

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАМЕЩЕНИЯ МЕТАНА В ГАЗОГИДРАТЕ ДИОКСИДОМ УГЛЕРОДА

Г.Р. Рафикова, М.К. Хасанов

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. В.Ш. Шагапов  
Институт механики Уфимского научного центра Российской академии наук  
Россия, г. Уфа, пр. Октября, 71, 450054  
E-mail: [rafikova\\_guzal@mail.ru](mailto:rafikova_guzal@mail.ru)

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  $1.5 \cdot 10^{16}$  м<sup>3</sup> [1]. Основными способами разработки газогидратных залежей являются депрессионное воздействие на пласт и нагрев гидратосодержащих пород [2-5]. Одним из последних инновационных способов извлечения метана из состава гидрата является его замещение диоксидом углерода в газогидрате [6-8]. Данный метод позволяет одновременно извлечь метан и законсервировать углекислый газ в необходимых объемах.

В работе построена математическая модель для описания процесса замещения метана диоксидом углерода из состава гидрата в пласте, насыщенном метаном и его гидратом, при инъекции углекислого газа. При описании модели, состоящей из системы уравнений сохранения массы для газовых фаз и гидратов CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub>, уравнения энергии, уравнения состояния для газа, законов Дальтона и Фика, принято, что термобарические условия системы соответствуют условиям стабильности гидратов метана и диоксида углерода. Предложена схема кинетики газозамещения в составе гидрата при которой интенсивность процесса лимитируется диффузией углекислого газа через образовавшийся гидратный слой между потоком газовой смеси и гидратом метана. Получены численные решения, которые позволяют исследовать динамику основных параметров процесса, определить характерные этапы процесса и возможные режимы извлечения метана из гидратного пласта.

Проанализировано влияние величины коэффициента диффузии и значения абсолютной проницаемости на особенности процесса газозамещения. В частности установлено, что при высоких значениях коэффициента диффузии углекислого газа в гидрате и низких значениях коэффициента проницаемости пласта процесс замещения будет проходить во фронтальном режиме и лимитироваться прежде всего фильтрационным массопереносом в пласте. В противном случае процесс газозамещения будет происходить в объемной области пласта и лимитироваться диффузией в гидрате.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-20001).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макогон Ю.Ф. Газогидраты. История изучения и перспективы освоения // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2010. № 2. С. 5.
2. Макогон Ю.Ф. Гидраты природных газов. М.: Недра, 1974.
3. Цыпкин Г.Г. Течения с фазовыми переходами в пористых средах. М.: Физматлит, 2009.
4. Назмутдинов Ф.Ф., Хабибуллин И.Л. Математическое моделирование десорбции газа из газового гидрата // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. 1996. № 5. С. 118.
5. Шагапов В.Ш., Мусакаев Н.Г. Динамика образования и разложения гидратов в системах добычи, транспортировки и хранения газа. М.: Наука, 2016.
6. Jung J. W., Espinoza N. D., Santamarina C.J. Properties and phenomena relevant to CH<sub>4</sub>-CO<sub>2</sub> replacement in hydrate-bearing sediments // Journal of geophysical research. 2012. V.115. DOI: 10.1029/2009JB000812
7. Stevens J.C., Howard J. J., Baldwin B.A., Ersland G., Husebo J., Graue A. Experimental hydrate formation and gas production scenarios based on CO<sub>2</sub> sequestration // Proc. 6th International Conference on Gas Hydrates. Vancouver, Canada, 2008.
8. Истомин В.А., Чувилин Е.М., Тохиди Б., Йанг Дж., Буханов Б.А., Маерли К.В. Кинетика разложения газогидратов метана в гидратонасыщенном пласте при закачке дымовых газов // «Геомодель – 2016». Россия, Геленджик, 2016.