

УДК 622.831:537.86

Г.П. Стариков<sup>1</sup>, В.З. Брюм<sup>2</sup>, Я.В. Шажко<sup>1</sup>

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ОТРАБОТКЕ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ЛАВ

<sup>1</sup>Институт физики горных процессов НАН Украины

<sup>2</sup>ГП «Петровский завод угольного машиностроения»

*На базе теоретических и экспериментальных исследований установлены закономерности выхода метана из угля разной степени нарушенности, учитывающие его кинетические параметры при отработке высоконагруженных лав.*

**Ключевые слова:** угольный пласт, метан, лава, эффективный коэффициент диффузии, концентрация метана, скорость подвигания лавы, пористость угля

Процесс угледобычи является одним из наиболее сложных в добывающей промышленности Донбасса, а эффективность и безопасность труда определяются горно-геологическими и горно-технологическими условиями. В соответствии с программой «Украинский уголь» предусмотрено значительное увеличение добычи угля за счет интенсификации работ на действующих горизонтах, обрабатывающих газоносные угольные пласты, склонные к газодинамическим явлениям на глубинах более 1 тыс. м. Достижение высокой экономической эффективности угледобычи потребует увеличения нагрузки на очистные и подготовительные забои за счет применения современных комплексов. Это, в свою очередь, резко обострит проблему создания безопасных условий труда в очистных и подготовительных выработках, поскольку значительно возрастут объемы метана, выделяющегося из угольного массива и добываемого угля, из зон газодинамических явлений и вмещающих пород, разгруженных от горного давления. Существующие же методы прогноза времени формирования критических значений метана в атмосфере выработок построены на эмпирических зависимостях, не учитывающих современные представления о строении угольного вещества, о фазовом состоянии метана в поровом объеме и кинетике десорбции метана в зависимости от степени повреждаемости угля.

Для учета вышеперечисленных факторов в ИФГП НАН Украины была разработана физическая модель выхода метана из угольного массива и разрушенного угля в призабойное пространство очистного забоя при условии одновременного учета фильтрационных и диффузионных механизмов процесса десорбции [1].

Согласно этой модели метан в угле содержится в свободном газообразном состоянии в фильтрационном объеме (в трещинах, открытых порах и каналах) и в виде твердого раствора в блоках угольного вещества, не нарушенных открытой пористостью. Особую роль играет метан, находящийся в закрытых порах, т.е. тех, которые не сообщаются с фильтрационным объемом. Истечение метана из фильтрационного объема в выработку происходит путем фильтрации, описываемой законом Дарси. Одновременно метан, содержащийся в блоках угля и в закрытых порах, поступает оттуда в фильтрационное пространство путем твердотельной диффузии. Тем самым реализуется диффузионно-фильтрационный механизм массопереноса метана в угле.

Расчетная формула для кинетики газовыделения из моделируемого элемента угольного массива с учетом схемы очистной выработки (рис. 1) имеет вид

$$n(t, x) = \frac{P_M}{P_a} \sqrt{\frac{\gamma_3 D_f}{\pi}} \left[ \frac{m}{S} \frac{1}{\sqrt{t}} + \frac{6k_0 V_{II}}{r_{пр} V_k} \frac{1}{\sqrt{t}} \right], \quad (1)$$

где  $P_M$  – давление метана в угле, МПа;  $P_a$  – атмосферное давление, МПа;  $m$  – мощность пласта, м;  $\gamma_3$  – эффективная пористость,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;  $D_f$  – эффективный коэффициент диффузии метана из угля,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $S$  – площадь сечения очистной выработки,  $\text{м}^2$ ;  $V_{II}$  – скорость подвигания забоя, м/сут;  $V_k$  – скорость движения скребковой цепи забойного конвейера, м/с;  $r_{пр}$  – приведенный размер фракции разрушенного угля, м;  $k_0$  – коэффициент загрузки оборудования;  $t$  – время, с.

