

УДК 532.5, 536.21

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРЯЖЁННОЙ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ В
ЗАМКНУТЫХ ОБЛАСТЯХ С ЛОКАЛЬНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ РАЗЛИЧНЫХ
ФОРМ РЕШЁТОЧНЫМ МЕТОДОМ БОЛЬЦМАНА**

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 CONJUGATE NATURAL CONVECTION IN
ENCLOSURES WITH LOCAL ENERGY SOURCES OF VARIOUS FORMS BY THE LATTICE
BOLTZMANN METHOD**

N.S. Gibanov

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

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

E-mail: Gibanov@mail.tsu.ru

Abstract. Numerical simulation of the conjugate natural convection in closed square cavities with a heat-conducting element has been carried out. A two-dimensional closed cavity with square, triangular, and trapezoidal heaters, as well as in the presence of heat-conducting walls, has been considered as an area of research. The temperature inside and on the surface of the heater was considered to be constant and maximum, the temperature on the external side walls was considered to be constant and minimum. The lattice Boltzmann method as the main numerical solution method has been chosen. The influence of the thermal conductivity of the heat conducting walls and the material of the energy source, the shape of the energy source and the intensity of the flow in the cavity has been studied. As a result, thermohydrodynamic characteristics have been obtained.

Введение. Задачи естественной конвекции в различных технологических объектах являются актуальными с самого зарождения области гидродинамики. Результаты таких исследований могут быть интересны и полезны в области охлаждения микро и радиоэлектроники [1-3]. В настоящий момент времени разработано несколько типов охлаждения различных систем [2]. Несмотря на более эффективные и часто используемые системы охлаждения жидкостного типа, системы пассивного охлаждения остаются востребованными ввиду универсальности их применения и простоты обслуживания. Кроме самих численных результатов исследований, также интересны и численные методики, с помощью которых можно эти данные получить. В настоящем исследовании будет рассматриваться решёточный метод Больцмана. Данный метод охватывает весь функционал ранее подробно изученных методов конечных разностей, контрольных объёмов и конечных элементов [4]. В данной работе было проведено исследование сопряжённой естественной конвекции в замкнутых областях с источниками энергии квадратной, трапециевидной и треугольной формы, причём как нагреватели, так и ограждающие конструкции области решения являлись теплопроводными.

Физическая и математическая постановка. На рисунке 1 представлена область исследования. Внутри замкнутого квадратного блока находится среда со свойствами несжимаемой ньютоновской жидкости и постоянными теплофизическими свойствами, удовлетворяющая приближению Буссинеска. Вертикальные боковые стенки поддерживались при фиксированной температуре T_c . Остальные стенки считались теплоизолированными. Процессы теплообмена в рассматриваемой области описываются с помощью кинетического уравнения Больцмана (1), (2). При решении представленной неизоэнтальной задачи был использован подход DDF, подразумевающий использование двух функций распределения, для определения скалярных (температура) и векторных (скорость) макроскопических характеристик.

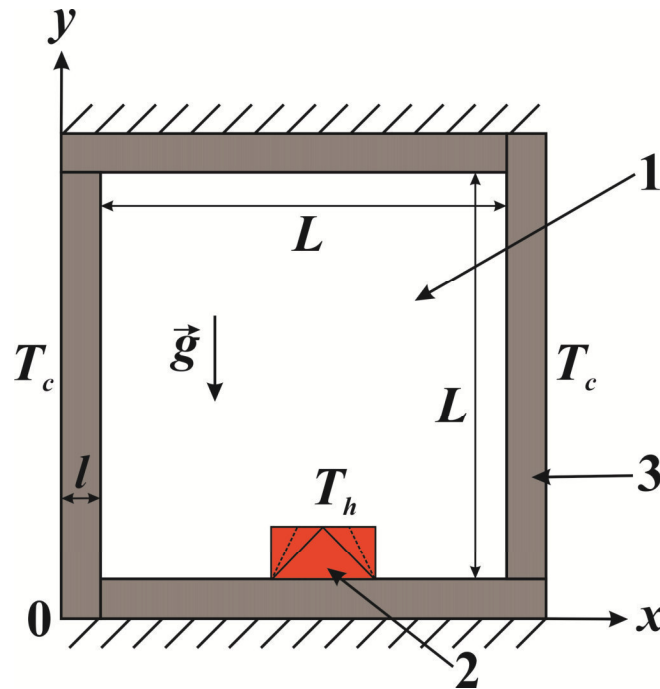


Рис. 1. Область исследования: 1 – газовая полость, 2 – теплопроводные источники энергии различных форм, 3 – теплопроводные ограждающие стенки

