

# 1 Задача 1. Моделирование роста гидратного слоя.

Газовые гидраты – твёрдые кристаллические соединения, которые образуются при контакте воды и газа в определённых термобарических условиях. Молекулы воды в гидрате образуют сложный трёхмерный каркас, называемый клатратом, в полостях которой размещаются молекулы газа. Клатратной структурой гидрата объясняется его удивительное свойство – в одном объёме гидрата может содержаться до 180 объёмов газа.

Борьба с отложением гидратов в стволах газовых и нефтяных скважин, на стенках промысловых и магистральных трубопроводов является одной из актуальных проблем при добыче и транспортировке нефти и газа. Образующиеся на стенках труб гидратные отложения резко уменьшают их пропускную способность, могут привести к их закупорке, возникновению аварийных ситуаций и даже к взрывам.

Одной из неожиданных сфер применения газовых гидратов является борьба с парниковым эффектом – на протяжении ряда лет учёные изучают возможность захоронения углекислого газа атмосферы в газогидратной форме в подземных коллекторах криолитозоны.

## Задания:

1) Построить математическую модель роста гидратного слоя и обосновать её адекватность с учётом следующих допущений.

- В начальный момент времени углекислый газ и вода занимают полупространства  $x < 0$  и  $x > 0$ , соответственно. На границе углекислого газа и воды образуется и начинает расти слой газогидрата. Плоская граница контакта между водой и газогидратом (граница гидратообразования) движется вправо, а плоская граница контакта между углекислым газом и газогидратом неподвижна.
- В слое газогидрата присутствуют неподвижный углекислый газ, находящийся в составе гидрата (связанный с водой), и подвижный (диффундирующий) углекислый газ. Скорость процесса образования газогидрата лимитируется только процессом диффузионного переноса подвижного углекислого газа в газогидрате (диффузией воды можно пренебречь).
- Подвижный углекислый газ мгновенно переходит в состав гидрата при достижении границы контакта с водой.
- Плотность подвижного углекислого газа в газогидрате на границе контакта «газогидрат-газ» в  $\mu$  раз меньше плотности углекислого газа в области  $x < 0$ .

2) Получить аналитическое решение для частного случая, когда скорость изменения плотности подвижного углекислого газа в любой заданной точке слоя газогидрата пренебрежимо мала.

3) Выбрать и обосновать численный метод решения уравнений математической модели в полной постановке (без учёта допущения из пункта 2).

4) Определить толщину слоя газового гидрата через 90, 180 и 360 суток после начала процесса гидратообразования (ответ дать в миллиметрах, округлить до второго знака после запятой).

Использовать следующие значения параметров: относительное массовое содержание углекислого газа в составе газогидрата  $G = 0.28$ ; коэффициент диффузии газа в газогидрате  $D_g = 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$ ; плотность газогидрата  $\rho_h = 1100 \text{ кг/м}^3$ ; давление углекислого газа ( $x < 0$ )  $p = 6 \text{ МПа}$ ; температура углекислого газа ( $x < 0$ )  $T = 275 \text{ К}$ ;  $\mu = 10$ .

Максимальный балл в случае успешного решения задачи 1 – 45 баллов. В случае частичного выполнения задачи критерии оценивания по задаче 1 следующие:

1) оценка решения участника – 25 баллов (максимальный балл), из них

а) за представление корректной математической модели роста гидратного слоя – 10 баллов;

б) за получение аналитического решения для частного случая, когда скорость изменения плотности подвижного газа в любой заданной точке слоя газогидрата пренебрежимо мала – 5 баллов;

в) за выбор и применение численного метода решения уравнений математической модели в полной постановке – 5 баллов;

г) за расчёт координат границы гидратообразования в заданные моменты времени – 5 баллов;

2) оценка выступления участника – 20 баллов (максимальный балл), из них

а) за обоснование математической модели роста гидратного слоя и её адекватности – 10 баллов;

б) за обоснование аналитического решения для частного случая – 5 баллов;

в) за обоснование метода решения уравнений математической модели в полной постановке – 5 баллов.

Отчёт должен быть загружен в формате pdf/jpeg.

Обратите внимание, что вы можете загрузить только один файл. Размер файла не должен превышать 10MB.