

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 622.279.72:622.831.322

Т. Л. Ким, В. В. Дырдин, С. А. Шепелева, Н. Б. Окушко

СКОРОСТЬ ДИССОЦИАЦИИ ГАЗОГИДРАТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАЗМЕРОВ В УГОЛЬНОЙ МАТРИЦЕ

С увеличением глубины ведения горных работ растет газоносность угольных пластов, поэтому возрастает опасность проявления различных газодинамических явлений при подземной разработке месторождений. Параметры краевой зоны, расположение и величина напряжений в ее пределах, их изменение во времени и пространстве определяют многие геомеханические и газодинамические процессы, происходящие при сочетании определенных условий. До сих пор неясна роль газовых гидратов природного газа в формировании выбросоопасных ситуаций.

Существуют различные теории механизмов возникновения внезапных выбросов угля и газа и других газодинамических явлений (ГДЯ).

Одной из основных является теория акад. С.А. Христиановича. По его мнению, образование трещин определяется резким возрастанием напряжений на участке угольного пласта, а их рост происходит в плоскости, перпендикулярной наименьшему сжатию.

Процесс послойного отрыва угля в результате действия волны дробления распространяется вглубь пласта, где при определенных значениях давления и температуры может находиться ТРПГ по типу газогидратов. Диссоциация ТРПГ по типу газогидратов может влиять на формирование выбросоопасной ситуации или приводить к загазированию выработок [1], если скорость их диссоциации не меньше, чем скорость перемещения волны дробления.

В данной статье рассматривается задача определения скорости диссоциации газогидратов в угольной матрице в зависимости от размеров частиц, сопоставимых с размерами пор в структуре угольного пласта.

Будем полагать, что под действием технологических или горно-геологических факторов (механических напряжений и газового давления) в системе угольный пласт-влага-газ-газогидрат давление в системе может уменьшиться до значения, меньшего равновесного для определенной температуры.

Вследствие этого начнется процесс диссоциации ТРПГ по типу газогидратов. При образовании газогидратов выделяется «скрытая» теплота, величина которой составляет порядка 533 кДж/моль [2]. Процесс диссоциации ТРПГ по типу газогид-

ратов, происходящий в угольном пласте, можно считать адиабатным.

Теплота, необходимая для разложения газогидратов, будет поступать за счет уменьшения энергии Гельмгольца, т.е. за счет уменьшения свободной части внутренней энергии системы. В результате температура участка пласта, содержащего газогидраты, будет уменьшаться. Определим скорость диссоциации, т.е. определим, как быстро разлагается на газ и воду газогидратная частица, размер которой соответствует размерам пор в структуре каменного угля.

Пусть T – текущая температура угольного вещества; $T_0 = 278$ К – температура, при которой происходит разложение газогидрата; r_2 – радиус газогидратной частицы.

Из уравнения Фурье следует, что тепловой поток, направленный из угольного пласта к газогидратной частице, равен:

$$dQ_1 = \chi \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \cdot 4\pi r^2 dt, \quad (1)$$

где χ – удельная теплопроводность угля.

Теплота, необходимая для диссоциации газогидрата, равна:

$$dQ_2 = \lambda \cdot dm, \quad (2)$$

где $\lambda = 533 \cdot 10^3$ Дж/кг – удельная теплота разложения газогидрата, $dm = 4\rho\pi r_2^2 dr_2$ – масса разлагающегося газогидрата; $\rho_1 = 840$ кг/м³ – плотность газогидрата метана.

Приравняем (1) и (2), получим, что

$$\frac{dr_2}{dt} = \frac{\chi}{\lambda\rho_1} \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2} \frac{\partial T}{\partial r_1}, \quad (3)$$

где $\frac{dr_2}{dt} = v$ – скорость разложения газогидратной частицы в угольной матрице.

Рассчитаем скорость диссоциации газогидрата, используя уравнение теплопроводности для случая сферической системы координат, т. к. частицы газогидрата в угольной матрице имеют структуру КС-1, близкую к сферической, при этом считаем, что тепловой поток не зависит от \square и φ .

