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 μ 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 $D_g=10^{-12}~{\rm M}^2/{\rm c}$; плотность газогидрата $\rho_h=1100~{\rm kr/M}^3$; давление углексилого газа (x<0) $p=6~{\rm MHa}$; температура углекислого газа (x<0) $T=275~{\rm K}$; $\mu=10$.

Максимальный балл в случае успешного решения задачи -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 предоставление 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.