадии проектирования, так и ведения горных работ. Только в этом случае можно с достаточной степенью надежности гарантировать ритмичную работу высокопроизводительного забоя. Однако, даже наиболее известные автоматизированные системы с компьютерным оснащением ограничены информационно-контролирующими функциями, т.е. обладают тем же качественным

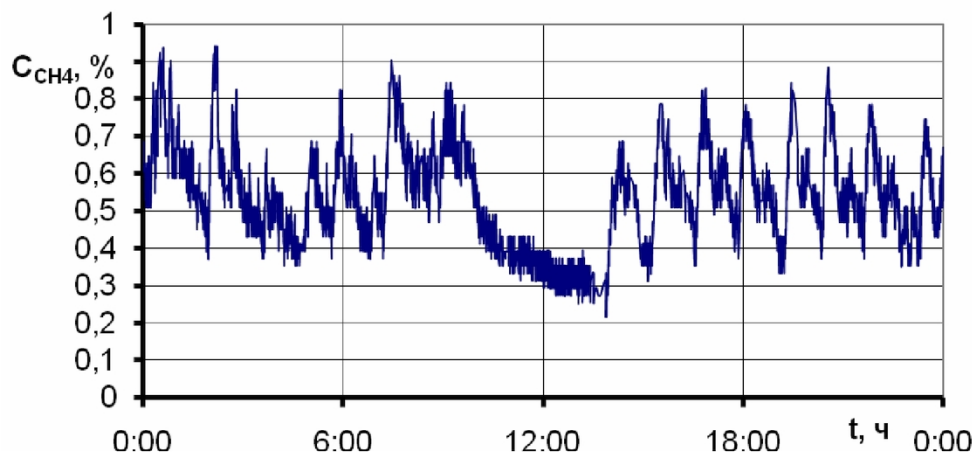


Рис. 2. Изменение концентрации метана в течение суток при очистных работах
Fig. 2. The change of methane concentration during one day at coal mining operations

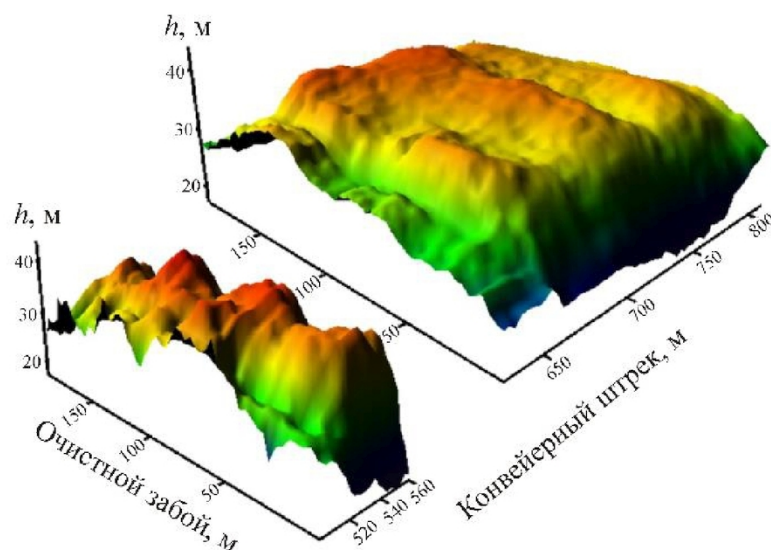


Рис. 3. Волнообразные изменения давления на секции механизированной крепи при движении очистного забоя
Fig. 3. Wavy changes of pressure on the powered supports during coal face movement

недостатком, что и отечественные системы предшествующего поколения "Метан", АКМР, АПТВ и др. В конце 80-х годов на базе этих систем были разработаны автоматизированные методы прогноза зон повышенной выбросоопасности при проведении подготовительных выработок. Современные электронные системы аэрогазового мониторинга, обладая большими техническими возможностями, позволяют использовать разработанные подходы и при очистных работах. Из рисунка 2 видно, что при соответствующей «настройке» системы ее датчики отчетливо отслеживают динамику процесса в периоды циклов работы высокопроизводительного очистного забоя.

