

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Национальный исследовательский Томский государственный университет
Томский государственный архитектурно-строительный университет
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Сборник научных трудов
XII Международной конференция студентов и молодых ученых

21–24 апреля 2015 г.

PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

XII International Conference of students and young scientists

21–24 April, 2015

Томск 2015

УДК 50(063)
ББК 20л0
П27

Перспективы развития фундаментальных наук [Электронный П27 ресурс] : сборник трудов XII Международной конференция студентов и молодых ученых (Томск, 21–24 апреля 2015 г.) / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 1556 с.

ISBN 978-5-4387-0560-4

Сборник содержит труды участников XII Международной конференции студентов и молодых учёных «Перспективы развития фундаментальных наук». Включает доклады студентов и молодых ученых, представленные на секциях «Физика», «Химия», «Математика», «Биология и медицина», «Нanomатериалы и нанотехнологии», «Технология», «Конкурс архитектурных работ», «IT-технологии и электроника».

Предназначен для студентов, аспирантов, молодых ученых, преподавателей в области естественных наук и высшей математики.

УДК 50(063)
ББК 20л0

Редакционная коллегия

И.А. Курзина, доктор физико-математических наук, доцент ТПУ.
Г.А. Воронова, кандидат химических наук, доцент ТПУ.
С.А. Поробова, инженер ТГАСУ.

ISBN 978-5-4387-0560-4

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ,
электронный текст, 2015

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СИЛЫ ПЛАВУЧЕСТИ НА ЛАМИНАРНЫЕ РЕЖИМЫ
ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ В ЗАМКНУТОЙ КУБИЧЕСКОЙ ПОЛОСТИ С
ЛОКАЛЬНЫМ ИСТОЧНИКОМ ЭНЕРГИИ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ**

Н.С. Гибанов

Научный руководитель: доцент, д. ф-м. н. М.А. Шеремет

Томский государственный университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: fire9n@mail.ru

**EFFECT OF BUOYANCY FORCE ON LAMINAR NATURAL CONVECTION IN A CUBICAL
ENCLOSURE WITH LOCAL HEAT SOURCE OF RECTANGULAR CROSS-SECTION**

N.S. Gibanov

Scientific Supervisor: Assoc. Prof., Dr. M.A. Sheremet

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

E-mail: fire9n@mail.ru

***Annotation.** The effects of temperature difference on laminar natural convection in a cubical cavity with a local heat source have been studied numerically. Mathematical analysis has been based on a numerical solution of the three-dimensional Boussinesq equations in terms of the dimensionless vector potential functions, vorticity vector and temperature by finite difference method. Investigations were carried out over a wide range of the Rayleigh number from 10^4 to 10^6 .*

Конвективный тепломассоперенос играет важную роль в природе и в современной технике, что характеризует рост интереса со стороны исследователей к этой тематике [1]. Несмотря на это на данный момент существует не так много детальных работ, отражающих особенности процесса в трехмерной постановке при наличии локальных источников энергии конечных размеров.

Целью настоящей работы является численный анализ влияния числа Рэлея на гидродинамику и теплоперенос в условиях ламинарных режимов естественной конвекции в замкнутой кубической полости при наличии источника постоянной температуры в форме прямоугольного параллелепипеда.

Рассматривается задача свободно-конвективного теплопереноса в замкнутой кубической полости (рис. 1). Область решения заполнена воздухом, который считается вязкой, ньютоновской жидкостью, удовлетворяющей приближению Буссинеска. На вертикальных противоположных гранях ($x = 0$ и $x = L$) поддерживается постоянная температура T_c . Предполагается, что все остальные ограждающие стенки полости являются адиабатическими. Вдоль координаты y на нижней стенке расположен локальный источник энергии постоянной температуры в форме параллелепипеда.

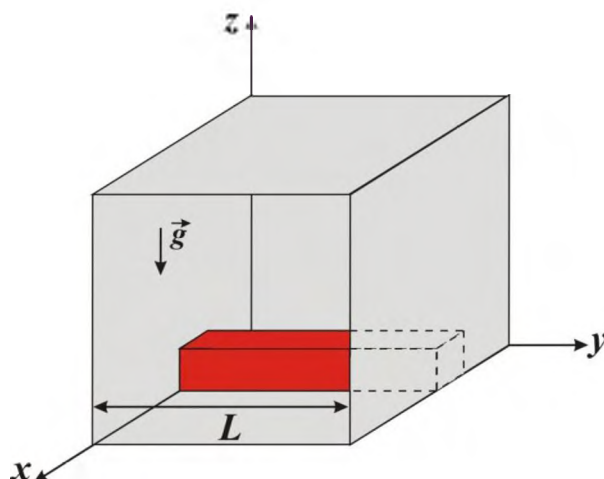


Рис.1. Область решения задачи

Процесс конвективного теплопереноса в исследуемой области (рис. 1) описывается системой нестационарных пространственных уравнений Обербека–Буссинеска в безразмерных преобразованных переменных «векторный потенциал – вектор завихренности – температура». Дифференциальные уравнения для компонент векторного потенциала, вектора завихренности и температуры принимают следующий вид [2, 3]:

