

УДК 622.831:537.86

КИНЕТИКА МАССОПЕРЕНОСА МЕТАНА ПРИ ОЧИСТНОЙ ВЫЕМКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Стариков Г. П.

(ИФГП НАН Украины, г. Донецк, Украина)

Мамлеев Ш. В.

(ОП «Шахта «Шахтерская-Глубокая», г. Донецк, Украина)

На базі теоретичних та експериментальних досліджень встановлено закономірності кінетики десорбції метану з вугілля різного ступеня порушеності під час відпрацювання високонавантажених лав.

Mechanisms of methane desorption from coals of various jointing degree during mining in high-loaded coal faces are established based on theoretical and experimental studies.

В соответствии с программой «Украинский уголь» предусмотрено значительное увеличение добычи угля за счет интенсификации работ на действующих горизонтах, отрабатывающих газоносные угольные пласты, склонные к газодинамическим явлениям на глубинах более 1000 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 выработках, поскольку значительно возрастут объемы метана, выделяющегося из угольного массива и добываемого угля, и из вмещающих пород, разгруженных от горного давления.

Анализ существующих методов определения метанообильности горных выработок [1-4] показал, что в них не учитывается кинетика десорбции метана из угля, которая при прочих равных

условиях является функцией фазового состояния, пористости, гранулометрического состава, скорости подвигания очистного забоя и других физических и технологических факторов. Многообразии факторов, участвующих в газовыделении и вариаций горно-геологических условий предопределяет необходимость разработки аналитических моделей и решений взамен существующих, не демонстрирующих большой точности. В связи с этим основной целью данной работы является обоснование параметров способа определения времени образования опасных концентраций метана в призабойной зоне высоконагруженных лав с учетом количества и фазового состояния водометанового флюида в угле, скорости подвигания очистного забоя и гранулометрического состава разрушенного угля.

Для учета вышеперечисленных факторов в ИФГП НАН Украины использована ранее разработанная физическая модель выхода метана из угольного массива и разрушенного угля в призабойное пространство очистного забоя при условии одновременного влияния фильтрационных и диффузионных механизмов на процесс десорбции [5].

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 оценки интенсивности источников газовой выделении $n(t, x)$ из моделируемого элемента угольного массива с учетом схемы очистной выработки (рис. 1) имеет вид:

$$n(t, x) = \frac{P_M}{P_a} \sqrt{\frac{\gamma_{\text{Э}} D_f}{\pi}} \left[\frac{l}{S} \frac{1}{\sqrt{t}} + \frac{6k_o V_{\text{II}}}{r_{\text{пр}} V_{\text{к}}} \frac{1}{\sqrt{t}} \right], \quad (1)$$

где P_m – давление метана в угле, МПа;
 P_a – атмосферное давление, МПа;
 m – мощность пласта, м;
 γ_g – эффективная пористость, м³/м³;
 D_f – эффективный коэффициент диффузии метана из угля, м²/с;
 l – длина очистного забоя, м;
 S – площадь сечения очистной выработки, м²;
 $V_{п}$ – скорость подвигания забоя, м/сут;
 V_k – скорость движения скребковой цепи забойного конвейера, м/с;
 V_s – скорость звука в метановой атмосфере, м/с;
 $r_{пр}$ – приведенный размер фракции разрушенного угля, м;
 k_o – коэффициент загрузки оборудования;
 t – время транспортирования угля, с.

В формуле (1) первое слагаемое в квадратных скобках соответствует газовыделению с поверхности угольного пласта, а второе – из отбитого угля.

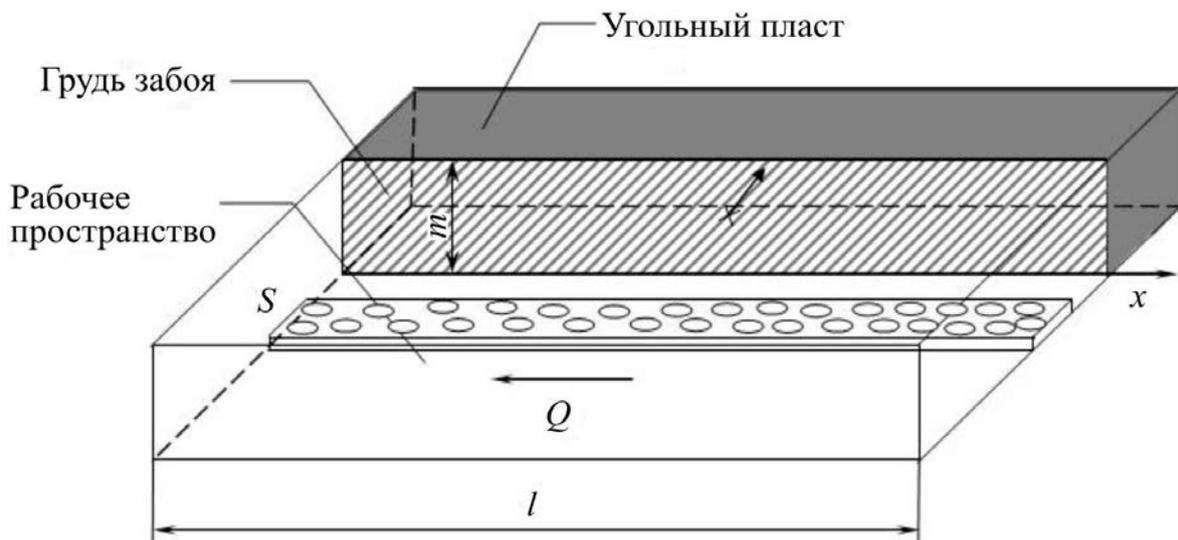


Рис. 1. Схема очистной выработки

С использованием базового уравнения (1) обоснован способ определения времени формирования опасных концентраций метана в призабойной зоне угольных пластов [6]. При этом необходимо выполнить следующие операции:

1. Определить горно-геологические, физические и технологические параметры.

