

**Математическое моделирование процесса циркуляции рабочих жидкостей при первичном вскрытии гидратонасыщенных пластов**

**Научный руководитель – Кравченко Марина Николаевна**

*Рошин Егор Александрович*

*Сотрудник*

Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, Факультет разработки нефтяных и газовых месторождений, Кафедра нефтегазовой и подземной гидромеханики, Москва, Россия

*E-mail: EgorRoschin@yandex.ru*

Газовые гидраты представляют собой кристаллические соединения, в состав которых входят молекулы воды и газа, связанные между собой с помощью водородных связей. Один объем гидрата способен вмещать в себя около 140 объемов газа [1], поэтому газовые гидраты привлекают внимание исследователей как потенциальный источник энергии. На сегодняшний день по всему миру обнаружено более 200 гидратопроявлений, содержащих в себе по предварительным оценкам от  $2 \cdot 10^{14}$  до  $5 \cdot 10^{15}$  м<sup>3</sup> газа, что сопоставимо с объемами разведанных запасов природного газа. По оценкам ВНИИГАЗа в районах залегания многолетнемерзлых пород на территории Российской Федерации газогидратные скопления содержат в себе от  $7 \cdot 10^{12}$  до  $1,7 \cdot 10^{13}$  м<sup>3</sup> природного газа [2,3].

Изучением особенностей разработки и бурения газогидратных залежей активно занимаются в Китае, Индии, Японии и других странах. В нашей стране имеется ряд месторождений, термобарические условия которых удовлетворяют зоне стабильности гидратов, в свою очередь, промышленные исследования проводились на Мессояхской газогидратной залежи. Исследования газовых гидратов в Российской Федерации проводятся на нескольких площадках: МГУ имени М.В. Ломоносова, РГУ нефти и газ (НИУ) имени И.М. Губкина, Институт криосферы Земли Тюменского НЦ СО РАН, Санкт-Петербургский горный университет, ООО «Газпром ВНИИГАЗ» [1-3,6]. Однако до сих пор нет признанной эффективной технологии разработки, поэтому поиск технологий вскрытия, разработки и транспортировки углеводородов из гидратонасыщенных залежей остается актуальной.

Особенности освоения газовых и газогидратных месторождений требуют продолжения исследований не только в плане поиска инновационных методов разработки, но и созданием безаварийных методов бурения. Осложнения при бурении пород, содержащих гидраты, связаны с поступлением газа в состав смеси, движущейся в кольцевом пространстве скважины, что приводит к потере устойчивости ствола скважины, трудностям в прогнозировании забойного давления, а в случае вторичного гидратообразования, вызванного наличием газа в составе смеси и влиянием температуры окружающих горных пород, возможно нарушение циркуляции бурового раствора и иные осложнения [5].

Одним из способов предварительной оценки возможных осложнений и аварийных ситуаций является математическое моделирование. В данной работе исследуются гидродинамические особенности процесса вторичного гидратообразования в кольцевом пространстве, в качестве примера взята газогидратная залежь Мессояхского месторождения.

Используемая для расчетов обобщенная гидродинамическая модель течения многофазной смеси, в состав которой входит буровой раствор, шлам и газ, основана на модели взаимопроникающих континуумов [4], с учетом геотермального градиента и процесса вторичного гидратообразования на стенке бурительной трубы.

Расчет позволяет не только определить сечение, возможного гидратообразования, путем сопоставления термобарических параметров в системе с равновесной кривой газ - гидрат, но и оценить влияние процесса на параметры течения в кольцевом пространстве.

Для обеспечения безопасного процесса бурения важное значение имеют как параметры бурения (подача, начальная температура бурового раствора, скорость проходки и т.д.), так и состав, свойства используемого бурового раствора.

В данной работе рассматриваются различные режимы течения смеси в циркуляционной системе, в зависимости от параметров бурения, а также от количества фаз. Расчеты проводятся для бурения на разных глубинах, что подразумевает различное количество фаз, в том числе в режимах, когда продуктивный горизонт еще не вскрыт или при работе бурового инструмента на режиме депрессии с притоком пластового флюида (газа или жидкости).

Существует несколько методов борьбы с гидратообразованием, как с использованием ингибиторов, так и без, например изменяя температурный режим течения в системе. С целью предотвращения образования газового гидрата в кольцевом пространстве скважины рассмотрены варианты использования бурового раствора различной температуры (на устье в бурильной трубе) или при изменении температуры буровой колонны.

Таким образом при известных пластовых условиях и геотермальном градиенте выполнение предварительного расчета позволяет оценить термобарические параметры многофазного флюида, а также скорректировать параметры бурения, состав и свойства бурового раствора, для обеспечения безаварийного процесса бурения и транспортировки добываемого флюида к сепараторам.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-77-10081, <https://rscf.ru/project/22-77-10081/>.

### Источники и литература

- 1) Васильева З.А. Моделирование процессов тепломассопереноса в системе «пласт - скважина - горные породы» с учетом фазовых превращений газовых гидратов: дисс. ... д-р. техн. наук: 05.13.18 / З.А. Васильева. – Москва, 2019. – 227 с.
- 2) Кравченко М.Н., Чидякина О.О. Гидродинамические аспекты поиска подходов к разработке газогидратных месторождений, Упругость и неупругость. Материалы Международного научного симпозиума по проблемам механики деформируемых тел, посвященного 110-летию со дня рождения А. А. Ильюшина (Москва, 20–21 января 2021 года) / Под ред. проф. Г. Л. Бровко, проф. Д. В. Георгиевского, проф. И. Н. Молодцова. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2021. — 552 с.
- 3) Манаков А.Ю., Пеньков Н.В., Родионова Т.В., Нестеров А.Н., Фесенко МЛ Е.Е. Кинетика процессов образования и диссоциации газовых // Успехи химии. – 2017. – Т. 86, № 9. – С. 845-869.
- 4) Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред: [В 2 ч.] - М.: Наука, 1987. Т. 1, 464 с., Т. 2. 360 с.
- 5) Хуа Сян, Кадет В.В., Оганов А.С., Симонянц С.Л., Юнхай Гао Исследование многофазной жидкости в стволе скважины при бурении на газогидратных месторождениях, Нефть. Газ. Новации. 2018. № 6. С. 59 - 62.
- 6) Якушев В.С. Газогидратные залежи: поиск, разведка и перспективы разработки [Электронный ресурс]: учебное пособие/В.С. Якушев. –М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2021. – 161 с.