

как это недавно было сделано для дизъюнктивных нарушений [11]. В качестве возможного пути предложим ранжировать перерывы по их пространственному развитию (глобальные, региональные и местные). Глобальные перерывы проявлены на значительной части планеты (например, преддевонский перерыв), региональные – в пределах крупных тектонических блоков (например, Восточно-Европейская платформа), местные – в пределах отдельных геоструктур (например, синеклиза, прогиб). С учетом наличия в российской геологической науке хорошо укоренившихся традиций обобщения, систематизации информации и разработки классификационных схем на прочной концептуальной основе для деятельности отечественных специалистов открыты широкие перспективы. Следование отмеченным традициям вполне может послужить нормализации международной терминологии при одновременном усилении позиций российских ученых в мировом научном сообществе.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геологический словарь. В 2 Т. – М.: Недра, 1978. Т. 1. – 486 с.; Т. 2. – 456 с.
2. Справочник по тектонической терминологии. – М.: Недра, 1970. – 584 с.
3. Деннис Дж. Международный словарь английских тектонических терминов. – М.: Мир, 1971. – 288 с.
4. Толковый словарь английских геологических терминов. Т. 1 – 3. – М.: Мир, 1977 – 1979. Т. 1. – 589 с.; Т. 2. – 589 с.; Т. 3. – 544 с.
5. Розенталь Д.Э., Теленнова М.А. Словарь-справочник лингвистических терминов. – М.: Просвещение, 1985. – 399 с.
6. Miall A.D. The valuation of unconformities // *Earth-Science Reviews*. 2016. Vol. 163. P. 22 – 71.
7. Gutak J.M., Ruban D.A. Catastrophes versus events in the geologic past: how does the scale matter? // *Cadernos do Laboratorio Xeoloxico de Laxe*. 2013. Vol. 37. P. 163 – 180.
8. Ruban D.A. Major Paleozoic-Mesozoic unconformities in the Greater Caucasus and their tectonic re-interpretation // *GeoActa*. 2007. Vol. 6. P. 91 – 102.
9. Ruban D.A. The Upper Miocene of the Rostov Dome (Eastern Paratethys): Implication of the chronostratigraphy and bivalvia-based biostratigraphy // *Geoloski anali Balkanskoga poluostrva*. 2005. Vol. 66. P. 9 – 15.
10. Ruban D.A. Stratigraphic evidence of a Late Maetian (Late Miocene) punctuated transgression in the Tanais Palaeobay (northern part of the Eastern Paratethys, South-West Russia) // *Geologos*. 2010. Vol. 16. P. 169 – 181.
11. Peacock D.C.P., Nixon C.W., Rotevatn A., Sanderson D.J., Zuluaga L.F. Glossary of fault and other fracture networks // *Journal of Structural Geology*. 2016. Vol. 92. P. 12 – 29.

© 2017 г. Я.М. Гутак, Д.А. Рубан  
Поступила 17 января 2017 г.

УДК 622.817.49:519.62:512.644

*И.А. Поздеев*

ОАО «Распадская угольная компания» ООО «Шахта «Есаульская»

### РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСЧЕТА МЕТАНООБИЛЬНОСТИ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ С УЧЕТОМ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В УГЛЕПОРОДНОМ МАССИВЕ

Повышение нагрузки на очистной забой и увеличение глубины ведения горных работ способствовали росту метановыделения в горные выработки выемочного участка и шахты в целом, что явилось причиной частых простоев

очистных забоев вследствие загазирования выработок с исходящей струей воздуха.

Расчет параметров вентиляции выемочных участков на шахтах выполняется согласно действующим нормативным документам, однако фактическая метанообильность очистного за-

боя, как правило, отличается от метанообильности, полученной при расчете. В результате этого воздуха, подаваемого на выемочный участок, недостаточно для ритмичной и безаварийной работы комплексно-механизированного забоя. Этот факт свидетельствует о том, что задача управления метановыделением при отработке газоносных угольных пластов до сих пор не решена.

