

0.1. Бекежанова В.Б., Шефер И.А. Устойчивость микроконвективных течений расплава диоксида кремния

Моделирование течений жидких неизотермических сред представляет серьёзную теоретическую задачу, возникающую при прогнозировании динамики различных технологических процессов (получение сверхчистых кристаллов, интенсификация тепло-массообмена и др.) Для определения условий устойчивого функционирования систем и возможностей управления конвективными течениями проводится анализ возникающих неустойчивостей, механизмов и характера кризисных явлений.

На основе уравнений микроконвекции [1] рассмотрена задача о течении жидкости в вертикальном канале в небуссинесковских условиях. Решение уравнений микроконвекции, описывающее подобные течения имеет вид [1]

$$\mathbf{w} = (u_0, v(x), 0), \quad \theta = \theta(x), \quad q = (\varphi - g)y + r. \quad (1)$$

Здесь, $\mathbf{w} = \mathbf{u} - \beta\chi\nabla\theta$, $q = \rho_0^{-1}(p - \lambda\operatorname{div}\mathbf{u}) - \beta(\nu - \chi)\chi\Delta\theta$ — модифицированные вектор скорости и давление соответственно, θ — температура, u_0 , φ , r — постоянные, g — ускорение свободного падения. Точное решение (1) изучено в рамках различных постановок краевых задач, использующих условия первого и второго рода для функции температуры на стенках канала. В зависимости от значений u_0 и вида функции температуры $\theta(x)$ решение (1) допускает различную физическую интерпретацию. Возможны три случая: 1) конвекция в слое с проницаемыми границами ($u_0 \neq 0$) с линейным распределением температуры в слое. Допускается использование обоих классов граничных условий, существует ограничение на значения потоков тепла на стенках; 2) конвекция в слое с проницаемыми стенками ($u_0 \neq 0$) с экспоненциальным распределением температуры в слое. На стенках канала могут быть заданы только граничные условия Дирихле; 3) изотермическое течение ($\theta = \operatorname{const}$), возникающее под действием градиента давления в слое с непроницаемыми стенками ($u_0 = 0$). Формально могут быть заданы оба класса граничных условий.

Исследована линейная устойчивость всех классов течений относительно малых пространственных возмущений. Предложен аналог преобразования Сквайра для соответствующей спектральной задачи и доказано, что наиболее опасными являются плоские возмущения. Аналитически доказана абсолютная устойчивость в случае “спиральных возмущений” и определены соответствующие собственные функции.

В общем случае рассчитаны поля возмущений скорости и температуры и изучены зависимости характеристик возмущений от параметров задачи. Для неизотермических течений доказано существование затухающих колебательных режимов.

Для пространственных возмущений задача имеет более богатый спектр и, как следствие, более широкое семейство возможных конвективных режимов по сравнению с плоским случаем. В условиях микрогравитации формируются мелкомасштабные ячеистые возмущения, совершающие периодические колебания и затухающие со временем. Размеры конвективных ячеек и их конфигурация зависят от длины волны возмущений и уровня гравитационного воздействия.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-01-31038).

Список литературы

- [1] Пухначёв В. В. Модель конвективного движения при пониженной гравитации // Моделирование в механике. — 1992. — Т. 6(23), № 4. С. 47-56.