

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАДИАЦИОННОГО НАГРЕВА ЗАМКНУТОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ОБЛАСТИ С УЧЕТОМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛУЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ ПО ЗАКОНУ ЛАМБЕРТА

Ни А.Э.

Научный руководитель: Нагорнова Т.А.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: nee_alexander@mail.ru

Для обогрева огромных производственных помещений целесообразно применять системы лучистого отопления [1]. Балансные модели [3,4] не отражают в полной мере динамики процесса теплопереноса в помещениях, обогреваемых газовыми инфракрасными излучателями (ГИИ). Перспективным для таких задач является математическое моделирование процессов кондуктивно – конвективного теплопереноса в сопряженной постановке [4,5]. В численном исследовании [6] принималось, что плотность теплового потока от ГИИ равномерно распределена по внутренней поверхности нижнего основания ограждающей конструкции. В настоящей работе поток лучистой энергии распределен по внутренним поверхностям ограждающих конструкций по закону Ламберта.

Целью данной работы является численное исследование процесса радиационного нагрева замкнутой прямоугольной области с учетом распределения лучистой энергии по внутренним поверхностям ограждающих конструкций по закону Ламберта.

Рассматривается замкнутая прямоугольная область. Геометрическая постановка задачи представлена на рисунке 1.

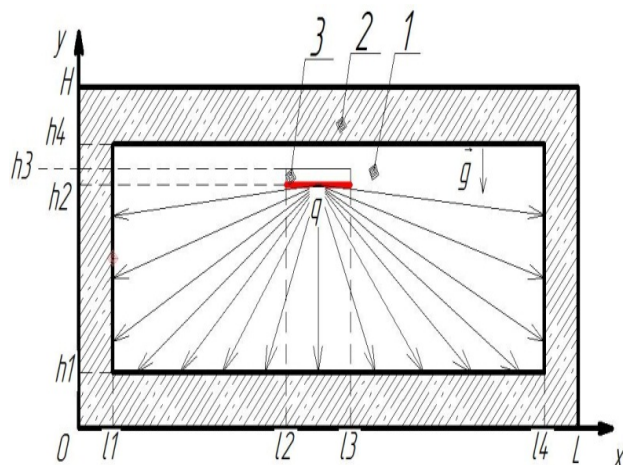


Рис. 1. Область решения задачи: 1) Воздух; 2) Ограждающие конструкции; 3) Газовый инфракрасный излучатель (условное обозначение).

Принимались следующие допущения: режим течения жидкости ламинарный; воздух - несжимаемая ньютоновская жидкость, удовлетворяющая приближению Буссинеска;

теплофизические свойства воздуха и ограждающих конструкций не зависят от температуры; воздух диатермически прозрачная среда. Распределение теплового потока по внутренним поверхностям ограждающих конструкций происходит по закону Ламберта [7].

Исследуемый процесс описывается нестационарными уравнениями Навье – Стокса для воздуха и уравнением теплопроводности для ограждающих конструкций. Безразмерные уравнения Буссинеска в переменных «вихрь скорости – функция тока – температура» имеют вид [4,6]:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial \tau} + U \frac{\partial \Omega}{\partial X} + V \frac{\partial \Omega}{\partial Y} = \sqrt{\frac{\text{Pr}}{\text{Ra}}} \cdot \nabla^2 \Omega + \frac{1}{2} \frac{\partial \Theta_1}{\partial X}, \quad (1)$$

$$\nabla^2 \Psi_1 = -\Omega, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \Theta_1}{\partial \tau} + U \frac{\partial \Theta_1}{\partial X} + V \frac{\partial \Theta_1}{\partial Y} = \frac{1}{\sqrt{\text{Ra} \cdot \text{Pr}}} \cdot \nabla^2 \Theta_1, \quad (3)$$

$$\frac{\partial \Theta_2}{\partial Fo_2} = \nabla^2 \Theta_2, \quad (4)$$

где: Θ – безразмерная температура; Ω – безразмерный аналог вихря скорости; X, Y – безразмерные координаты; ∇ – безразмерный оператор Набла; Ψ – безразмерный аналог функции тока; Ra – число Рэлея; Pr – число Прандтля; Fo – число Фурье.

Начальные и граничные условия для уравнений (1) – (4):

$$\Psi_1(X, Y, 0) = 0; \quad \Omega_1(X, Y, 0) = 0; \quad \Theta_1(X, Y, 0) = 0;$$

$$\Theta_2(X, Y, 0) = 0;$$

$$X = 0, X = 1, 0 < Y < 1: \frac{\partial \Theta_2(X, Y, \tau)}{\partial X} = 0;$$

$$Y = 0, Y = 1, 0 < X < 1: \frac{\partial \Theta_2(X, Y, \tau)}{\partial Y} = 0.$$

На внутренних границах твердой стенки и воздуха, параллельных осям OX и OY ставились граничные условия 4 рода вида:

$$\Psi_1 = 0, \quad \frac{\partial \Psi_1}{\partial Y} = 0,$$

$$\begin{cases} \Theta_1 = \Theta_2, \\ \frac{\partial \Theta_1}{\partial X} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \cdot \frac{\partial \Theta_2}{\partial X} + Ki_\alpha, \\ \Theta_2 = \Theta_1, \\ \frac{\partial \Theta_2}{\partial X} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \cdot \frac{\partial \Theta_1}{\partial X} + Ki_\alpha \end{cases}$$

Уравнения (1) – (4) с соответствующими начальными и граничными условиями решались методом конечных разностей [8].

