

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ТУРБУЛЕНТНЫЕ РЕЖИМЫ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ В ЗАМКНУТОМ КУБЕ

И.В. Мирошниченко

Научный руководитель: доцент, д.ф.-м.н. М.А. Шеремет
 Национальный исследовательский Томский государственный университет,
 Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050
 E-mail: miroshnichenko@mail.tsu.ru

В последнее время наметился возросший интерес к анализу турбулентных режимов конвективного теплопереноса в замкнутых областях с учетом теплового поверхностного излучения. На данный момент проведено достаточно большое количество теоретических исследований процессов конвективно-радиационного теплопереноса в замкнутых полостях в двумерном приближении [1, 2]. Такие исследования имеют широкий спектр приложений, связанных, например, с проектированием активных и пассивных систем охлаждения тепловыделяющих элементов в электронике и энергетике [2], с обеспечением энергоэффективности строительных конструкций и сооружений [3], а также солнечных коллекторов [4]. Исследований, посвященных совместному анализу турбулентных режимов естественной конвекции и теплового излучения в 3D областях различной геометрии, не так много [Ошибка! Источник ссылки не найден.–7], что объясняется сложностью математического аппарата, необходимого для реализации моделей радиационного теплопереноса, а так же существенными временными затратами при решении нестационарных задач.

Целью настоящей работы является математическое моделирование турбулентной естественной конвекции и теплового поверхностного излучения в замкнутом кубе, представленном на рис 1, при наличии двух изотермических и четырех адиабатических граней. На вертикальной стенке $x = 0$ поддерживается постоянная температура T_h , а на противоположной вертикальной стенке – $T_c < T_h$. Остальные внешние грани теплоизолированы. Предполагалось, что теплофизические свойства материала стенок и газа не зависят от температуры. Газ считался теплопроводной ньютоновской жидкостью, удовлетворяющей приближению Буссинеска. Режим течения – турбулентный. Теплообмен излучением моделируется на основе приближения поверхностного излучения [2, 3, 5]. Поверхности твердых стенок считаются диффузно-серыми.

Математическая модель формулируется в безразмерных естественных переменных «скорость – давление – температура». В качестве модели турбулентности рассматривалась стандартная k-ε модель. Уравнения неразрывности, движения и энергии в газовой полости, а также граничные и начальные условия для рассматриваемой задачи подробно описаны в [6].

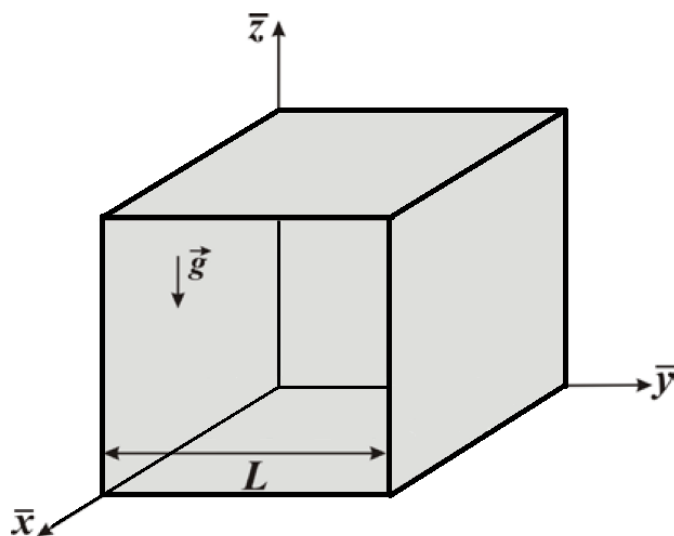


Рис.1. Область решения

Дифференциальные уравнения с соответствующими начальными и граничными условиями решены методом контрольного объема на структурированной сетке. Для аппроксимации конвективных слагаемых применялся степенной закон, для диффузионных слагаемых – центральные разности [6]. Для совместного определения полей скорости и давления применялась процедура SIMPLE. Для определения безразмерной плотности радиационного потока применялся метод сальдо [3]. Разработанный метод решения был протестирован на множестве сеток и на модельных задачах конвективного теплопереноса.

Исследование проводилось в широком диапазоне изменения определяющих параметров. Особое внимание было уделено анализу влияния приведенной степени черноты поверхностей как на локальные термогидродинамические характеристики (поля скорости и температуры), так и на интегральные параметры (средние числа Нуссельта на границах раздела сред) в нестационарном режиме.

В результате проведенных исследований показано, что увеличение приведенной степени черноты ограждающих стенок приводит к снижению интенсивности конвективного теплообмена на поверхности стенок. Сравнивая результаты плоской и пространственной постановок, можно утверждать, что наличие третьей координаты вносит существенные коррективы в конфигурацию течения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 17-79-20141).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Xaman J., Arce J., Alvarez G., Chavez Y. Laminar and turbulent natural convection combined with surface thermal radiation in a square cavity with a glass wall // *International Journal of Thermal Sciences*. – 2008. – Vol. 47. – Pp. 1630–1638.
2. Мартюшев С.Г., Шеремет М.А. Влияние поверхностного излучения на режимы сопряженной естественной конвекции в замкнутой полости с локальным источником энергии // *Теплофизика и аэромеханика*. - 2013. - Т. 20. - № 4. - С. 427–438.
3. Miroschnichenko I.V., Sheremet M.A., Mohamad A.A. Numerical simulation of a conjugate turbulent natural convection combined with surface thermal radiation in an enclosure with a heat source // *International Journal of Thermal Sciences*. - 2016. - Vol. 109. - Pp. 172-181.
4. Muresan C., Menezo C., Bennacer R., Vaillon R., Numerical simulation of a vertical solar collector integrated in a building frame: Radiation and turbulent natural convection coupling // *Heat Transfer Engineering*. - 2006. – Vol. 27. – Pp. 29–42.
5. Мартюшев С.Г., Мирошниченко И.В., Шеремет М.А. Численный анализ пространственных нестационарных режимов сопряженного конвективно-радиационного теплопереноса в замкнутом объеме с источником энергии // *Инженерно-физический журнал*. – 2014. – Т. 87, № 1. – С. 119–128.
6. Sheremet M.A., Miroschnichenko I.V. Numerical study of turbulent natural convection in a cube having finite thickness heat-conducting walls // *Heat and Mass Transfer*. – 2015. – Vol. 51. – Pp. 1559–1569.
7. Valencia L., Pallares J., Cuesta I., Grau F.X., Turbulent Rayleigh-Benard convection of water in cubical cavities: a numerical and experimental study // *Int. J. Heat Mass Transfer*. – 2007. – Vol. 50. – Pp. 3203–3215.