

УДК 622.831

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ МЕТАНА В УГЛЕ

к.т.н. Калугина Н.А. (ИФГП НАНУ)

Запропонований метод визначення коефіцієнта фільтрації метану у вугіллі на основі збігу при відповідному виборі параметрів експериментальних і теоретичних кривих десорбції метану в замкнутий об'єм.

METHOD FOR DETERMINATION OF METHANE FILTRATION COEFFICIENT IN COAL

Kalugina N.A.

The method is proposed for determination of methane permeability coefficient in coal based on the convergence of theoretical and experimental curves describing the methane desorption into closed volume under proper values of adjustable parameters.

Закономерности выхода метана из ископаемого угля зависят от многочисленных параметров, характеризующих структуру угля и свойства газа, а также условия, в которых находится система уголь – газ. Одними из важнейших параметров, описывающих процесс метановыделения из угля, являются коэффициенты фильтрации и диффузии. Рассмотрим метод определения коэффициента фильтрации метана в угле на основе совпадения экспериментальных и теоретических кривых десорбции метана из угля при соответствующем выборе параметров.

В работах [1,2] была разработана физическая модель выхода метана из угольного вещества. В этой модели считается, что выход газа происходит путем просачивания его через систему фильтрационных каналов и одновременно идет подпитка этих каналов метаном, диффундирующим из блоков, не нарушенных открытой пористостью. В результате развития этой модели выделены основные параметры, влияющие на характер десорбции метана из угля: коэффициент фильтрации, эффективный коэффициент диффузии, радиус ненарушенного открытой пористостью блока угольного вещества, радиус фракций угля, растворимость.

Нужно отметить, что в отличие от теории, где коэффициенты твердотельной диффузии и фильтрации определяют каждый свой процесс в отдельности, в экспериментальных условиях процесс выхода метана из угля характеризуется некоторым обобщенным показателем фильтрационной проницаемости, который мы и определяем. Поскольку выход газа, в конечном счете, происходит по фильтрационным каналам, будем называть этот показатель коэффициентом фильтрации.

В [2] была получена теоретическая зависимость концентрации метана в незанятой углем части замкнутого объема от времени (в безразмерных единицах) для малых времен:

$$n(t) = \frac{\rho_0 \gamma_0}{ga \sqrt{\gamma_0}} \sqrt{t}, \quad (1)$$

где $g = \frac{V_f}{V_c}$, $a \equiv \frac{L}{R} \sqrt{\frac{D_{eff}}{D_f}}$, ρ_0 – плотность метана в фильтрационном объеме угля в начальный момент; γ_0 – открытая пористость, V_c – суммарный объем, занимаемый кусками угля, V_f – объем свободной части замкнутого объема, L – радиус фракций угля, R – радиус ненарушенной открытой пористостью блока угольного вещества, D_f – коэффициент фильтрации, $D_{eff} = \frac{D}{1 - \gamma + \frac{\gamma}{v}}$ –

эффективный коэффициент диффузии (D – коэффициент твердотельной диффузии метана в угле) учитывает наличие в блоке закрытых пор, γ – закрытая пористость, v – растворимость метана в угле.

Вид кривой зависимости концентрации метана $n(t)$ в свободном от угля замкнутом объеме от времени t представлен на рис. 1 [2].

