

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ КИНЕТИКИ ДЕСОРБЦИИ МЕТАНА ИЗ КАМЕННОГО УГЛЯ

к.ф.-м.н. Васильковский В.А., к.ф.-м.н. Ульянова Е.В. (ИФГП  
НАН Украины)

*Аналіз особливостей кінетики десорбції метану з вугілля показав, що процес десорбції можливо поділити на дві фази, які відрізняються швидкістю виділення газу. Перша фаза пов'язана з перехідними процесами в системі вугілля-метан, а друга відбувається в умовах сталого балансу дифузійного та фільтраційного потоків газу.*

## SOME ASPECTS ON THE INTERPRETATION OF KINETICS OF METHANE DESORPTION FROM COAL-BEDS

Vasilkovsky V.A., Ulyanova E.V.

*Analysis of the kinetics of the methane desorption from coal bed have shown that the desorption process can be divided into two phases, which are distinguished by the methane evacuation rate. The first phase corresponds to the transition processes in the coal-methane system, the second one occurs in the conditions of the established balance between diffusion and filtration processes.*

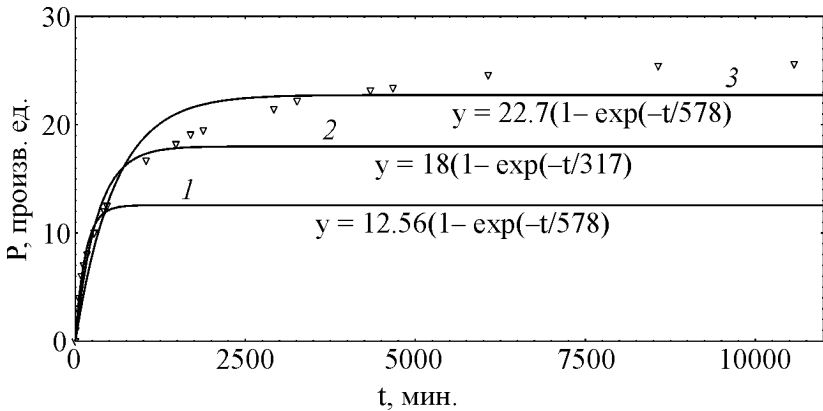
Особенности кинетики десорбции метана из каменного угля, механизмы его выхода представляют не только научный, но и практический интерес. Известно, что на различных этапах - добыче, транспортировке и хранении угля - поток выделяемого газа различен: с течением времени система уголь - метан релаксирует к стационарному, устойчивому состоянию. Считается, что время релаксации

$$\tau_{\text{dec}} = \frac{N(t)}{[\partial N / \partial t]} = \text{const} \quad (1)$$

есть величина постоянная, изменение содержания метана в угле описывается функцией вида  $N(t) = N_0 \cdot \exp(-t/\tau^{\text{dec}})$ , а поток газа  $\partial N / \partial t$  при десорбции пропорционален его содержанию  $N(t)$  в угле. Регистрация хода десорбции газа в сосуд известного объема [1] показывает, что такое представление о кинетике десорбции является упрощенным. В действительности выход газа нельзя описать одной

экспоненциальной функцией. На это указывают также теории диффузионного и фильтрационного процессов, согласно которым справедливость указанного приближения допускается только в завершающей фазе выделения газа [2,3].

На рис.1 представлен типичный ход десорбции метана из каменного угля в вакуумированный сосуд известного объема: зависимость количества метана (давление газа в произв. ед.) от времени измерения. Представлены также кривые, соответствующие среднеквадратичному отклонению от экспериментальных точек ( $\Delta$ ) при регистрации десорбции в течение 10, 30 и 160 часов с использованием интерполяционной функции вида  $a(1 - \exp(-t/\tau))$ . Видно, что значения параметров  $a$  и  $\tau$  зависят от продолжительности опыта. То есть, параметры десорбции зависят от времени, а интерполяционная функция в виде, представленном выше, не может точно описать процесс выхода метана из угля.



