

Г.Г. Таткеева, Б.А. Жаутиков

УДК 622.4133:533.17

Карагандинский государственный технический университет

В.М. Юров

Карагандинский государственный университет

им. Е.А. Букетова

МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ДОБЫЧИ МЕТАНА

Жұмыста көмір қабат қатты ерітінді ыдыру кезінде метандың эмиссия үлгісі ұсынылған. Уақыт өткеннен кейін газ эмиссиясы тез төмендеме көрсетілген. Метандың эмиссиясын тездету дірілдеу ықпалын пайдалану әдісі ұсынылған.

In work the model of issue of methane from coal layers is offered at disintegration of a firm solution. It is shown, that gas issue quickly falls down in due course. The way of an intensification of issue of methane at the expense of vibrating influence on a layer is offered.

Метан - прекрасное энергетическое топливо и сырье для химической промышленности, запасы которого не меньше запасов природного газа, а возможно, даже больше. Теплота сгорания метана составляет 8400 ккал/м³, что соответствует 1,2 кг условного топлива на 1 м³. Проблема состоит в том, как взять из недр угольный метан? Оказывается, это не так просто, так как метан растворен в пленках воды угля и породы, находится в газообразном, жидком и твердом состояниях.

Природа шахтного метана. Природа происхождения газов, содержащихся в угленосных отложениях, окончательно не установлена. Основная масса исследователей считает, что метан угольных месторождений образовался при биохимических процессах разложения растительного вещества и не претерпел изменений в течение многих миллионов лет [1].

В соответствии со второй моделью, в процессе дегазации мантии, интенсивные потоки мантийных газов - водород, метан и другие газы сорбировались порами и трещинами угленосных пластов. Насыщение угленосной толщи путем сорбции экзогенных газов так же происходило в далеком историческом периоде [2].

Получившая в последнее время широкое распространение абиогенная модель до сих пор считается спорной, по крайней мере, в отношении абиотической генерации метана в значительных количествах [3]. Однако недавние находки абиогенного метана в мантийных газах и жидкостях, на других планетах, теоретические расчеты и экспериментальные исследования образования и изотопного фракционирования метана делают эту концепцию все более убедительной [4]. Одним из весомых аргументов в пользу абиогенной гипотезы является экспериментальное получение метана на различных катализаторах при очень мягких условиях, соответствующих верхней земной коре.

В работе [5] показана возможность формирования метана и легких углеводородов с составом, близким к природному газу, и содержанием метана свыше 90%, путем гидри-

рования CO_2 в присутствии железного катализатора Fe_2O_3 . Это дало возможность авторам предположить добавочный механизм возникновения природного газа в угольных пластах, учитывая протяженность геологических эпох. Каталитическое действие железистых минералов и глин было обнаружено также при искусственном метаморфизме.

Таким образом, шахтный метан может быть представлен несколькими источниками генерации:

1. Метан метаморфогенного происхождения, образовавшийся в угольных пластах и вмещающих породах «in situ» на различных этапах формирования угольного месторождения. Он является наиболее прогнозируемым.

2. Метан глубинного происхождения, мигрирующий по сети тектонических нарушений в осадочной толще в разрабатываемый горный массив. Он разделяется на: а) метан, поступающий из более глубоко залегающих угольных пластов, а также из нефтяных или газовых залежей, залегающих ниже каменноугольных отложений; б) мантийный метан, проникающий в осадочную толщу с угольными пластами непосредственно из мантии по разломам кристаллического фундамента.

3. Метан, генерирующийся как на протяжении времени существования ископаемых углей, так и по настоящее время в результате химических реакций. Он наименее исследован. Его опасность заключается в том, что он образуется в локальной зоне угольного пласта (до нескольких метров) и заранее прогнозировать его наличие средствами газовой защиты невозможно.

Карагандинский угольный бассейн занимает площадь около 3000 квадратных километров и представлен угленосными отложениями карбона в виде трех синклинальных структур: Шерубайнуринской, Карагандинской и Верхнесокурской, которые разделены соответственно Алабасским и Майкудукским поднятиями.