Из этих данных следует, что прогноз величины основного показателя газовой опасности метановоздушной среды на выемочном участке методами математической статистики не приемлем.

Необходимо привлечение научных знаний о происходящих физических процессах во вмещающем массиве.

На рис. 3 приведены данные системы измерения давления на секции механизированной крепи, пересчитанные на высоту действующего слоя горных пород, позволяющие уточнять информацию о напряженном состоянии призабойной части пласта [29]. Согласно [25] изменение этого состояния уточняет газокинетические свойства угля, отбиваемого комбайном и, следовательно, метанообильность очистного забоя и транспортных выработок.

Но даже самые достоверные знания газогео-механики должны быть адаптированы к конкретным горнотехнологическим условиям, что потенциально может обеспечить современная система рудничного мониторинга, составной частью которой является система аэрогазового контроля. Ин-

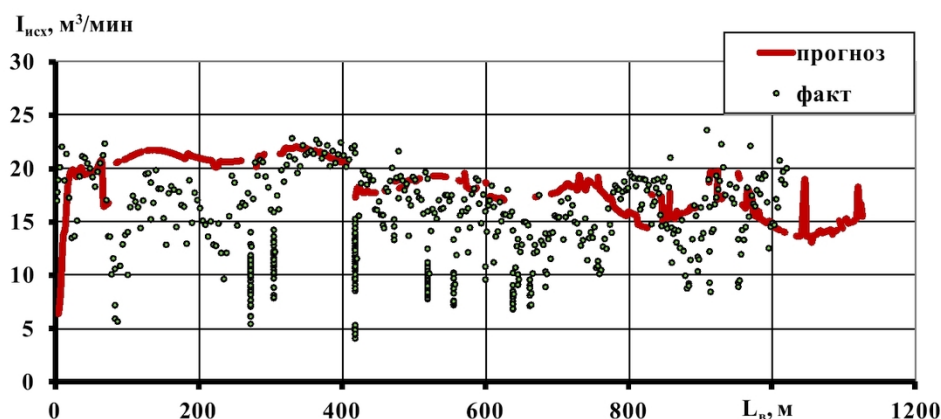


Рис.4. Фактические и прогнозные данные о динамике метанообильности исходящей струи из очистного забоя $I_{исх}$, $\text{м}^3/\text{т}$ по длине выемочного столба $L_{в}$, м

Fig. 4. The actual and expected data of the changes of methane content in the outcoming air flow from the coal face I_{out} m^3/t along the length of extraction pillar L_e

теграция представленной на рисунках 2 и 3 информации и является перспективной основой управления метанообильностью очистного забоя (рис. 4). Вертикально расположенные группы точек фактических данных, стремящиеся к минимуму на рис. 4, обусловлены остановками забоя.

Однако для этого необходимы существенные совершенствования программного обеспечения всех электронных систем рудничного мониторинга с целью их перевода на качественно новый уровень - от контроля к прогнозу ситуаций при планируемых технологических параметрах и режимах работы забоев.

Оценка газодинамического состояния приконтурной части пласта по динамике метанообильности подготовительных выработок

Главным препятствием на пути повышения темпов подвигания подготовительных забоев являются проблемы, связанные с метаном: обильное газовыделение в атмосферу выработки из угля и вероятность возникновения опасных газодинамических явлений, в частности, внезапных выбросов угля и газа [30, 31]. При этом риски достижения взрывоопасных концентраций метана и вероятность проявления газодинамических явлений значительно возрастают при пересечении выработкой зон тектонической нарушенности. Зоны мелкоамплитудной нарушенности современными возможностями геологических служб шахт заблаговременно определить не представляется возможным. Выявление данных зон - является одной из главных задач оперативных методов оценки газодинамической активности пласта.

Расчеты [31] показывают, что при входе выработки в зону тектонического нарушения приток метана возрастает на 10% за одну заходку комбайна в зависимости от угла входа выработки относительно плоскости сместителя и средневзвешенного значения коэффициента крепости угля в пределах сечения выработки. На рисунке 5 представлена схема, поясняющая и конкретизирующая

смысл вышесказанного, где параметр r_n отражает зону влияния выработки, l_n - глубина заходки комбайна.