Принимались следующие значения безразмерных критериев: число Рэлея $Ra = 10^6$, число Прандтля $Pr=0,71$. Результаты численного моделирования представлены на рисунке 3. Размеры по осям координат отложены в метрах.

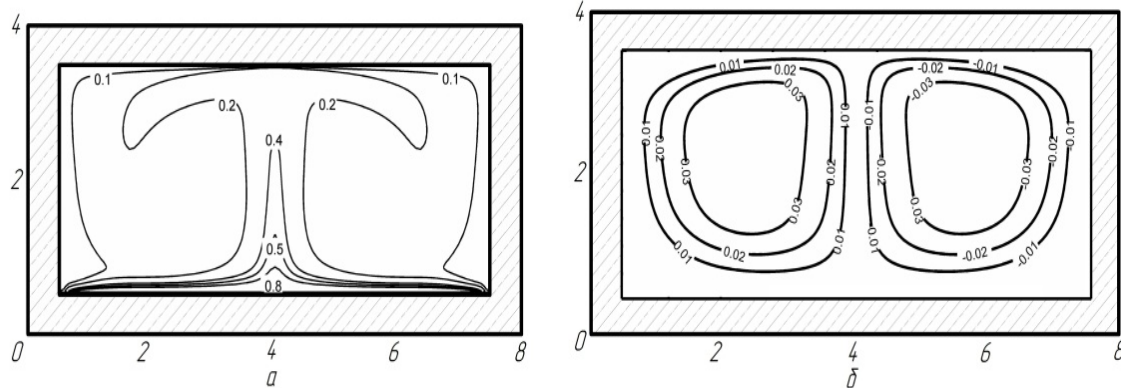


Рис.2. Изолинии температур (а) и функции тока (б) ($t= 3600$ секунд), постановка [6]

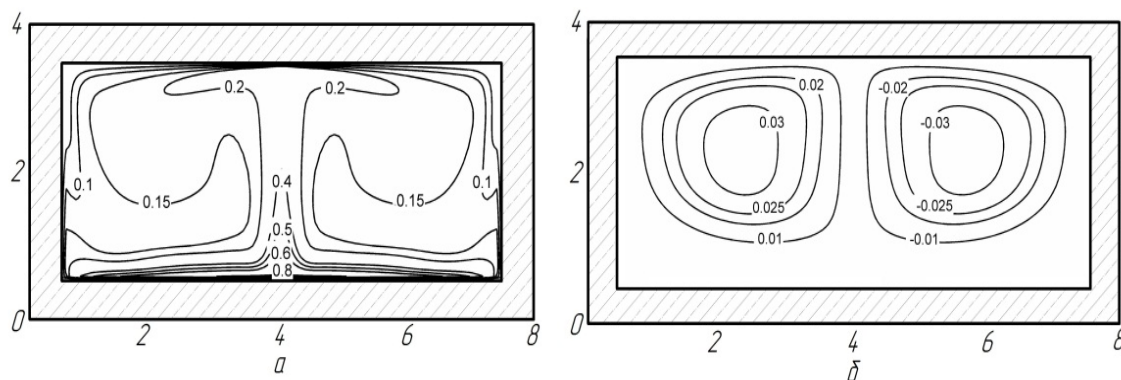


Рис.3. Изолинии температур (а) и функции тока (б) ($t= 3600$ секунд)

Сравнивая полученные результаты (рис.3) с результатами работы [6], можно сделать вывод, что характер течения воздуха одинаков. Основные отличия наблюдаются в полях температур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Roth K. "Infrared radiant heaters" // ASHRAE, Journal, June 2007.
2. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. – М.: Высшая школа, 1970. – 376 с.
3. Дыскин Л.М., Шиванов В.В. Тепловой баланс помещения с газовым лучистым отоплением // Известия Высших Учебных Заведений. Строительство. – 2007. - №8. – С. 62 – 65.
4. Kuznetsov G.V. , Sheremet M.A. Mathematical modeling of complex heat transfer in a rectangular enclosure // Thermophysics and Aeromechanics. – 2009. – V.16. – № 1. – P. 119 – 128.
5. Kuznetsov G.V. , Sheremet M.A. New approach to the mathematical modeling of thermal regimes for electronic equipment // Russian Microelectronics. – 2008. – V.37. – № 2. – P. 131 – 138.
6. Kuznetsov G.V., Maksimov V.I., Nagornova T.A., Kurilenko N.I., Mamontov G.Ya. Heat transfer under heating of a local region of a large production area by gas infrared radiators // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2013. – V.86. – № 3. – P. 519 – 524.
7. Stevenson J.A., Radiation Heat Transfer Analysis for Space Vehicles, Rept SID-61-91, North American Aviation (AFASD TR-61-119, pt.1), Sept.9, 1961.
8. Пасконов В. М., Полежаев В.И. Чудов Л.А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. М.: Наука, 1984. – 288 с.