

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКЦИИ РЭЛЕЯ-БЕНАРА ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕЙ ЖИДКОСТИ ВО ВНЕШНЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В.В. Колмычков, О.С. Мажорова, Е.Э. Федосеев

Институт Прикладной Математики им. М.В. Келдыша РАН,

Миусская площадь 4, 125047, Москва, Россия

janyfe@gmail.com

Доклад посвящен математическому моделированию процесса возникновения и развития конвективного движения в трехмерной прямоугольной области, заполненной вязкой несжимаемой электропроводящей жидкостью, находящейся в поле силы тяжести и магнитном поле. Движение жидкости описывается системой уравнений магнитной гидродинамики, которая включает в себя трехмерные нестационарные уравнения Навье — Стокса в приближении Буссинеска, уравнение конвективной диффузии и уравнения индукции, описывающего эволюцию напряженности магнитного поля [1]. Током смещения и джоулевым нагревом пренебрегается. Скорость на всей границе обращается в ноль. Боковые стенки области считаются теплоизолированными, на верхней и нижней граничных поверхностях фиксированы значения температуры. Для касательных к границе компонент напряженности магнитного поля также заданы условия первого рода. В начальный момент времени жидкость покоится, температура линейно распределена по вертикали, магнитное поле однородно.

Задача решается конечно-разностным методом. Используются разнесенные прямоугольные сетки [2]. Разностные аналоги дивергенции и ротора введены на основе метода опорных операторов [3]. Построенный алгоритм обеспечивает бездивергентность магнитного поля в каждый момент времени при условии, что в начальный момент времени магнитное поле не имеет источников (стоков).

Магнитное поле оказывает стабилизирующее влияние на конвекцию, повышая тем самым значение критического числа Рэлея. Получено, что значение критического числа Рэлея пропорционально квадрату значения числа Гартмана, характеризующего величину напряженности внешнего магнитного поля. С помощью дискретного преобразования Фурье исследовано влияние внешнего магнитного поля на пространственный масштаб и ориентацию конвективных структур.

Показано, что с увеличением напряженности магнитного поля спектр неустойчивых возмущений расширяется, а характерный размер конвективных структур уменьшается. В ходе вычислительных экспериментов получено, что в случае произвольно ориентированного однородного магнитного поля установившаяся форма течения имеет вид системы валов, ось которых направлена параллельно горизонтальной компоненте магнитной напряженности.

Результаты, полученные в ходе численных исследований, сопоставляются с теоретическими фактами и экспериментальными данными.

Литература

1. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. М.: Наука, 1972. 392 с.
2. Колмычков В.В., Мажорова О.С., Попов Ю.П., Федосеев Е.Э. О численном моделировании конвекции Рэлея — Бенара. // Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. 2007. № 7. 25 с.
3. Галанин М.П., Попов Ю.П. Квазистационарные магнитные поля в неоднородных средах: Математическое моделирование. М.: Наука. Физматлит, 1995. 320 с.