

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАМЕЩЕНИЯ МЕТАНА НА ДИОКСИД УГЛЕРОДА В ГАЗОГИДРАТНОМ ПЛАСТЕ С УЧЕТОМ ДИФФУЗИОННОЙ КИНЕТИКИ

Н.Г. Мусакаев<sup>1,2,3</sup>, Г.Р. Рафикова<sup>2,4</sup>, М.К. Хасанов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Тюменский филиал Института теоретической и прикладной механики  
им. С.А. Христиановича СО РАН, 625026, г. Тюмень, Россия

<sup>2</sup>Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета, 453103,  
г. Стерлитамак, Россия

<sup>3</sup>Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, Россия

<sup>4</sup>Институт механики им. Р.Р. Мавлютова УНЦ РАН, 450054, г. Уфа, Россия

В настоящее время большое внимание уделяется проблеме поиска и разработки альтернативных источников энергии. Одними из таких источников являются природные газогидраты, потенциальные запасы метана в которых превышают величину  $1.5 \cdot 10^{16} \text{ м}^3$  [1]. Основными методами разработки газогидратных залежей являются разгерметизация и нагрев пласта, а также введение ингибиторов в пласт [2-5]. Один из последних рассматриваемых и мало изученных способов для извлечения природного газа из газогидратных залежей является инъекция диоксида углерода в метангидратные пласты [6-8]. Суть метода состоит в том, что газогидрат углекислого газа является более стабильным, чем газогидрат метана и молекулы диоксида углерода вытесняют молекулы метана из состава газогидрата. Преимуществами данного способа являются утилизация парникового газа и сохранение механической прочности породы, также если разложение газогидрата при депрессии и нагреве проходит с поглощением тепла, то в данном случае процесс будет происходить с небольшим выделением тепла [7-8].

В данной работе рассматривается математическая модель замещения  $\text{CH}_4$  на  $\text{CO}_2$  в газогидратном пласте с учетом диффузионной кинетики. Интенсивность процесса лимитируется диффузией углекислого газа через образовавшийся гидратный слой между потоком газовой смеси и гидратом метана. Определены характерные режимы процесса. Проанализировано влияние основных параметров на динамику и характер протекания процесса.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 17-79-20001).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Макогон У.Ф.** Natural gas hydrates – A promising source of energy // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2010. Vol. 2, No. 1. P. 49-59.
2. **Назмутдинов Ф.Ф., Хабибуллин И.Л.** Математическое моделирование десорбции газа из газового гидрата // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 1996. № 5. С. 118.
3. **Цыпкин Г.Г.** Течения с фазовыми переходами в пористых средах. М.: Физматлит, 2009.
4. **Шагапов В.Ш., Мусакаев Н.Г.** Динамика образования и разложения гидратов в системах добычи, транспортировки и хранения газа. М.: Наука, 2016.
5. **Moridis G.J.** Numerical studies of gas production from methane hydrates // SPE 75691, presented at the SPE gas technology symposium. – Calgary, 2002.
6. **Espinoza D.N., Santamarina J.C.** P-wave Monitoring of Hydrate-Bearing Sand during  $\text{CH}_4$ - $\text{CO}_2$  Replacement // International Journal of Greenhouse Gas Control. 2011. Vol. 5. P. 1032-1038.
7. **Jung J. W., Santamarina J.C.**  $\text{CH}_4$ - $\text{CO}_2$  replacement in hydrate-bearing sediments: A pore-scale study // Geochimistry, Geophysics, Geosystems. 2010. Vol. 11. Q0AA13.
8. **Stevens J.C., Howard J. J., Baldwin B.A., Ersland G., Husebo J., Graue A.** Experimental hydrate formation and gas production scenarios based on  $\text{CO}_2$  sequestration // Proc. 6th International Conference on Gas Hydrates. Vancouver, Canada, 2008.

© Н.Г. Мусакаев, Г.Р. Рафикова, М.К. Хасанов, 2017