

Математическое моделирование движения жидкости со свободной границей

О.Н. Гончарова, В.Ю. Неклюдова
АлтГУ, г. Барнаул

Изучение конвективных течений жидкостей и газов [1–3], заполняющих наклонные слои с твердыми и свободными границами, продолжает оставаться весьма актуальной задачей [4, 5].

В данной работе рассматривается задача о стационарной конвекции жидкости в бесконечном, наклонном слое (см. рис. 1), одна из границ которого является свободной, а другая – твердой, непроницаемой и движущейся. Конвективное движение жидкости в поле силы тяжести описывается системой уравнений Обербека-Буссинеска [1]. На твердой границе выполняются условия прилипания, а на свободной – кинематическое и динамическое условия [1, 2, 4]. При этом вдоль границ поддерживается постоянный, относительно продольной координаты, градиент температуры A . Точное решение стационарной задачи является обобщением решения задачи конвекции жидкости в горизонтальном слое (Р.В. Бирих, 1966). Для задачи со свободной границей следует выявить эффекты, порождаемые действием касательных напряжений со стороны газа в условиях гравитационного поля различной интенсивности [4], а также эффекты сдвиговых течений Куэтта и влияние величины угла наклона слоя на характер течения [5]. В предположениях о деформируемости или недеформируемости свободной границы строится точное решение задачи, изучается также влияние различных параметров задачи, а именно: чисел Рэлея (Ra), Прандтля (Pr), Рейнольдса (Re) и градиента A , на характер движения.

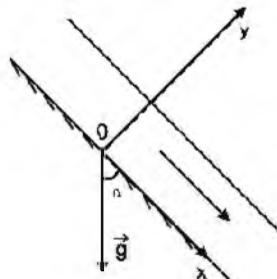
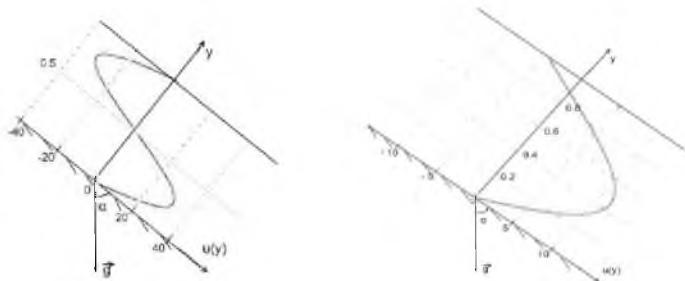


Рис. 1. Геометрия области течения.

На рисунке 2 приведен пример профиля продольной скорости $u=u(y)$ в случае бесконечного слоя с недеформируемой, свободной границей $y = 1$ и неподвижной, твердой границей $y=0 (u_0 = 0)$.



$$Re = 1, Pr = 10^{-1}, A = -1, Ra = 10^4 \text{ (слева)}$$

Рис. 2: $\alpha = \pi / 3$;

$$Re = 1, Pr = 10^{-1}, A = -5, Ra = 10^5 \text{ (справа)}$$

Построенные точные решения и проведенные расчеты позволяют изучить влияние различных сил (гравитационных, термокапиллярных) на динамику и теплообмен в жидкости, а также исследовать особенности течения, вызываемые различными типами граничных условий для температуры.

Библиографический список

1. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М., Непомнящий А.А. Устойчивость конвективных течений. – М.: Наука, 1989. – 318 с.
2. Napolitano L.G. Plane Marangoni-Poiseuille flow of two immiscible fluids. Acta Astronautica. – 1980. – Vol. 2. – P. 461–478.
3. Мызникова Б.И., Тарунин Е.Л. О численном моделировании свободной конвекции. Сб. статей: Гидромеханика и процессы переноса в невесомости. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. – С. 152–160.
4. Гончарова О.Н., Кабов О.А. Гравитационно-термокапиллярная конвекция жидкости в горизонтальном слое при спутном потоке газа // Доклады Академии наук (ДАН). – 2009. – 426 (2). – С. 1–6.
5. Гончарова О.Н., Южкова Ю.Е. Моделирование конвективного течения в наклонном слое с движущимися границами // Известия Алтайского государственного университета. – 2010. – №1(65). – С. 22–29.