По результатам анализа действующих нормативных документов [1, 2] выявлено, что при расчете метанообильности выемочных участков не в полной мере учитываются изменения физико-механических свойств углепородного массива во время ведения очистных работ. В частности, принята идеализированная модель геомассива с постоянными фильтрационными свойствами угля и пород. Для прогноза метанообильности используется лишь один фактор – степень метаморфизма углей.

Однако на практике из графиков, полученных на основе данных концентраций метана, фиксируемых аппаратурой системы АГК, установленной в выработках с исходящей из очистного забоя струей воздуха, следует, что метановыделение с обрабатываемого пласта в процессе выемки угля происходит неравномерно. В этой связи обоснована актуальная научно-практическая задача, которая заключается в разработке алгоритма расчета метанообильности очистного забоя с учетом изменения фильтрационных свойств угля обрабатываемого пласта под действием геомеханических процессов.

Решение обозначенной задачи осуществлялось в два этапа:

1 – численное моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) углепородного массива в окрестности очистного забоя;

2 – создание алгоритма расчета ожидаемой метанообильности очистного забоя, в котором учитывается изменение фильтрационных свойств массива.

Моделирование НДС геомассива в окрестности очистного забоя осуществлялось с использованием пакета компьютерных программ, разработанных на кафедре геотехнологии в Сибирском государственном индустриальном университете. Комплекс программ адаптирован для решения двумерных задач геомеханики и выявления закономерностей изменения механических, реологических и плотностных свойств углепородного массива [3 – 9].

В качестве объекта исследования принят углепородный массив Байдаевского месторож-

дения в пределах шахтного поля ООО «Шахта «Есаульская», Кузбасс. Исследования проведены в период отработки выемочного столба 26-28 по пласту 26<sup>а</sup>.

Средняя глубина ведения горных работ составляет 490 м, вынимаемая мощность разрабатываемого пласта 2,1 м, угол падения от 1 до 10°. Горный массив представлен алевролитами и песчаниками, а также включает семь угольных пластов, ближайший из которых пласт 29<sup>а</sup> залегает в 130 – 150 м выше обрабатываемого пласта 26<sup>а</sup>. Шахта отнесена к сверхкатегорной по газу метану. Система разработки столбовая, с полным обрушением пород кровли, подвиганием очистного забоя длиной 300 м по восстанью. Схема выемки угля в лаве – челноковая, снизу вверх по ходу струи свежего воздуха.

При моделировании определялись следующие параметры НДС геомассива: главные, вертикальные и горизонтальные составляющие тензора напряжений и деформаций массива пород; вертикальные и горизонтальные смещения; отношение остаточной прочности пород к исходной. Выбор этих параметров обусловлен возможностью их использования для обоснования технологических решений при проектировании выемочных участков.

Составляющими метанообильности очистного забоя являются интенсивность метановыделения с поверхности забоя и из транспортируемой по забойному скребковому конвейеру горной массы. В этой связи составлено следующее уравнение:

$$I_{\text{оч.з}} = I_{\text{пл}} + I_{\text{т.г.м.}} \quad (1)$$

где  $I_{\text{оч.з}}$  – метанообильность очистного забоя, м<sup>3</sup>/мин;  $I_{\text{пл}}$  – метанообильность обрабатываемого пласта, м<sup>3</sup>/мин;  $I_{\text{т.г.м.}}$  – метанообильность транспортируемой по забойному конвейеру горной массы, м<sup>3</sup>/мин.

Для определения дебита метана, выделившегося с поверхности очистного забоя, возможно применение закона Дарси, который характеризует скорость фильтрации газа в направлении к свободной поверхности обрабатываемого пласта [10]:

$$\vartheta = -\frac{k}{\mu} \frac{dP(x)}{dx} \quad (2)$$

где  $\vartheta$  – скорость фильтрации газа, м/с;  $k$  – коэффициент проницаемости массива;  $\mu$  – динамическая вязкость газа, Па·с;  $P$  – давление газа, МПа;  $x$  – расстояние до поверхности очистного забоя, м.

