

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 622:51.001.57

Т. Л. Ким, В. В. Дырдин, В. А. Белков

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИССОЦИИИ КРИСТАЛЛОГИДРАТА В КРАЕВОЙ ЗОНЕ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

Газы при определенном давлении и температуре могут образовывать кристаллогидраты, структура которых может быть различной. Гидраты могут стабильно существовать в широком диапазоне давлений и температур. Например, гидрат метана существует при давлениях от $2 \cdot 10^{-8}$ Па до $2 \cdot 10^3$ МПа и температурах от 70 до 350 К.

Газовый гидрат – образование, в котором молекулы газа заключены в кристаллические ячейки, состоящие из молекул воды, удерживаемые водородной связью.

Для образования гидрата необходимыми условиями являются: наличие газа, воды и давление, превышающее равновесное значение при определенной температуре. Химические связи между молекулами отсутствуют. Молекулы воды объединены водородной связью, легко разрушающейся при понижении давления или повышении температуры.

В настоящее время известно более десяти структур газогидратов, существующих при различных давлениях и температурах. Большая часть новых структур выявлена группой ученых Сибирского отделения РАН[1].

Газогидраты также могут образовываться и находиться в угольных пластах при температурах, больших 0 градусов по Цельсию, но давление при этом должно быть равно или превышать равновесное значение.

Исследование процессов образования и диссоциации газовых гидратов при разработке угольных пластов во многом связано с возможным их влиянием на формирование выбросоопасных ситуаций за счет высокого газовыделения при диссоциации.

При разработке некоторых угольных пластов происходят внезапные газовыделения, внезапные выбросы угля и газа и другие подобные явления, которые носят характер катастроф, приводят к гибели горнорабочих, а также к разрушению горных выработок и специализированного оборудования. В этой связи изучение процесса диссоциации кристаллогидрата в краевой зоне угольного пласта поможет раскрыть физические условия, влияющие на газовыделение и на условия образования выбросоопасных зон[2].

Диссоциация кристаллогидратов в уголь-

ном пласте может происходить при резком понижении давления. На рис.1. представлено распределение газового давления впереди забоя подготовительной выработки в естественных условиях до процесса диссоциации кристаллогидратов. Зона 1 – зона ламинарной фильтрации, которая практически совпадает с зоной влияния выработки. Зона 2 – зона, в которой давление газа практически постоянно; 3 – исходное распределение газового давления; 4 – распределение давления газа при увеличении трещиноватости вследствие разрушения части массива; 5 – зона разрушения.

Пусть a – зона влияния выработки. Вследствие изменения горнотехнической обстановки в зоне влияния выработки происходит резкое снижение механических напряжений и, соответственно, давления газа до значений ниже равновесного, соответствующего данной температуре. При этом кристаллы газогидрата, которые образовались в предыдущий период углефикации органического вещества, начинают диссоциировать и газ переходит в свободное состояние, что существенно изменяет газодинамику призабойной зоны массива и горной выработки.



Рис.1. Распределение газового давления впереди забоя подготовительной выработки

Уравнение движения метана в пласте угля одномерного изотермического течения описывается уравнением [3]:

$$\frac{\partial p_n}{\partial t} = \frac{k_n}{2m_n \mu_g} \cdot \frac{\partial^2 p_n^2}{\partial x^2}, \quad n=1,2, \quad (1)$$

где m – коэффициент динамической пористости среды; p – давление; μ_g – динамическая вязкость газа; k – коэффициент проницаемости.

Найдем закон изменения давления газа в областях 1,2 (рис.1). Примем следующие начальное и граничные условия:

$p(x,0) = p_0$, при $x < 0$ – начальное давление в выработке;

$$p_1(x,t)|_{x=\xi} = p_2(x,t)|_{x=\xi} = p_p,$$

где ξ - граница разложения кристаллогидратов;

$$p_1(x,0) = p_2(x,0) = p(\infty, t) = p_r,$$

при $x > a$, a - протяженность зоны влияния выработки.

Для решения данной задачи используем явные разностные схемы и математический пакет Maple14.

Первоначально строим прямоугольную сетку методом конечных разностей, где по оси x будем откладывать значения давлений в зависимости от координаты точки, а по оси y – значения давления в зависимости от времени.

$$x_j = jh, \quad j = 0, 1, 2 \dots n; \quad t_i = ik, \quad i = 0, 1, 2 \dots m;$$

Заменим частную производную по времени в уравнении (1) конечно-разностной аппроксимацией:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{1}{k} [p(x, t+k) - p(x, t)] = \frac{1}{k} [p_{i,j+1} - p_{i,j}]$$

Вторую производную по координате в уравнении (1) заменим выражением:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} &= \frac{1}{h^2} [p(x+h, t) - 2p(x, t) + p(x-h, t)] \\ &= \frac{1}{h^2} [p_{i+1,j} - 2p_{i,j} + p_{i-1,j}]. \end{aligned}$$

Разрешим полученное выражение относительно значений функции на верхнем временном слое:

$$\begin{aligned} \frac{1}{k} [p_{i,j+1} - p_{i,j}] &= \frac{1}{h^2} [p_{i+1,j} - 2p_{i,j} + p_{i-1,j}], \\ p_{i,j+1} &= \frac{k}{h^2} [p_{i+1,j} - 2p_{i,j} + p_{i-1,j}] + p_{i,j}. \end{aligned} \quad (2)$$

Формула (2) позволяет найти решение в данный момент времени через решение в предыдущий момент.