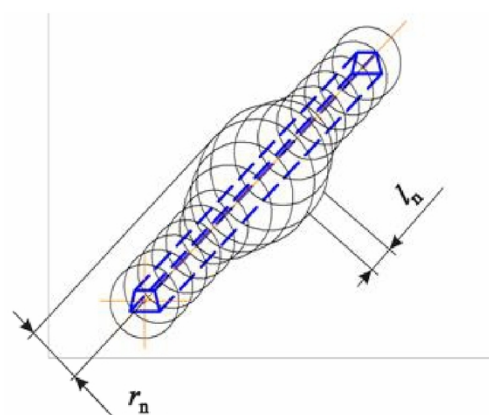


Рис. 5 – Условная схема изменения зоны газодистрофии угольного пласта в окрестности подготовительной выработки при пересечении тектонического нарушения

Fig. 5. The conventional scheme of the change in the zone of coal seam gas depletion in the vicinity of the development heading when crossing tectonic faults

Как показывают исследования, использование поступающих данных о метанообильности без обработки малоинформативно (рис. 2), необходимо использовать интегральный показатель, более «обобщенно» отражающий состояние приконтурной части пласта. В качестве примера, на рис. 6 в масштабе канонической шкалы зональной дезинтеграции пород [24, 30, 31] отражено изменение среднечасовой метанообильности непосредственно перед внезапным выбросом.

Преимущества автоматизации прогноза на основе новых научных знаний не только повышают надежность, но своей оперативностью отвечают запросам промышленности по повышению темпов горнопроходческих работ. Нормативный метод