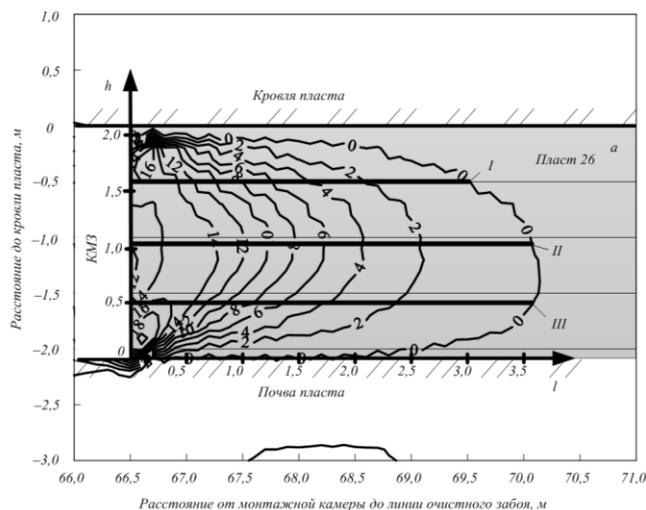


Рис. 1. Вариант результатов моделирования изменения горизонтальных деформаций угольного массива впереди очистного забоя для заданных условий ведения горных работ ( $\epsilon \cdot 10^{-3}$ ):  
 0 – 18 – изолинии горизонтальных деформаций; I, II, III – характерные линии изменения деформаций

В реальных условиях давление газа и проницаемость угольного массива не постоянны и меняются в процессе ведения очистных работ. С целью учета меняющихся физико-механических свойств массива предлагается использовать формулу, предложенную Б.Г. Тарасовым [11]:

$$k = 2,08d^2 \frac{m_0 + du/dx}{1 + du/dx}, \quad (3)$$

где  $d$  – эквивалентный диаметр породообразующего зерна;  $m_0$  – природная пористость массива;  $du/dx$  – деформация массива.

По результатам численного моделирования НДС массива установлено, что величина и зона распространения деформаций угольного массива зависят от изменчивости горно-геологических и технико-технологических условий ведения горных работ. Для расчета проницаемости обрабатываемого пласта предлагается использовать результаты моделирования изменения вертикальных и горизонтальных деформаций.

Принято условие, что в краевой части обрабатываемого пласта, где проявляются растягивающие деформации, повышена проницаемость угольного массива.

Как следует из результатов исследования НДС массива, в обрабатываемом пласте впереди очистного забоя преобладают сжимающие вертикальные и растягивающие горизонтальные деформации. Поэтому за основу расчета проницаемости предлагается использовать растягивающие горизонтальные деформации. Суммарную величину деформаций в краевой части угольного пласта в процессе ведения

очистных работ предлагается определить по формуле

$$\epsilon_{об} = \int_0^l \epsilon(x) dx, \quad (4)$$

где  $\epsilon_{об}$  – суммарные деформации в краевой части угольного пласта;  $\epsilon$  – распределение деформации в краевой части пласта по направлению  $x$ ;  $l$  – зона активной фильтрации газа, м.

Для использования формул (3) и (4) необходимо установить функциональную зависимость между деформациями и зоной активной фильтрации газа. В этой связи предлагается использовать результаты моделирования изменения горизонтальных деформаций массива (рис. 1).

Введем локальную систему координат  $Olh$  с началом координат на пересечении линии очистного забоя и почвы обрабатываемого пласта (рис. 1). Ось абсцисс указывает расстояние до поверхности очистного забоя, ось ординат – расстояние до почвы пласта. Согласно результатам проведенных исследований, деформации угольного массива изменяются не только в горизонтальной плоскости, но и в вертикальной (рис. 1). В этой связи определены функции, описывающие зависимость деформаций от расстояния до очистного забоя в следующих характерных горизонтальных линиях: у кровли пласта (на рис. 1 линия обозначена цифрой I); в центральной части мощности пласта (на рис. 1 линия обозначена цифрой II); у почвы обрабатываемого пласта (на рис. 1 линия обозначена цифрой III). Общий вид зависимостей следующий:

$$\epsilon_k = al^2 + a_1l + a_2; \quad (5)$$

$$\varepsilon_{cp} = bl^2 + b_1l + b_2; \quad (6)$$

$$\varepsilon_{п} = cl^2 + c_1l + c_2, \quad (7)$$

где  $\varepsilon_k$ ,  $\varepsilon_{cp}$  и  $\varepsilon_{п}$  – изменение деформаций по характерным линиям у кровли пласта, в центральной части мощности пласта и у почвы пласта соответственно;  $l$  – зона активной фильтрации газа, м;  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$  – коэффициенты эмпирических зависимостей по отдельным плоскостям.

