

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧИСЛА ОСТРОГРАДСКОГО НА ЕСТЕСТВЕННО-
КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛОПЕРЕНОС И ТЕПЛОВОЕ ПОВЕРХНОСТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
В ЗАМКНУТОМ КОНТУРЕ**

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**NUMERICAL INVESTIGATION OF THE OSTROGRADSKY NUMBER EFFECT ON NATURAL
CONVECTION AND THERMAL RADIATION IN AN ENCLOSURE**

N.S. Gibanov

Scientific Supervisor: Associate Professor, Dr. M.A. Sheremet

National Research Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 36, 634050

E-mail: Gibanov@mail.tsu.ru

***Abstract.** Unsteady natural convection combined with surface thermal radiation in closed cavity with a local heat-generating source has been investigated. The heat source of triangular shape of internal volumetric heat generation is located on the bottom wall. The vertical side walls are supposed to be isothermal and cooled. The governing equations of conservation of momentum, mass and energy, described the fluid flow and heat transfer have been represented by dimensionless variable "stream function - vorticity - temperature". The effects of the heat source power and emissivity factor on fluid flow and heat transfer within the cavity have been analyzed. Streamlines and isotherms as well as fluid flow rate, the local Nusselt numbers, average convective and radiative Nusselt numbers have been obtained.*

Введение. Стремительное развитие компьютерных технологий и информатизация широкого круга сфер человеческой деятельности является одной из основных причин развития радиоэлектронной техники. Растут объемы накапливаемой информации, а следом за ними и компьютерные мощности, необходимые для их обработки. В связи с этим увеличивается число задач, решение которых необходимо для дальнейшего развития компьютерных технологий и увеличения эффективности работы блоков радиоэлектронной аппаратуры. Одной из таких актуальных задач является задача эффективного охлаждения блоков электронной техники [1, 2]. При этом рассматриваемые радиоэлектронные устройства могут быть сложной геометрии, состоять из различных материалов, включать в себя различное множество теплонагруженных узлов и микроэлектронных компонент.

В представленной задаче были исследованы процессы сложного теплообмена (учитывалось поверхностное излучение, кондуктивный режим передачи тепла внутри источника тепловыделения, естественная конвекция внутри полости) внутри замкнутого контура, при наличии локального источника энергии постоянного объемного тепловыделения. Особое внимание было уделено влиянию интенсивности объемного тепловыделения на эффективность теплообмена в замкнутом объеме. Анализ проводился в широком диапазоне изменения числа Рэлея.

Физическая и математическая постановка. На рисунке 1 схематически изображена область исследования. В замкнутом квадратном контуре на нижней стенке имеется нагреватель треугольной формы. Вертикальные боковые стенки являются изотермическими и температура их минимальна. Таким образом, моделируется охлаждение рассматриваемой системы. Внутри области находится газ, который считается несжимаемой ньютоновской жидкостью с постоянными теплофизическими свойствами и удовлетворяющий приближению Буссинеска.

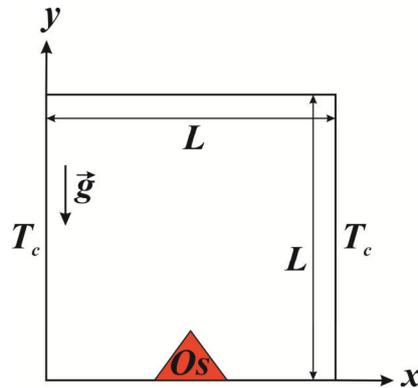


Рис. 1. Область исследования

Процессы переноса тепла, массы и импульса в рассматриваемой полости описываются системой нестационарных уравнений Обербека–Буссинеска в безразмерных преобразованных переменных «функция тока – завихренность – температура» [3]:

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

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial Y^2} = -\Omega \quad (2)$$

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

Процесс теплопереноса в источнике тепловыделения:

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

Для определения плотности радиационного потока Q_{rad} применялся метод решения с использованием плотности потока эффективного излучения. Представленный метод заключается в решении двух разностных дифференциальных уравнений (5) и (6) методом последовательной верхней релаксации [4, 5].

$$Q_{\text{rad}} = R_k - \sum_{i=1}^N F_{k-i} R_i \quad (5)$$

$$R_k = (1 - \varepsilon_k) \sum_{i=1}^N F_{k-i} R_i + \varepsilon_k (1 - \zeta)^4 \left(\Theta_k + 0.5 \frac{1 + \zeta}{1 - \zeta} \right)^4 \quad (6)$$

Краевая задача (1)–(4), была решена на основе метода конечных разностей. Разностное уравнение Пуассона для функции тока (2) разрешалось методом последовательной верхней релаксации. Уравнения

дисперсии завихренности (1) и энергии (3) были решены с использованием локально-одномерной схемы Самарского, которая позволяет свести многомерную задачу к системе одномерных. Конвективные слагаемые были аппроксимированы с помощью монотонной аппроксимации Самарского, диффузионные – центральными разностями со вторым порядком точности. Полученная система линейных алгебраических уравнений была решена методом прогонки.

Результаты и заключение. В результате проведенных исследований были получены распределения изолиний функции тока и температуры, среднего конвективного и радиационного чисел Нуссельта в широком диапазоне изменения чисел Рэлея и Остроградского, а также при различных значениях поверхностного излучения. Полученные результаты позволили провести детальный анализ влияния как силы плавучести, так и мощности источника тепловыделения на термогидродинамические характеристики внутри исследуемой области.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Минобрнауки России (проект № 13.9724.2017/8.9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jaluria Y. Design and optimization of thermal systems. Boca Raton: CRC Press, 2007.
2. Bergman T.L., Lavine A.S., Incropera F.P., DeWitt D.P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Hoboken: Wiley, 2011.
3. Martyushev S. G., Sheremet M. A. Conjugate natural convection combined with surface thermal radiation in an air filled cavity with internal heat source // International Journal of Thermal Sciences. – 2014. – Vol. 76. Pp. 51–67.
4. Miroshnichenko I. V., Sheremet M. A. Numerical simulation of turbulent natural convection combined with surface thermal radiation in a square cavity // International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow. – 2015. – Vol. 25. – Pp. 1600-1618.
5. Мартюшев С. Г., Шеремет М. А. Математическое моделирование ламинарных режимов сопряженного конвективного теплопереноса в замкнутой полости с источником энергии в условиях поверхностного излучения // Инженерно-физический журнал. – 2013. – Т. 86. С. 107–115.