

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СМЕШАННОЙ КОНВЕКЦИИ В ЗАМКНУТОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ ЛУЧИСТОГО НАГРЕВА ОДНОЙ ИЗ ГРАНИЦ
Ни А.Э.

Научный руководитель: Кузнецов Г.В., профессор, д. ф.- м. н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: nee_alexander@mail.ru

MATHEMATICAL MODELING OF MIXED CONVECTION IN A CLOSED RECTANGULAR AREA IN CONDITIONS OF LOWER BOUNDARY RADIANT HEATING

Nee A.E.
Scientific Supervisor: Prof., Dr. Kuznetsov G.V.
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: nee_alexander@mail.ru

Abstract. Mathematical modeling of mixed convection in a closed rectangular area in conditions of lower boundary radiant heating is passed. Fields of temperatures and stream functions for different Grashof numbers are obtained. The scale influence of Grashof number increasing on the heat transfer intensity is shown. It is founded that the process of closed areas radiant heating has significantly unsteady nature.

Введение

Известно [1], что для локального обогрева крупногабаритных помещений производственного назначения во многих случаях целесообразно использовать системы лучистого отопления. Наиболее перспективными являются газовые инфракрасные излучатели (ГИИ) [2]. Необходимо отметить, что в зависимости от типа ГИИ [3] температура на его поверхности может достигать 500 К. В результате формируется “тепловая подушка” под перекрытием отапливаемого помещения. Такое термическое воздействие на материал кровли может привести к его преждевременному разрушению. Целесообразно удалять горячий воздух из обогреваемой области.

Целью работы является численное исследование процесса смешанной конвекции в области, заполненной газом и ограниченной твердыми теплопроводными стенками конечной толщины, в условиях лучистого подвода энергии к внутренней границе.

Постановка задачи и метод решения

Решена краевая задача нестационарного сопряженного теплопереноса. Область анализа представлена на рисунке 1.

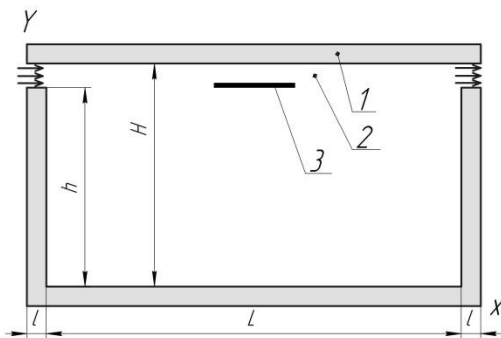


Рис. 1. Область решения: 1 – ограждающие конструкции; 2 – воздух; 3 – газовый инфракрасный излучатель (условное обозначение)

Рассматривается полость прямоугольного поперечного сечения, заполненная газом и ограниченная твердыми теплопроводными стенками, с участками ввода и вывода воздушных масс. Излучатель расположен под перекрытием. На внешних границах области решения, за исключением

участков ввода и вывода, принимались условия теплоизоляции. На внутренних границах раздела «газ - стенка» задавались равенство температур и тепловых потоков. Предполагалось, что лучистый поток, поступающий от ГИИ, равномерно распределен только по внутренней поверхности нижней горизонтальной границы. На участках ввода и вывода масс принимались граничные условия, аналогично [4]. При постановке задачи принималось, что газ, поступающий в полость, имеет существенно меньшую температуру по сравнению с температурой на поверхности излучателя. Массовый приход является известной величиной. Воздух считается вязкой и теплопроводной жидкостью, удовлетворяющей приближению Буссинеска. Теплофизические свойства газа и материалов ограждающих конструкций не зависят от температуры. Эти допущения позволяют значительно упростить решение и при этом не вносят в постановку задачи серьезных ограничений.

Исследуемый процесс теплопереноса описывается системой нестационарных двумерных уравнений Буссинеска для газа и уравнением теплопроводности для твердых стенок. Задача сформулирована в безразмерных переменных «вихрь скорости Ω - функция тока Ψ - температура Θ », аналогично [4]. В качестве масштаба расстояния выбрана длина газовой полости. Для приведения системы уравнений к безразмерному виду использовались следующие соотношения:

$$X = \frac{x}{L}; Y = \frac{y}{L}; \tau = \frac{t}{t_0}; U = \frac{u}{V_{nc}}; V = \frac{v}{V_{nc}}; \Theta = \frac{T - T_0}{T_h - T_0}; \Psi = \frac{\psi}{\psi_0}; \Omega = \frac{\omega}{\omega_0}; V_0 = \sqrt{g \cdot \beta \cdot (T_h - T_0) \cdot L}; \\ \psi_0 = V_{nc} L; \omega_0 = \frac{V_{nc}}{L};$$

где: x, y – размерные координаты; X, Y – безразмерные координаты, соответствующие x, y ; L – длина газовой полости по оси x ; t_0 – масштаб времени; τ – безразмерное время; u, v – скорости по осям x, y соответственно; U, V – безразмерные скорости соответствующие u, v ; V_{nc} – масштаб скорости (скорость естественной конвекции); Θ – безразмерная температура; T_0 – температура воздуха, ограждающей конструкции и газового инфракрасного излучателя в начальный момент времени; T_h – температура на поверхности излучателя; ψ – функция тока; ψ_0 – масштаб функции тока; Ψ – безразмерный аналог ψ ; ω – вихрь скорости; ω_0 – масштаб вихря скорости; Ω – безразмерный аналог ω

Уравнения переноса вихря, Пуассона, энергии и теплопроводности решены методом конечных разностей на равномерной сетке 151×151 . Для аппроксимации уравнений использована локально одномерная схема Самарского. Одномерные разностные аналоги решались методом прогонки. Используемый алгоритм решения был протестирован на модельной задаче вынужденной конвекции в прямоугольной каверне с входным и выходным отверстиями [5].