Из функций (5) – (7), описывающих изменение деформаций по отдельным плоскостям, получена обобщенная зависимость изменения деформаций в пределах всей зоны активной фильтрации газа в краевой части пласта:

$$\varepsilon_{об} = (yh^2 + y_1h + y_1)l^2 + (eh^2 + e_2h + e_2)l + (gh^2 + g_2h + g_2), \quad (8)$$

где  $y_i$ ,  $e_i$ ,  $g_i$  – коэффициенты эмпирической зависимости.

С учетом полученных зависимостей функция (4) примет следующий вид:

$$\varepsilon_{об} = \int_0^l \int_0^h (yh^2 + y_1h + y_1)l^2 + (eh^2 + e_2h + e_2)l + (gh^2 + g_2h + g_2)dl dh. \quad (9)$$

Для определения градиента газового давления, используемого в формуле (2), предлагается применить зависимость, предложенную В.А. Колмаковым [10]:

$$P_x = P_0 + (P_1 - P_0) \cdot e^{-\frac{x^2}{2l^2(t)}}, \quad (10)$$

где  $P_x$  и  $P_0$  – соответственно давление газа на любом расстоянии от обнаженной поверхности пласта и начальное давление в пласте, МПа;  $P_1$  – давление газа на обнаженной поверхности пласта, МПа;  $x$  – расстояние до поверхности пласта;  $l(t)$  – глубина зоны разгрузки пласта.

Начальное давление газа в пласте определяется при помощи формулы Г.Д. Лидина [12]

$$P_0 = 0,01(H_T - H_0)^{1,3} + 2, \quad (11)$$

в которой  $P_0$  – давление газа в пласте на расчетной глубине, МПа;  $H_T$  и  $H_0$  – соответственно глубина разработки и зоны газового выветривания, м.

Условимся считать, что давление газа на поверхности очистного забоя в течение процесса фильтрации метана с краевой части обрабатываемого пласта равно атмосферному давлению:

$$P_1 = P_{атм}. \quad (12)$$

Для того, чтобы определить среднее значение градиента газового давления в зоне повышенной фильтрации пласта предлагается следующая формула:

$$P_{cp} = \frac{\int_0^l P'_x dx}{l}, \quad (13)$$

где  $P_{cp}$  – среднее значение градиента газового давления, МПа/м;  $P'_x$  – первая производная от газового давления, МПа;  $l$  – зона активной фильтрации пласта, м.

Интенсивность метановыделения с поверхности очистного забоя зависит от времени его обнажения. Через определенный промежуток времени, после выемки полосы угля, глубина зоны активной фильтрации пласта увеличивается, а давление газа в краевой части обрабатываемого пласта снижается, что приводит к уменьшению дебита выделяющегося метана. Таким образом, формула (10) справедлива для давления газа на вновь обнаженном участке очистного забоя, который соответствует длине полосы угля, вынимаемой очистным комбайном за одну минуту. С целью учета изменения градиента газового давления с течением времени формулу (10) предлагается модернизировать следующим образом:

$$P_x = P_0 + (P_1 - P_0) \cdot e^{-\frac{x^2}{2(l^2(t)\varphi(t))^2}}, \quad (14)$$

где  $\varphi_t$  – функция ползучести угля.

Изменение реологических свойств угольного массива с течением времени предлагается определить при помощи формулы Ж.С. Ержанова [13]:

$$\varphi_t = 1 + \frac{\delta t^{1-\alpha}}{1-\alpha}, \quad (15)$$

где  $\delta$  и  $\alpha$  – параметры ползучести, характеризующие реологические свойства угля;  $t$  – время цикла выемки угля, с.