**Рис. 1.** Влияние времени регистрации десорбции на результат расчета параметров функции  $y = a(1 - \exp(-t/b))$ : 1 – 10 часов, 2 – 30 часов, 3 – 160 часов

Наш анализ показывает, что меньшую среднеквадратичную ошибку (при выборе вида интерполяции) обеспечивает комбинация “корневой” и экспоненциальной зависимостей

$$N(t) = a \left( 1 - (1 + \epsilon t)^{-0,5} \right) + c \left( 1 - \exp(-t/\tau)^{-0,5} \right). \quad (2)$$

Расчитанный по формуле (2) параметр  $\tau^{dec}(t)$ , непрерывно изменяется во времени, что, по видимому, более точно отражает

реальный процесс десорбции. Очевидны так же и неудобства такой интерполяции: теряется наглядность физической интерпретации параметра  $b$  в первом слагаемом выражения (2). Поэтому в дальнейшем мы будем пользоваться приближением суммы двух экспонент

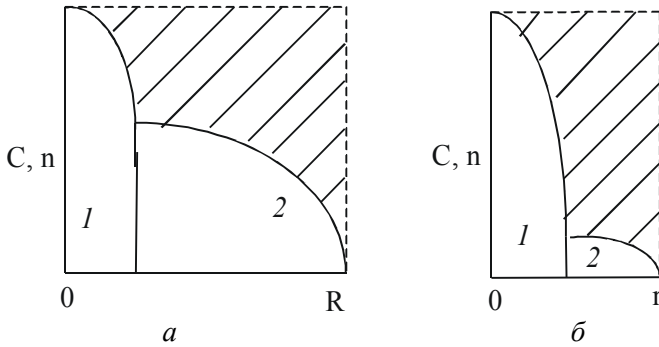
$$N(t) = a(1 - \exp(-t/\tau_1)) + c(1 - \exp(-t/\tau_2)). \quad (3)$$

Параметр  $\tau^{dec}$  в этом приближении также зависит от  $t$ , однако, эта зависимость слабее, чем при интерполяции вида (2).

Таким образом, сделав выбор в пользу приближения (3), мы жертвуем точностью количественных оценок в пользу удобства качественного анализа. Заметим, что в данном случае параметры  $a$  и  $c$  (точнее, их сумма) отражают количество газа в накопительном сосуде. При другой методике регистрации десорбции, например, ЯМР на протонах метана в угле, может быть применима интерполяция вида  $a \exp(-t/\tau_1) + c \exp(-t/\tau_2)$  и параметры  $a$  и  $c$  будут связаны уже с количеством молекул метана в угле.

Исследования показали, что все особенности кинетики десорбции метана из каменных углей нельзя объяснить наличием только одного механизма выхода метана [1,4]. Они являются следствием суперпозиции двух механизмов: газ путем диффузии из закрытых пор поступает в, частично уже свободные, открытые поры и трещины, в которых он, двигаясь далее к поверхности угля, испытывает эффект фильтрации. Последний приводит к зависимости плотности потока газа, времени его истечения от средней длины и других характеристик транспортных каналов. Поскольку при вязком течении коэффициент фильтрации уменьшается в ходе десорбции, то существует момент времени, когда устанавливается баланс диффузионного и фильтрационного потоков. Таким образом, весь процесс десорбции можно условно разделить на две фазы: первая – это фаза процессов, предшествующих установлению баланса потоков, и вторая – завершающая фаза, когда источником выделяемого углем газа есть только его диффузия из закрытых пор в открытые поры. Очевидно, что кинетика выхода газа в этих фазах должна быть различна.

Ниже, на рисунке 2, схематично показаны элементы угля, состоящие из глобулы и, примыкающей к ней, открытой поры для гранул угля большого (а) и малого (б) размера, а также распределение в этих элементах концентрации молекул газа при десорбции.



**Рис. 2.** Схема распределения концентрации метана  $C$  – в глобулах (1) и  $p$  – в открытых порах (2) при балансе диффузионного и фильтрационного потоков:  $a$  – гранулы большого,  $b$  – малого размера

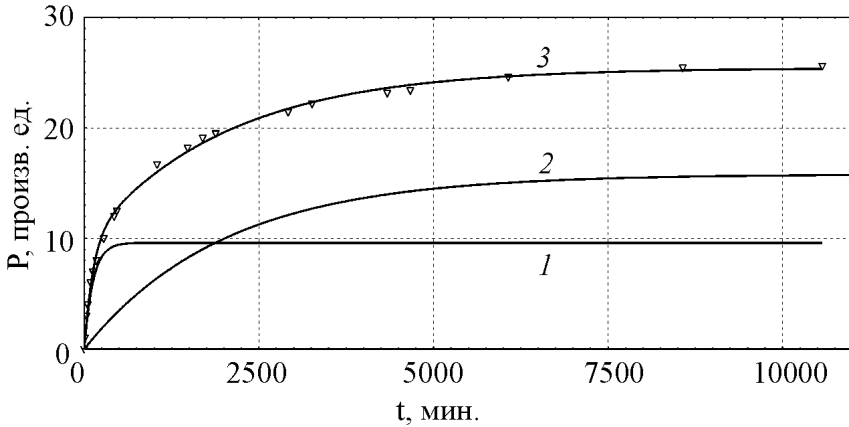
Заштрихованная область показывает изменение концентрации газа в элементе угля за время первой фазы десорбции. В мелких гранулах угля из-за короткого пути фильтрации и большой начальной интенсивности газового потока упомянутый выше баланс наступает после значительного истощения содержания газа в транспортных каналах и в закрытых порах микроблоков. В крупных гранулах, наоборот, баланс потоков происходит при большей концентрации газа. Можно предположить, что обе составляющие интерполяционной функции (3) отражают кинетику выхода газа в каждой фазе десорбции. В этом случае следует ожидать, что переход от крупных гранул к мелким должен сопровождаться изменением соотношения параметров  $a$  и  $c$ , т.е.  $a/c$  будет больше в малых гранулах.