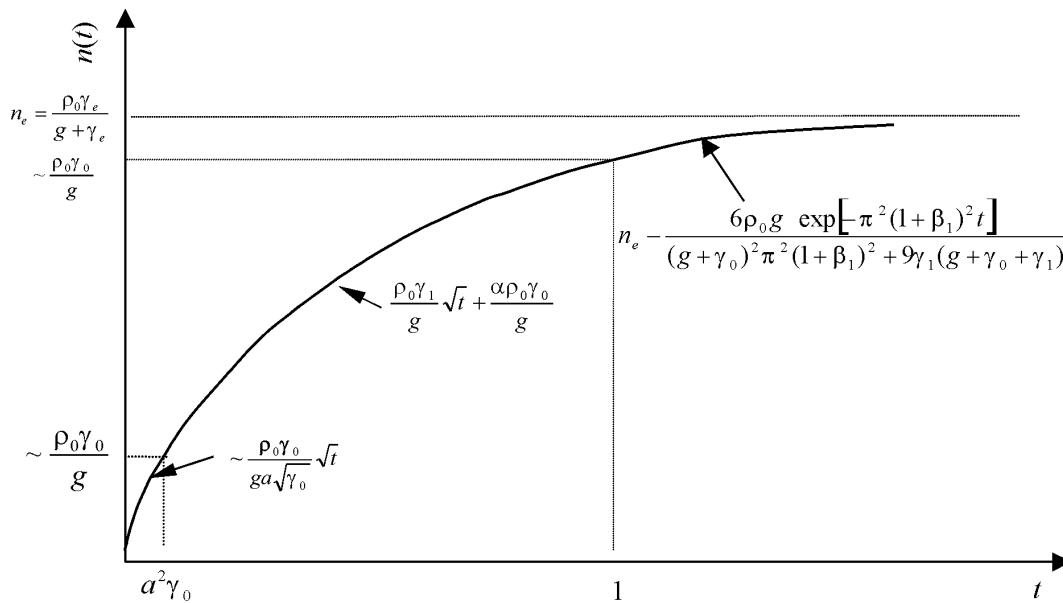


Рис. 1. Зависимость концентрации метана $n(t)$ в свободном объеме от времени t

Учитывая вид параметра a , а также то, что время измеряется в единицах $\frac{R^2}{D_{eff}}$, после несложных преобразований, получим,

$$n(t) = \frac{\rho_0 \sqrt{\gamma_0}}{gL} \sqrt{t D_f}. \quad (2)$$

Эту формулу будем использовать для нахождения коэффициента фильтрации.

В работе [3] описаны результаты экспериментальных исследований по изучению кинетики выхода метана из каменных углей путем десорбции его

в вакуумированный сосуд известного объема. На рис. 2 представлены, в частности результаты измерения десорбции метана из угля марки Д для фракций 0,2–0,25 и 2,0–2,5 мм.

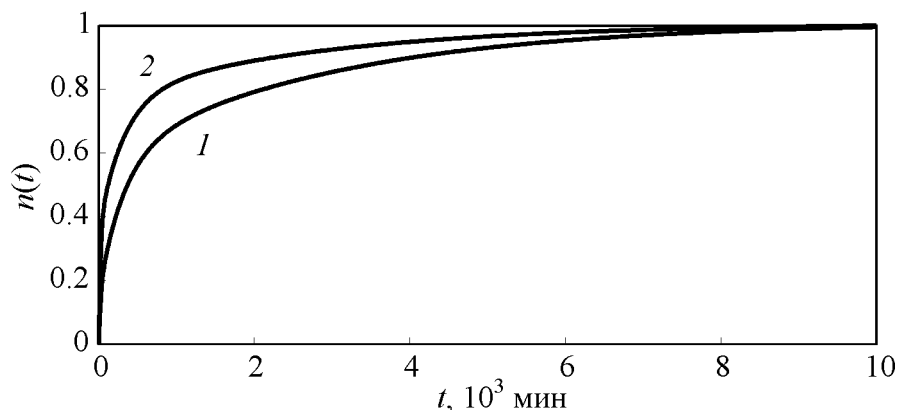


Рис. 2. Характер десорбции метана из угля марки Д фракций, мм: 1 – 2,0–2,5, 2 – 0,2–0,25

Сравнивая экспериментальные зависимости количества вышедшего из угля метана от времени (рис. 2) с теоретической зависимостью, можно сразу сделать качественный вывод – вид кривых один и тот же. Значит, при определенных значениях параметров теоретическая и экспериментальная кривые могут совпадать и, таким образом, они могут служить для определения этих параметров. Начальный выход (а именно этот этап нас интересует с практической точки зрения), как и предсказывает теория, очевидно, происходит по корневому закону. Эта корневая особенность соответствует времени фильтрации. Выделяя это время фильтрации (то есть то, где выполняется корневой закон), определим коэффициент фильтрации следующим образом.

