

Keywords: coal massif, sudden coal, located near coal seams, hydrodynamic impact, technological holes.

Статья поступила в редакцию 22.02. 2013

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В.Г. Шевченко

УДК 622.411.332.001.57

Т.В. Бунько, д-р техн. наук, ст. научн. сотр.,
А.В. Боровский, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.
(ИГТМ НАН Украины),
А.Б. Бокий, аспирант
(ДВУЗ «ДонНТУ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭМИССИИ ШАХТНОГО МЕТАНА

Т.В. Бунько, д-р техн. наук, ст. научн. сотр.,
А.В. Боровський, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.
(ІГТМ НАН України),
А.Б. Бокий, аспірант
(ДВНЗ «ДонНТУ»)

РОЗРОБКА МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЕМІСІЇ ШАХТНОГО МЕТАНУ

T.V. Bunko, D.Sc. (Tech.), Senior Reseacher,
A.V. Borovsky, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine),
A.B. Bokij, Doctoral student
(SHEI "NMU")

DEVELOPMENT OF METHODS OF MATHEMATICAL DESIGN OF EMISSION OF MINE METHANE

Аннотация. Рассматриваются вопросы математического моделирования путей эмиссии метана из угольных пластов при функционировании шахт, ведущих добычу угля и метана. Показано, что пути эмиссии шахтного метана в атмосферу могут быть отображены сетевой структурой с сосредоточенными источниками метановыделения, а также ветвями с ламинарным законом движения газовой смеси через зоны обрушения на поверхность. Разработана сетевая газодинамическая математическая модель эмиссии шахтного метана, отличающаяся учетом различных законов движения газовой среды и усовершенствован адаптивный сетевой метод расчета ее параметров.

Ключевые слова: шахтный метан, экология, технологические схемы проветривания, дегазация выемочных участков, вакуумирование, воздухораспределение

Решение экологических проблем угледобычи на локальном (производственном) уровне связано с уменьшением непосредственного воздействия технологий угледобычи на компоненты природной среды: литосферу, атмосферу, гидросферу и почвы [1].

Нарушение равновесного состояния массивов горных пород приводит к появлению большого разнообразия взаимосвязанных механических, физических и химических процессов, влекущих за собой дегазацию пластов угля и газоносных пород.

Выделившийся из массива газ (метан или углекислый) по трещинам мигрирует в горные выработки, а иногда на земную поверхность. Миграция газа на земную поверхность может представлять большую опасность для людей и животных, а также изменять газовый состав почвенного слоя.

Теоретики рассматривают угольный пласт как совокупность блоков, окруженных трещинами, имеющими ширину раскрытия $10^{-6} \dots 10^{-3} \text{ см}$ [2], образующими фильтрационный объем. Внутри блоков имеются так называемые закрытые поры, не имеющие связи с межблоковым пространством. Выделение газов из разрабатываемого углегазового массива является следствием совместного действия процессов диффузии флюидов из блоков и их фильтрации в трещинном пространстве.

В качестве физико-химических параметров при решении задачи математического моделирования эмиссии метана из угольных пластов используется значительное число полученных в лабораторных или натуральных условиях констант, характеризующих состояние твердой, газообразной или переходных (десорбция-сорбция) фаз, характерных для определенных термодинамических условий пластов [3, 4 и др.]. Это средняя концентрация молекул в блоке, концентрация молекул на поверхности блока, эффективный коэффициент диффузии, динамическая вязкость метана, пористость породного массива и ряд других, которые, в свою очередь, определяются набором горно-геологических и горнотехнических условий разработки месторождения.

Пути эмиссии шахтного метана в атмосферу с математической точки зрения могут быть отображены сетевой структурой (ориентированным графом) с сосредоточенными источниками метановыделения или ветвями с ламинарным законом движения газовой смеси через зоны обрушения на поверхность.

Для исследования влияния изолированного отвода газовой смеси (газоотсоса) из верхней части выработанного пространства на его аэродинамические параметры – расход воздуха в виде утечек Q_{en} , депрессию h_{en} и сопротивление R_{en} , а также такие показатели, как коэффициент утечек $K_{ум.в}$ и коэффициент K_{O_2} , учитывающий движение воздушных масс в непосредственно примыкающей к призабойной части выработанного пространства пластов, отобразим топологию выемочного участка в виде простого параллельного соединения (рис. 1), где позиции I, II, III и значения аэродинамических параметров ветвей соответствуют положению фронта очистных работ на расстоянии 110, 230 и 470 м от разрезной печи.

