

Обзор методов прямого численного моделирования двухфазных теченийС.А. Захаров^{1,2}¹Московский физико-технический институт (государственный университет)²Объединенный институт высоких температур РАН

Двухфазные среды (например, «жидкость — пар») являются частым явлением в индустриальных приложениях, таких как теплообменники, ядерные реакторы, котлы, насосные системы и т. д.

Отдельный интерес представляет собой течение смеси углеводородов, в частности, газконденсата — его залежи мало освоены. При добыче газового конденсата, из-за наличия ретроградной области на фазовой диаграмме смеси, образуется жидкая пробка, закупоривающая добычу на некоторое время. Как результат, она имеет периодический характер. Другая проблема, связанная с извлечением газконденсатов состоит в потере целевого продукта из-за наличия фазовых переходов.

Для лучшего понимания упомянутых приложений и процессов требуются как экспериментальные исследования, так и развитие вычислительных моделей.

В настоящее время имеется целый ряд различных математических моделей и реализующих их численных схем, описывающих поведение многофазных сжимаемых сред. Основным моментом является моделирование динамики поверхности раздела сред (интерфейсной границы или интерфейса). Разные уравнения состояния фаз по обе стороны интерфейса являются основной проблемой при оценке величины давления на нем. Помимо этого, вычисление затрудняет наличие контактных разрывов и ударных волн (как внутри фазы, так и при прохождении через границу раздела), которые приводят к появлению неконсервативных членов в модели, численная аппроксимация которых требует отдельного внимания.

Не каждая модель способна корректно описать газодинамическое течение в связи с упомянутыми трудностями. В методе дискретных уравнений (DEM, Discrete Equation Method) эти трудности преодолены [1]. Он включает по три уравнения для каждой фазы, полученных на основе законов сохранения. Используемый точный римановский солвер описывает взаимодействие фаз на каждой интерфейсной границе раздела сред. Также в методе достигается корректная аппроксимация неконсервативных членов и дополнительных связей, определяющих релаксацию давлений и скоростей в двухфазной среде. В одномерном случае метод включает 7 уравнений и обобщается на случай двумерных и трехмерных расчетов процедурой расщепления по направлениям.

В работе представлено описание DEM в применении для расчета двухфазных сжимающихся потоков и его модификации — Reactive DEM (RDEM) по моделированию взрывного испарения с применением реактивного римановского солвера.

Рассматриваются вопросы применения зарекомендовавшего себя [1] DEM, используя возможности молекулярного моделирования. Внимание заостряется на требованиях к виду уравнения состояния, необходимому для реализации метода, и на термодинамических параметрах, характеризующих компоненты многофазного течения.

Авторы выражают благодарность В.В. Чуданову и Г.Э. Норману за обсуждение задачи.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта 14-50-00124.

Литература

1. А. А. Леонов, В. В. Чуданов, А. Е. Аксенова Методы прямого численного моделирования в двухфазных средах. — Труды ИБРАЭ РАН. — 2011