

УДК 532.5.013.3:536.25

**КОНТРОЛИРУЕМОЕ РАВНОВЕСИЕ НЕРАВНОМЕРНО НАГРЕТОЙ ЖИДКОСТИ
В ВИБРАЦИОННОМ ПОЛЕ**

© 2011 г.

А.Н. Шарифулин

Пермский государственный технический университет

sharifulin@pstu.ru

Поступила в редакцию 15.06.2011

Аналитически решены уравнения тепловой вибрационной конвекции неравномерно нагретой жидкости для любых взаимных ориентаций силы тяжести и оси вибраций в полости, имеющей форму бесконечного горизонтального цилиндра. Показано, что изменение взаимной ориентации указанных векторов в плоскости, перпендикулярной цилиндру, позволяет говорить, что совместное действие гравитационного и вибрационного механизмов тепловой конвекции могут полностью компенсировать друг друга. Определено соотношение между вибрационным и гравитационным числами Грасгофа, при выполнении которого осуществляются условия механического равновесия. Полученное соотношение подтверждено прямыми численными расчетами полных уравнений тепловой вибрационной конвекции.

Ключевые слова: тепловая конвекция, вибрации, механическое равновесие, аналитическое решение, управление равновесием.

Настоящее исследование по определению условий реализации механического равновесия в присутствии высокочастотных вибраций мотивировано определяющей ролью вибрационной тепловой конвекции в физических процессах, лежащих в основе технологических экспериментов по выращиванию кристаллов, как в земных, так и орбитальных условиях. Наиболее благоприятными для выращивания кристаллов являются условия, когда в полости отсутствует осредненное течение жидкости, т.е. реализуется механическое квазиравновесие. До сих пор полагали, что условия механического квазиравновесия могут реализовываться лишь для фиксированного набора взаимных ориентаций силы тяжести, направления подогрева и оси вибраций. Условия механического квазиравновесия рассмотрены для обобщенной автором на случай наличия вибраций классической задачи Е.М. Жуховицкого [1]. Получены аналитические выражения, определяющие структуру осредненного и пульсационного течения при малых отклонениях от условий механического квазиравновесия для произвольных, перпендикулярных оси цилиндра, взаимных ориентаций равновесного градиента температуры, направления вектора ускорения свободного падения и направления вибраций. Исследование проведено в рамках приближения высокой частоты с использованием уравнений Зеньковской – Симоненко.

Получены выражения, характеризующие интенсивность двумерной гравитационной и вибрационной конвекции в цилиндрической полости с заданным гармоническим распределением температуры на его поверхности, для всевозможных, поперечных к оси цилиндра взаимных ориентаций направления подогрева, силы тяжести и направления вибраций. Получено условие существования состояния механического квазиравновесия неравномерно нагретой жидкости в поле силы тяжести при наличии вибраций для такой полости. Из этого условия следует, что для любых поперечных к оси цилиндра взаимных ориентаций направлений подогрева, силы тяжести и вибраций можно получить из простой формулы соотношение для числа Грасгофа и вибрационного числа Грасгофа, при выполнении которого в полости будет осуществляться условие механического квазиравновесия. Выдвинута гипотеза о резком снижении интенсивности осредненного течения при выполнении условий квазиравновесия и для других форм полости и отличных от рассмотренных условий подогрева. Приводятся результаты прямого численного моделирования, позволяющие определить границы реализации контролируемого механического равновесия.

Список литературы

1. Шарифулин А.Н. // ЖЭТФ. 2010. Т. 137. С. 177.

**CONTROLLABLE EQUILIBRIUM OF AN INHOMOGENEOUSLY HEATED LIQUID
IN A VIBRATIONAL FIELD***A.N. Sharifulin*

Equations of thermal vibrational convection of an inhomogeneously heated liquid are analytically solved for arbitrary orientation of the vectors determining the heating direction, force of gravity, and vibrations in a closed cavity in the shape of an infinite horizontal cylinder. It is demonstrated that for any orientation of these vectors in the plane perpendicular to the cylinder, the gravitational and vibrational convection mechanisms can completely compensate each other. The ratio is determined between the vibrational and the gravitational Grashof numbers such that mechanical equilibrium conditions are satisfied. This ratio is corroborated by direct numerical calculation of complete equations of thermal vibrational convection.

Keywords: thermal convection, vibrations, mechanical equilibrium, analytical solutions, equilibrium control.