При ведении очистных работ выделим два периода. Для первого из них характерным является то, что выработанное пространство проветривается утечками воздуха во всем его объеме.

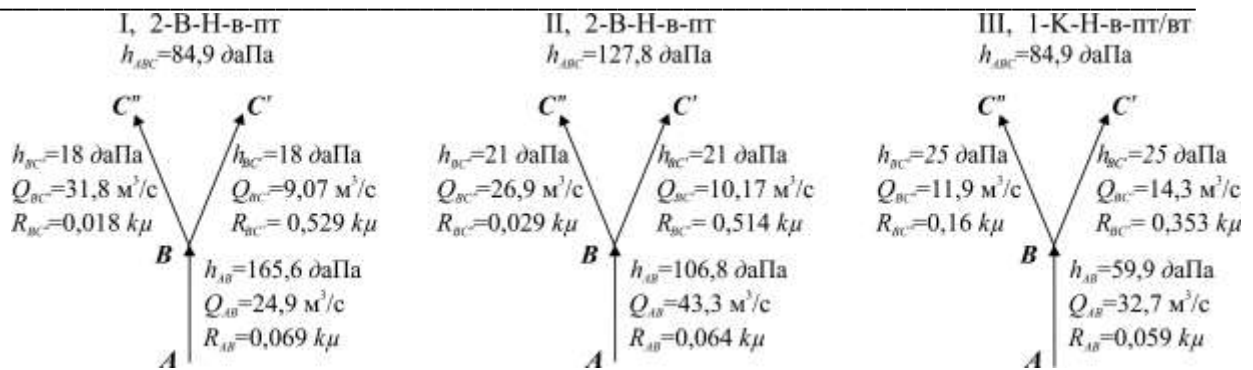


Рисунок 1 - Топология выемочного участка в виде простого параллельного соединения и аэродинамические параметры ветвей при удалении фронта очистных работ от разрезной печи на 110 м (а), 230 м (б) и 470 м (в)

Второй период наступает после обрушения и уплотнения пород кровли, т.е. когда часть выработанного пространства оказывается практически непрветриваемой. В дальнейшем, при подвигании очистных работ, эта часть выработанного пространства непрерывно увеличивается, а объем выработанного пространства, проветриваемый утечками воздуха, остается примерно постоянным. Этот режим проветривания выработанного пространства имеет продолжительный период. В течение такого периода режим движения воздуха в очистном забое турбулентный, а в выработанном пространстве – переходной, т.е. в законе сопротивления движению воздуха показатель степени находится в интервале $1 < n < 2$. Поэтому, используя закон равенства депрессий параллельных ветвей, можно записать, что

$$R_{oc} Q_{oc}^2 = R_{en} Q_{en}^n \quad (1)$$

Существующий метод определения режима движения воздушного потока [5] основан на знании расхода воздуха и депрессии той части вентиляционной сети, в которой определяется показатель степени n в законе сопротивления движению, т.е.

$$h_{en} = R_{en} Q_{en}^n \quad (2)$$

Поскольку величину аэродинамического сопротивления любой выработки непосредственно замерить невозможно приходится решать систему двух уравнений (2), соответствующих режимам проветривания с различными расходами воздуха – Q_{en1} и Q_{en2} . Логарифмируя эти выражения, а затем вычитая из первого уравнения второе и решая их относительно показателя n , получаем

$$n = \frac{\lg h_{en2} - \lg h_{en1}}{\lg Q_{en2} - \lg Q_{en1}} \quad (3)$$

Для определения режима движения воздуха в выработанном пространстве в уравнение (3) необходимо подставить значения величин утечек и депрессии.

