

Влияние наноматериалов на фазовое состояние газожидкостной системы при разработке месторождений в Арктических районах

Е.А. Родин
Российский государственный
университет нефти и газа
(национальный исследовательский
университет) имени И.М. Губкина
Москва, Россия
EgorRoschin@yandex.ru

М.Н. Кравченко
Российский государственный
университет нефти и газа
(национальный исследовательский
университет) имени И.М. Губкина
Москва, Россия
kravchenko.m@gubkin.ru

В.А. Кочеткова
Российский государственный
университет нефти и газа
(национальный исследовательский
университет) имени И.М. Губкина
Москва, Россия
azazaz.j@yandex.ru

Аннотация— Последние десятилетия характеризуются возрастающим интересом применения наноматериалов во многих технологических процессах нефтегазовой отрасли, начиная от этапа первичного вскрытия углеводородных залежей до конечной стадии переработки углеводородного сырья. В Губкинском университете ведется разработка биоразлагаемых наноматериалов, позволяющих выступать в качестве основы ингибиторов/промоторов процессов фазовых переходов. Технология нанокapsулирования фазово-переходных наноматериалов с оболочкой из полилактида (PLA), позволяет осуществлять точечную доставку требуемых реагентов в критически опасную зону предотвращая аварийные ситуации или способствуя быстрому их устранению, активируя сорбирование углеводородных загрязнений. Авторами на основе математического моделирования проводится оценка эффективности применения полученных наноматериалов для изменения условий фазового равновесия в технологических процессах нефтегазовой отрасли.

Ключевые слова— наноматериалы, нетрадиционные запасы, газовые гидраты, ингибиторы, промоторы гидратообразования, фазово-переходные материалы, сорбенты.

I. ВВЕДЕНИЕ

Применение наноматериалов, в том числе в капсулированном виде все в большей степени рассматривается как способ решения проблем эффективного развития технологий в нефтегазовой отрасли. Наноразмерные материалы способны влиять как на теплофизические характеристики, так и оказывать существенное воздействие на реологические свойства жидкостей, влиять на процессы химических реакций и фазовых переходов. В задачах, поставленных перед нефтегазовой отраслью, применение такого рода материалов способствует изменению характера смачиваемости и интенсификации процесса вытеснения, что характерно для задач повышения нефтеизвлечения, кроме того, немаловажным свойством наночастиц является влияние на теплообмен, а также на интенсивность фазовых переходов, что актуально для операций в условиях Крайнего Севера, где разработка традиционных месторождений сопровождается фазовыми переходами газ – гидрат, а добыча из нетрадиционных запасов, к которым относятся газовые гидраты, на данный момент не представляется возможной в силу малой их эффективности. На этапе

добычи и транспортировки использование наноматериалов позволяет избежать аварийных ситуаций, предотвращая нарастание твердых фракций (образование газогидратов или выпадения асфальтенопарафиновых отложений) в скважинах, трубопроводах или купировать процессы разлива путем сорбирования углеводородов том числе в Арктической зоне, где процессы осложнены пониженным уровнем температур.

В работе путем математического моделирования рассматривается возможность использования технологии инкапсулирования фазово-переходных материалов для решения задач комплексной разработки Арктических месторождений углеводородов сложного строения, с учетом многоуровневой структуры залежей, включающей газогидратные пласты и подстилающие ниже коллектора, насыщенные свободным газом (Рис.1), как это наблюдается на Мессояхском месторождении.

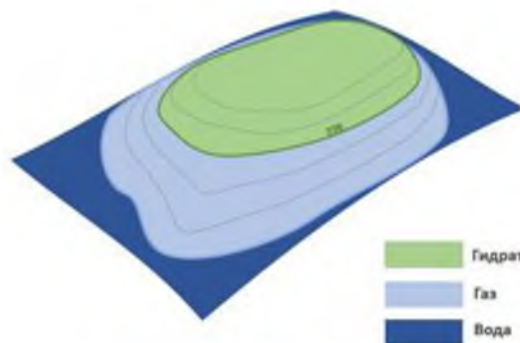


Рис. 1 Схема Мессояхской залежи

II. ВЛИЯНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ НА ПРОЦЕСС ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРАТОВ.

Использование наноматериалов в технологических процессах нефтегазовой отрасли может способствовать замедлению/ускорению фазовых переходов, что дает возможность применить новые технологии в плане разработки газогидратных залежей. До настоящего времени не найдены эффективные методы разработки нетрадиционных месторождений такого типа. Наиболее простой метод снижения давления, способствующий изменению термобарического состояния и фазовому переходу клатрата метана в свободную воду и газ, как показывает расчет и практика, ограничены в силу малой

проницаемости пластов, что делает неэффективным закачку ингибиторов гидратообразования. Кроме того, установлено явление реверсивного гидратообразования на некотором удалении от скважины [1]. Поэтому помимо поиска ингибиторов, усиливающих скорость диссоциации и расширяющих в глубь пласта зону фазового перехода клатрата в свободные (фильтрующиеся) фазы возможен и иной подход – предотвращения распада клатратов [2]. На фазовой диаграмме ингибирование будет отражаться, как сдвиг кривой фазового равновесия влево (в область более низких температур и повышенных давлений), а предотвращение диссоциации при использовании промоторов гидратообразования выражается в сдвиге кривой фазового равновесия вправо – в область более высоких температур при снижении давления в газогидратном пласте.