С целью выявить зависимость параметров  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $a$ ,  $c$  от размера гранул угля нами была проведена регистрация десорбции метана из каменного угля в гранулах  $0,2 \div 0,25$  мм и  $2,0 \div 2,5$  мм. В качестве образцов использованы угли шахт Коммунист, Глубокая, им. Засядько. Методика подготовки образцов и описание десорбционной установки описаны ранее [1]. Ход десорбции из угля шахты им. Засядько представлен на рисунках 3 и 4, на которых давление в накопительном сосуде имеет одинаковый масштаб.

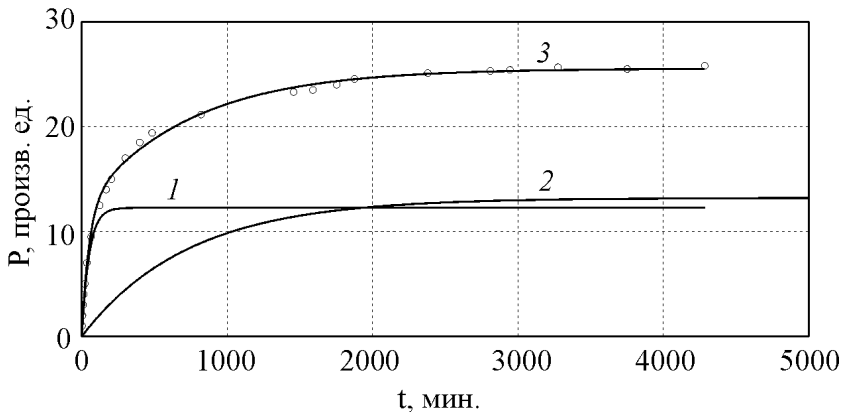
Видно, что кинетика эвакуации метана в накопительный сосуд удовлетворительно описывается функцией вида (3). Заметна также зависимость параметров функции от размера гранул угля. Для всех исследованных образцов обнаружено, что уменьшение размера гра-

### Физика угля и горных пород

нул сопровождается ростом «быстрого» вклада (с малым  $\tau$ ) и, соответственно, уменьшением вклада «медленного». Этот результат дает основание связать «быструю» составляющую функции (3) с переходной фазой десорбции, а «медленную» с фазой десорбции в условиях баланса диффузионного и фильтрационного потоков.



**Рис. 3.** Характер десорбции метана из угля в гранулах 2,0÷2,5 мм:  $1 - y = 9.6(1 - \exp(-t/124))$ ,  $2 - y = 15.8(1 - \exp(-t/2006))$ ,  $3 - y = 9.6(1 - \exp(-t/124)) + 15.8(1 - \exp(-t/2006))$



**Рис. 4.** Характер десорбции метана из угля в гранулах 0,2÷0,25 мм:  $1 - y = 12.26(1 - \exp(-t/50.3))$ ,  $2 - y = 13.28(1 - \exp(-t/730))$ ,  $3 - y = 12.26(1 - \exp(-t/50.3)) + 13.28(1 - \exp(-t/730))$

В заключение отметим, что представленный выше анализ можно рассматривать как физическое обоснование терминов «быстрый» и «медленный» метан, которые иногда используются в угледобывающем производстве.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Алексеев А.Д., Васильковский В.А., Калугина Н.А. Кинетика и механизмы десорбции метана из угля // Физико-технические проблемы горного производства. Донецк. 2005. –Вып.8.- с.9-21.
2. Николаев Н.И. Диффузия в мембранах. М.: Химия, 1980, 232 с.
3. Лейбензон Л.С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. М.-Л.: ОГИЗ, 1947, 244 с.
4. Алексеев А.Д., Фельдман Э.П., Василенко Т.А., Молчанов А.Н., Калугина Н. А. Массоперенос метана в угле, обусловленный совместной фильтрацией и диффузией. Физика и техника высоких давлений 2004, т. 14, № 3