2. Рассчитать значение опасной концентрации метана $C_{кр}$ в забое очистной выработки:

$$C_{кр} = \frac{I_0}{I_0 + q} \quad (2)$$

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

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

где I_0 – интенсивность источников метановыделения, мин^{-1} ;
 q – время проветривания 1 м^3 объема выработки, $q = Q/IS$, мин^{-1} .

4. Определить интенсивность источников метановыделения:

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

где A_1, A_2 – параметры, характеризующие относительную скорость движения соответственно метана и скребковой цепи конвейера в очистном забое: $A_1 = 86,4 \cdot 10^3 \cdot V_s/V_{п}$, $A_2 = V_s/V_{к}$;

b_1, b_2 – параметры, характеризующие поступление метана соответственно из угольного пласта и из угля, разрушенного добычным механизмом:

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

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

где $\gamma_{\text{э}}$ – эффективная пористость угля:

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

где γ , γ_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 1.

Таблица 1

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 ³ /м ³	0,1	0,3
Расход воздуха в очистной выработке, м ³ /мин	2100	1236
Эффективный коэффициент диффузии метана из угля, м ² /с	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$
Площадь сечения очистного забоя, м ²	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 рисунке 2 в виде зависимостей $C = f(V_s)$.

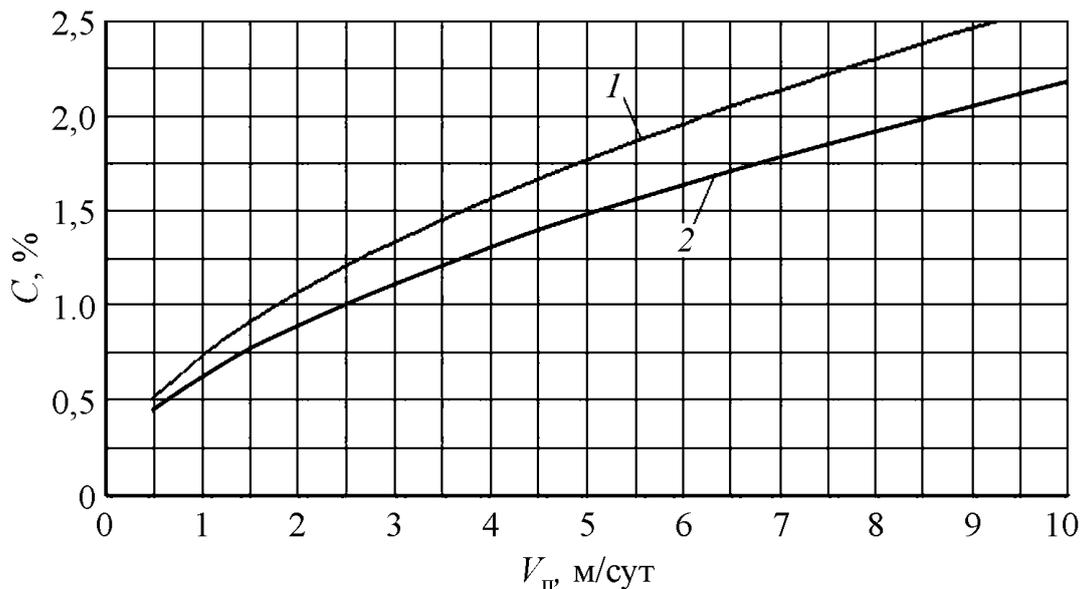


Рис. 2. Зависимость концентрации метана в очистном забое при максимальном значении эффективного коэффициента диффузии угля от скорости подвигания лавы для условий 9-й южной лавы пласта k_5 шахты «Краснолиманская» (кривая 1) и 9-й западной лавы пласта l_1 шахты им. А. Ф. Засядько (кривая 2)

Анализ установленных закономерностей свидетельствует, что используемые скорости при отработке угольных пластов l_1 и k_5 (таблица 1) 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 минут. Учитывая, что концентрация метана при отработке угольных пластов не должна превышать $C = 1$ % [7], 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 $V_{п} \leq 2,5$ м/сут., а для пласта k_5 – $V_{п} \leq 1,75$ 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 ав-

торами разработан шахтний десорбومتر 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.

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. Обоснован способ расчета времени формирования 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.

2. Сравнительная оценка расчетных и фактических данных по образованию предельной концентрации метана на примере очистных забоев в условиях шахт им. А. Ф. Засядько и «Краснолиманская» показала практически полное совпадение, что дает основание для применения разработанной методологии на горных предприятиях.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт: Утв. приказ. Госкомитета Украины по надзору за охр. труда № 131 от 20.12.1993 г. – Киев: «Основа», 1994. – 312 с.
2. Гращенко Н.Ф. Рудничная вентиляция: Справочник / Н.Ф. Гращенко, А.Э. Петросян, М.А. Фролов и др.; Под ред. К.З. Ушакова. – М.: Недра, 1988. – 440 с.

3. Тарасов Б.Г. Прогноз газообильности выработок и дегазации шахт / Б.Г. Тарасов. – М.: Недра, 1973. – 208 с.
4. Скляр Л.А. Возможные по газовому фактору нагрузки на очистные забои / Л.А. Скляр // Борьба с газом, пылью и выбросами в угольных шахтах. – Макеевка-Донбасс. – 1975. – Вып. 9. – С. 56 – 61.
5. 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.
6. 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.
7. Правила безпеки у вугільних шахтах: ДНАОП 1.1.30-1.01-00. Державний нормативний акт з охорони праці. – К.: Держнаглядохоронпраці, 2000. – 484 с.