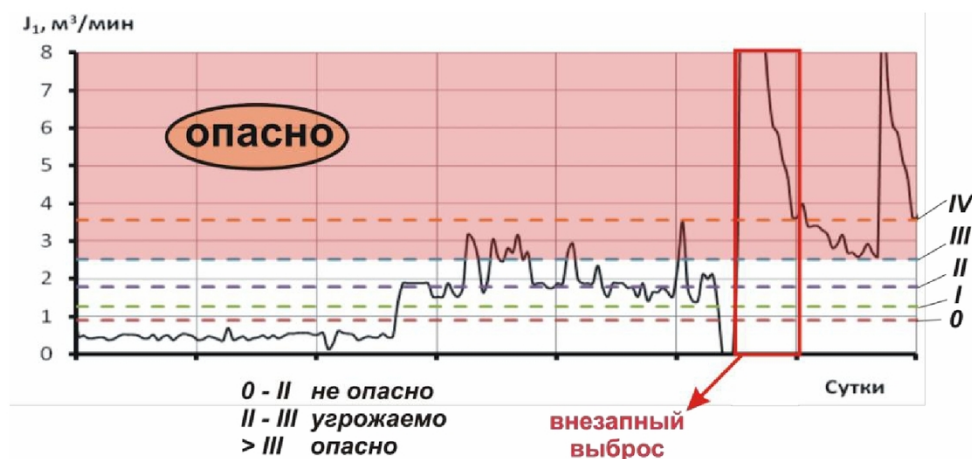


Рис. 6. Общее метановыделение из выработки перед внезапным выбросом

Fig. 6. The general methane emission from a mine working prior a sudden outburst

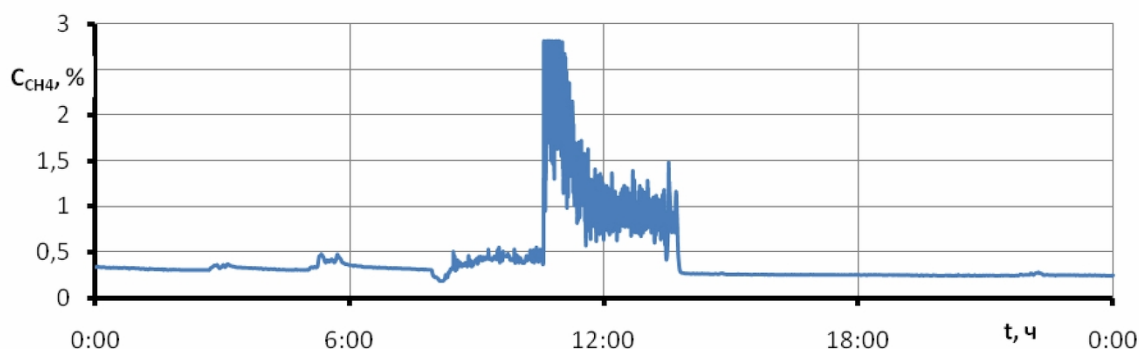


Рис. 7. Изменение концентрации метана на исходящей (4058 знач.)

Fig. 7. Change in methane concentration in the return air (4058 values)

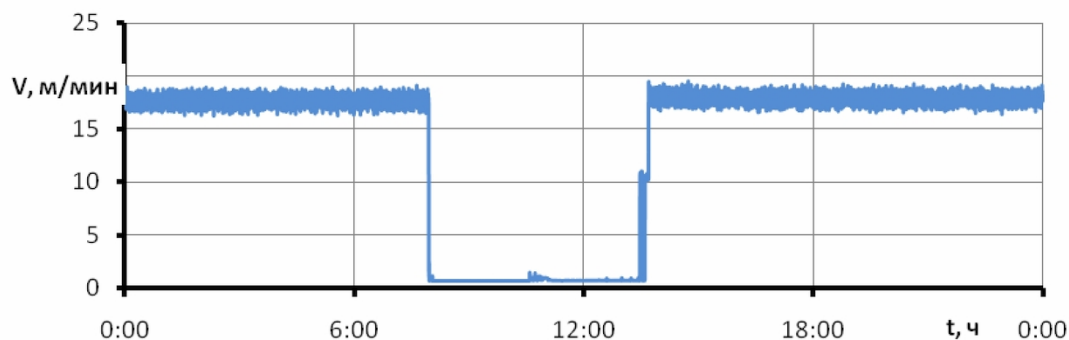


Рис. 8. Скорость вентиляционной струи (51352 знач.)

Fig.8. Speed of ventilation air flow (51352 values)

текущего прогноза выбросоопасности при проведении выработок по угольным пластам на выбросоопасных глубинах существенно ограничивает скорости их проведения. Тогда как всего 10 % от общей протяженности проводимых подготовительных выработок приходится в зонах реальной выбросоопасности. Эта «перестраховка» является показателем системной недостаточности метода.

При создании алгоритмов для автоматизированной оценки состояния приконтурной части пласта, необходимо уделить внимание качеству

получаемой информации систем аэрогазового контроля. В качестве примера на рисунке 7 представлен участок, отражающий изменение концентрации метана в устье выработки, значительное увеличение концентрации метана могло быть интерпретировано как слабое газодинамическое явление. Однако причиной данного всплеска явилось значительное снижение объемов подаваемого для проветривания выработки воздуха (рис. 8)

Основные причины получения несоответствующих действительности данных следующие:

неверная настройка и расположение датчиков контроля, потеря связи с сервером, проблема с электропитанием, перенос датчиков, ремонтные операции с системой контроля, нестабильность системы проветривания, отсутствие датчиков скорости воздуха в местах размещения датчиков контроля метана.

