

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА ТЕПЛООВОГО ПОЛЯ ВОКРУГ БУРЯЩЕЙСЯ СКВАЖИНЫ

Соловьев А.Я.¹, Саитов Р.Р.², Курбанов Ф.Р.³

¹Соловьев Александр Янович – кандидат технических наук, доцент;

²Саитов Рифат Ринатович – магистрант;

³Курбанов Фирдаус Раисович – магистрант,

кафедра бурения нефтяных и газовых скважин, горно-нефтяной факультет,
Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа

При бурении в толще многолетнемерзлых пород возникают следующие осложнения: интенсивное кавернообразование; осыпи и обвалы пород; низкое качество цементирования; смятие обсадных колонн; примерзание спускаемых обсадных колонн к стенке скважины в интервале залегания ММП в зимний период. Основная причина этих осложнений – нарушение температурного режима скважины из-за применения технологии бурения без учета теплообменных процессов между мерзлыми породами и буровым раствором в ходе его циркуляции [1].

В мерзлых породах степень устойчивости стенок скважины в преобладающей мере зависит от температуры промывочного раствора: скорость таяния льда возрастает с повышением температуры внешней температуры, однако, скорость таяния льда заметно снижается при температуре жидкой среды ниже 8 °С [2]. Нормализация температурного режима скважины при бурении в мерзлых породах достигается изменением физических и теплофизических бурового раствора [1].

Математическая литература, связанная с фазовыми переходами столь обширна, что составить ее полный обзор не представляется возможным. В 1889 г. австрийский физик Иозеф Стефан предложил модель для описания таяния полярных льдов.

Задача Стефана представляет собой особый вид краевой задачи для дифференциального уравнения в частных производных, описывающая изменение фазового состояния вещества, при котором положение границы раздела фаз изменяется со временем. Наличие границ раздела между фазами, которые не задаются явно и могут смещаться со временем, является характерной особенностью таких задач. Скорость смещения межфазных границ определяется дополнительным условием на границе раздела фаз, что приводит задачу к нелинейному виду.

Одним из примеров физического процесса с фазовыми переходами является таяние льда со смещающейся границей между буровым промывочным раствором и ММП.

Решение задачи Стефана состоит в вычислении температурного или концентрационного профиля и определении положения межфазных границ в различные моменты времени. Основные трудности при решении данной задачи связаны с тем, что подвижные границы раздела фаз формируют переменные области для вычисления значений температуры или концентрации, а положение этих межфазных границ заранее не известно и также должно определяться в ходе решения.

Существуют численные методы решения задачи Стефана. Данные методы можно условно разделить на две группы. К первой группе относятся методы сквозного счёта, которые позволяют не выделять границу раздела фаз и использовать общее уравнение во всей расчетной области. А ко второй группе относятся методы, предполагающие явное определение положения межфазных границ.

Главной особенностью методов сквозного счёта является отсутствие необходимости точного отслеживания положения межфазных границ, что оказывается достаточно эффективным при решении многомерных и многофазных задач. Недостатками данного подхода являются зависимость точности разностного решения от выбора параметра сглаживания и низкая точность определения положения межфазных границ.

На практике широко применяются методы, в явном виде отслеживающие движение межфазных границ. В основе всех методов данной группы лежит идея использования метода конечных разностей, когда расчёты проводятся на равномерных или же неравномерных сетках. При этом всегда определено, между какими узлами расчётной сетки находится подвижная граница, или же через какой узел она проходит. Наиболее известными среди них являются метод ловли фронта в узел пространственной сетки и метод выпрямления фронтов. Еще один подход к решению задачи Стефана предполагает использование метода динамически адаптирующихся сеток.

Для решения задачи Стефана также может быть применен и метод конечных элементов, который является самым оптимальным при решении задачи плавления зоны ММП буровым промывочным раствором [3].

Большинство этих методов: метод сквозного счёта, метод конечных элементов или деформирующая геометрия лежат в основе таких пакетов как COMSOL, MATLAB, FEMLAB.

COMSOL Multiphysics – мощная интерактивная среда для моделирования и решения научных и технических проблем, основанных на дифференциальных уравнениях в частных производных (PDE).

С помощью нее можно решить поставленную задачу, а результаты представить в виде графиков и проанализировать их. К примеру на рисунке 1 представлена модель скважины, где показана движение бурового раствора, температура которого равна $T_0(x)$ нисходящего потока и $T_1(x)$ восходящего потока. Интервал от x до $x + \Delta x$ – интервал залегания ММП. И с помощью COMSOL Multiphysics и этой модели, мы будем решать задачу Стефана [4].

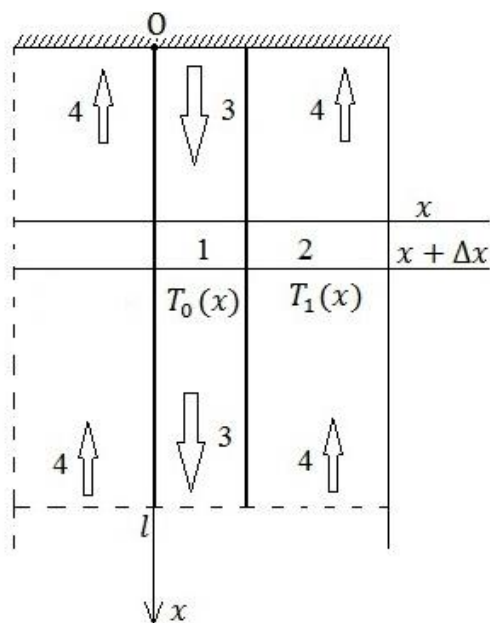


Рис. 1. Модель скважины при бурении ММП

Список литературы

1. Кудряшов Б.Б., Чистяков В.К., Литвиненко В.С. Бурение скважин в условиях изменения агрегатного состояния горных пород. Л.: Недра, 1991. 295 с.
2. Быков И.Ю. Термозащита конструкций скважин в мерзлых породах [Текст]: учеб. пособие/ И.Ю. Быков, Т.В. Бобылёва. Ухта: УГТУ, 2007. 131 с.: ил. Термические факторы.
3. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. 392 с.
4. Введение в COMSOL Multiphysics [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.comsol.ru/shared/downloads/IntroductionToCOMSOLMultiphysics_RU52a.pdf/ (дата обращения: 10.05.2017).