Параметр  $\delta$  рассчитывается так:

$$\delta = 4,73 \cdot 10^{-3} - 6,9 \cdot 10^{-9} \cdot E_0; \quad (16)$$

здесь  $E_0$  – модуль упругости угля, т/м<sup>2</sup> [14], определяемый как

$$E_0 = 200 \sigma_{сж}, \quad (17)$$

где  $\sigma_{сж}$  – предел прочности угля при сжатии, т/м<sup>2</sup>.

В результате расчета проницаемости угольного массива и давления газа в нем для конкретных горно-геологических и технико-технологических условий и подстановки полученных данных в закон Дарси (2) получен удельный дебит метана, выделяющегося с поверхности обрабатываемого пласта в пространство очистного забоя:

$$q = \frac{k_{(\varepsilon)}}{\mu} P_{ср}, \quad (18)$$

где  $q$  – удельный поток метана в угольном пласте в направлении к свободной поверхности забоя, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·мин);  $k_{(\varepsilon)}$  – коэффициент проницаемости с учетом изменения деформаций угольного массива;  $\mu$  – динамическая вязкость газа, Па·с.

Модернизация формулы (2) состоит в следующем:

– для определения коэффициента проницаемости массива применяется формула Б.Г. Тарасова (3), при вычислении по которой используются результаты численного моделирования и функции изменения деформаций угольного массива впереди очистного забоя (5) – (7), применение которых позволяет учитывать изменение фильтрационных свойств массива под влиянием геомеханических процессов;

– при вычислении градиента газового давления за основу принята формула В.А. Колмакова (10), в которой учитывается изменение давления в зависимости от расстояния до поверхности очистного забоя, однако она была модернизирована (14) за счет того, что глубина зоны активной фильтрации газа принимается по результатам проведенного моделирования, а учет влияния фактора времени на градиент газового давления осуществляется по функции ползучести Ж.С. Ержанова (15), что позволило частично автоматизировать вычисление градиента давления и снизить трудоемкость расчета;

– синтез уравнений Дарси, Б.Г. Тарасова, В.А. Колмакова, Ж.С. Ержанова и результатов численного моделирования обеспечит вычисление дебита метана, выделившегося с поверхности очистного забоя, с использованием вместо постоянных параметров, которые не в полной мере соответствуют реальным горно-технологическим условиям, переменных значений деформаций и пористости массива. Предложенный подход позволит учитывать

изменение фильтрационных свойств угля в процессе ведения очистных работ.

На основе модернизированных уравнений Дарси, Б.Г. Тарасова, В.А. Колмакова общее количество метана, выделившегося с поверхности обрабатываемого пласта в исходящую струю, предлагается определять по формуле

$$Q_{пл} = Q_{в.об} + Q_{т.об}, \quad (19)$$

где  $Q_{пл}$  – количество метана, выделившегося в исходящую струю с поверхности обрабатываемого пласта, м<sup>3</sup>/мин;  $Q_{в.об}$  – количество метана, выделившегося в исходящую струю с вновь обнаженной поверхности обрабатываемого пласта, м<sup>3</sup>/мин;  $Q_{т.об}$  – количество метана, выделяющегося с ранее обнаженной поверхности очистного забоя, м<sup>3</sup>/мин.

Количество метана, выделившегося в исходящую струю с вновь обнаженной поверхности обрабатываемого пласта, составит

$$Q_{в.об} = q_{в.об} L_{в.об} m, \quad (20)$$

где  $q_{в.об}$  – удельный дебит метана, выделившегося с вновь обнаженной поверхности очистного забоя м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·мин);  $L_{в.об}$  – длина вновь обнаженного участка очистного забоя, м;  $m$  – мощность обрабатываемого пласта, м.

Количество метана, выделившегося в исходящую струю с ранее обнаженной поверхности очистного забоя, составит

$$Q_{т.об} = q_{т.об} L_{т.об} m, \quad (21)$$

где  $q_{т.об}$  – удельный дебит метана, выделившегося с поверхности очистного забоя до начала нового цикла выемки угля, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·мин);  $L_{т.об}$  – длина очистного забоя за вычетом вновь обнаженного участка, м.