Таким образом, качественный контроль и те-

кущий прогноз газогеохимических процессов, включая метанообильность выемочного участка, являющиеся основой оперативного управления аэрогазовой обстановкой в горных выработках, могут быть реализованы только при совместной напряженной работе отраслей промышленности и науки. Необходимый научный базис имеется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. About extraction of methane and slate gas from coal and slate deposits Tabachenko N.M., Dychkovskiy R.Ye., Falshtynskiy V.S. // Науковий Вісник Національного Гірничого університету. 2012. Т. 2. С. 44-48.
2. Проблемы текущего прогнозирования метановыделения в горных выработках угольных шахт Денисенко В.П., Верба Р.В., Абакумова Е.В. // Труды РАНИМИ. 2011. № 8. С. 138-148.
3. Разработка методики расчета шагов обрушения основной кровли и исследование взаимосвязи с интенсивностью метановыделения Пак Г.А., Шпаков П.С., Долгонос В.Н // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 6. С. 31-36.
4. Динамика изменения концентрации метана в куполах большого объема Левицкий Ж.Г. // Труды Университета. 2011. № 2. С. 62-64.
5. Исследование метаносности угля пласта к7 в районе шахтного поля шахты им. Т. Кузембаева Амангелдіқызы А., Пономарева М.В., Айтпаева А.Р. // Труды Университета. 2015. № 2. С. 67-70.
6. Опыт заблаговременного извлечения метана из угольных пластов Карагандинского бассейна Коликов К.С., Кашапов К.С., Иванов Ю.М. // Технологии нефти и газа, (2011), 1, 37-40
7. Проблемы развития работ по заблаговременной дегазации в Карагандинском бассейне Газалиев А.М., Дрижд Н.А., Шарипов Н.Х. // Уголь, (2013), 4, 67-68
8. Оценка влияния длины лавы на характер газовыделения на выемочных участках шахт ОАО «Воркутауголь» Казанин О.И., Суфияров А.М. // Записки Горного института, 207 (2014), (март), 36-40
9. Расчет газовой выработки в очистной забой в системах разработки подэтажными штреками «крепь - штрек» Клишин В.И., Опрук Г.Ю. // Вестник Кузбасского государственного технического университета, (2012), 6 (4 квартал), 54-59
10. Tailakov O.V. Justification of a Method for Determination of Gas Content in Coal Seams to Assess Degasification Efficiency / Tailakov O.V., Kormin A.N., Zastrelov D.N., Utkaeв E.A., Sokolov S.V. // The 8th Russian-Chinese Symposium. Coal in 21st Century: Mining, Processing and Safety, 2016 – pp. 324 – 329.
11. Tailakov O.V. Utilization Prospects of Coalbed Methane in Kuzbass / O.V. Tailakov, D.N. Zastrelov, V.O. Tailakov, A.B. Efremkov // Applied Mechanics and Materials. –Apr. 2015. – Vol 756. – Pp. 622–625.
12. Tailakov O.V. Experience for Coal Mine Methane Utilization to Generate Thermal and Electric Power / O.V. Tailakov, D.N. Zastrelov, E.A. Utkaeв, A.N. Kormin, A.I. Smyslov // Taishan Academic Forum – Project on mine Disaster Prevention and Control. – Mining 2014. – Qingdao, China, 17–20 October, 2014 г. – Pp. 450–454.
13. Shevchenko L.A. Debit gas in well as a comprehensive indicator of gas permeability of the coal seam // В сборнике: Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety 2016. С. 184-187.
14. Шевченко Л.А. Влияние интенсивности отработки угольного пласта на структуру газового баланса выемочного участка / Л.А. Шевченко, В.Ю. Гришин // Современные проблемы шахтного метана. / сб. научн.тр. к 85-летию проф. Н.В.Ножкина. – М ИД. ООО Роликс. – 2014, С. 144-150
15. Шевченко Л.А. Дегазация выработанных пространств длинными скважинами / Л.А. Шевченко, В.Ю. Гришин // Известия вузов. Горный журнал. – 2014. – № 2. – С. 10-11
16. Палеев Д.Ю. Моделирование аэрогазодинамических процессов в вентиляционных сетях современных горнодобывающих предприятий / Д.Ю. Палеев, В.В. Аксенов, О.Ю. Лукашов, И.М. Васенин, А.Ю. Крайнов, Э.Р. Шрагер // ГИАБ. – 2015. – № 2 (7). – С. 224–230.
17. Прогноз метановой опасности угольных шахт при интенсивной отработке угольных пластов / Н. М. Качурин, В. И. Клишин, А. М. Борщевич, А. Н. Качурин. Тула–Кемерово: ТулГУ, 2013. 220 с.
18. Kachurin N.M., Vorobev S.A., Vasilev P.V. // Eurasian Mining. 2015. Т. 2015. № 2. С. 40-43
19. Портола В.А. О повышении эффективности извлечения метана из шахт при эксплуатации высокогазоносных пластов // Вестник КузГТУ, 2007. - № 3. - С. 10-12.
20. Портола В.А. О возможности отработки высокогазоносных угольных пластов во взрывобезопасной газовой среде // Безопасность труда в промышленности. - 2007. - № 12. - С. 53-57.
21. Reuter, M. Zonal disintegration of rocks around breakage headings / M. Reuter, M. Krach, U. Kießling,

