

СЕКЦИЯ «ГИДРОГАЗОДИНАМИКА»

УДК 536.25

А.А.Смирновский (5 курс, каф. ГАД), Е.М.Смирнов, д.ф.-м.н., проф.,
В.В.Рис, к.т.н., проф. (каф. теор. основ теплотехники СПбГПУ),

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ДВУМЕРНОЙ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КОЛЬЦЕВОЙ ПОЛОСТИ, ОБОГРЕВАЕМОЙ НА ПЕРИФЕРИИ

Течения в быстровращающихся полостях, формирующиеся под действием эффектов плавучести в поле центробежной силы, характерны для междисковых полостей роторов газовых турбин, обогреваемых на периферии. Известно [1], что при этих условиях в полостях образуются крупномасштабные циклональные и антициклональные вихревые структуры, которые в совокупности с радиальными течениями вблизи дисковых поверхностей обеспечивают теплообмен между наружной и внутренней цилиндрическими поверхностями. Экспериментальные данные о теплоотдаче в полостях, обогреваемых на периферии, имеются в работе [2]. В рамках данной работы рассмотрено влияние только крупномасштабных вихревых структур на теплопередачу. Для этого численно исследовались двумерные (однородные вдоль оси вращения) нестационарные течения в кольцевой полости. Полагалось, что температура T_2 наружной стенки с радиусом R_2 больше температуры T_1 внутренней стенки с радиусом R_1 . Течение и теплообмен описывались уравнениями Навье-Стокса, записанными в относительной системе координат с учетом эффекта плавучести в приближении Буссинеска. Определяющими параметрами служат число Прандтля, число Релея $Ra = Pr \cdot \Omega^2 R_m \beta_T (T_2 - T_1) \Delta R^3 / \nu^2$ и геометрический параметр $\Delta R / R_m$ (Ω - угловая скорость, $\Delta R = R_2 - R_1$, R_m - средний радиус полости). При проведении расчетов использовались следующие значения параметров: $Pr = 0.71$, $\Delta R / R_m = 1.2$, значения числа Релея варьировались в диапазоне $10^3 \dots 10^7$. Для расчета использовался разработанный на кафедре гидроаэродинамики программный комплекс SINF.

В результате расчетов установлено, что в полости возможно существование нескольких режимов течения, которые характеризуются различным числом крупномасштабных вихрей. Получены режимы течений с двумя, четырьмя и шестью вихрями (рис. 1), причем число циклональных вихрей всегда равно числу антициклональных. Реализация того или иного режима течения зависит от задания начальных полей скорости и температуры при решении эволюционной задачи. В частности, задавая начальное нулевое поле скорости и постоянную по области температуру, можно получить либо шестивихревой режим, либо четырехвихревой в зависимости от числа Релея и значения начальной температуры. Двухвихревой режим можно получить только искусственным способом, задавая в качестве начальных поля скорости и температуры, рассчитанные предварительно для задачи о свободной конвекции в неподвижной кольцевой горизонтальной полости. В исследованном диапазоне чисел Релея наибольшую область притяжения имеет четырехвихревой режим. Двухвихревой режим существует в диапазоне $Ra = 10^4 \div 6.25 \cdot 10^5$, шестивихревой – в диапазоне $Ra = 2 \cdot 10^3 \div 1.89 \cdot 10^6$. На основе полученных расчетных данных построена карта режимов течения.

На рис. 2 приведены зависимости числа Нуссельта ($Nu = q_w \Delta R \cdot R_m / [\lambda (T_2 - T_1) R_2]$, q_w – осредненный по времени и окружности тепловой поток на стенке), полученные для разных режимов конвекции. Значения Nu отнесены к значению $Nu_0 = 0.86$, соответствующему

случаю чистой теплопроводности, т.е. отсутствия движения в полости. На рис. 2 также приведены экспериментальные зависимости для теплоотдачи при трехмерном течении в

