

УДК 622.831.322

В. В. Дырдин, С. А. Шепелева

О ФОРМАХ СВЯЗИ МЕТАНА В УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ

Анализ показывает, что внезапные выбросы угля и газа при подземной разработке месторождений полезных ископаемых происходят в определенных зонах угольного пласта, которые внешне не отличаются от других участков ни по технологии отработки, ни по физико-техническим параметрам угольного пласта и вмещающих пород [1]. Установлено, что объемы газа, выделившиеся в процессе выбросов, значительно превышают объемы, которые могли бы выделиться в результате процессов десорбции с учетом природной газоносности углей данных месторождений.

Большинство авторов сходятся на том, что причинами выбросов являются напряженное состояние массива горных пород, газовое давление в угольных пластах, а также физико-механические свойства угольного пласта.

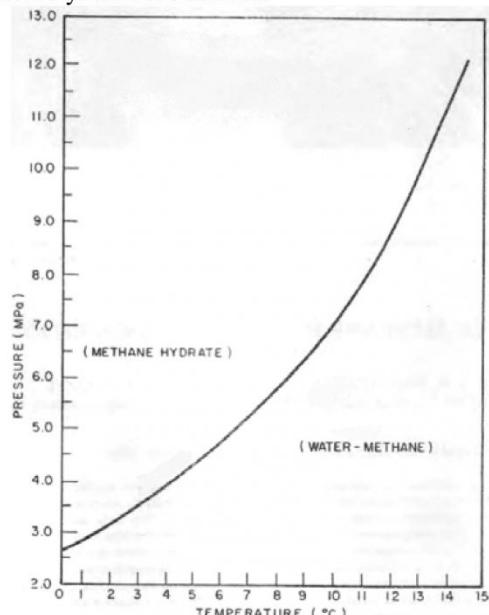


Рис. 1. Кривая фазового равновесия системы «гидрат-вода-метан (газ)» [3]

Ранее А. Г. Зенин, 1973 г.; И. Л. Эттингер, 1974 г.; Ю. Ф. Макогон, 1973 г. высказали предположение, что метан в угле или породе угольных шахт может находиться в гидратном состоянии, при этом он обладает огромной внутренней энергией [2].

Гипотеза была забыта, по-видимому, потому что температура угольного пласта выше нуля градусов по Цельсию и кристаллогидраты метана в угольной матрице при такой температуре существовать не могут. При фиксированной температуре около 10 °C возможен переход метана из гидратного состояния в газообразное (см. рис. 1) при резком сбросе давления от значений выше 8 МПа

(над кривой фазового перехода) до значений меньше 6 МПа (ниже кривой).

Таким образом, кристаллогидраты метана в угольных пластах могут существовать при определенных температурах и давлениях, которые характерны для Западной Сибири. Чтобы оценить возможность участия газовых гидратов во внезапных выбросах угля и газа, рассмотрим баланс газовыделений на некоторых шахтопластах.

Свободное состояние реальных газов описывается множеством уравнений состояний, одним из которых является уравнение Ван-дер-Ваальса, запишем его в следующем виде (с учетом v молей газа):

$$pV^3 - (RT + bp)Vv^2 + aV^2v - abV^3 = 0.$$

где p – давление газа, Па; a , b – постоянные Ван-дер-Ваальса для данного газа; V – объем «свободного» газа, м³; R – универсальная газовая постоянная; T – температура газа, К; v – число моль газа, моль. При $T < T_K$ его решение – три вещественных корня; а при $T > T_K$ – один вещественный и два мнимых. Для метана $T_K=191$ К, значит для нормальных условий ($p \approx 10^5$ Па; $T \approx 300$ К), а также для условий нетронутого угольного массива (напряжения определяются как γH и температура порядка $T=270 \div 280$ К, в зависимости от глубины) при решении уравнения имеется только один вещественный корень.

На кромке забоя (с учетом газоносности 16,2 м³/т) параметры среды составляют: $p=10^5$ Па; $T=291$ К. Получаем $v_1 = 1033$ моль свободного газа на тонну угля.

В нетронутом массиве: с глубиной H давление газа в массиве горных пород p возрастает по гидростатическому закону [4]: $p = 0,01(H - H_0)$ от границы зоны газового выветривания H_0 . Получаем $v_2 = 57$ моль свободного газа на тонну угля.

Разность $v_1 - v_2 = 977$ моль – это количество газа, которое не может находиться в нетронутом массиве в свободном состоянии. Значит, газы угольных пластов существуют и в свободном состоянии, и в какой-то конденсированной фазе, но при этом находятся в динамическом равновесии между собой.

Проанализируем газовыделение при внезапных выбросах угля и газа на шахтах [5]. При расчетах количество выброшенного газа по данным ВостНИИ принято в данной таблице за 100%, за X_1 обозначено количество свободного газа, который может находиться в объеме выброшенного угля; за X_2 – разность между выброшенным объе-

Таблица 1. Данные о внезапных выбросах угля и газа на шахтах Кузнецкого бассейна

Шахта, пласт	Количество выброшен- ного:		Газоносность пласта, м ³ /т	Количество газа, %	
	угля, т	газа, м ³		X ₁	X ₂
Северная, Владимировский	55,0	2250	25,0	61,1	38,9
	90,0	8500		26,5	73,5
	53,0	4500		29,4	70,6
	168,0	3440		122,1	-22,1
	120,0	8000		37,5	62,5
	130,0	3500		92,9	7,1
	200,0	10000		50,0	50,0
Усинская, III	150,0	8000 – 10000	20,0 – 25,0	30,0 – 46,9	70,0 – 53,1