Для сравнения с экспериментальной кривой воспользуемся зависимостью (2). Приведем теоретическую концентрацию к относительным единицам. Для этого, разделим обе части равенства (2) на равновесную концентрацию $n_e = \frac{\rho_0 \gamma_e}{g + \gamma_e}$ (здесь $\gamma_e = \gamma_0 + v(1 - \gamma_0) \left(1 - \gamma + \frac{\gamma}{v}\right)$).

В относительных единицах концентрация метана в зависимости от времени в замкнутом резервуаре составит

$$n(t) = \frac{\sqrt{\gamma_0}}{\gamma_e L} \sqrt{t D_f} \frac{g + \gamma_e}{g}. \quad (3)$$

С целью определения коэффициента фильтрации построим экспериментальную кривую в координатах $n(t)$ (в относительных единицах) и \sqrt{t} . Получим прямую, тангенс угла наклона к оси абсцисс которой равен

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{\gamma_0}}{\gamma_e L} \sqrt{D_f} \frac{g + \gamma_e}{g}. \quad (4)$$

Отсюда коэффициент фильтрации метана в угле можно найти по формуле:

$$D_f = \frac{\gamma_e^2 L^2 \text{tg}^2 \alpha}{\gamma_0} \left(\frac{g}{g + \gamma_e} \right)^2. \quad (5)$$

Применим эту формулу для определения коэффициента фильтрации экспериментальных образцов угля марок Т, Д, К, Ж. Воспользуемся экспериментальными кривыми десорбции метана из угля [3] и перестроим их в координатах $n(t)$ и \sqrt{t} . Полученные прямые аппроксимации с их аналитическим выражением и достоверностью аппроксимации изображены на рис. 3.