Однако, поскольку в воздухопроводящих выработках, оконтуривающих выемочный участок, режим движения вентиляционного потока турбулентный, имеется возможность определить показатель степени n в законе сопротивления движению утечек по результатам относительного изменения расхода воздуха в призабойном и выработанном пространствах, не проводя замеров депрессии. Последнее значительно упрощает получение в шахтных условиях исходных данных, необходимых в дальнейшем для выполнения аналитических расчетов. Поэтому, применив регулирование расхода воздуха (путем изменения величины аэродинамического сопротивления за пределами параллельного соединения), на основании закона равенства депрессии параллельных ветвей (2) в общем виде получаем два одинаковых равенства, соответствующих различным режимам проветривания:

$$R_{oc} Q_{oc1}^2 = R_{en} Q_{en1}^n, \quad (4)$$

$$R_{oc} Q_{oc2}^2 = R_{en} Q_{en2}^n. \quad (5)$$

Тогда, в соответствии с этим, для простого параллельного соединения (рис. 4) соотношения (4), (5) примут вид:

$$R_{BC''} Q_{BC''1}^2 = R_{BC'} Q_{BC'1}^n. \quad (6)$$

$$R_{BC''} Q_{BC''2}^2 = R_{BC'} Q_{BC'2}^n. \quad (7)$$

Разделив теперь почленно (6) на (7), получим

$$\frac{Q_{BC''1}^2}{Q_{BC''2}^2} = \frac{Q_{BC'1}^n}{Q_{BC'2}^n}. \quad (8)$$

После чего, решая уравнение (8) относительно показателя степени n , находим, что

$$n = 2 \frac{\lg Q_{BC''1} - \lg Q_{BC''2}}{\lg Q_{BC'1} - \lg Q_{BC'2}}. \quad (9)$$

При выполнении шахтных экспериментальных исследований, связанных с регулированием расхода воздуха на выемочном участке, необходимо учитывать «осредненное» значение режима движения утечек воздуха в объеме всего выработанного пространства. Поэтому для определения величины n по результатам шахтных экспериментальных работ наиболее рациональным будет уравнение [6]:

$$n = 2 \frac{\lg Q_{oz1} - \lg Q_{oz2}}{\lg Q_{ym1} - \lg Q_{ym2}}, \quad (10)$$

где Q_{ym1} , Q_{ym2} – соответственно количество утечек через выработанное пространство при двух разных расходах воздуха (режимах проветривания) на вые-

мочном участке, полученных в результате преднамеренного регулирования – изменения аэродинамического сопротивления за пределами параллельного соединения.

На выемочных участках шахт Донбасса проведено более 30 экспериментальных работ по определению значений показателя степени режима движения утечек воздуха в выработанном пространстве [6]. В качестве примера в табл. 1 приведены сведения об определении этого показателя на выемочных участках с обратным порядком отработки угольных пластов (в том числе на шахте им. А.Ф. Засядько).

Таблица 1 – Результаты экспериментально определения режимов движения воздуха через выработанное пространство при столбовой системе разработки

Размеры выр. про-ва между за- мерными станциями, м	Расход воздуха на I замерной станции, м ³ /мин		Расход воздуха на II замерной станции, м ³ /мин		Де- прессия, ДаПа		Утечки через выр. про-во, м ³ /мин		Величина показателя степени <i>n</i>	
Шахта «Краснолиманская», выемочный участок 5-й северной лавы по пласту l_7 ($m = 1,6$ м, $\alpha = 10^0$, схема 1-М-Н-в-вт)										
120×500	5 24	3 09	4 20	2 57	9 ,0	3 ,0	1 04	4 2	1, 42	1, 58
120×550	5 88	3 16	3 92	2 20	1 5,4	4 ,7	1 96	9 6	1, 59	1, 66
Шахта № 16 им. «Известий», выемочный участок 15-й западной лавы по пласту l_2 ($m = 0,85$ м, $\alpha = 3^0$, схема 1-М-Н-в-вт)										
100×600	6 41	3 68	4 42	2 67	0 ,69	0 ,25	1 99	1 01	1, 51	1, 50
Шахта им. А.Ф. Засядько, выемочный участок 10-й западной лавы по пласту l_1 ($m = 1,8$ м, $\alpha = 6^0$, схема 2-В-Н-в-пт)										
250×230	2 690	2 430	1 700	1 560	-	-	9 90	8 70	-	1, 91
250×340	2 100	1 890	1 420	1 100	-	-	6 40	4 90	-	1, 98
Шахта им. А.Ф. Засядько, выемочный участок 16-й западной лавы по пласту m_3 ($m = 1,9$ м, $\alpha = 7^0$, схема 1-М*-Н-в-вт)										
250×1200	2 040	1 680	1 570	1 290	-	-	4 70	3 90	-	2, 02

Результаты на шахте им. А.Ф. Засядько подтверждают (табл. 1), что в угольных шахтах ламинарный режим движения утечек воздуха через выработанное пространство наблюдается в 20% из всех случаев, переходной – в 60% и турбулентный – около 20%. В настоящее время среди более 200 действующих выемочных участков с комбинированным проветриванием их около 1%, а со схемой второго уровня – около 12%. Более 80% всех выемочных участков проветриваются по возвратноточной схеме с отводом исходящей струи «на массив» или «на выработанное пространство» (схема

1-В). Расход воздуха подаваемый на эти участки, зачастую не соответствует расчетным значениям из-за потерь в ШВС или от недостаточной производительности ВГП.

