

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ И МОДЕЛИ ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРАТОВ

П.В. Волков, А.Д. Рябов

Научный руководитель - профессор П.Н. Зятиков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Введение

Образуясь в газовом трубопроводе, гидрат может привести к различным последствиям, таким как уменьшение производительности трубопровода, вследствие изменения размера сечения, а иногда и к потере подачи газа из-за несвоевременного ремонта и нужной защиты. Вопросы изучения процесса образования газовых кристаллогидратов занимают важную роль в нефтегазовой отрасли.

Методика исследования процесса гидратообразования на залежах Южно-Русского месторождения

Керн состоящий из слабоконсолидированного глинистого песчаника размерами $L=29,08$ мм и $D=28,83$ мм был отобран на отметке $806,7 \pm 0,17$ м на Южно-Русском нефтегазоконденсатном месторождении, приуроченном к породам туронского возраста. Абсолютная газопроницаемость и пористость исследовалась на анализаторе «ПИК-ПП» [1], они составили $1,42 \cdot 10^{-14}$ м²; 23,10 % соответственно, а удельная активная поверхность с помощью Sorbi-M [2] – $1,8 \cdot 10^3$ м²/кг; такое значение соответствует песчанистой породе, содержащей пылевато-глинистую компоненту. Алгоритм данного исследования включало такие шаги как:

- раствор хлорида натрия концентрацией 17 кг/м^3 нагнетали в образец;
- устанавливали образец в барокамеру с давлением до 8 МПа;
- барокамеру с образцом насыщали метаном до 4,5 МПа;
- устанавливали условия гидратообразования;
- проводили периодическую оценку газопроницаемости образцы;
- для разложения поровых гидратов образец нагревали;
- после эксперимента определяли эффективную проницаемость.

Установка «Гидрат», разработанная в ООО «ЭкогеосПром», нужна для гидратонасыщения и определения газопроницаемости, условия задавались с помощью установки воздушного охлаждения фирмы Gronland, объем камеры которой равен $0,5 \text{ м}^3$, после нагнетания соли до влажности 8,37 мас. % и заполнения пор образца около 69%. Температура была постоянной ($\pm 0,5$ °C), благодаря контактному термометру (рабочий диапазон от 30 до -15 °C), показания фиксировались автоматически в память компьютера с различными временными шагами, использовались: датчики температуры (точность измерения $\pm 0,1$ °C) и давления (точность измерения ± 1 кПа).

Температура в установке «Гидрат» может изменяться от 30 до -15 °C при давлении до 7 МПа, данная установка не превышает погрешность в 15% [3]. Параметры гидратосодержания определяли методом PVT (pressure volume temperature) [4] по изменению температуры и давления, для этого было необходимо рассчитать массу метана, которая была поглощена образцом m_G :

$$m_G = \frac{P_i \cdot V \cdot M}{R \cdot T_i \cdot z}, \quad (1)$$

где: P_i – давление в момент времени i ; V – объем барокамеры с учетом коэффициента сжимаемости; M – молярная масса метана; R – универсальная газовая постоянная; T_i – температура в i -й момент времени; z – z -фактор газа при данных условиях.

Результаты исследований применения установки «Гидрат»

С помощью установки «Гидрат» исследовались различные параметры в лабораторных условиях на образце керна при определенном насыщении газогидратом, проводили количественную и качественную оценку этих параметров. В результате поле насыщения керна раствором NaCl до влажности 8,37 мас. % получили следующие величины: газопроницаемость снизилась примерно в 70 раз и составила $2,1 \cdot 10^{-16}$ м². Когда поставили благоприятные термобарические условия для образования ($P=4,5$ МПа, $T=1$ °C), начали формироваться газогидраты. Начальная влажность образца составляла 8,37 мас. %, эксперимент показал, что до 21 мас. % влаги, которая находилась в порах, превратилась в гидрат, и как следствие проницаемость образца начала снижаться, причем после перехода в гидрат 4 мас. % влаги в порах газопроницаемость оставалась почти постоянной и равнялась $2 \cdot 10^{-16}$ м², а после 21 мас. % газопроницаемость уменьшилась в 20 раз, не превышая предел точности прибора ($0,1 \cdot 10^{-16}$ м²). Далее образец подвергли нагреву, газовый гидрат начал разлагаться, а газовая проницаемость увеличилась до $1,6 \cdot 10^{-16}$ м², это значение, в свою очередь, ниже начального значения на 24 мас. %. После анализа этих данных сделали вывод о том, что структура керна после испытаний цикла образования и разложения претерпела изменения. Данные исследования позволили отработать методику насыщения слаболитифицированного керна залежи, приуроченной к туронскому возрасту, раствором соли. В этой методике зависимость Термобарических условий образования газовых гидратов от содержания влаги в породах данного яруса определяется на образце, также рассматривали раствор для первичного вскрытия скважины № 184 Южно-Русского НГКМ плотностью 1410 кг/м^3 , а также солевую композицию «СГС-18» [5], влияющие на условия образования гидратов.

