ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛОПЕРЕНОСА В КВАДРАТНОЙ ПОЛОСТИ С ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИМ ИСТОЧНИКОМ ПОЛУЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

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

Развитие экспериментальных и теоретических исследований процессов конвективного теплопереноса, связанное с задачами теплоэнергетики, строительной индустрии, химической технологии, металлургии, гео- и астрофизических приложений, а также охраны окружающей среды, сделало значительный вклад как в механику жидкости и газа и теорию тепломассопереноса, так и в оптимизацию существующих термодинамических систем [1]. С появлением новых технологий увеличивается и круг задач, требующих решения для дальнейшего развития многих технических приложений, например, результаты моделирования режимов естественной конвекции могут быть применены в области строительства и архитектуры, для оптимизации методов выращивания объемных монокристаллов, для анализа режимов теплопереноса в ядерных реакторах, а также в микроэлектронике для создания эффективных систем охлаждения [2].

Представленная работа посвящена численному моделированию нестационарных ламинарных режимов естественной конвекции в замкнутой квадратной полости при наличии локального источника объемного тепловыделения полуцилиндрической формы (рис. 1). Источник энергии постоянной плотности объемного тепловыделения располагается в средней части нижней стенки замкнутого контура. Система охлаждалась со стороны вертикальных изотермических стенок с постоянной минимальной температурой, остальные стенки области являлись адиабатическими. В качестве рабочей среды внутри исследуемой области была рассмотрена ньютоновская жидкость, удовлетворяющая приближению Буссинеска.

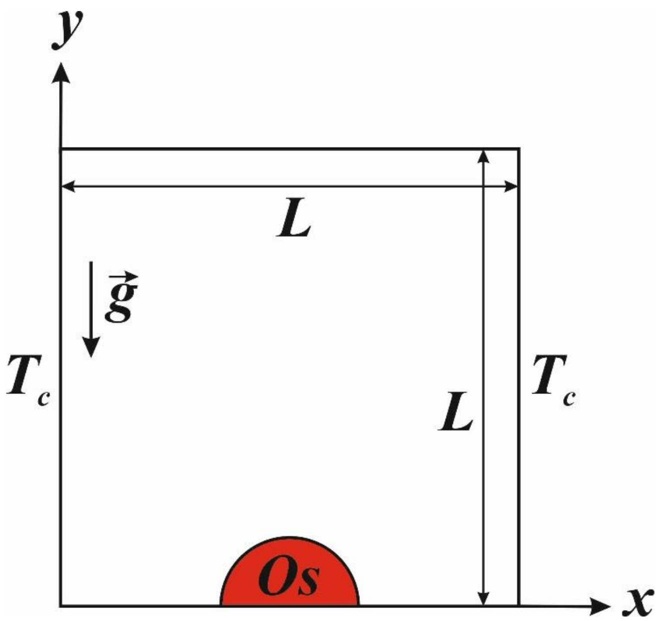

Рис. 1. Исследуемая область

Процесс переноса массы, импульса и энергии в рассматриваемой области описывается системой нестационарных двумерных уравнений Обербека–Буссинеска в безразмерном виде с использованием преобразованных переменных «функция тока – завихренность – температура» [3-5]:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial \tau} + \frac{\partial \Psi}{\partial Y}\frac{\partial \Omega}{\partial X} - \frac{\partial \Psi}{\partial X}\frac{\partial \Omega}{\partial Y} = \sqrt{\frac{\mathrm{Pr}}{\mathrm{Ra}}}\left(\frac{\partial^2 \Omega}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Omega}{\partial Y^2}\right) + \frac{\partial \Theta}{\partial X}, \tag{1}$$

$$\frac{\partial^2\Psi}{\partial X^2}+\frac{\partial^2\Psi}{\partial Y^2}=-\Omega, \tag{2}$$

$$\frac{\partial\Theta}{\partial\tau}+\frac{\partial\Psi}{\partial Y}\frac{\partial\Theta}{\partial X}-\frac{\partial\Psi}{\partial X}\frac{\partial\Theta}{\partial Y}=\frac{1}{\sqrt{\mathrm{Pr}\cdot\mathrm{Ra}}}\left(\frac{\partial^2\Theta}{\partial X^2}+\frac{\partial^2\Theta}{\partial Y^2}\right), \tag{3}$$

$$\frac{\partial\Theta}{\partial\tau}=\frac{a_w/a_f}{\sqrt{\mathrm{Pr}\cdot\mathrm{Ra}}}\left(\frac{\partial^2\Theta}{\partial X^2}+\frac{\partial^2\Theta}{\partial Y^2}+Os\right) \tag{4}$$

Представленные дифференциальные уравнения (1)–(4) с соответствующими начальными и граничными условиями были решены с помощью метода конечных разностей на равномерной сетке с применением локально-одномерной схемы Самарского. Для дискретизации конвективных слагаемых была использована монотонная аппроксимация Самарского, для диффузионных слагаемых – центральные разности. Разработанный численный алгоритм был протестирован на множестве сеток, а также на модельных численных и экспериментальных задачах.

В результате численного моделирования были получены распределения изолиний функции тока и температуры в широком диапазоне изменения чисел Рэлея и Остроградского. Проведен анализ локального и среднего чисел Нуссельта для оценки эффективности теплосъема с поверхности нагревателя в рассматриваемой системе.

Работа выполнена в рамках реализации проекта Российского научного фонда (соглашение № 17-79-20141).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jaluria Y. Design and Optimization of Thermal Systems. — New York: McGraw-Hill, 1998. – 626 p.
2. Шеремет М.А. Математическое моделирование турбулентных режимов сопряженной термогравитационной конвекции в замкнутой области с локальным источником тепла // Теплофизика и аэромеханика. – 2011. – Т. 18. – № 1. – С. 117–171.
3. Пасконов В. М., Полежаев В. И., Чудов Л. А. Численное моделирование процессов тепло и массообмена. – М.: Наука, 1984. – 288 с.
4. Шеремет М.А. Сопряженные задачи естественной конвекции. Замкнутые области с локальными источниками тепловыделения. – LAP: Lambert Academic Publishing, 2011. – 167 с.
5. Kuznetsov G.V., Sheremet M.A. Conjugate natural convection in an enclosure with a heat source of constant heat transfer rate // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2011. – Vol. 54, 260–268 pp.