Обобщая все изложенное, приходим к выводу, что режим движения утечек (притечек) в выработанном пространстве следует считать переходным, при котором показатель степени n находится в пределах 1,5-1,7. С учетом такого значения n рассмотрим влияние газоотсоса на аэродинамические параметры системы «горная выработка – выработанное пространство», являющейся аналогом параллельного соединения с дополнительным источником тяги в одной из ветвей.

В результате выполненных по данной методике расчетов установлено, что в условиях управления кровлей полным обрушением, «осредненное» в объеме всего выработанного пространства значение показателя степени режима движения утечек воздуха n изменяется в диапазоне от 1,5 до 1,7. Таким образом, закон движения утечек имеет переходной характер близкий к турбулентному.

При рассмотрении вопроса о влиянии газоотсоса, как дополнительного источника тяги, на изменение аэродинамических параметров выработанного пространства, следует учитывать, что приемное устройство газозвушной смеси («свеча», «отросток») может находиться на значительном отставании от очистного забоя. Длина самого «отростка» газопровода может достигать 50 м [7], а длина зоны утечек [8] – от 50 до 150 м, что связано с горно-геологическими условиями залегания пласт. Поэтому можно считать, что процесс отвода газозвушной смеси происходит в той части выработанного пространства, где движение этих притечек (утечек) имеет переходной режим, а среднее значение показателя режима такого движения $n = 1,6$.

По результатам экспериментов на шахте им. А.Ф. Засядько были определены показатели степени режима движения утечек через выработанное пространство. Численные значения показателя n определялись по результатам газозвушных съемок на выемочном участке 10-й западной лавы (табл. 1), выполненных в период времени до и после посадки основной кровли. При длине выработанного пространства, соизмеримой с длиной очистной выработки, наблюдается режим интенсивного движения утечек, близкий к турбулентному. Основная часть утечек воздуха в одном и другом эксперименте поступает в выработанное пространство из неконтролируемой (непогашенной) части конвейерного штрека. К этому следует добавить, что на режим движения утечек оказывает влияние охранный полосу из БЖБТ, выкладываемая (с «окнами») для поддержания воздухоотводящей неконтролируемой выработки позади фронта очистных работ. Ее влияние на поступление газонесущих утечек в исходящую струю составляет одну из особенностей аэрогазодинамики выемочного участка. В схемах проветривания с подсвеживанием и отводом исходящей струи «на выработанное пространство» характер распределения притечек (утечек) определяется аэродинамическим сопротивлением охранный полосы, как изолятора [9]. Увеличение ее плотности (снижение воздухопроницаемости) приводит к рассредо-

точению притечек по длине воздухоотводящей выработки. Такой массообменный процесс не всегда обеспечивает динамическое равновесие между поступлением метана в выработанное пространство и выносом метана из выработанного пространства утечками. Последнее становится непрерывно действующим равномерно распределенным источником газа, который, при резком колебании расхода воздуха, подаваемого на выемочный участок, или атмосферного давления, способен загазировать сопряжение лавы с вентиляционным штреком или воздухоотводящую выработку в целом.

Математически эта задача может быть сформулирована в следующем виде.

Вентиляционная сеть задана графом $G(X, U)$, для каждой ветви которого известны $l(i, j)$, $v(i, j)$, $S(i, j)$, концентрация метана в начальном узле ветви $c(i)$ и конечном узле $c(j)$. Таким образом, каждая ветвь этой сети может быть однозначно определена вектором состояний $K(i, j, Q, l, S, R, J, c(i), c(j))$

ШВС содержит выработки следующих типов:

U^I - выработки, с ламинарным законом движения воздуха, $n=1$;