Результаты численного моделирования

Численное исследование проведено в рамках ламинарной модели течения. Принимались следующие значения безразмерных критериев: числа Грасгофа $10^5 \leq Gr \leq 10^6$, число Рейнольдса $Re=2000$, число Прандтля $Pr=0,71$, число Кирпичева $Ki=60$. На рисунке 2 представлены изолинии температур и функций тока при значении безразмерного времени $\tau=1200$.

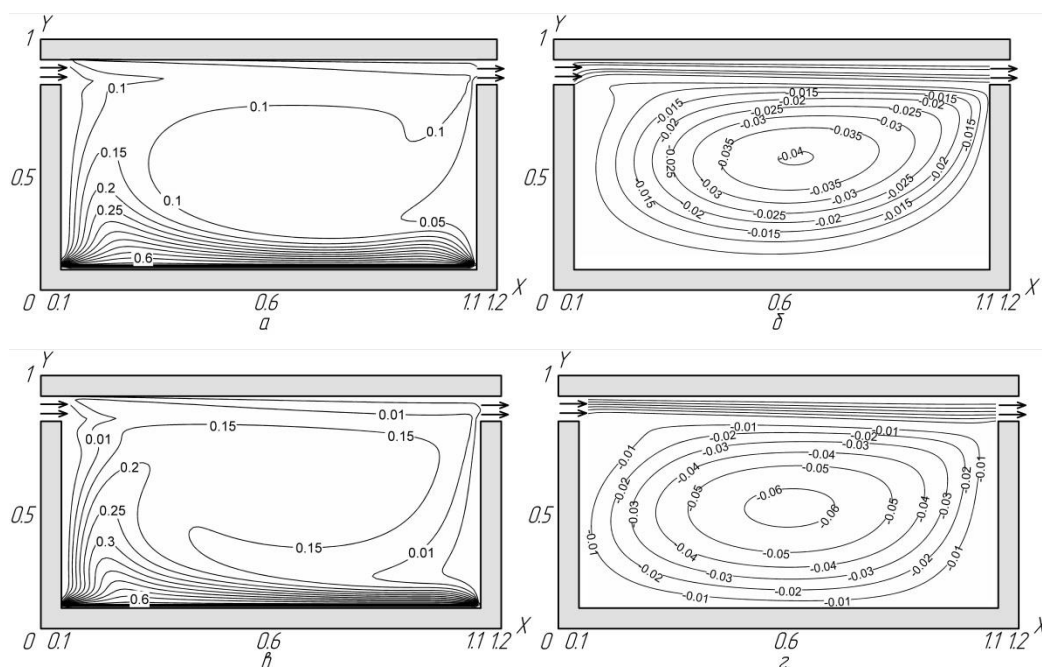


Рис.2. Изолинии температур (а,в) и функций тока (б,г) при:

а, б) $Gr = 10^5$; в, г) $Gr = 10^6$.

На основании анализа рисунка 2 можно сделать вывод, что наличие участков ввода и вывода воздушных масс приводит к смещению конвективного факела к левой стенке. С увеличением числа Грасгофа возрастает температура в газовой полости. Толщина прогретого слоя воздуха у границы $y=0,06$, $0,1 < x < 1,1$ уменьшается, что обусловлено ростом подъёмной силы.

Заключение

Установлено, что при локальном подводе лучистой энергии к внутренней границе замкнутой прямоугольной области, заполненной газом и ограниченной твердыми теплопроводными стенками конечной толщины, при наличии участков ввода и вывода массы формируются существенно неоднородные поля температур и функций тока.

Работа выполнена в рамках НИР Госзадания «Наука» №13.1339.2014/К (шифр Федеральной целевой научно-технической программы 2.1410.2014).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Roth K. Infrared radiant heaters // ASHRAE. – Journal. – June. – 2007.
2. Кузнецов Г.В., Куриленко Н.И., Максимов В.И., Мамонтов Г.Я., Нагорнова Т.А. Свободно – конвективный теплоперенос в отопляемых с использованием газовых инфракрасных излучателей производственных помещений // Известия Высших Учебных Заведений: Проблемы энергетики. – 2013. – №1 – 2. – С. 18 – 25.
3. Романова Е. А. Энергосберегающие системы газового отопления и вентиляции // Новые технологии и изобретения. - 2005.- №2.- С. 19 – 23.
4. Кузнецов Г.В., Максимов В.И. Математическое моделирование смешанной конвекции в сопряженной постановке в прямоугольной области //Промышленная теплотехника. – 2006. – Т. 28, № 6. – С. 43–55.
5. Saedi S.M., Khodadadi J.M. Forced convection in a square cavity with inlet and outlet ports // International Journal of Heat and Mass Transfer – 2006. – Vol. 49. – Pp. 1896–1906.