В результате расчетов при $T=278K$ получаем распределение газового давления в зонах 1 и 2 для момента времени $t=10c$ после начала процесса диссоциации кристаллогидратов. Расчет произведен при следующих значениях: $p_p = 6 \cdot 10^5 Pa$;

$$p_r = 12 \cdot 10^5 Pa; \quad \kappa_1 = 0,01 \text{ дарси};$$

$$\kappa_2 = 0,001 \text{ дарси}; \quad p_0 = 10^5 Pa; \quad m_1 = 0,10; \quad m_2 = 0,05.$$

$$m_r = 0,001 Pa \cdot c;$$

Из полученных результатов следует, что давление в первой зоне за это время возрастает до величины давления p_p , которое составляет для данных условий $6 \cdot 10^5 Pa$ на расстоянии 2,5 м от забоя выработки по простиранию пласта, вследствие чего и прекращается процесс диссоциации кристаллогидратов.

Во второй зоне давление от p_r возрастает до

давления p_r , соответствующего начальному состоянию.

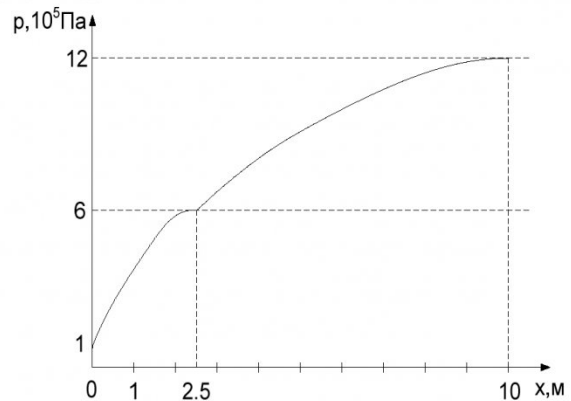


Рис.2. Распределение давления газа в краевой зоне пласта после начала диссоциации кристаллогидратов

Граница разложения кристаллогидрата в первоначальный момент расположена вблизи забоя и с течением времени перемещается вглубь массива. Скорость ее перемещения найдем из выражения:

$$k_1 \cdot \left(\frac{\partial p_1}{\partial x} \right) \Big|_{x=\xi} - k_2 \cdot \left(\frac{\partial p_2}{\partial x} \right) \Big|_{x=\xi} = \frac{W \mu_r p_0}{p_p} \cdot \frac{d\xi}{dt}. \quad (3)$$

где W – содержание газа в гидратном состоянии в единице объема пористой среды, зависящее от пористости и влажности угольного пласта; p_p – давление разложения гидрата при пластовой температуре; k_1, k_2 – коэффициенты проницаемости, соответственно, в областях 1 и 2.

Зависимость скорости перемещения границы разложения гидрата от времени представлен на рис.3.

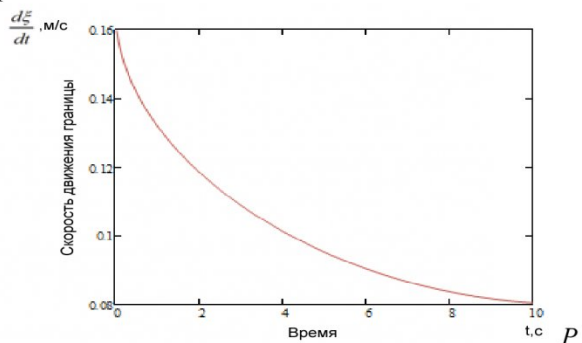


Рис.3. Зависимость скорости перемещения границы разложения

Величина скорости перемещения границы зависит от ряда факторов, но может соответствовать скорости волны дробления, образующейся при развязывании внезапных выбросов угля и газа. Газовыделение прекращается при достижении давления во фронте волны разложения значения, равного или превышающего равновесное. Если при этом не сформировалась выбросоопасная ситуация, то начнется интенсивная фильтрация газа в сторону выработки.

Таким образом, путем решения дифференциальных уравнений второго порядка получены за-

кономерности изменения давления газа в зонах 1 и 2 вследствие разложения газовых гидратов с подвижной границей разложения. Подобный расчет позволит в дальнейшем смоделировать более подробную и целостную картину изменения суммарного давления газа в призабойной зоне пласта

вследствие разложения кристаллогидратов, фильтрации газа в сторону выработки и ее загазирования. Кроме того, можно будет предрасчитать формирование выбросоопасной ситуации при диссоциации газовых гидратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Макогон, Ю. Ф.* Гидраты природных газов /Ю. Ф. Макогон. - М.: Недра, 1974. – 208 с.
2. *Шепелева С. А., Дырдин В. В.* Расчет газовыделений в скважину при предварительной дегазации угольных пластов / С. А. Шепелева, В. В. Дырдин // Нетрадиционные и интенсивные технологии разработки месторождений полезных ископаемых: сб. науч. статей под общей ред. В. Н. Фрянова. - Вып. 1. – Новокузнецк: СибГИУ, 2008. – С. 59 – 64.
3. *Веригин Н. Н., Хабибуллин И. Л., Халиков Г. А.* Линейная задача о разложении гидратов газа в пористой среде. Изв. АН СССР, МЖГ, №1, 1980. С.174-177.

□ Авторы статьи:

Ким
Татьяна Леонидовна,
ассистент каф.
физики КузГТУ,
e-mail: tanyakim@list.ru.

Дырдин
Валерий Васильевич,
докт.техн.наук, проф.,
каф. физики КузГТУ,
тел.: (+7-384-2)39-63-71.

Белков
Виталий Александрович,
студент гр.МА-102 КузГТУ,
тел.: +7-908-946-07-57.