Таблица 2. Силы, действующие на молекулы метана при предварительной дегазации угольных пластов (при вакуумировании скважин)

Давление в системе	мм.рт.ст	380	100	10	1	10 ⁻³
	кПа	50,7	13,3	1,3	0,1	1,3·10 ⁻⁴
Сила F ₂ , ·10 ⁻¹⁴ , Н		2,73	4,74	5,38	5,44	5,45

мом газа и объемом X₁:

Из таблицы следует, что объем выброшенного газа, превышает объем, который может находиться в угле в свободном состоянии. Но микропоры угля заполнены не «свободным» газом, а сорбированым, молекулы которого сближены до расстояний, соизмеримых с размерами самих молекул. Для двух геометрически произвольных систем А и В энергия дисперсионного взаимодействия определяется по следующей формуле [6]:

$$U(R, \Theta) = -\frac{1}{R^6} [C_6(0) + C_6(2)P_2(\cos(\Theta)) + C_6^{ind}]$$

Коэффициенты в квадратных скобках имеют следующий вид:

$$C_6(0) = \frac{3}{2} \cdot \alpha^B \cdot \bar{\alpha}^A \cdot \frac{I^A \cdot I^B}{I^A + I^B},$$

где

$$\bar{\alpha}^A = \frac{1}{3} (\alpha_{II}^A + 2 \cdot \alpha_{\perp}^A);$$

$$C_6(2) = \frac{1}{2} \cdot (\alpha^B \cdot \alpha_{II}^A - \alpha^B \cdot \alpha_{\perp}^A) \cdot \frac{I^A \cdot I^B}{I^A + I^B};$$

$$C_6^{ind} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} (\alpha^A)^2 \alpha^B [I + P_2 \cos(\Theta)],$$

где U(R, Θ) – потенциальная энергия взаимодействия молекул метана с полярной группой R-COOH углеродной поверхности, кДж/моль; R – расстояние между центром молекулы метана и угольной поверхностью, м; P₂ – дипольный момент угля, Д (Дебай); Θ – угол между направлением действия наведенного дипольного момента молекулы метана и напряженностью поля, создаваемого поверхностью угля, град; α – тензор поляризуемости молекулы (индексом «А» обозначе-

на группа R-COOH, индексом «В» – молекула CH₄), м³; I – ионизационный потенциал молекулы, кДж/моль.

Силы F₂, действующие при вакуумировании угольных пластов, представлены в табл. 2.

Сравнивая силы связи молекул газа с поверхностью пор и силы, действующие при вакуумировании угольных пластов, можно сделать вывод о том, что из микропор газ добывать нет возможности; из переходных пор добывается лишь 23,3 % от общего объема «свободного» газа; из макропор – 15,2 %. Итого, в пласте остается 61,5% газа в сорбированном или другом состоянии, а в свободном – 38,5%.

Например, на ш. Северная в выброшенном угле зафиксировано V₁=2253 м³ свободного газа (это 38,5%), а количество сорбированного газа при этом составляет V₂=3599 м³. Разность между выброшенным объемом газа и суммой объемов сорбированного и «свободного» газа – 2648 м³. Этот объем газа находится с поверхностью угля в очень сильной связи, которая не нарушается даже при вакуумировании. Эта форма связи пока не представляется очевидной.

Необходимо учитывать возможность образования в угольных пластах при определенных условиях гидратов газов как формы связи в системе «уголь – газ – вода». Факторами, способствующими этому, являются наличие в пластовых газах смесей углеводородов и примесей других газов, понижение температуры пласта (ниже +20°C), повышение газового давления (выше 6 МПа), а также высокие механические напряжения γН, которые на глубине 500 м составляют порядка 12,5 МПа, а в зонах тектонических сдвигов горизонтальные напряжения могут значительно пре-

вышать эту величину.

Таким образом, могут реализовываться условия нахождения метана в угольных пластах в осо-

бой форме связи с поверхностью угля, например, газовых гидратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кнуренко В. А. Зональность газодинамических явлений в шахтах Кузбасса / Кнуренко В. А., Рудаков В. А. – Кемерово: КузГТУ, 1998. – 227 с.
2. Эттингер И.Л., Шульман Н.В. Распределение метана в порах ископаемых углей. М.: Наука, 1975. – 112 с.
3. Kim H. C. Kinetics of methane hydrate decomposition / Kim H. C., Bishnoi P. R. et al. // Chemical Engineering Science – 1987. – Vol. 42. - №7 – pp. 1645-1653. Пузырев В.Н. О возможности и целесообразности добычи метана из угольных месторождений Кузбасса // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив., 1999. - №6. - С. 23-26.
4. Каталог внезапных выбросов угля и газа по шахтам восточных и северных месторождений страны за 1975 – 1982 гг. - Кемерово: ВостНИИ, 1983. - 55 с.
5. Дырдин В. В. Межмолекулярное взаимодействие метана с углеродсодержащей поверхностью с учетом полярных групп адсорбента / Дырдин В. В., Прыкин А. Г., Фадеев Ю. А. // Труды международной научно-практической конференции экологических проблем угледобывающей отрасли в регионе при переходе к устойчивому развитию. – Кемерово, 1999. – Т. 2. – С. 186-190.

Авторы статьи:

<p>Дырдин Валерий Васильевич - докт. техн. наук, проф. , зав. каф. физики КузГТУ Email: dav.fiz@kuzstu.ru</p>	<p>Шепелева Софья Алексеевна - инженер каф. физики КузГТУ Тел. раб. (384-2) 39-63-71 E-mail: vr_sonya@mail.ru</p>
---	---