Моделирование процесса образования гидратов

Введем некоторые упрощения, которые позволят упростить математическую модель. Это обязательное требование перед началом исследования [5]:

1. Газ, движущийся по трубе, представим одномерным течением, рассчитываемым с помощью газовой динамики;
2. Переход газа в гидратное состояние будем считать в рамках постановки задачи Стефана;
3. Компоненты смеси (свободная влага, газ и ингибитор) имеют одинаковые скорости;

4. Твердый слой газового гидрата имеет достаточно большой радиус кривизны, что позволяет пренебречь теплопроводностью вдоль оси трубы;
5. Пренебрегаем кондуктивным переносом тепла;
6. Тепловое сопротивление стенки трубы имеет малые значения;
7. Газ и гидрат в процессе моделирования будут иметь одинаковые физические свойства;
8. Система имеет турбулентный характер движения.

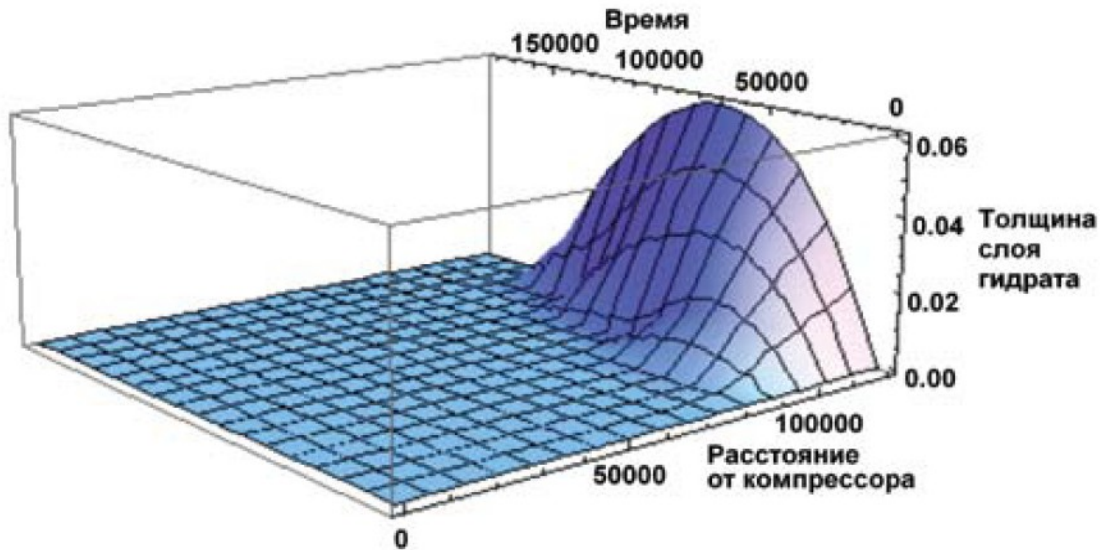


Рис. Динамика роста гидратного слоя по длине газопровода

Начальные данные для математической модели были приняты следующими: диаметр и длина трубы соответственно $D=0.7$ м, $L=120000$ м; Давление в начале и в конце трубы соответственно $P_0=5.5$ МПа, $P_k=3.5$ МПа (при этом давлении гидраты отсутствуют); начальная температура $T=47$ °С; расход по массе $M=63.7417$ кг/с; промежуток времени, на котором рассматривался процесс образования гидрата $t=150\,000$ с. После вычислений полученной математической модели движения потока газа численно решили газотранспортную задачу, на рисунке приведён результат данных вычислений на графике. По графику видно, при существовании благоприятных условий для образования гидратов начался их рост и формирование пробки, в свою очередь это привело к увеличению гидравлического сопротивления и уменьшению значения давления на выходе газопровода. После образования пробки начали увеличивать подачу ингибитора (метанол), что повлекло за собой разрушение пробки, после этих операций режим течения газа вернулся к нормальному. Данная математическая модель может быть использована для анализа образования гидратов в трубопроводе при транспортировке газа. На это указывают результаты численного моделирования.

Заключение

Задача математического моделирования процесса образования газовых гидратов сводится к разделению математических операций. Уравнения математической модели решаются для каждой функциональной части задачи, также решение задачи можно разделить на четыре шага: описание процесса фильтрации газа через породу, описание течения газа в трубе, учет воздействия скважины с породами посредством передачи тепла и сравнение полученных результатов с задачей Стефана.

Литература

1. Бухгалтер Э.Б. Метанол и его использование в газовой промышленности. М.: Недр, 1986 – 238 с.
2. Буц. В.В. Математическая модель образования гидратов в трубопроводах // Математические Методы в Технике и Технологиях. – 2010. – № 10. – С. 78–83.
3. Бык С.Ш., Макагон Ю.Ф., Фомина В.И. Газовые гидраты. М.: Химия, 1980 – 296 с.
4. Истомин В.А., Изюмченко Д.В., Лапшин В.И. и др. О возможной гидратонасыщенности пористых сред низкотемпературных газовых залежей // Эффективность освоения запасов углеводородов. Разработка и эксплуатация месторождений. Комплексные исследования нефтегазоконденсатных пластовых систем. – 2010. – № 1. – С. 10–15.
5. Чувилин Е.М., Гребенкин С.И. Экспериментальная оценка газопроницаемости газонасыщенных пород при гидратообразовании и замораживании // Криосфера Земли. – 2015. – Т.19. – № 2. – С. 67–74.