С использованием базового уравнения (1) разработана методика прогноза времени формирования опасных концентраций метана в призабойной зоне угольных пластов [2]. При этом необходимо выполнить следующие операции:

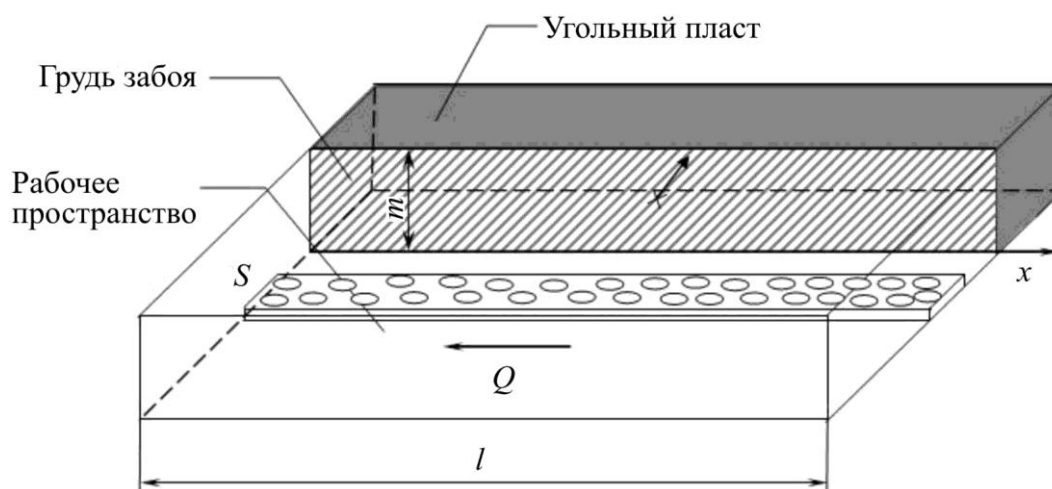


Рис. 1. Схема очистной выработки

1. Определить горно-геологические, физические и технологические параметры: мощность пласта  $m$ ; пористость  $\gamma_3$  и метаноносность  $q$  угля; эффективный коэффициент диффузии метана из угля  $D_f$ ; остаточную метаноносность угля  $q_{\text{ост}}$ ; расход воздуха в очистной выработке  $Q$ ; площадь сечения очистной выработки  $S$ ; ширину захвата исполнительного органа  $r$ ; длину очистного забоя  $l_{\text{л}}$ ; скорость звука в метановой атмосфере  $V_s$ ; скорость продвижения забоя  $V_{\text{п}}$ ; скорость движения скребковой цепи забойного конвейера  $V_{\text{к}}$ ; приведенный размер фракции разрушенного угля  $r_{\text{пр}}$ ; коэффициент загрузки оборудования  $k_0$ .

2. Рассчитать значение опасной концентрации метана  $C$  в забое очистной выработки:

$$C = \frac{I_0}{I_0 + q}. \quad (2)$$

3. Определить время  $t_{\text{кр}}$  достижения опасной (1%) концентрации метана:

$$t_{\text{кр}} = -\frac{1}{I_0 + q} \ln \left[ 1 - \frac{C_{\text{кр}}(I_0 + q)}{I_0} \right], \quad (3)$$

где  $I_0$  – интенсивность источников метановыделения, 1/мин;  $q$  – время проветривания 1 м<sup>3</sup> объема выработки,  $q = Q/LS$ , мин.

4. Определить интенсивность источников метановыделения:

$$I_0 = \left[ \frac{2b_1}{\sqrt{A_1}} + \frac{2b_2}{\sqrt{A_2}} \right] \frac{60V_s}{l_{\text{л}}}, \quad (4)$$

где  $A_1, A_2$  – параметры, характеризующие относительную скорость движения соответственно метана и скребковой цепи конвейера в очистном забое:  $A_1 = 86,4 \cdot 10^3 \cdot V_s / V_{\text{п}}$ ,  $A_2 = V_s / V_{\text{к}}$ ;  $b_1, b_2$  – параметры, характеризующие поступление метана соответственно из угольного пласта и из угля, разрушенного добычным механизмом:

$$b_1 = g\rho_y \sqrt{\frac{\gamma_3 D_f}{\pi V_s}} \frac{l_{\text{л}}}{\sqrt{r_{\text{пр}} V_{\text{к}}}} \frac{m}{S}; \quad (5)$$

$$b_2 = g_{\text{ост}} \rho_y \sqrt{\frac{\gamma_3 D_f (l_{\text{л}} + l_{\text{к.л}})}{\pi V_s}} \frac{6k_0 V_{\text{п}}}{r_{\text{пр}} V_{\text{к}} \cdot 86,4 \cdot 10^3}; \quad (6)$$

$\gamma_3$  – эффективная пористость угля:

$$\gamma_3 = \gamma_0 + \nu(1 - \gamma_0) \left( 1 - \gamma + \frac{\gamma}{\nu} \right), \quad (7)$$

$\gamma, \gamma_0$  – соответственно закрытая и открытая пористость угля.