С целью учета метановыделения из транспортируемого по забойному скребковому конвейеру угля предлагается использовать поправочный коэффициент  $K_{т.у}$ , который определяется следующим образом [1]:

$$K_{т.у} = a_2 \sqrt[4]{\frac{l_{оч}}{609_{т.оч}} + \frac{l_{птк}}{609_{т.птк}} + \frac{l_{кш}}{609_{т.кш}}}; \quad (22)$$

здесь  $K_{т.у}$  – коэффициент, учитывающий степень дегазации отбитого угля при его транспортировании по выработкам участка;  $a_2$  – коэффициент, характеризующий газоотдачу отбитого угля;  $l_{оч}$  – длина забойного скребкового конвейера, м;  $\mathcal{G}_{т.оч}$  – скорость транспортирования угля по очистному забою, м/с;  $l_{птк}$  – длина подлавногo перегружателя, м;  $\mathcal{G}_{птк}$  – скорость транспортирования угля по подлавному пере-

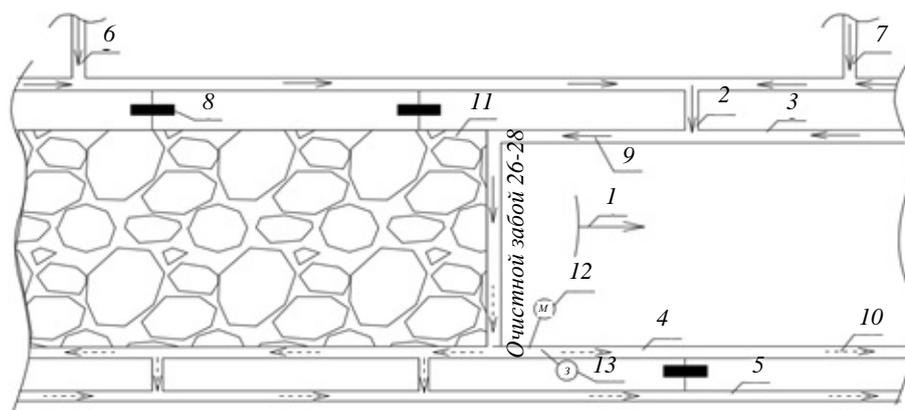


Рис. 2. Схема вентиляции выемочного участка 26-28 ООО «Шахта «Есаульская», Кузбасс:

- 1 – направление движения очистного забоя; 2 – опережающая сбойка; 3 – ходок 26-53; 4 – вентиляционный штрек 26-28; 5 – газодренажный ходок 26-53; 6 – вентиляционный штрек 26-31; 7 – магистральный путевой штрек 26-5; 8 – изолирующая перемычка; 9 – свежая струя воздуха; 10 – исходящая струя воздуха; 11 – выработанное пространство; 12 – датчик метана системы АГК, с которого считывались показания газа метана при проведении эксперимента; 13 – место замера скорости воздуха

грузателю, м/с;  $l_{к.ш}$  – длина конвейера, расположенного в конвейерном штреке, м;  $Q_{к.ш}$  – скорость транспортирования угля по конвейерному штреку, м/с.

Коэффициент, характеризующий газоотдачу отбитого угля  $a_2$ , равен

$$a_2 = 0,25 a_3, \quad (23)$$

где  $a_3$  – коэффициент, характеризующий газоотдачу угля в массиве.

Таким образом, формула (1) примет следующий вид:

$$I_{оч.заб} = I_{пл} (1 + K_{т.у}), \quad (24)$$

где  $I_{оч.заб}$  – метанообильность очистного забоя, м<sup>3</sup>/мин;  $I_{пл}$  – метанообильность отрабатываемого пласта м<sup>3</sup>/мин.

С целью оценки адекватности предложенного алгоритма расчета ожидаемой метанообильности очистного забоя проведен шахтный эксперимент. Для исследования аэрогазовой обстановки за основу принят инструментальный метод. В ремонтные и добычные смены в вентиляционном штреке 26-28, в 20 м выше сопряжения с очистным забоем, при помощи переносного анемометра АПР-2, предназначенного для измерения средней скорости движения воздушных потоков в шахтах, были проведены замеры скорости воздуха (рис. 2). Кроме того, использовались показания скорости воздуха, полученные горными мастерами участка вентиляции и техники безопасности (ВТБ). Учет концентрации метана в исходящей струе очистного забоя осуществлялся при помощи стационарного датчика метана (ДМС01),

предназначенного для непрерывного контроля концентрации метана на угольных предприятиях.