Степень метаморфизма углей возрастает со стратиграфической глубиной от газовых углей тентекской свиты до коксовых и отощенных в карагандинской и ашлярикской свитах. Кроме того, метаморфизм углей возрастает и в южном направлении с ростом мощности угленосной толщи, а также по падению угольных пластов. Это обуславливает разнообразие состава углей от газовых до антрацитов, включительно на юге бассейна. Угли витринитовые (60-80%), среднезольные (10-25 %) в Долинской и Карагандинской свитах, высокозольные (20-35%) в Ашлярикской и Тентекской свитах. Различие в метаморфизме углей сказывается и на распределении метана по формам существования (таблица 1).

Из таблицы 1 следует, что подавляющая часть (около 80%) метана Карагандинского угольного бассейна на глубине свыше 800 м находится в состоянии твердого углеметанового раствора.

Отсюда следует вывод: для эффективного извлечения метана Карагандинского угольного бассейна необходимы энергетические воздействия на угольные пласты, стимулирующие распад углеметанового раствора и соответствующее газовыделение.

Таблица 1

Распределение метана по формам существования в углях Карагандинского угольного бассейна средней стадии метаморфизма на глубине свыше 800 м [6]

Локализация метана в угле	Форма существования метана	Количество метана, %
Внутри макропор, микротрещин, других дефектов сплошности угля в природных условиях	Свободный	2 -12
На угольных поверхностях природных пор и дефектов сплошности, межблочных промежутках (включая объемное заполнение переходных пор и макроскопических дефектов)	Адсорбированный	8-16
В межмолекулярном пространстве угольного вещества	Твердый углеметановый раствор	70-85
В дефектах ароматических слоев кристаллитов	Химически сорбированный метан	1-2
Внутри клатратоподобных структур	Твердый раствор внедрения	1-3

Модель газовой выделенности углеметановым пластом. В связи со сказанным выше, мы предлагаем следующую модель газовой выделенности в углеметановых пластах.

Пусть за счет какого – либо внешнего воздействия инициировалась реакция распада углеметанового твердого раствора с выделением метана с объемным количеством Q_0 . Сначала мы рассмотрим этот процесс без участия воды. Выделившийся газ начинает диффундировать сквозь пласт в рабочую скважину.

В такой постановке задачи, фильтрация метана описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{Q(t)}{hR} \frac{\partial C}{\partial x} = 0; \quad R = m + (1-m)(\rho_0 / \rho^0) \Gamma, \quad (1)$$

$$mv = -\frac{K_{np}}{\mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial x}, \quad (2)$$

$$mv = \frac{Q(t)}{hR}, \quad (3)$$

где Q – объемное количество метана в угольном пласте, возникающего в единицу времени;

Γ – константа Генри;

ρ_0 – плотность угля;

ρ^0 – плотность метана;

C – массовая концентрация метана;

h – толщина пласта;

mv – скорость фильтрации;

m – пористость пласта;

K_{np} – абсолютная газопроницаемость пласта.

Уравнение (1) описывает изменение концентрации метана в пласте; уравнение (2) является законом Дарси в дифференциальной форме; уравнение (3) связывает объемное количество метана, проходящее через единичную площадь пласта глубиной h с вектором линейной фильтрации направленном перпендикулярно плоской поверхности пласта.

Граничные условия для задачи сформулируем следующим образом:
 $p(t_0, h_0) = p_0, p(t_k, h_k) = p_k, C(t_0, h_0) = C_0, C_k(t > 0, h_k) = C_k, Q(t_0) = Q_0, v(t_0, h) = Q_0/hm,$ (4)

где Q_0 - объемное количество метана в пласте в начальный момент времени $t_0 = 0$; здесь индексы 0, k относятся к начальному и конечному состоянию, соответственно.

Уравнение (1) является нелинейным и «в лоб» его не решить, поэтому рассмотрим некоторые приемы, позволяющие снять эту проблему без потери строгости решения.

Прежде всего, будем считать, что распад твердого раствора углеметана описывается кинетикой первого порядка:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = K_p S(C_k - C_0) \quad (5)$$

где K_p – константа скорости реакции распада твердого раствора;

C_k – конечная концентрация метана (концентрация насыщения), определяемая граничными условиями (4);

C_0 – начальная концентрация метана;

S – площадь реакции распада твердого раствора, которую мы будем принимать единичной.