С использованием вышеприведенной методологии произведем расчет изменения концентрации метана и времени ее формирования в зависимости от скорости подвигания линии очистных забоев для условий 9-й западной лавы пласта  $l_1$  и 9-й южной лавы пласта  $k_5$  шахт им. А.Ф. Засядько и «Краснолиманская». Исходные параметры приведены в таблице.

Таблица

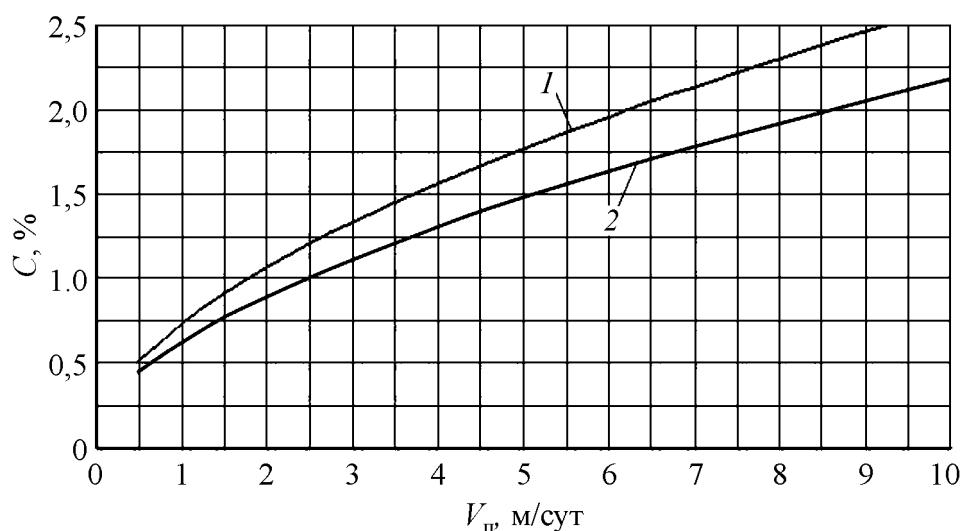
Исходные расчетные данные

Наименование физических и технологических параметров	Значения параметров	
	шахта им. А.Ф. Засядько	шахта «Краснолиманская»
Мощность пласта, м	2,05	2,03
Пористость угля, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	0,1	0,3
Расход воздуха в очистной выработке, м <sup>3</sup> /мин	2100	1236
Эффективный коэффициент диффузии метана из угля, м <sup>2</sup> /с	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$
Площадь сечения очистного забоя, м <sup>2</sup>	5,74	4,5
Ширина захвата исполнительного органа, м	0,8	0,63
Длина очистного забоя, м	300	330
Скорость подвигания забоя, м/сут	4,5	2,7
Скорость движения скребковой цепи забойного конвейера, м/мин	0,25	0,25
Размер фракций угля, м	0,02	0,027
Коэффициент загрузки добычного оборудования	0,7	0,8
Скорость звука в метановой атмосфере, м/с	386	386

Результаты расчета представлены на рис. 2 в виде зависимостей  $C = f(V_s)$ . Анализ установленных закономерностей свидетельствует, что при прочих равных условиях концентрация метана в очистном забое определяется скоростью его подвигания. Используемые скорости при отработке угольных пластов  $l_1$  и  $k_5$  (таблица) приводят к формированию концентрации метана в очистном пространстве  $C_{l_1} = 1,35\%$ ,  $C_{k_5} = 1,3\%$ , а время формирования не превышает 3–4 мин. Учитывая, что концентрация метана при отработке угольных пластов не должна превышать  $C = 1\%$  [3], естественно, следует вывод о несоответствии применяемой скорости подвигания забоя лавы геофизическим свойствам пласта. Используя зависимости изменения концентрации метана от скорости подвигания забоя лавы (рис. 2), можно установить оптимальные скорости подвигания, не приводящие к увеличению концентрации метана более 1%. Так, для пласта  $l_1$  оно не должно превышать  $V_s \leq 2,5$  м/сут, а для пласта  $k_5$  –  $V_s \leq 1,75$  м/сут.