Таким образом, за период проведения эксперимента сделано более 100 замеров скорости воздуха и проведен газовый анализ 90 забоев.

Согласно «Инструкции по контролю состава рудничного воздуха, определению газообильности...» [15] средний расход газа метана, проходившего в пункте измерения в исходящей струе очистного забоя за определенный период времени, определяется по формуле

$$I_M = 0,01 \frac{\sum Q_{уч}}{n_B} \cdot \frac{\sum C_M}{n_M}, \quad (25)$$

где  $I_M$  – средний расход газа метана, проходившего в пункте измерения, м<sup>3</sup>/мин;  $Q_{уч}$  – расход рудничного воздуха в исходящей струе выемочного участка, м<sup>3</sup>/мин;  $C_M$  – концентрация метана в исходящей струе выемочного участка по данным системы аэрогазового контроля (АГК), %;  $n_B$  – количество измерений расхода рудничного воздуха;  $n_M$  – количество учитываемых значений метана за исследуемый период по данным системы АГК.

С целью выявления зависимости газообильности очистного забоя от скорости движения выемочного комбайна определялись среднестатистические значения концентрации газа метана и скорость движения очистного комбайна за рабочую смену. На основе полученных данных по формуле (25) вычислена фактическая абсолютная метанообильность очистного забоя в зависимости от скорости движения комбайна, а также по разработанно-



Рис. 3. Зависимости фактической (●) и расчетной (×) абсолютной метанообильности очистного забоя от скорости движения очистного комбайна

му алгоритму рассчитана ожидаемая абсолютная метанообильность для тех же скоростей.

На рис. 3 изображены результаты расчета фактической и расчетной абсолютной метанообильности очистного забоя 26-28, откуда следует, что разработанный алгоритм обеспечивает прогноз максимально возможной метанообильности очистного забоя.

**Выводы.** На основе полученных ожидаемых значений метанообильности очистного забоя становится возможным вычисление параметров проветривания выемочного участка, соблюдение которых исключит возникновение загазований выработок и обеспечит устойчивую и безопасную работу комплексно-механизированного забоя.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по применению схем проветривания выемочных участков шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок. Утверждена приказом № 680 Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору 01.12.2011.
2. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – Макеевка-Донбасс, 1989.
3. Риб С.В., Фрянов В.Н. Разработка комплекса проблемно-ориентированных программ для численного моделирования напряженно-деформированного состояния неоднородных угольных целиков // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 3. С. 367 – 371.
4. Риб С.В., Волошин В.А., Максимов А.А., Борзых Д.М., Никитина А.М., Фрянов В.Н. Численное моделирование методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния углеродного массива при переходе очистным забоем передовой выработки // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 3. С. 414 – 422.
5. Петрова О.А., Васильев П.В., Фрянова О.В., Фрянов В.Н. Модель формирования напряжений, деформаций и повреждений в углеродном массиве при интеграции гравитационного и геотектонического полей напряжений. Материалы за VIII международна научна практична конференция «Новината за напреднали наука – 2012». Т. 26. Технологии. – Бял ГРАД-БГ ООД. София: 2012. С. 10 – 19.
6. Фрянов В.Н., Петрова О.А., Петрова Т.В. Комплекс проблемно-ориентированных программ для моделирования формирования и распределения опасных зон в газоносном геомассиве: свидетельство о регистрации электронного ресурса. № 21123, дата регистрации 03 августа 2015 года // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов «Наука и образование» № 08–09 (75–76) август-сентябрь 2015. С. 2. Режим доступа: <http://ofernio.ru/portal/newspaper05.php>.
7. Fryanov V.N., Pavlova L.D. Prospects for application of robotic mechano-hydraulic excavation of gas-bearing coal layers at great depths // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2016. Vol. 45. (012002). Режим доступа: <http://iopscience.iop.org/issue/1755-1315/45/1>.
8. Tsvetkov A.B., Pavlova L.D., Fryanov V.N. Construction of the approximant of complete diagram for rock deformation // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2016. Vol. 45. (012009). Режим доступа: <http://iopscience.iop.org/issue/1755-1315/45/1>.
9. Pristupa Yu.D., Fryanov V.N., Pavlova L.D. Construction of a conceptual model of transport system for a coal mining region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2016. Vol. 45. (012014). Режим доступа: <http://iopscience.iop.org/issue/1755-1315/45/1>.
10. Колмаков В.А. Метановыделение и борьба с ним в шахтах. – М.: Недра, 1981. – 134 с.
11. Тарасов Б.Г., Колмаков В.А. Газовый барьер угольных шахт. – М.: Недра, 1978. – 200 с.
12. Лидин Г.Д. К вопросу о закономерности выделения метана из угля, отторгнутого из массива. – В кн.: Управление газовыделением и пылеподавлением в шахтах. – М.: Наука, 1972. С. 50 – 52.