Y. Veksler // Journal of Mining Science. – 2015. – Т. 51. – № 2. – С. 237–242.

22. Ройтер, М. Волнообразное распределение горного давления вдоль забоя лавы / М. Ройтер, В. Курфюрст, К. Майрхофер, Ю. Векслер // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2009. – № 2. – С. 38–44.

23. Шемякин, Е.И. Открытие № 400. Явление зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок / Е.И. Шемякин, М.В. Курленя, Н.В. Опарин, В.Н. Рева, Ф.П. Глушихин, М.А. Розенбаум // БИ. – 1992. – № 1. – 3 с.

24. Опарин, В. Н. Зональная дезинтеграция горных пород и устойчивость подземных выработок / В.Н. Опарин, А.П. Тапсиёв, М.А. Розенбаум, В.Н. Рева, Б.П. Батдиев, Э.А. Троп, А.И. Чанышев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН. –2008. –278 с.

25. Полевщиков, Г.Я. Повышение эффективности комплексного управления газовыделением на выемочном участке шахты / Г.Я. Полевщиков, Е.Н. Козырева, М.В. Шинкевич // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. –2012. – № 2. – С. 20–26.

26. Полевщиков, Г. Я. «Деформационно-волновые» процессы в массиве горных пород при движении очистного забоя в угольных пластах / Г.Я. Полевщиков // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2013. – № 5. – С. 50–60.

27. Пат. №2246006 РФ, 7E21F7/00. Способ управления кровлей в лавах при разработке газоносных пластов угля / Г.Я. Полевщиков, Е.Н. Козырева, М.В. Шинкевич. 2003117829; Заявлено 16.06.2003; Оpubл. 10.02.2005, Бюл. № 4; Приоритет 16.06.2003.

28. Малышев, Ю.Н. Фундаментально-прикладные методы решения проблемы угольных пластов / Ю.Н. Малышев, К.Н. Трубецкой, А.Т. Айруни - М.:ИАГН, 2000. – 516 с.

29. Козырева, Е.Н. Параметрическая модель техногенного развития иерархии геоструктур в массиве горных пород / Е.Н. Козырева, М.В. Шинкевич, Е.В. Леонтьева Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2015. – № 2. – С. 143–148.

30. Разработка метода оценки газодинамической активности угольного пласта при проведении подготовительных выработок / Плаксин М.С.: Автореф. дис... канд. техн. наук. – Кемерово, 2012. – 24 с.

31. Газодинамические следствия зональной дезинтеграции массива при проведении подготовительной выработки / Г.Я. Полевщиков, М.С. Плаксин // Вестн. КузГТУ. – 2011. № 5 – С. 3-7.