Особенностью разработанной модели, как указывалось выше, является возможность прогнозирования кинетики газовыделения метана из угольного массива по давлению  $P_m$  и параметру массопереноса метана в угле  $D_f$ . Для

оценки этих параметров авторами разработан шахтный десорбметр ДС-03, который позволяет в процессе проведения подготовительных работ определять значения  $P_m$  и  $D_f$  в режиме реального времени. Эти параметры с учетом технологических параметров проектируемого очистного забоя дают возможность оптимизировать объем добычи с соблюдением всех требований правил безопасности.



**Рис. 2.** Зависимость концентрации метана в очистном забое при максимальном значении эффективного коэффициента диффузии угля от скорости подвигания лавы для условий 9-й южной лавы пласта  $k_5$  шахты «Краснолиманская» (кривая 1) и 9-й западной лавы пласта  $l_1$  шахты им. А.Ф. Засядько (кривая 2)

В целом анализ представленных результатов свидетельствует, что установленные закономерности в виде инженерных формул позволяют вычислять концентрацию метана и время ее формирования в очистном забое в зависимости от физических и технологических параметров.

### Выводы

1. Впервые обоснована физическая модель десорбции метана из угольного массива и разрушенного угля в свободный объем, учитывающая взаимовлияние механизмов фильтрации и диффузии.
2. Разработан метод расчета времени образования различных концентраций метана в очистном забое с учетом открытой и закрытой пористости угля, сорбционной метаноемкости, скорости движения очистного забоя, мощности пласта, расхода воздуха, скорости движения цепи забойного конвейера, эффективного коэффициента диффузии метана из угля, сечения призабойного пространства, гранулометрического состава разрушенного угля, коэффициента загрузки добычного оборудования.
3. Сравнительная оценка расчетных и фактических данных по образованию предельной концентрации метана на примере очистных забоев в усло-

виях шахт им. А.Ф. Засядько и «Краснолиманская» показала практически полное совпадение, что дает основание для применения разработанной методологии на горных предприятиях.

1. *Алексеев А.Д.* Диффузионно-фильтрационная модель выхода метана из угольного пласта / А.Д. Алексеев, Э.П. Фельдман, Т.А. Василенко, К.В. Гуменник, Н.А. Калугина // Журнал технической физики. – 2007. – №77. – Вып.4. – С. 65–74.
2. *Алексеев А.Д.* Прогноз времени образования опасных концентраций метана в очистных забоях / А.Д. Алексеев, Э.П. Фельдман, Г.П. Стариков, Н.А. Калугина, И.Е. Кольчик // Уголь Украины. – 2010. – №7. – С. 29–32.
3. *Правила безпеки у вугільних шахтах: ДНАОП 1.1.30-1.01-00.* Державний нормативний акт з охорони праці. – К.: Держнаглядохоронпраці, 2000. – 484 с.

Г.П. Стариков, В.З. Брюм, Я.В. Шажко

#### ПРОГНОЗУВАННЯ КІНЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГАЗОВИДІЛЕННЯ ПІД ЧАС ВІДРОБКИ ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИХ ЛАВ

*На базі теоретичних та експериментальних досліджень встановлено закономірності виходу метану з вугілля різного ступеня порушеності, що враховують його кінетичні параметри під час відпрацювання високонавантажених лав.*

**Ключові слова:** вугільний пласт, метан, лава, ефективний коефіцієнт дифузії, концентрація метану, швидкість посування лави, поруватість вугілля

G.P. Starikov, V.Z. Brum, Y.V. Shazhko

#### PREDICTION OF GAS EMISSION KINETIC PARAMETERS DURING MINING IN THE HIGH-LOADED COAL FACES

*Based on theoretical and experimental studies, methane emission behavior in coals of various jointing degree was determined in regard to methane kinetic parameters during mining in the high-loaded coal faces.*

**Keywords:** coal seam, methane, coal face, effective diffusion coefficient, methane concentration, face advance speed, coal porosity

*Статья поступила в редакцию 15 января 2010 года*