

Моделирование конвективного движения жидкости в наклонном слое

О.Н. Гончарова, Ю.Е. Южкова
АлтГУ, г. Барнаул

Изучение конвективных течений жидкостей и газов является актуальной задачей. Конвективное движение жидкости в поле силы тяжести описывается системой уравнений Обербека-Буссинеска [1]. При наличии свободной поверхности учитываются действия термокапиллярных сил, вызванных неоднородностью коэффициента поверхностного натяжения. Различные аспекты конвективных движений жидкости, заполняющей наклонные и вертикальные слои, изучались аналитически и численно многими авторами (см., например, [1–4] и цитированную там литературу).

В данной работе рассматривается задача конвекции жидкости в наклонном слое со свободной границей в точной постановке, а также в наклонном слое с твердыми, непроницаемыми, движущимися границами (см. рис. 1). Строится точное решение двумерной стационарной задачи. Данное решение является обобщением решения задачи конвекции жидкости в горизонтальном слое (Р.В. Бирих, 1966). Целью работы является изучение точного решения системы дифференциальных уравнений, описывающих движение жидкости, моделирование продольных и поперечных градиентов температуры, выявление особенностей взаимодействия различных механизмов конвекции в гравитационном поле (также и в условиях слабой гравитации). Для задачи со свободной границей выявляются эффекты, порождаемые потоком газа, действием касательных напряжений со стороны газа в условиях гравитационного поля различной интенсивности. Изучаются условия, когда жидкость вблизи свободной границы имеет различный характер движения.

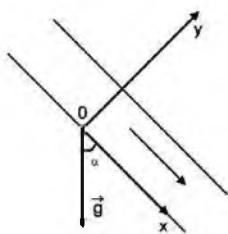


Рис. 1. Геометрия области течения

При изучении конвекции в слое с движущимися границами при наличии внутренних источников тепла, распределенных однородно либо неоднородно, исследуется взаимодействие гравитационной конвекции

и эффектов сдвиговых течений Куэтта, а также влияние величины угла наклона слоя на характер течения.

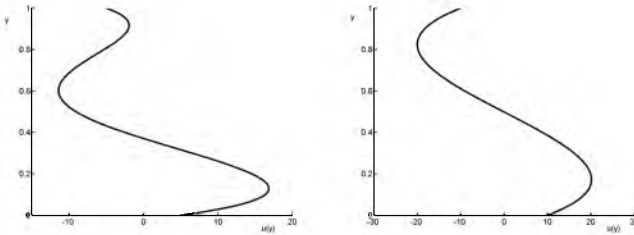


Рис. 2. $\alpha=4\pi/9$; $Ra = 10^5$, $q = 1$, $u|_{y=0} = 5$, $u|_{y=1} = -5$ (слева);

$Ra = 10^4$, $q = 10^{-1}$, $u|_{y=0} = 10$, $u|_{y=1} = -10$ (справа)

Изучается также влияние различных параметров задачи, а именно: чисел Рэля (Ra), Прандтля (Pr), интенсивности внутренних источников тепла (q). На рисунке 2 приведены примеры возможных профилей продольной (безразмерной) скорости $u=u(y)$ для жидкости ($Pr=10$), заполняющей бесконечный слой с твердыми, непроницаемыми границами $y=0$, $y=1$, движущимися в противоположных направлениях.

Построенные точные решения и проведенные расчеты позволяют не только изучить влияние различных сил на динамику и теплообмен в жидкости, но и исследовать возможность управления механизмами конвекции.

Библиографический список

1. Гершуни, Г.З. Устойчивость конвективных течений / Г.З. Гершуни, Е.М. Жуховицкий, А.А.Непомнящий. – М. : Наука, 1989. 318 с.
2. Napolitano, L.G. Plane Marangoni-Poiseuille flow of two immiscible fluids / L.G. Napolitano // Acta Astronautica. – 1980. – Vol. 2. – P. 461–478.
3. Мызникова, Б.И. О численном моделировании свободной конвекции / Б.И. Мызникова, Е.Л. Тарунин // Гидромеханика и процессы переноса в невесомости : сб. статей. – Свердловск : УНЦ АН СССР. 1983. – С. 152–160.
4. Андреев, В.К. Современные математические модели конвекции / В.К.Андреев, Ю.А. Гапоненко, О.Н. Гончарова, В.В. Пухначев. – М. : Физматлит, 2008. – 368 с.