U^{II} - выработки, с переходным законом движения воздуха, $n=1,5 \div 1,7$

U^{III} - выработки с квадратичным законом движения воздуха, $n=2$

При моделировании газораспределения в ШВС в сети учитываются законы распределения воздуха в ШВС (11), (12), уравнение, аппроксимирующее рабочую характеристику ВГП (13), зависимости между аэродинамическим сопротивлением выработки, ее сечением, длиной и коэффициентом аэродинамического сопротивления выработки (3.15)

$$\sum_{(i,j) \in U_l} Q(i, j) = 0, \quad l = 1, m, \quad (11)$$

$$\sum_{(i,j) \in U_\mu} (\text{sign}(Q(i, j))R(i, j)Q^2(i, j) \pm h_e) - \sum_{(i,j) \in (U_\mu \cap U_b)} H(i, j) = 0, \quad \mu = 1, m - n + 1, \quad (12)$$

$$H(i, j) = a(i, j) - b(i, j)Q^2(i, j), \quad (i, j) \in U_b, \quad (13)$$

$$R(i, j) = \frac{\alpha(i, j)L(i, j)}{S^{2,5}(i, j)}, \quad (i, j) \in U_x, \quad (14)$$

Требуется определить распределение расходов воздуха, депрессий, концентраций метана в ШВС. Система уравнений относится к нелинейным, и для ее решения возможно применение стандартных математических методов. Однако, как показали исследования, проведенные ИГТМ НАН Украины [10], сходимость стандартных методов неудовлетворительна по причине большого разброса начальных данных.

Поэтому нами предложен оригинальный сетевой адаптивный метод, являющийся модернизацией метода поузловой невязки.

Основные положения метода заключаются в следующем.

1. Задана начальная сеть $G_u(X_u, U_u)$. На множестве ветвей U_M моделируемого графа выделяется постоянная часть U_{const} , то есть ветви, которые отображаются в математической модели ШВС.

2. Результаты измерения расходов воздуха и депрессий наносятся на моделирующий граф $G_M(X_M, U_M)$. В моделирующем графе определяются узлы с нарушением первого закона сетей таким образом:

$$\Delta q_i = \sum_{(i,j) \in U_l} Q(i,j), \quad l=1,n, \quad |\Delta q_i| \geq \xi, \quad i=1,n',$$

где Δq_i – невязка расходов воздуха в i -том узле;

ξ – необходимая точность моделирования воздухораспределения в i -том узле;

n' – количество узлов с нарушением первого закона сетей.

3. Определяется множество ветвей (i,j) , которые моделируют пути эмиссии метана. Для этого выполняются операции сравнения

$$1) \Delta q_i > 0, \quad 2) \Delta q_j < 0, \quad |\Delta q_i| = |\Delta q_j|.$$

По результатам этого расчета определяются пути эмиссионного движения метана.

4. Для расчета воздухораспределения используется метод узловых давлений.

Эмиссия шахтного метана описывается сетевой структурой, включающей ветви с сосредоточенными источниками эмиссии метана, с ламинарным законом движением газовой смеси через зоны обрушения и утечки в выработанном пространстве в условиях управления кровлей полным обрушением, при котором показатель турбулентности находится в пределах 1,5-1,7. Аппроксимационные характеристики сетевой структуры определяются адаптивным методом поузловой увязки.

В результате выполненных исследований разработана сетевая газодинамическая математическая модель эмиссии шахтного метана, отличающаяся учетом различных законов движения газовой смеси и усовершенствован адаптивный сетевой метод расчета узловых давлений определения параметров этой модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бокий, Б.В. Совершенствование интегрального десорбиметрического прогноза выбросоопасности и область его применения / Б.В. Бокий, С.Г. Ирисов, Е.В. Шкурят // Физико-технические проблемы горного производства: сб. науч. тр. / НАН Украины, Институт физики горных процессов. - 2010. - вып. 13. - С. 109-116.

2. Булат, А.Ф. Создание индустрии шахтного метана в топливно-энергетическом комплексе Украины / А.Ф. Булат // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ НАН України, 1998. - Вип. 10. - С. 3-12.

