

## Численное моделирование процесса образования гидрата при продувке холодного газа через слой снега<sup>1</sup>

Белова С.В.<sup>\*</sup>, Чиглинцева А.С.<sup>\*\*</sup>, Дударева О.В.<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup> БФ БашГУ, Бирск

<sup>\*\*</sup> ООО «РН-БашНИПинефть», Уфа

Открытие природных газогидратов, их высокая энергоёмкость, экологическая значимость стимулировали огромный интерес исследователей всего мира к газогидратной тематике [1].

Данная отрасль перспективна в технологиях хранения и транспортировки газа в газогидратном состоянии, которые позволят утилизировать попутный и нефтяной газ непосредственно на промыслах, а также хранить и транспортировать радиоактивные и парниковые газы, обеспечат беструбную газификацию, увеличат концентрацию хранения газа и его компактность [2]. В естественных условиях, например, в подземных залежах, можно создать хранилища, в которых будет законсервирован газ достаточно больших объёмов, чем в резервуарах с «чистым» газом.

В работе построена математическая модель продувки холодного газа через снежный массив частично насыщенный тем же газом, сопровождаемая образованием гидрата. Принято, что интенсивность гидратообразования лимитируется диффузией газа через гидратный слой, образующийся на границе контакта газ-лед. Исследовано образование гидрата по равновесной схеме, когда коэффициент диффузии стремится к бесконечности. Физически это означает, что существует некоторое критическое значение приведенного коэффициента диффузии, зависящее от свойств системы, при котором реализуется равновесный режим. Выполнена оценка критического приведенного коэффициента диффузии с учетом свойств системы в режиме гидратообразования, близком к равновесному [3–6].

Проведено численное моделирование процесса образования газогидрата при продувке холодного газа через снежный массив. На основе этого получены распределения давления, температуры и гидратонасыщенности снежного

массива по диффузионному и равновесному режиму гидратообразования. Исследовано влияние начальных параметров снежного массива, в частности проницаемости и начальных температур, а также условий продувки на эволюцию таких распределений. Отметим, что с уменьшением проницаемости массива образование гидрата происходит интенсивнее, что связано с увеличением удельной поверхности контакта газа с ледяными частицами. Выявлено, что чем ниже температура снежного массива, тем более интенсивным является переход снега в гидратное состояние. Установлено, что в равновесном режиме гидратообразования процесс накопления гидратной массы происходит более интенсивно, чем при неравновесном режиме.

### Список литературы:

- [1] Истомин В.А., Якушев В.С. Газовые гидраты в природных условиях. М.: Недра, 1992. 236 с.
- [2] Kuhs W. F., Staykova D. K., and Salamatin A. N. Formation of methane hydrate from polydisperse ice powders // J. Phys. Chem. B. 2006. Vol. 110, No. 26. Pp. 13283–13295
- [3] Шагапов В.Ш., Чиглинцева А.С., Белова С.В. Нагнетание холодного газа в снежный массив, частично насыщенный газом, сопровождаемое гидратообразованием // Инженерно-физический журнал. 2019. Т. 92. № 5 С. 2262–2268.
- [4] Шагапов В.Ш., Чиглинцева А.С., Белова С.В. Задача об образовании гидрата в слое снега при нагнетании холодного газа // Математическая физика и компьютерное моделирование 2018. Т. 21. № 6. С. 58–72.
- [5] Belova S.V., Chiglintseva A.S., Khasanov M.K., Shagapov V.S., Dudareva O.V. Simulation of CH<sub>4</sub> recovery from hydrate deposits by injection of CO<sub>2</sub>// Thermal Science. 2019. Vol. 23, No. S2. P. S447–S454.
- [6] Шагапов В.Ш., Хасанов М.К., Гималдинов И.К., Столповский М.В. Численное моделирование образования газогидрата в пористом пласте конечной протяженности при продувке его газом // Прикладная механика и техническая физика 2011. Т. 52. № 4 (308). С. 116–126.

<sup>1</sup> Исследование поддержано грантом Президента РФ для гос. поддержки молодых российских ученых – докторов наук № МД-2179.20202.1 «Теоретические основы процессов образования и разложения газовых гидратов в природе и технологиях»