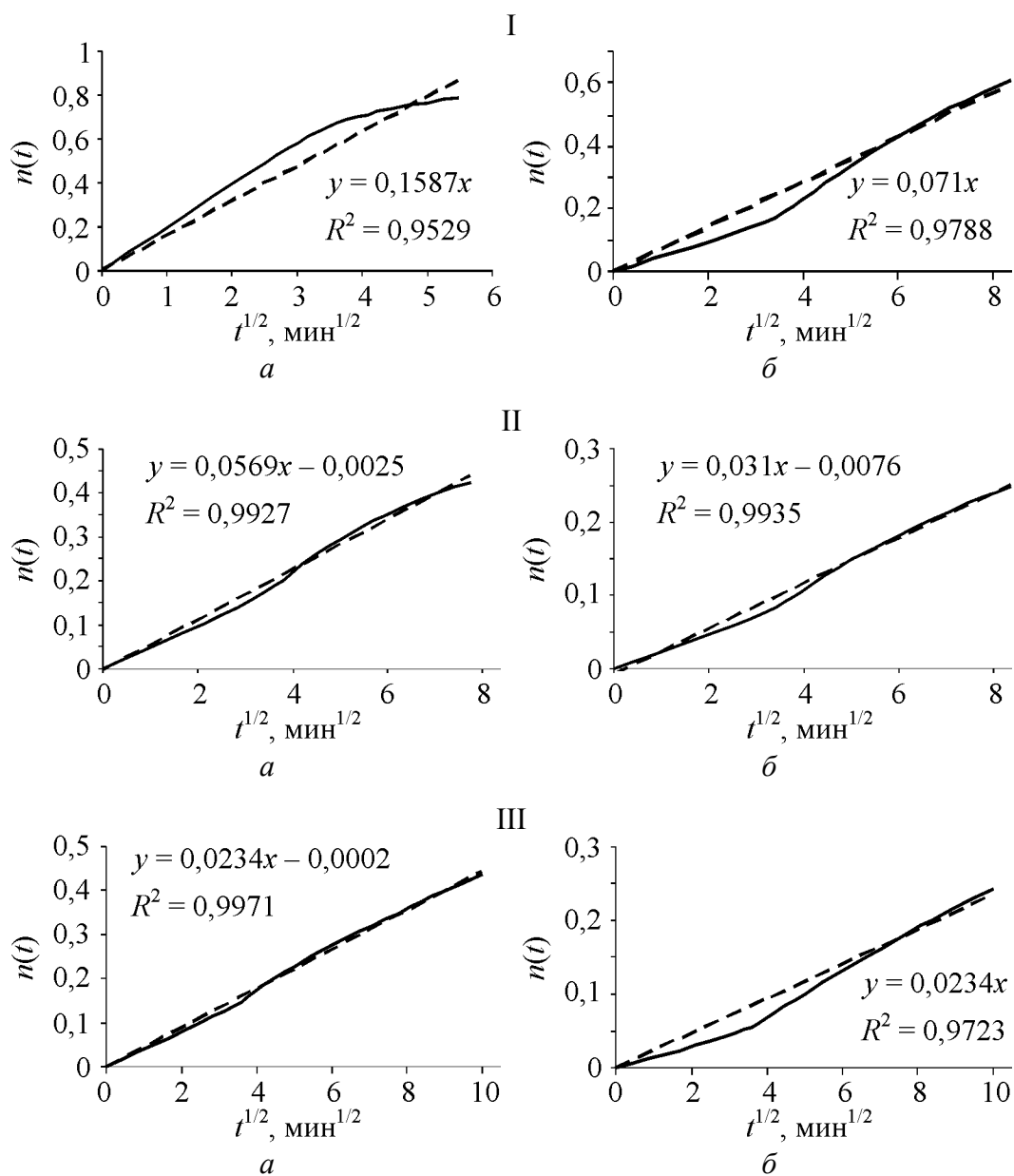


Рис. 3. Кривые выхода метана из угля марки Т (I), Д (II) и К(III) на начальном этапе, фракция: а – 0,2, б – 2 мм

Используя экспериментальные данные по определению закрытой и открытой пористости [4], считая растворимость равной 0,1 и учитывая, что $g = 3,7$, сведем расчеты по определению коэффициента фильтрации в табл. 1.

Таблица 1.

Определение коэффициента фильтрации

Марка, фракция	L , мм	γ	γ_e	γ_0	$\text{tg}\alpha$	D_f , cm^2/c
Т, 0,2 мм	0,2	0,11	0,26	0,08	0,16	$1,41 \cdot 10^{-7}$
Т, 2 мм	2	0,11	0,26	0,08	0,07	$2,6 \cdot 10^{-6}$
Д, 0,2 мм	0,2	0,06	0,34	0,2	0,06	$1,5 \cdot 10^{-8}$
Д, 2 мм	2	0,06	0,34	0,2	0,03	$3,5 \cdot 10^{-7}$
К, 0,2 мм	0,2	0,13	0,24	0,05	0,044	$1,47 \cdot 10^{-8}$
К, 2 мм	2	0,13	0,24	0,05	0,026	$5,14 \cdot 10^{-7}$

Различие значений коэффициента фильтрации для углей одной марки разных фракций можно объяснить тем, что при измельчении разрушается часть транспортных каналов (в первую очередь наиболее крупных) и такое изменение структуры ведет к изменению коэффициента фильтрации.

Таким образом, рассчитанный выше приведенным способом коэффициент фильтрационной проницаемости, можно использовать при расчете времени газовыделения из угля, в частности, при определении времени образования опасной концентрации в замкнутом объеме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А.Д., Фельдман Э.П., Василенко Т.А., Молчанов А.Н., Калугина Н.А. Массоперенос метана в угле, обусловленный совместно фильтрацией и твердотельной диффузией // Физика и техника высоких давлений. – 2004. – Т. 14, № 3. – С. 107–118.
2. Фельдман Э.П., Василенко Т.А., Калугина Н.А. Истечение метана из угля в замкнутый резервуар: роль явлений диффузии и фильтрации// Физика и техника высоких давлений. – 2006. – Т. 16, № 2. – С. 9–114.
3. Алексеев А.Д., Васильковский В.А., Калугина Н.А. Кинетика и механизмы десорбции метана из угля // Физико-технические проблемы горного производства. – Донецк: ИФГП НАНУ, 2005. – Вып. 8. – С. 59–71.
4. Алексеев А.Д., Зайденварг В.Е., Синолицкий В.В, Ульянова Е.В. Радиофизика в угольной промышленности. – М.: Недра, 1992. – 184 с.