3. Звягільський, Ю.Л. Дослідження процесу перерозподілу метану навколо очисного вибою що рухається. / Ю.Л. Звягільський, Б.В. Бокій, В.В. Назімко. – Донецьк: «Норд-Прес», 2005. – 195 с.
4. Карашкадзе, Г.Г. Методика расчета дебита метана из зоны гидрообработки неразгруженного угольного пласта / Г.Г. Карашкадзе. // «Метан». Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня/– М.: Изд-во «Мир горной книги», 2007.- С. 83-95.
5. Скочинский, А.А. Рудничная вентиляция / А.А. Скочинский, В.Б. Комаров. – М.: Углетехиздат, 1959. – С. 185-307.
6. Методы и средства управления газовыделением на выемочных участках шахт в период нестационарных процессов / Ф.А. Абрамов, Б.Е. Грецингер, Г.А. Шевелев, В.В. Соболевский. – К.: Наукова думка, 1973. – С. 4-24.
7. Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемам дегазации: СОУ 10.1.00174088.001 – 2004. – Макеевка: МакНИИ, 2005. – 80с.
8. Аэрогазодинамика выемочного участка / Ф.А. Абрамов, Б.Е. Грецингер, В.В. Соболевский, Г.А. Шевелев /- Киев: Наукова думка, 1972. -236 с.
9. Патрушев, М.А. Проветривание высокомеханизированных лав / М.А. Патрушев, Е.С. Драницын. – Донецк: Донбасс, 1974. – 150с.
10. Классификации теорий и методов расчета вентиляционных систем в нормальных и аварийных режимах угольных шахт / Т.В. Бунько, И.А. Яценко, Б.В. Бокий, И.Е. Кокоулин // Геотехническая механика: межвед. сб. научных трудов. – Днепропетровск, 2012. – Вып. 101. – С. 269-277.

REFERENCES

1. Boky B.V., Irisov, S.G. and Shkurat, Ye.V.(2010), «Perfection of integral desorbometrical prognosis of outburst hazard and its application domain», *Fiziko-tekhicheskiye problemy gornogo proizvodstva: sbornik nauchnikh trudov*, no. 13. - pp. 109-116.
2. Bulat A.F. (1998) «Creation industries of mine methane in the fuel and energy complex of Ukraine», *Geo-technical mechanics: mizvid. zb. nauk. prats*, no. 10, pp. 3-12.
3. Zvyagilsky Ye.L., Bokij B.V. and Nazimko V.V. (2005), *Doslidzennya protsesu pererospodilu metanu navkolo ochisnogo vyboyu shcho rukhayetsya* [Research processes of reapportionment of methane around the face which move], Nord-Pres, Donetsk, Ukraine/
4. Karashkadze G.G. (2007), «Methodic calculation of debit of methane from the area of the hydroprocessing undisburdened coal layer», *Metan. Otdelny vypusk gornogo informatsionno-analyticheskogo byulletenya*, World of mountain book, pp. 83-95.
5. Skochinsky A.A. and Komarov V.B. (1959), *Rudnichnaya ventilyatsiya* [Mine ventylation], Ugletekhizdat, Moscow, USSR.
6. Abramov F.A., Gretsnyger B.Ye., Shevelev G.A. and Sobolevsky V.V. (1973), *Metody i sredstva upravleniya gazovydeleniyem na viyemochnykh uchastkakh v period nestatsionarnykh processov* [Methods and facilities of management by gazovydeleniyem on the vyemochnykh areas of mines in the period of unstationary processes], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
7. Makeevka, MaksII (2005), *SOU 10.1.00174088.001-2004: Degazatsiya ugolnykh shakht. Trebovaniya k sposobam i sredstvam degazatsii* [Degassing of coal mines. Requirements to the methods and charts of degassing: SOU 10.1.00174088.001 – 2004], Makeevka,Ukraine.
8. Abramov F.A., Gretsnyger B.Ye., Sobolevsky V.V. and Shevelev G.A. (1972), *Aerogazodynamyka viyemochnogo uchastka* [Air-gas dinamic of miking area], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
9. Patrushev M.A., Dranytsyn Ye.S. (1974), *Provenrivaniye vysokomerhanizirovannykh lav* [Ventilation of high-mechanized lavas], Donbass, Donetsk, Ukraine
10. Bunko T.V., Yaschenko I.A., Bokiy B.V. and Kokoulin I.Ye (2012), «Classifications of theories and methods of calculation of the ventilation systems in normal and accident regimes of coal mines», *Geotechnical mechanics: mezved. sb. nauchnikh trudov*, no. 101, pp. 269-277.