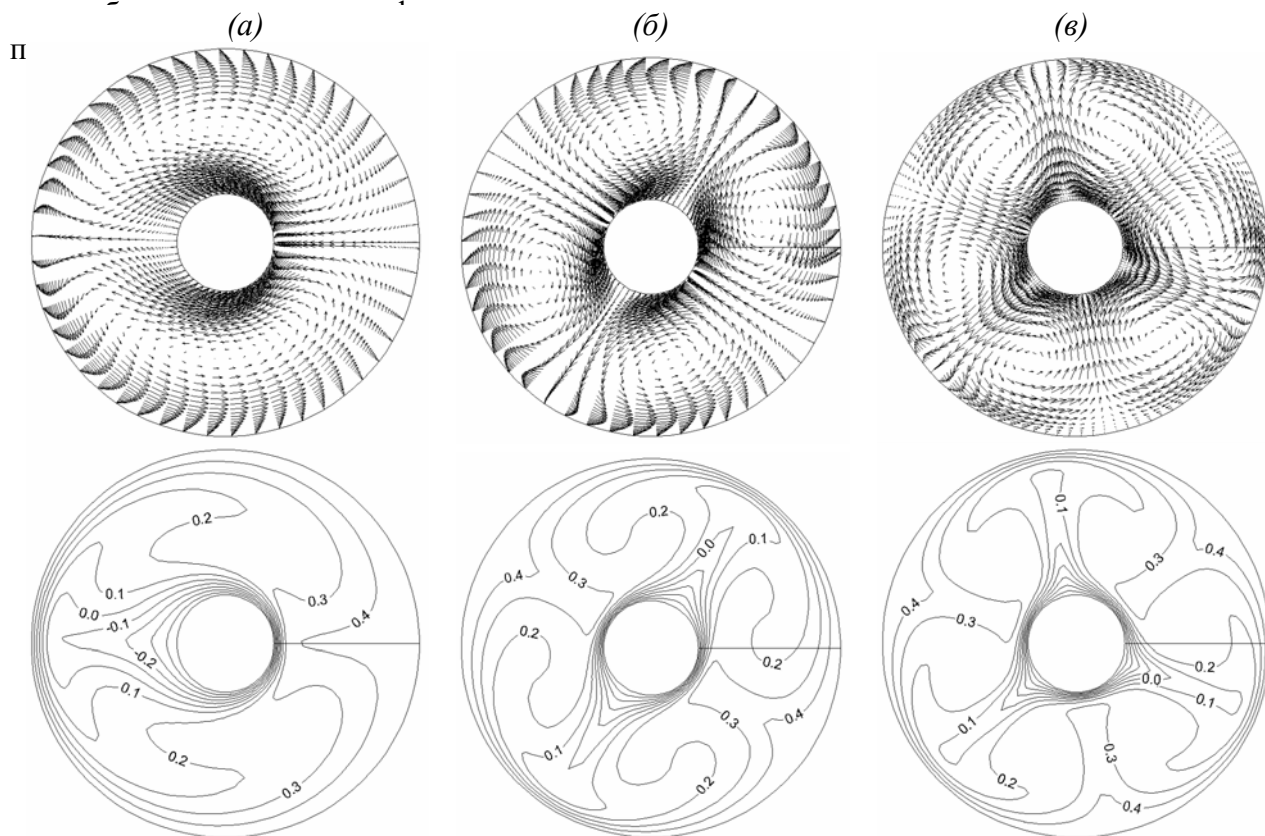


Рис. 1. Поля скорости и нормированной температуры для двухвихревого (а), четырехвихревого (б) и шестивихревого (в) режимов конвекции при $Ra = 8.3 \cdot 10^4$

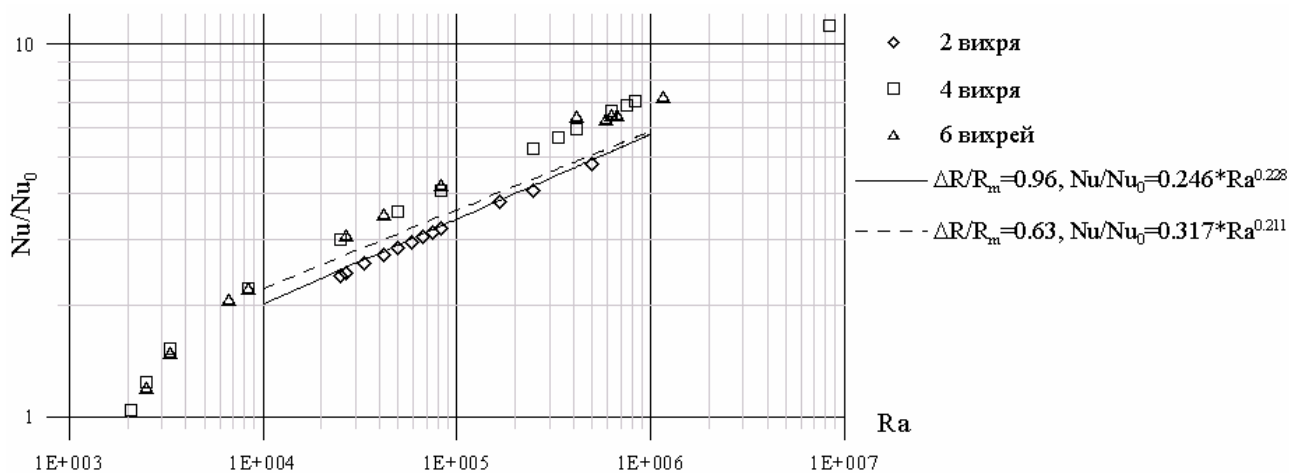


Рис. 2. Зависимость средней теплоотдачи в полости от числа Релея

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 01-02-16697.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Owen J.M., Rogers R.H. Flow and heat transfer in rotating-disc systems. V. 2: Rotating cavities. John Wiley and Sons, 1995. 296 p.
2. Bohn D., Emunds R., Gorzelits V., Krüger. Experimental and theoretical investigations of heat transfer in closed gas-filled rotating annuli II / In.: Proc. ASME Turbo Expo 1994, The Hague, Netherlands, 1994. ASME Paper 94-GT-175. 11 p.