Таким образом, уравнение (1) запишется в виде:

$$K_p C_k + \frac{Q(t)}{hR} \frac{\partial C}{\partial x} = 0. \quad (6)$$

Продифференцируем (6) по времени:

$$\frac{1}{hR} \frac{dQ}{dt} \cdot \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{Q(t)}{hR} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial C}{\partial t} \right) = \frac{dQ}{dt} \cdot \frac{\partial C}{\partial x} + Q(t) \cdot K_p \frac{\partial C}{\partial x} = 0. \quad (7)$$

Решение уравнения (7) не представляет трудностей и имеет вид:

$$Q(t) = Q_0 e^{-K_p t}. \quad (8)$$

Уравнение (3) запишется в виде:

$$mv = \frac{Q_0}{hR} e^{-K_p t}. \quad (9)$$

Уравнение (2) будет иметь вид:

$$\frac{Q_0}{hR} e^{-K_p t} = \frac{K_{np}}{\mu} \cdot \frac{\Delta p}{h}. \quad (10)$$

Для коэффициента газопроницаемости K_{np} в итоге получим следующее уравнение:

$$K_{np} = \frac{\mu Q_0}{\rho g h R} \cdot e^{-K_p t} = \frac{v Q_0}{g h R} \cdot e^{-K_p t}. \quad (11)$$

В стационарном случае ($t=0$) и при $R=1$, уравнение (11) совпадает с известным уравнением Дарси. Здесь $v = \mu/\rho$ - кинематическая вязкость.

Уравнения (8) и (11) показывают, что при единичном внешнем воздействии на твердый раствор метаноугля газовыделение со временем быстро (по экспоненте) спадает. Это подтверждается работой большинства скважин.

Таким образом, из нашей модели можно сформулировать следующие выводы:

- эффект от внешнего воздействия должен быть максимальным, тогда максимальным будет Q_0 ;

- внешнее воздействие должно быть периодическим, тогда газовыделение будет стремиться к стационарному режиму.

Рассмотрим последний вывод подробнее. В случае механического воздействия на пласт с частотой ω и амплитудой A , уравнение (8) можно переписать в виде:

$$Q(t) = Q_0 e^{-(\omega - K_p)t} \quad (12)$$

Стационарному режиму отвечает равенство $\omega = K_p$. Поскольку константы скоростей распада твердых растворов имеют небольшие величины, то мы приходим к еще одному важному выводу:

- для увеличения газовыделения необходимо применять низкочастотные механические воздействия.

Этому случаю отвечают вибрационные воздействия. Действительно, в работе [7] экспериментально показано, что после вибровоздействия метаноотдача возросла, при этом скорость газовыделения из газонасыщенных скважин выросла в 4-7 раз.

Многие исследователи считают, что в Карагандинском угольном бассейне извлечение метана, не связанное с подземной добычей угля, достаточно проблематично. Это обусловлено тем, что на стадии геологоразведочных работ и в процессе ведения горных работ на шахтах Карагандинского угольного бассейна до настоящего времени не обнаружены промышленно значимые поступления газа из локальных скоплений не техногенного происхождения.

Однако как показано нами выше, проблема извлечения шахтного метана в Карагандинском угольном бассейне связана с тем, что большая его часть находится в состоянии углеметанового раствора, требующего нового подхода для его извлечения. Предложенная нами модель открывает перспективу организации промышленной добычи метана в Карагандинском угольном бассейне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А., Ульянова Е., Разумов О., и др. Природа шахтного метана // Energyonline, №1(2), 2010. – С.1-17.
2. Бакалдина А.П. Влияние вещественного состава углей на их метаносемкость и природную газонасыщенность. Газонасыщенность угольных бассейнов и месторождений СССР. - М.: Недра, 1980. - С. 102-123.
3. Glasby G.P., Abiogenic origin of hydrocarbons: An historical overview // Resource Geology, 2006, Vol. 56. – P. 85-98.
4. Proskurowski G., Lilley M.D., Seewald J.S., et al. Abiogenic hydrocarbon production at Lost City hydrothermal field // Science, 2008, Vol. 319, №5863. – P. 604-607.
5. Medina J.C., Butala S.J., Bartholomew C.H., Lee M.L. Iron-catalyzed CO₂ hydrogenation as a mechanism for coalbed gas formation // Fuel, 2000, Vol. 79. – P.89-93.
6. Сагинов А.С., Ли К.Д. О промышленной добыче угольного метана в республике Казахстан // Труды университета, КГТУ, 2006, №2. – С.26-28.
7. Павленко М.В. Применение технических средств вибрационного воздействия для изменения состояния и свойств угольного массива // Автоматизация виробничих процесів у машинобудуванні та припадобудуванні, 2007. Вып. 41. – С.49-53.