$$\frac{\partial \Omega_x}{\partial \tau} + U \frac{\partial \Omega_x}{\partial X} + V \frac{\partial \Omega_x}{\partial Y} + W \frac{\partial \Omega_x}{\partial Z} - \Omega_x \frac{\partial U}{\partial X} - \Omega_y \frac{\partial U}{\partial Y} - \Omega_z \frac{\partial U}{\partial Z} = \sqrt{\frac{\text{Pr}}{\text{Ra}}} \nabla^2 \Omega_x + \frac{\partial \Theta}{\partial Y}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \Omega_y}{\partial \tau} + U \frac{\partial \Omega_y}{\partial X} + V \frac{\partial \Omega_y}{\partial Y} + W \frac{\partial \Omega_y}{\partial Z} - \Omega_x \frac{\partial V}{\partial X} - \Omega_y \frac{\partial V}{\partial Y} - \Omega_z \frac{\partial V}{\partial Z} = \sqrt{\frac{\text{Pr}}{\text{Ra}}} \nabla^2 \Omega_y - \frac{\partial \Theta}{\partial X}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \Omega_z}{\partial \tau} + U \frac{\partial \Omega_z}{\partial X} + V \frac{\partial \Omega_z}{\partial Y} + W \frac{\partial \Omega_z}{\partial Z} - \Omega_x \frac{\partial W}{\partial X} - \Omega_y \frac{\partial W}{\partial Y} - \Omega_z \frac{\partial W}{\partial Z} = \sqrt{\frac{\text{Pr}}{\text{Ra}}} \nabla^2 \Omega_z, \quad (3)$$

$$\nabla^2 \Psi_x = -\Omega_x, \quad \nabla^2 \Psi_y = -\Omega_y, \quad \nabla^2 \Psi_z = -\Omega_z, \quad (4)$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} + U \frac{\partial \Theta}{\partial X} + V \frac{\partial \Theta}{\partial Y} + W \frac{\partial \Theta}{\partial Z} = \frac{1}{\sqrt{\text{Pr} \cdot \text{Ra}}} \nabla^2 \Theta. \quad (5)$$

Начальные и граничные условия для сформулированной системы уравнений (1)–(5) рассматривались в следующем виде.

В начальный момент времени предполагалось, что жидкость, заполняющая полость, неподвижна, поэтому $\Psi_x = \Psi_y = \Psi_z = \Omega_x = \Omega_y = \Omega_z = 0$. Начальная температура, вследствие выбранного обезразмеривания, принимала вид $\Theta = 0.5$.

Граничные условия:

- на границах $X = 0$ и $X = 1$: $\partial \Psi_x / \partial X = \Psi_y = \Psi_z = 0$, $\Theta = 0$;
- на границах $Y = 0$ и $Y = 1$: $\Psi_x = \partial \Psi_y / \partial Y = \Psi_z = 0$, $\partial \Theta / \partial Y = 0$;
- на границах $Z = 0$ и $Z = 1$: $\Psi_x = \Psi_y = \partial \Psi_z / \partial Z = 0$, $\partial \Theta / \partial Z = 0$.

Сформулированная краевая задача решена методом конечных разностей [2, 3] на равномерной сетке $100 \times 100 \times 100$. Для численного решения уравнений параболического типа (1)–(3) и (5) применялась локально одномерная схема Самарского, позволяющая пространственную задачу свести к системе одномерных. Для аппроксимации конвективных слагаемых использовалась монотонная схема

Самарского, для диффузионных слагаемых – центральные разности. Эволюционный член представлял собой одностороннюю разность по времени и имел первый порядок точности относительно шага по времени. Дискретизация уравнений Пуассона (4) проводилась на основе формул симметричной аппроксимации вторых производных. При этом полученные разностные уравнения разрешались методом последовательной верхней релаксации. Оптимальное значение параметра релаксации подбиралось на основе вычислительных экспериментов.

Численный анализ проведен при следующих значениях безразмерных комплексов, характеризующих основные режимы конвективного теплопереноса в замкнутом объеме: $Ra = 10^4 - 10^6$; $Pr = 0.7$; $0 \leq \tau \leq 100$.

В результате проведенных исследований были установлены характерные распределения изолиний компонент векторного потенциала и температуры в сравнении с данными двумерного приближения. На рис. 2 представлено распределение изолиний температуры в среднем сечении области решения $Y = 0.5$ в сравнении с 2D данными. Сплошными линиями изображены изотермы соответствующие трехмерному случаю, а штриховыми линиями показаны изотермы соответствующие двумерному случаю. Введение третьей координаты проявляется в менее интенсивном охлаждении анализируемого объема вследствие наличия источника энергии, распределенного по всей длине координаты Y .

Установлено, что рост температурного напора отражается в интенсификации конвективного теплопереноса с учетом формирования устойчивого теплового факела.

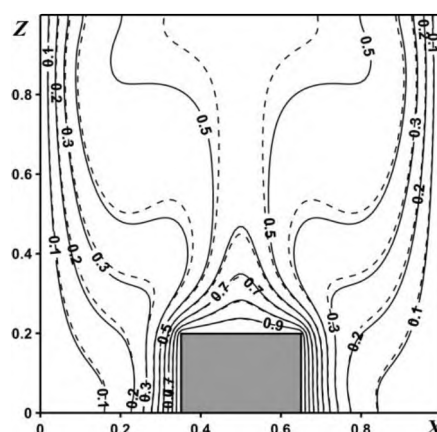


Рис. 2. Распределения температуры в сечении $Y = 0.5$ в сравнении с данными 2D приближения

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента РФ для молодых российских ученых (грант МД-6942.2015.8) и Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 14-08-31137 мол_а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полежаев В.И., Буне А.В., Вerezуб Н.А. и др. Математическое моделирование конвективного тепло- и массообмена на основе уравнений Навье - Стокса. – Москва: Наука, 1987. – 274 с.
2. Martyushev S.G., Sheremet M.A. Conjugate natural convection combined with surface thermal radiation in a three-dimensional enclosure with a heat source // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2014. – Vol. 73. – Pp. 340–353.
3. Шеремет М.А. Сопряженные задачи естественной конвекции. Замкнутые области с локальными источниками тепловыделения. – Берлин: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 176 с.