13. Ержанов Ж.С. Теория ползучести горных пород и ее приложение. – Алма-Ата: Наука, 1964. – 173 с.
14. Методика выбора рациональных параметров технологических схем очистной выемки пологих угольных пластов гидрошахт Кузбасса / В.Н. Фрянов, А.П. Колесников, А.Н. Златицкий и др. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 1988. – 139 с.
15. Инструкция по контролю состава рудничного воздуха, определению газообильности и установлению категорий шахт по метану и/или диоксиду углерода. Утверждена приказом № 704 Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору 06.12.2012.

© 2017 г. И.А. Поздеев  
Поступила 1 февраля 2017 г.

УДК 622.831

*А.А. Исаченко, А.А. Петров*

ООО «Распадская угольная компания»

### **ОБОСНОВАНИЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ КРЕПИ СБОЕК КАПИТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК, ПРОЙДЕННЫХ В НЕОДНОРОДНОМ УГЛЕПОРОДНОМ МАССИВЕ**

При подземной разработке свиты угольных пластов при вскрытии и подготовке шахтных полей возникает необходимость проведения вскрывающих и подготавливающих выработок в неоднородном углепородном массиве. К таким выработкам следует отнести квершлагги, бремсберги, уклоны, сбойки, камеры различного назначения, газодренажные выработки и др. Устойчивость вмещающих пород на различных участках таких выработок существенно зависит от свойств этих вмещающих пород, формы и размеров поперечного сечения линейной части выработки и ее сопряжений с другими выработками.

В существующих нормативных документах рекомендуется выработку по ее длине делить на отдельные участки по горно-геологическим признакам и для каждого участка проводить расчеты параметров крепи, выбирать способы и схемы поддержания.

Однако при проведении наклонных или горизонтальных квершлаггов (сбоек) между выработками соседних угольных пластов свиты весьма сближенных пластов выделить участки с однородными горно-геологическими параметрами горных пород не представляется возможным. Например, при проведении наклонного квершлага с нижнего пласта на верхний необходимо выделять отдельные участки сопряжений квершлага (сбойки) с выработками нижнего и

верхнего пластов, а также участки пересечения выработки с породными слоями разной прочности, и для каждого участка осуществлять выбор параметров крепи с учетом взаимного влияния свойств пород на соседних участках. Естественно, использовать действующие методики в этом случае не представляется возможным.

В этой связи возникает актуальная научно-практическая задача прогноза геомеханических параметров, типа и конструкции крепи с учетом интегрального влияния разных свойств пород на соседних участках выработок, а также формы и размеров сопряжений и пересечений выработок.

В настоящей работе решение поставленной задачи осуществлено при разработке паспортов крепления квершлаггов (сбоек) капитальных выработок в условиях одной из шахт Кузнецкого угольного бассейна. Для обеспечения основного и вспомогательного транспорта, вентиляции и запасных выходов между уклонами пластов 1 и 2 (рис. 1) предложено проведение наклонных сбоек. Обоснование параметров крепи квершлаггов на отдельных этапах их проведения и крепления осуществлено с использованием численного моделирования напряженно-деформированного состояния пород в окрестности сбойки, пройденной от вентиляционного уклона пласта 1 до конвейерного уклона пласта 2.