

УДК 536.25

А.А.Смирновский (6 курс, каф. ГАД),
В.В.Рис, к.т.н., проф., Е.М.Смирнов, д.ф.-м. н., проф.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ТРЕХМЕРНОЙ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КОЛЬЦЕВОЙ ПОЛОСТИ, ПОДОГРЕВАЕМОЙ 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 выполнено численное исследование пространственных нестационарных течений совершенного газа и сравнение с результатами, полученными ранее для двумерной постановки [3]. Полагалось, что температура T_2 наружной стенки полости с радиусом R_2 больше температуры T_1 внутренней стенки с радиусом R_1 . Дисковые поверхности полагались адиабатическими. Течение и теплообмен описывались уравнениями Навье-Стокса в приближении низкоскоростного потока газа, записанными в относительной системе координат. Определяющими параметрами в этом случае служат число Прандтля, число Релея $Ra = Pr \cdot \Omega^2 R_m (T_2 - T_1) \Delta R^3 / (T_m \nu^2)$, два геометрических параметра $\Delta R / R_m$, s / R_m и температурный фактор $(T_2 - T_1) / T_m$ (Ω – угловая скорость, $\Delta R = R_2 - R_1$, R_m – средний радиус полости, s – расстояние между дисками, $T_m = (T_2 + T_1) / 2$). При проведении расчетов использовались значения параметров, соответствующие экспериментальным [2], а именно: $Pr = 0.71$, $\Delta R / R_m = 0.96$, $s / R_m = 0.5$, $(T_2 - T_1) / T_m = 0.28$, значения числа Релея варьировались в диапазоне $10^4 \dots 10^6$. Для расчета использовался разработанный на кафедре гидроаэродинамики программный комплекс SINF.

В результате расчетов установлено, что в полости возможно существование двух режимов течения, которые характеризуются различным числом крупномасштабных вихрей: с четырьмя и шестью вихрями, 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 аналогичной двумерной постановке [3] оказывается возможным получить и двухвихревой режим течения, однако в трехмерном случае наличие дисковых поверхностей препятствует реализации этого режима. В исследованном диапазоне значений числа Релея наибольшую «область притяжения» имеет шестивихревой режим. Четырехвихревой режим существует в диапазоне $Ra = 10^4 \div 5 \cdot 10^5$. На основе полученных расчетных данных построена карта режимов течения.

На рис. 1 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 наружной стенке полости), рассчитанные для разных режимов конвекции. Значения Nu отнесены к значению $Nu_0 = 0.86$, соответствующему случаю чистой теплопроводности, т.е. отсутствия движения в полости.

Показана также зависимость, полученная экспериментально при $Ra > 10^6$ [2] и проэкстраполированная в сторону меньших значений числа Релея. Можно сделать вывод о том, что результаты расчета хорошо согласуются с экспериментальными данными. Для сравнения представлены результаты расчета для двумерного случая, для которого числа Нуссельта оказываются на 15% выше, чем в трехмерном случае.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 04-02-16531.

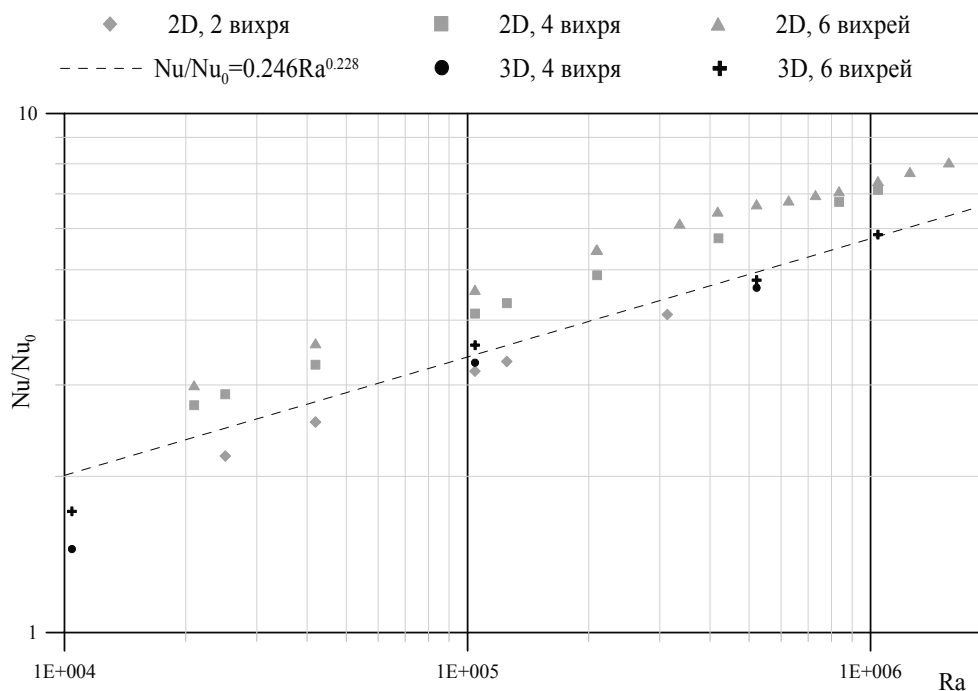


Рис. 1. Средняя теплоотдача в полости в зависимости от числа Релея.

ЛИТЕРАТУРА:

- 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.
- Bohn D.E, Deuker E., Emunds R., Gorzelitz V. ASME Journal of Turbomachinery, 117:175-183, 1995.
- Смирновский А.А., Смирнов Е.М., Рис В.В. Численное исследование режимов двумерной свободной конвекции во вращающейся кольцевой полости, обогреваемой на периферии // XXXII Неделя науки СПбГПУ: Материалы межвузовской научно-технической конференции. Ч. IV. СПб.: Изд.-во СПбГПУ, 2004. 148 с.