

## Необходимые условия формирования объемной области образования гидрата при закачке газа в насыщенный метаном и водой пласт<sup>1</sup>

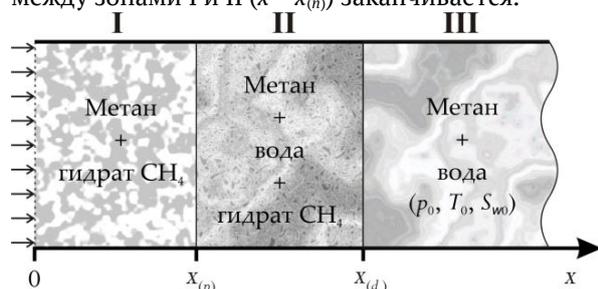
Мусакаев Н.Г.<sup>\*</sup>, Хасанов М.К.<sup>\*\*</sup>, Губайдуллин А.А.<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>Тюменский филиал Института теоретической и прикладной механики  
им. С.А. Христиановича СО РАН, Тюмень,

<sup>\*\*</sup>Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета, Стерлитамак

В последнее десятилетие наблюдается устойчивый рост в мировом потреблении природного газа (в первую очередь, метана) [1]. Во многом это связано с устойчивым экономическим ростом, а также с государственной политикой ряда стран по замещению в электроэнергетике и теплоснабжении угля на газ. В связи с возрастающим потреблением газа возникает интерес к организации надежных хранилищ природного газа вблизи крупных газопотребляющих центров. Достаточно эффективным представляется хранение углеводородного газа в пористых коллекторах в газогидратном состоянии [2-4].

С целью теоретического обоснования подземного газогидратного хранения природного газа рассмотрим задачу о закачке метана в горизонтальный полубесконечный пласт, поры которого в исходном состоянии заполнены газом и водой. Схема этой задачи представлена на рисунке: на границе между зонами II и III ( $x = x_{(d)}$ ) процесс гидратообразования начинается, а на границе между зонами I и II ( $x = x_{(n)}$ ) заканчивается.



В работах [3, 5-7] для задачи образования гидрата метана при нагнетании газа в пористый коллектор приведены в одномерном приближении автоматодельные решения, которые позволяют найти распределения основных параметров (давление, температура, насыщенности фаз) в пласте. При этом важным

вопросом является выявление условий, определяющих режим образования газогидрата в пористой среде: на фронтальной поверхности или в объемной области.

В этой связи в работе доказано, что при нагнетании газа в пористый коллектор, насыщенный газом и водой, объемная область образования газового гидрата может существовать только при выполнении двух условий: 1) коэффициент пьезопроводности пласта должен быть больше его коэффициента температуропроводности; 2) давление, под которым газ закачивается в пористый коллектор, должно быть выше, чем равновесное давление гидратообразования, соответствующее температуре пласта в исходном состоянии. В противном случае образование газогидрата происходит на фронтальной поверхности.

### Список литературы:

- [1] [1] Demirbas A. Natural gas. Methane gas hydrate. London: Springer, 2010. P. 57-76.
- [2] [2] Кузнецов Ф.А., Истомин В.А., Родионова Т.В. Газовые гидраты: исторический экскурс, современное состояние, перспективы исследований // Российский химический журнал. 2003. Т. 47, № 3. С. 5-18.
- [3] [3] Нурисламов О.Р., Шагапов В.Ш. Нагнетание газа во влажную пористую среду с образованием газогидрата // Прикладная математика и механика. 2009. Т. 76, № 5. С. 809-823.
- [4] [4] Бондарев Э.А., Рожин И.И., Попов В.В., Аргунова К.К. Оценка возможности подземного хранения гидратов природного газа в зоне многолетней мерзлоты // Криосфера Земли. 2015. Т. 19, № 4. С. 64-74.
- [5] [5] Шагапов В.Ш., Мусакаев Н.Г., Хасанов М.К. Нагнетание газа в пористый резервуар, насыщенный газом и водой // Теплофизика и аэромеханика. 2005. Т. 12, № 4. С. 645-656.
- [6] [6] Shagapov V.Sh., Musakaev N.G., Khasanov M.K. Formation of gas hydrates in a porous medium during an injection of cold gas // Int. J. of Heat and Mass Transfer. 2015. V. 84. P. 1030-1039.
- [7] [7] Шагапов В.Ш., Мусакаев Н.Г. Динамика образования и разложения гидратов в системах добычи, транспортировки и хранения газа. – М.: Наука, 2016. 240 с.

<sup>1</sup> Исследование выполнено за счет гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-29-10023)