Об авторах

Бунько Татьяна Викторовна, доктор технических наук, старший научный сотрудник в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, bunko2007@mail.ru

Боровский Анатолий Владимирович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, igtmnanu@yandex.ru

Бокий Александр Борисович, аспирант Государственного высшего учебного заведения «Донецкий национальный технический университет» Украины (ГВУЗ ДонНТУ), Донецк, Украина, bokiy@yahoo.com

About the authors

Bunko Tatyana Victorovna, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Senior Researcher in the Department of problems development of deposits on large depths, Institute of geotechnical mechanics by N.S. Polyakov National academy of sciences of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnepropetrovsk, Ukraine, bunko2007@mail.ru

Borovsky Anatoliy Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher in the Department of problems development of deposits on large depths, Institute of geotechnical mechanics by N.S. Polyakov National academy of sciences of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnepropetrovsk, Ukraine, igtmnanu@yandex.ru

Bokiy Alexander Borisovich, Doctoral student of State Higher Educational Establishment «The National Technical University» of Ukraine (SHEE «DonNTU» Ukraine), Ukraine, bokiy@yahoo.com

Анотація. Розглядаються питання математичного моделювання шляхів емісії метану з вугільних пластів під час функціонування шахт, які ведуть видобуток вугілля і метану. Показано, що шляхи емісії шахтного метану в атмосферу можуть бути відображені мережною структурою із зосередженими джерелами метановиділення, а також гілками з ламінарним законом руху газоповітряної суміші через зони обвалення на поверхню. Розроблена мережна газодинамічна математична модель емісії шахтного метану, яка відрізняється врахуванням різних законів руху газоповітряного середовища і вдосконалений адаптивний мережний метод повузлової нев'язки для розрахунку її апроксимаційних характеристики.

Ключові слова: шахтний метан, екологія, технологічні схеми провітрювання, дегазація виїмкових ділянок, вакуумування, повітроділення

Anstract. The questions of mathematical design of ways of emission methane from coal layers at functioning of mines conducting the booty of coal and methane are examined. It is shown that the ways of emission of mine methane to atmosphere can be represented by a network structure with the concentrated sources of methane-excretion, and also branches with the lamynarym law of motion of gas-air mixture through the areas of bringing down on a surface. The network gas-dynamycal mathematical model of emission of mine methane, different by the account of different laws of motion of gas-air environment and the adaptive network method of calculation of its parameters.

Keywords: mine methane, ecology, technological charts of ventilation, degassing of vyemochnykh areas, vakuumyrovaneye, vozdukhoraspredeleneye.

Статья поступила в редакцию 22.02.2013

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук В.Г. Шевченко

УДК [622.42/.44:536.24].001.57

В.Р. Алабьев, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.,
Б.В. Бокий, д-р техн. наук
(ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько»)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В
ТУПИКОВЫХ ВЫРАБОТКАХ ПРИ ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ
ФОРМИРОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА**

В.Р. Алаб'єв, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,
Б.В. Бокій, д-р техн. наук
(ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Засядька»)

**МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ В ТУПИКОВИХ
ВИРОБКАХ ЗА ПРИРОДНИХ УМОВ ФОРМУВАННЯ ТЕПЛООВОГО
РЕЖИМУ**

V.R. Alabyev, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,
Bokiy B.V., D. Sc. (Tech.)
(PAS «A.F. Zasyadko mine»)

**DESIGN OF HEAT-EXCHANGE PROCESSES IN DEADLOCK MAKING
AT NATURAL TERMS OF FORMING OF THERMAL MODE**

Аннотация. Обоснована необходимость, для условий угледобычи на больших глубинах, использования искусственного холода для нормализации климатических условий на рабочих местах. Предложена математическая модель теплообменных процессов в тупиковых выработках при естественных условиях формирования теплового режима. На основании решения системы уравнений теплового и массового баланса для тупиковой выработки при нагнетательном проветривании и принятых допущениях получены конечные зависимости для расчета температуры воздуха в характерных пунктах тупиковой выработки. Полученные зависимости могут применяться при регулировании теплового режима тупиковой выработки с помощью различных горнотехнических мероприятий или искусственного охлаждения воздуха.

Ключевые слова: теплообменные процессы, тупиковые выработки, угольные шахты, кондиционирование рудничного воздуха

Потребность в использовании искусственного холода на шахтах Украины возрастает с каждым годом, что обусловлено ростом глубины разработки. В настоящее время более 50 шахт Донбасса ведут горные работы с нарушением Правил безопасности [5] по температурным условиям труда. На некоторых шахтах с глубиной разработки до 1300 м температура воздуха в действующих очистных и подготовительных забоях достигает 35-39 °С и выше, что приводит к росту травматизма и заболеваемости горняков.