

Концентрация в слое с бинарной смесью, температура и давление являются квадратичными формами относительно продольной координаты

$$\begin{aligned} u_j &= U_j(\eta, \tau)\xi, \quad v_j = V_j(\eta, \tau); \\ \theta_j &= A_j(\eta, \tau)\xi^2 + B_j(\eta, \tau), \quad c_1 = H_1(\eta, \tau)\xi^2 + E_1(\eta, \tau), \\ p_j &= P(\xi, \eta, \tau). \end{aligned} \quad (1)$$

Специальный вид решения позволяет описывать движения вблизи локальных экстремумов температуры на твердых стенках и границе раздела.

Получены следующие результаты: 1) предполагая, что движение в слоях является ползущим, построено точное стационарное решение конвективного течения системы жидкостей; 2) построено стационарное решение задачи с учетом влияния энергии межфазного теплообмена; 3) получены априорные оценки нестационарного решения и определены условия распределения температуры вдоль твердых стенок, при котором движение стабилизируется; 4) получено решение нестационарной задачи в квадратурах методом преобразования Лапласа.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00229).

Литература

1. Андреев В.К., Захватаев В.Е., Рябицкий Е.А. Термокапиллярная неустойчивость. Новосибирск: Наука, 2000, 280.

Моделирование межфазных границ при необратимых процессах: влияние интенсивности фазовых превращений на поверхностное натяжение и динамические условия на границе раздела фаз

А. В. Жуков

НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова
az@imec.msu.ru

Известно, что при постановке задач о распространении фронтов фазовых превращений в сплошных средах во многих случаях, кроме условий непрерывности потоков массы, импульса и энергии, необходимы дополнительные соотношения на поверхности разрыва (например, условия непрерывности обобщенного химического потенциала или уравнения, определяющие интенсивность фазовых превращений).

Эти дополнительные соотношения могут быть получены в рамках термодинамики необратимых процессов из анализа уравнения для производства энтропии при описании границы раздела фаз как двумерной сплошной среды (D. Bedeaux, A. M. Albano, P. Mazur, 1976). Обобщение этой теории в рамках расширенной неравновесной термодинамики учитывает зависимость поверхностной энтропии от поверхностных потоков массы и энергии (L. M. C. Sagis, 2010). Однако эти модели не позволяют описать зависимость поверхностного натяжения от потока массы через межфазную границу, наблюдаемую при численном моделировании процессов испарения и конденсации методами молекулярной динамики (S. I. Anisimov et al., 1999).

В настоящей работе граница раздела фаз рассматривается как двумерная система с нулевой поверхностной плотностью, обладающая внутренней энергией, температурой и энтропией. На основе уравнения для производства энтропии и вариационного уравнения Л. И. Седова, где в число дополнительных определяющих параметров входит интенсивность фазовых превращений, построена уточненная модель движущейся границы раздела жидкостей. Получены определяющие уравнения, условия на границе раздела и кинетические соотношения в рамках данной модели. В частности, получено дополнительное соотношение, связывающее скачок обобщенного химического потенциала на границе раздела фаз и скорость изменения потока массы через данную границу.

В изотермическом приближении численно решена задача о структуре движущейся плоской межфазной границы, что позволяет найти уравнения состояния двумерной среды и кинетические коэффициенты. При этом внутри межфазного слоя используется уравнение состояния, основанное на обобщенной модели Ван дер Ваальса с учетом градиентов плотности. Для некоторых значений определяющих параметров задача допускает точное аналитическое решение. Поверхностные плотности экстенсивных физических величин определяются по Гиббсу с помощью введения разде-

ляющей поверхности и вычисления избыточных величин для соответствующих объемных плотностей. Найдена зависимость поверхностной свободной энергии и поверхностного натяжения от интенсивности фазовых превращений и получены асимптотические выражения для этих функций при малых потоках массы через межфазную границу.

Зависимость поверхностного натяжения от интенсивности фазовых превращений приводит к модификации дополнительного соотношения на разрыве, что влияет на движение фронтов фазовых переходов, в том числе для одномерных движений с плоскими волнами. Для таких движений решена задача об устойчивости фронта фазового перехода, движущегося с дозвуковой скоростью.

В качестве приложения рассмотрен ряд задач о движении фронтов испарения и конденсации в жидкостях — сферически симметричная задача о движении парового пузырька в вязкой теплопроводной несжимаемой жидкости и задача об испарении сферически симметричного тела в вакуум.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ- (проекты № 16-01-00157 и 17-01-00037).

Эволюция сингулярностей в течениях жидкости со свободной границей

Е. Н. Журавлева, Е. А. Карабут

Институт гидродинамики СО РАН

eakarabut@gmail.com

Рассматриваются нестационарные плоские потенциальные течения идеальной несжимаемой жидкости со свободной границей в отсутствии силы тяжести и поверхностного натяжения. Несмотря на простоту постановки в таких задачах известно мало точных решений.

Для более простого случая стационарных течений существует метод Кирхофа и с его использованием найдено много струйных решений. Один из вариантов метода Кирхофа основан фактически на угадывании решения путем анализа нулей и особых точек решения. Нельзя ли такой подход обобщить на нестационарный случай? Это сделать труднее, поскольку в нестационарном случае нули и сингулярности решения будут уже подвижными.