REFERENCES

1. About extraction of methane and slate gas from coal and slate deposits Tabachenko N.M., Dychkovskiy R.Ye., Falshtynskiy V.S. // Naukoviy Visnik Natsional'nogo Gornichogo universitetu. 2012. T. 2. pp. 44-48.
2. Problemy tekushchego prognozirovaniya metanovydeleniya v gornykh vyrabot-kakh ugo'l'nykh shakht Denisenko V.P., Verba R.V., Abakumova E.V. // Trudy RANIMI. 2011. № 8. pp. 138-148.
3. Razrabotka metodiki rascheta shagov obrusheniya osnovnoy krovli i issledo-vanie vzaimosvyazi s intensivnost'yu metanovydeleniya Pak G.A., Shpakov P.S., Dol-gonosov V.N // Mashinostroenie i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2009. № 6. pp. 31-36.
4. Dinamika izmeneniya kontsentratsii metana v kupolakh bol'shogo ob"ema Levitskiy Zh.G. // Trudy Universiteta. 2011. № 2. pp. 62-64.
5. Issledovanie metanonosnostiuglya plasta k7 v rayone shakhtnogo polya shakhty im. T. Kuzembaeva Amangeldikyzy A., Ponomareva M.V., Aytpaeva A.R. // Trudy Universiteta. 2015. № 2. pp. 67-70.
6. Opyt zablagovremennogo izvlecheniya metana iz ugo'l'nykh plastov Karagandinskogo basseyna Kolikov K.S., Kashapov K.S., Ivanov Yu.M. // Tekhnologii nefi i gaza, (2011), 1, 37-40
7. Problemy razvitiya rabot po zablagovremennoy degazatsii v Karagandin-skoy basseyne Gazaliev A.M., Drizhd N.A., Sharipov N.Kh. // Ugo'l', (2013), 4, 67-68
8. Otsenka vliyaniya dliny lavy na kharakter gazovydeleniya na vyemochnykh uchastkakh shakht OAO «Vorkutaugol» Kazanin O.I., Sufiyarov A.M. // Zapiski Gornogo instituta, 207 (2014), (mart), 36-40
9. Raschet gazovydeleniya v ochistnoy zaboy v sistemakh razrabotki podetazhnymi shtrekami «krep' - shtrek» Klishin V.I., Opruk G.Yu. // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, (2012), 6 (4 kvartal), 54-59
10. Tailakov O.V. Justification of the Method for Determination of Gas Content in Coal Seams to Assess Degasification Efficiency / Tailakov O.V., Kormin A.N., Zastrelov D.N., Utkaev E.A., Sokolov S.V. // The 8th Russian-Chinese Symposium. Coal in 21st Century: Mining, Processing and Safety, 2016 – pp. 324 – 329.
11. Tailakov O.V. Utilization Prospects of Coalbed Methane in Kuzbass / O.V. Tailakov, D.N. Zastrelov, V.O. Tailakov, A.B. Efremkov // Applied Mechanics and Materials. –Apr. 2015. – Vol 756. – pp. 622–625.
12. Tailakov O.V. Experience in Coal Mine Methane Utilization to Generate Thermal and Electric Power / O.V. Tailakov, D.N. Zastrelov, E.A. Utkaev, A.N. Kormin, A.I. Smyslov // Taishan Academic Forum – Project on mine Disaster Prevention and Control. – Mining 2014. – Qingdao, China, 17–20 October, 2014 g. – pp. 450–

454.