При разработке пластов, залегающих ниже газогидратных залежей даже при первичном вскрытии возможен приток газа как из газогидратного слоя, так и поступлении газа в буровую колонну непосредственно из вскрываемого газового горизонта, что может инициировать возникновение техногенных газогидратов непосредственно в стволе скважины.

Данный факт является ключевым осложнением на этапе вскрытия залежи, так как снижение пластового давления инициирует процесс диссоциации в вышележащем пласте, откуда поступающий газ выносит в скважину воду и метан в совокупности включающий «зародыши» клатратов, что при движении многофазной смеси может стать причиной повторного роста газогидратов. Так как буровой инструмент имеет сложную геометрию, то аналогично провоцированию явления кавитации на винтах кораблей или внутри устройств, рост гидратов происходит в зоне наиболее низкого давления (обычно на буровом инструменте), а геотермальный градиент пород способствует понижению температуры, что усиливает скорость роста кристаллов.

Использование ингибиторов гидратообразования, которые подразделяются на термодинамические (соли – NaCl, KCl и т.д., спирты – гликоли, метанол), а также кинетические (поливинилпирролидон (PVP), поливиниловый капролактан (PVCap) и т.д.), позволяет увеличить давление и понизить предельный уровень температуры гидратообразования, тем самым предотвратить повторное образование гидрата на технологическом оборудовании. Непрерывная закачка метанола или других ингибиторов при больших глубинах бурения является экономически неэффективной.

Можно предположить, что использование промоторов гидратообразования (додецилсульфат натрия (SDS), три-сульфированное касторовое масло (COS-3MS) [2]) воспрепятствует разложению клатратов в газогидратном слое, однако вынос частиц газового гидрата при проходке через газогидратный пласт в затрубном пространстве возможно приведет к дополнительному провоцированию роста кристаллов гидратов внутри буровой колонны.

Как известно, для борьбы с газовыми гидратами в трубопроводных системах применяются методы теплового воздействия. Использование обогревателей в процессе бурения малоэффективно и затруднено технологически. Поэтому метод доставки теплоносителя непосредственно в проблемную зону даст возможность предотвратить процесс гидратообразования с меньшей энергетической нагрузкой. Перспективным является подход использования нанокапсул, оболочка которого выполнена из полилактида (PLA), с ядром, представляющим собой фазово-переходный материал [3], способный обеспечивать выделение энергии в результате кристаллизации при снижении температуры по мере увеличения глубины проходки. В качестве фазово-переходного материала могут быть использованы кристаллогидраты солей, карбоновые кислоты, эфиры, выбор ядра капсулы зависит от глубины залегания разбуриваемых пластов и геотермального градиента конкретного месторождения.

Немаловажным аспектом эффективного проведения производственных операций, по внедрению новых технологических решений являются предварительные расчеты, позволяющие прогнозировать возможные негативные явления и методы их предотвращения.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной работы в программном пакете OpenFOAM выполнен цикл гидродинамических расчетов на основе математической модели, описывающей циркуляционное течение многофазного многокомпонентного флюида в буровой колонне и межколонном пространстве при проведении буровых операций в условиях, осложненных наличием зародышей газогидратов. Расчет для условий Мессояхского месторождения позволил оценить изменение характеристик потока с учетом кинетики гидратообразования, наличия соединений, влияющих на фазовое равновесие газовых гидратов, в том числе использования нанокапсул на основе PLA, содержащих фазово-переходный материал, способный переносить и выделять необходимое тепло.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа поддержана РНФ (грант № 22-77-10081).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кравченко, М.Н. Гидродинамические аспекты поиска подходов к разработке газогидратных месторождений / М.Н. Кравченко, О.О. Чидякина // 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. – М.: Издательский Дом МГУ, 2021. – С. 491-498.
- [2] Исследование влияния кинетических промоторов на нуклеацию и рост газовых гидратов / М.Е. Семенов, А.С. Стопоров, У.Ж. Мирзакимов [и др.] // Газовые гидраты - энергия будущего (РГК Г): материалы первой Российской газогидратной конференции, пос. Листвянка, Байкал, 26-31 августа 2024 года. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2024. – С. 256-259.
- [3] Фазово-переходные материалы в энергетике: современное состояние исследований и перспективы применения / Д.Д. Бухалкин, А.П. Семенов, А.А. Новиков [и др.] // Химия и технология топлив и масел. – 2019. – Т. 6(616). – С. 51-56.