Изменение температуры в окружающем частицу угле описывается дифференциальным уравнением теплопроводности:

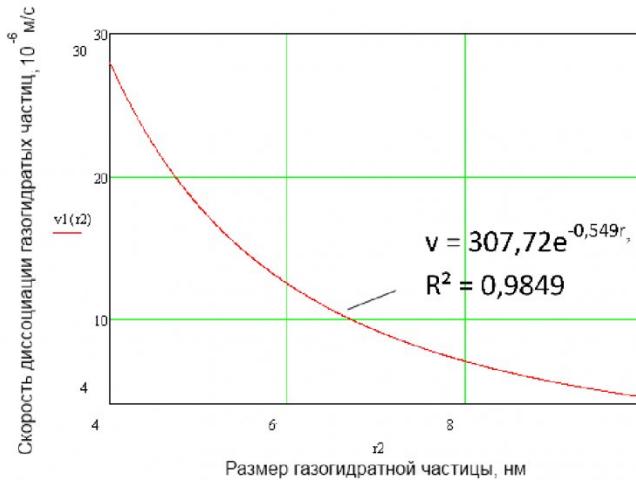


Рис. 1. Зависимость скорости диссоциации ТРПГ по типу газогидратов от их размеров

$$c\rho \frac{\partial T_1}{\partial t} = -\frac{\chi}{r_1^2} \cdot \frac{\partial}{\partial r_1} (r_1^2 \cdot \frac{\partial T_1}{\partial r_1}), \quad (4)$$

где c – удельная теплоемкость каменного угля; r_1 – текущий радиус; ρ – плотность угля.

Для выбранной модели зададим следующие начальные и граничные условия: температура угольной матрицы в начальный момент времени равна, $T(r_1, 0) = T_1$, (5) и температура газогидратной частицы к началу разложения также равна T_1 , т. е. $T(r_2, 0) \Big|_{r_2=r_1} = T_1$.

Для решения поставленной задачи применим метод конечных разностей (МКР), то есть вместо производных в дифференциальном уравнении теплопроводности будем использовать их конечно-разностные аппроксимации.

Аппроксимируя частные производные уравнения (4) конечными разностями, получаем систему линейных алгебраических уравнений для определения температуры как локальной характеристики и подставляем это распределение в (3).

В результате численного моделирования получили зависимость скорости диссоциации газо-

гидратных частиц от их размеров (рис.) с учетом характеристик газогидрата метана каменного угля и $\chi = 0,38 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ – удельная теплопроводность угля, $\rho = 1200 \text{ кг}/\text{м}^3$ – плотность угля, $c = 2880 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ – удельная теплоемкость угля [3].

Следовательно, скорость диссоциации ТРПГ по типу газогидратов нелинейно зависит от размеров диссоциирующих частиц и при 4 нм равна 28 нм/мс, с увеличением размера частиц газогидратных молекул скорость диссоциации уменьшается.

Модуль скорости диссоциации частиц газогидрата в поровом пространстве угля значительно превосходит скорость волны дробления.

А поскольку природная влажность угольных пластов, опасных и угрожаемых по газодинамическим явлениям не превышает 3,5 %, поэтому концентрация газогидрата в пористой структуре невысока, т. е. частицы находятся на определенном расстоянии друг от друга, а скорость их диссоциации зависит только от их размеров, т. е. размеров поровых каналов, где они образованы, и при падении механического давления в системе, диссоциируют и способствуют повышению газового давления и формированию различных ГДЯ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ким Т.Л. Влияние твердых растворов природного газа на газодинамические процессы впереди забоя подготовительной выработки / Т.Л. Ким, В.В. Дырдин, А.А. Мальшин, С.А. Шепелева // Вестник КузГТУ, 2012. – № 3. – С. 12–15.
2. Полевщикова Г.Я. Особенности дебита метана при саморазрушении углеметановых пластов / Г.Я. Полевщикова, Т.А. Киряева, А.А. Рябцев // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2011. – № 3. – С. 326–329.
3. Кэррол Дж. Гидраты природного газа. Перевод с англ. – Москва : ЗАО « Премиум Инжиниринг», 2007. – 316 с.

Авторы статьи:

Ким
Татьяна Леонидовна,
аспирант КузГТУ
email:tanyakim@mail.ru

Дырдин
Валерий Васильевич,
докт.техн.наук, проф.,
зав. каф. физики КузГТУ
e-mail:vvd1941@mail.ru

Шепелева
Софья Алексеевна,
канд.техн.наук, доцент каф.
физики КузГТУ
e-mail:vr_sonya@mail.ru

Окушко
Наталья Борисовна,
канд.физ.-мат.наук,
доцент каф. физики
КузГТУ