13. Shevchenko L.A. Debit gas in well as a comprehensive indicator of gas permeability of the coal seam // V sbornike: Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety 2016. pp. 184-187.
14. Shevchenko L.A. Vliyanie intensivnosti otrabotki ugol'nogo plasta na strukturu gazovogo balansa vyemochnogo uchastka / L.A. Shevchenko, V.Yu. Grishin // Sovremennyye problemy shakhtnogo metana. / sb. nauchn.tr. k 85-letiyu prof. N.V.Nozhkina. – M ID. OOO Roliks. – 2014, pp. 144-150
15. Shevchenko L.A. Degazatsiya vyrabotannykh prostranstv dlinnymi skvazhinami / L.A. Shevchenko, V.Yu. Grishin // Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal. – 2014. – № 2. – pp. 10-11
16. Paleev D.Yu. Modelirovanie aerogazodinamicheskikh protsessov v ventilyatsionnykh setyakh sovremennykh gornodobyvayushchikh predpriyatiy / D.Yu. Paleev, V.V. Ak-senov, O.Yu. Lukashov, I.M. Vasenin, A.Yu. Kraynov, E.R. Shrager // GIAB. – 2015. – № 2 (7). – pp. 224–230.
17. Prognoz metanovoy opasnosti ugol'nykh shakht pri intensivnoy otrabotke ugol'nykh plastov / N. M. Kachurin, V. I. Klishin, A. M. Borshchevich, A. N. Kachurin. Tula–Kemerovo: TulGU, 2013. p.220.
18. Kachurin N.M. Generalized mathematical model for gases filtration in coal beds and enclosing strata / Kachurin N.M., Vorobev S.A., Vasilev P.V. // Eurasian Mining. 2015. T. 2015. № 2. pp. 40-43
19. Portola V.A. O povyshenii effektivnosti izvlecheniya metana iz shakht pri ekspluatatsii vysokogazonosnykh plastov // Vestnik KuzGTU, 2007. - № 3. - pp. 10-12.
20. Portola V.A. O vozmozhnosti otrabotki vysokogazonosnykh ugol'nykh plastov vo vzryvobezopasnoy gazovoy srede // Bezopasnost' truda v promyshlennosti.- 2007. - № 12. - pp. 53-57.
21. Reuter, M. Zonal disintegration of rocks around breakage headings / M. Reuter, M. Krach, U. Kießling, Y. Veksler // Journal of Mining Science. – 2015. – T. 51. – № 2. – pp. 237–242.
22. Royter, M. Volnoobraznoe raspredelenie gornogo davleniya vdol' zaboya lavy / M. Royter, V. Kurfyurst, K. Mayrkhofer, Yu. Veksler // Fiziko-tekhnicheskie pro-blemy razrabotki poleznykh iskopaemykh. – 2009. – № 2. – pp. 38–44.
23. Shemyakin, E.I. Otkrytie № 400. Yavlenie zonal'noy dezintegratsii gor-nykh porod vokrug podzemnykh vyrabotok / E.I. Shemyakin, M.V. Kurlenya, N.V. Oparin, V.N. Reva, F.P. Glushikhin, M.A. Rozenbaum // BI. – 1992. – № 1. – p. 3.
24. Oparin, V. N. Zonal'naya dezintegratsiya gornyykh porod i ustoychivost' pod-zemnykh vyrabotok / V.N. Oparin, A.P. Tapsiev, M.A. Rozenbaum, V.N. Reva, B.P. Bat-diev, E.A. Trop, A.I. Chanyshhev. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN. –2008. –p. 278.
25. Polevshchikov, G.Ya. Povyshenie effektivnosti kompleksnogo upravleniya gazovydeleniem na vyemochnom uchastke shakhty / G.Ya. Polevshchikov, E.N. Kozyreva, M.V. Shinkevich // Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noy promyshlennosti. –2012. – № 2. – pp. 20–26.
26. Polevshchikov, G. Ya. «Deformatsionno-volnovyye» protsessy v massive gornyykh porod pri dvizhenii ochistnogo zaboya v ugol'nykh plastakh / G.Ya. Polevshchikov // Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh. – 2013. – № 5. – pp. 50–60.
27. Pat. №2246006 RF, 7E21F7/00. Sposob upravleniya krovley v lavakh pri razrabotke gazonosnykh plastov uglya / G.Ya. Polevshchikov, E.N. Kozyreva, M.V. Shinkevich. 2003117829; Zayavleno 16.06.2003; Opubl. 10.02.2005, Byul. № 4; Prioritet 16.06.2003.
28. Malyshev, Yu.N. Fundamental'no-prikladnye metody resheniya problemy ugol'nykh plastov / Yu.N. Malyshev, K.N. Trubetskoy, A.T. Ayruni - M.:IAGN, 2000. – p. 516.
29. Kozyreva, E.N. Parametricheskaya model' tekhnogennogo razvitiya ierarkhii geostruktur v massive gornyykh porod / E.N. Kozyreva, M.V. Shinkevich, E.V. Leont'eva Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov. – 2015. – № 2. – pp. 143–148.
30. Razrabotka metoda otsenki gazodinamicheskoy aktivnosti ugol'nogo plasta pri provedenii podgotovitel'nykh vyrabotok / Plaksin M.S.: Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk. – Kemerovo, 2012. – p. 24.
31. Gazodinamicheskie sledstviya zonal'noy dezintegratsii massiva pri provedenii podgotovitel'noy vyrabotki / G.Ya. Polevshchikov, M.S. Plaksin // Vestn. KuzGTU. – 2011. № 5 – pp. 3-7.

Поступило в редакцию 11.07.2017
Received 11.07.2017