



Формирование вихревых структур в неравномерно нагретой жидкости в вибрирующей квадратной полости

Шарифулин А.Н.* , Плотников С.А.* , Любимова Т.П.**

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет

**Институт механики сплошных сред УрО РАН

Исследуются стационарные режимы вибрационно-конвективного течения вязкой несжимаемой жидкости в полости квадратного сечения. Две противоположные грани изотермические, поддерживается постоянный перепад температур между ними. Две другие стенки теплоизолированные. Полость находится в постоянном поле тяжести и может быть наклоненной на произвольный угол α по отношению к вертикали. Вибрации осуществляются вдоль направления, заданного углом β (см. центральные врезки на Рис. 1 и Рис. 2). Интенсивность осредненного вибрационно-конвективного течения полагается малой, не искажающей теплопроводное распределение температуры (приближение Стокса). Это позволяет аналитически с использованием метода Штурма–Лиувилля определить поле амплитуды функции тока пульсационного течения в виде простых тригонометрических выражений. С использованием этих аналитических выражений

конечно-разностным методом определялись поля функции тока осредненного течения для различных значений числа Грасгофа Gr и вибрационного числа Грасгофа Gr_v и всех возможных направлений вибраций β и поля тяжести α .

В отсутствие вибраций решение задачи зависит только от комбинации $Gr \sin \alpha$. При любых α структура течения одновихревая (если не обращать внимания на очень слабые угловые вихри Моффта), максимальная интенсивность достигается при $\alpha = 90^\circ$. При $\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 180^\circ$ осредненное течение отсутствует.

В невесомости (Рис. 1), когда нет постоянного поля силы тяжести ($Gr = 0$), при направлении вибраций строго вдоль равновесных изотерм ($\beta = 0^\circ$) формируется слабое четырехвихревое симметричное осредненное течение (Рис. 1а). При изменении угла наклона оси вибраций β два диагональных вихря объединяются и общая картина становится трехвихревой с одним диагональным глобальным вихрем (Рис. 1б). Кинетическая энергия (Рис. 1е) такого трехвихревого осредненного течения достигает максимума при $\beta = 45^\circ$. Дальнейшее увеличение угла β приводит к уменьшению интенсивности как осредненного, так и пульсационного течения,

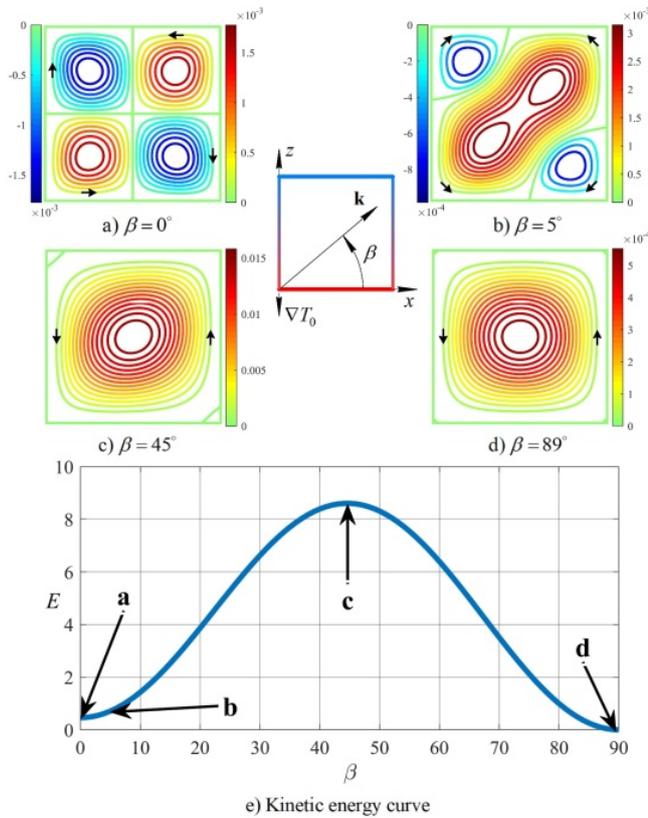


Рис. 1. Зависимость кинетической энергии осредненного движения течения от угла наклона оси вибраций β и линии тока (a–d) для различных β в невесомости зависимости при значении значения вибрационного числа Грасгофа $Gr_v = 50$

а глобальный вихрь стремится занять всю полость. При $\beta = 90^\circ$ реализуется состояния покоя.

В общем случае виброгравитационной конвекции ($Gr \neq 0$ и $S \neq 0$) реализуются два механизма возбуждения осредненного течения – гравитационный, который определяется параметрами (Gr , α) и вибрационный, зависящий от (Gr_v , β). Гравитационный механизм при всех α приводит к формированию одного вихря, занимающего всю полость. Вибрационное течение, в зависимости от направления вибраций относительно градиента температуры, может быть одно, трех или четырехвихревым (Рис. 1).

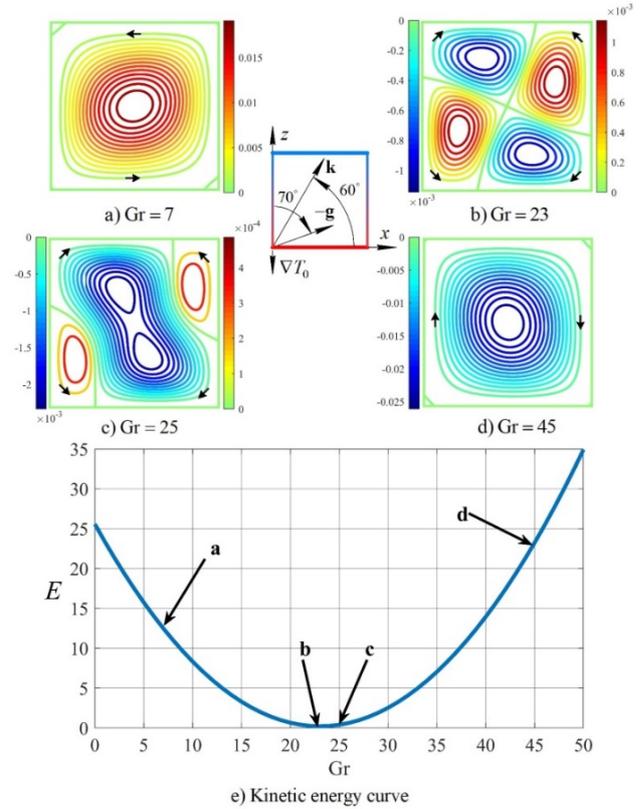


Рис. 2. Зависимость кинетической энергии осредненного течения от числа Грасгофа (e) и структуры осредненного течения (a–d) от интенсивности гравитации (Gr) при фиксированном значении вибрационного числа Грасгофа $Gr_v = 100$ и углах: $\alpha = 70^\circ$ и $\beta = 60^\circ$

При соотношении между параметрами задачи, определяемом простой алгебраической формулой: $Gr \sin \alpha - (Gr_v/4) \sin 2\beta = 0$ [1, 2], общая интенсивность осредненного течения минимальна, реализуется симметричная четырехвихревая структура (Рис. 2b). Если параметры задачи не удовлетворяют указанному соотношению динамического равновесия, реализуется одновихревая (Рис. 2a и Рис. 2c) или трехвихревая (Рис. 2c) структура осредненного течения.

Список литературы

[1] Шарифулин А.Н // ЖЭТФ. 2010. Т.137. С. 177.
 [2] A.N. Sharifulin, S.A. Plotnikov, T.P. Lyubimova // Microgravity Science and Technology. 2022. V. 34, № 5. p. 97.