Кинетическое уравнение Больцмана представлено в виде [5]:

$$f_k(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \Delta t) = f_k(x, y, t)(1 - \omega_f) + \omega_f f_k^{eq}(x, y, t) + \Delta t F_i c_{y_i} \quad (1)$$

$$g_k(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \Delta t) = g_k(x, y, t)(1 - \omega_g) + \omega_g g_k^{eq}(x, y, t) \quad (2)$$

здесь f_k – k -ая функция распределения (k определяется при выборе той или иной решеточной модели),

$$f_k^{eq} = w_k \rho \left(1 + \frac{\bar{u} \cdot \bar{c}_k}{c_s^2} + \frac{(\bar{u} \cdot \bar{c}_k)^2}{2c_s^4} - \frac{\bar{u} \cdot \bar{u}}{2c_s^2} \right) - k\text{-ая функция локального равновесного распределения, } w_k -$$

весовые коэффициенты, $\omega_f = \frac{1}{3\nu + 0.5}$ – формула для расчета функции распределения для движения (ν – кинематическая вязкость), f_k и f_k^{eq} – функции, используемые для определения макроскопических

параметров скорости и плотности, g_k и g_k^{eq} – функции для определения температуры, $\omega_g = \frac{1}{3a + 0.5}$ –

параметр, используемый при расчете функций распределения для температуры (a – коэффициент теплопроводности).

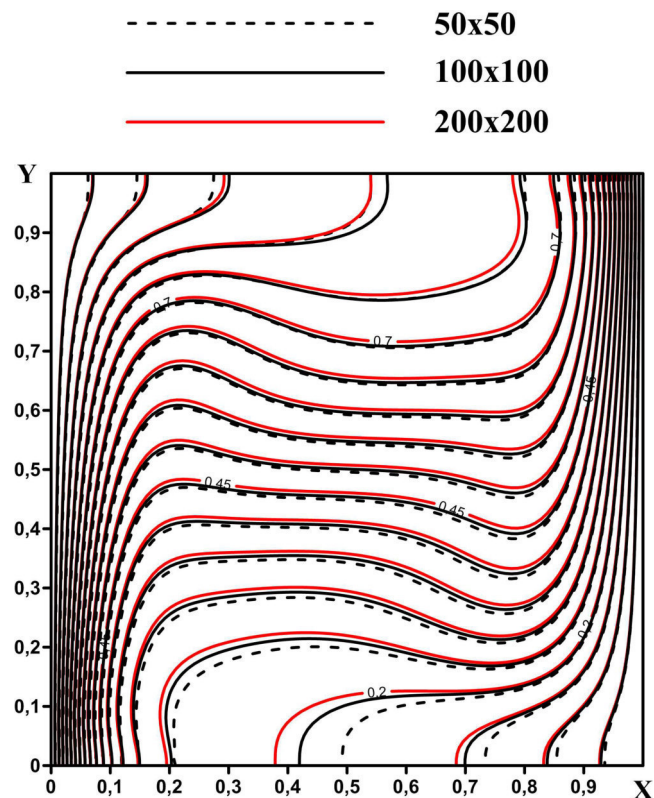


Рис. 2. Влияние размерности сетки

Результаты и заключение. В процессе расчёта решеточным методом Больцмана была использована двумерная модель D2Q9. Перед выполнением расчётов была проведена оценка влияния сеточной зависимости. На рисунке 2 представлены сравнения распределения изотерм, полученных на различных вычислительных сетках. С учётом полученных локальных полей была выбрана структурированная сетка размерности 100x100 вычислительных узлов.

В результате исследований были получены температурные поля, распределения изолиний функции тока и вектора скорости при различных значениях относительной теплопроводности материала среды, числах Рэлея в диапазоне $10^4 \leq Ra \leq 10^6$ и для различных форм источника тепловыделения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Стипендии Президента РФ СП-2080.2021.1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Incropera F.P. Convection heat transfer in electronic equipment cooling // Journal of Heat Transfer. – 1998. – Vol. 110. – P. 1097-1111.
2. Yeh L.T. Review of heat transfer technologies in Electronic Equipment // Journal of Electronick Packaging. – 1995. – Vol. 117. – P.333-339.
3. Shende1 M.D., Mahalle A. Cooling Of Electronic Equipments with Heat Sink: A Review of Literature // IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. – 2013. – Vol. 5. – P. 56-61.
4. Mohamad A.A. Lattice Boltzmann Method // Fundamentals and engineering applications with computer codes. – 2011. – 178 p.
5. Kruger T., Kusumaatmaja H., Kuzmin A., Shardt O., Silva G., Viggen E.M. The Lattice Boltzmann Method // Springer International Publishing Switzerland, 2017. – P. 694.