

2. Жернаков А.С. Экспериментальное исследование испарителя теплового насоса в составе опреснительной установки // Холодильная техника. – 2009. – № 11. – С. 44–48.

3. Шапошников В.А. Экспериментальное исследование теплоотдачи к кипящему R123 в условиях вынужденного движения в канале испарителя // Холодильная техника. – 2010. – № 5. – С.54–58.

УДК 536.33:536.244

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРЯЖЕННОЙ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ В ЗАМКНУТОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ РАДИАЦИОННОГО НАГРЕВА ОДНОЙ ИЗ ГРАНИЦ

Максимов В.И., к.т.н., Нагорнова Т.А., к.т.н.

Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: elf@tpu.ru

Сегодня развитие техники [1] создает объективные предпосылки использования, например для обеспечения теплового режима промышленных объектов, новых технических устройств, систем и технологий, основой которых являются также процессы преобразования энергии [2]. Типичным и достаточно наглядным примером таких технологий промышленной теплоэнергетики является система теплоснабжения на основе газовых инфракрасных излучателей (ГИИ) [2]. Используемые до настоящего времени подходы к анализу тепловых режимов объектов с системами теплоснабжения на базе ГИИ [3] не учитывают конвекцию вообще и теплоотвод в ограждающие конструкции в частности.

Представляет интерес анализ возможности применения моделей сопряженного теплообмена [4, 5] при описании температурных полей объектов с системами отопления на базе ГИИ.

Цель настоящего исследования – математическое моделирование конвективно-кондуктивного теплопереноса в воздушной области, огражденной твердыми стенками с использованием подхода [4–6], и анализ распределения аккумулированной в различных зонах рассматриваемой типичной системы «воздух-ограждающие конструкции» теплоты.

Для реализации поставленной цели рассматривалась область прямоугольного поперечного сечения (см. рис. 1). Внутренняя зона области решения ($L_{\text{Л}} < X < L_{\text{П}}$ и $H_{\text{Н}} < Y < H_{\text{В}}$) заполнена воздухом 1. По внешнему контуру расположены ограждающие конструкции, выполненные из бетона 2 и современных строительных материалов с низким коэффициентом теплопроводности 3. Применение последних соответствует перспективным энергосберегающим технологиям и в настоящее время находит все большее применение в строительстве.

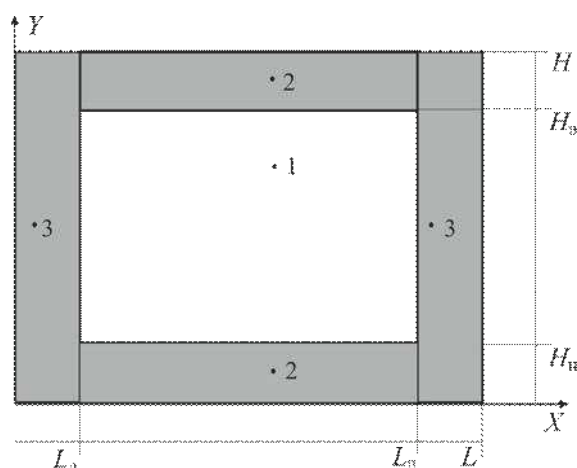


Рис. 1. Область решения рассматриваемой задачи:
 1 – воздух; 2 – ограждающие конструкции из бетона; 3 – ограждающие конструкции из современного строительного материала с малым коэффициентом теплопроводности

Источник радиационного нагрева в верхней части H_B области решения не выделялся – принималось, что его толщина мала по сравнению с характерными размерами области. Интенсивность излучения считалась равномерно распределенной по поперечной координате X .

При постановке задачи предполагалось, что вся энергия инфракрасного излучателя поступает к нижней границе H_H , разделяющей нижнее бетонное основание 2 и область нагрева 1.

В качестве базовой системы дифференциальных уравнений, описывающих процесс естественной конвекции в рассматриваемой области (см. рис. 1) в режиме сопряженного теплопереноса, принята математическая модель [4–6].

Основные численные исследования проведены при следующих значениях безразмерных и размерных величин: $t_0 = 0,1$ с, $T_0 = 293$ К, $T_{it} = 303$ К, $Ki = 60$, $10^6 < Gr < 10^{11}$. При таких временах, как показали результаты численного анализа, достаточно отчетливо проявляются все основные закономерности рассматриваемых процессов.

На рисунке 2 представлены результаты численного моделирования, иллюстрирующие основные закономерности теплопереноса в рассматриваемой системе отопления с использованием газовых инфракрасных излучателей.

Представленные иллюстрации хорошо демонстрируют нестационарный характер процесса теплопереноса в рассматриваемой области решения. Нагретый вблизи нижнего бетонного основания воздух поднимается по центру рассматриваемой области решения и затем, охлаждаясь при обтекании верхней ограждающей конструкции, перемещается вниз (см. рис. 2). В итоге формируется симметричное циркуляционное течение относительно оси $X = 0,5$.

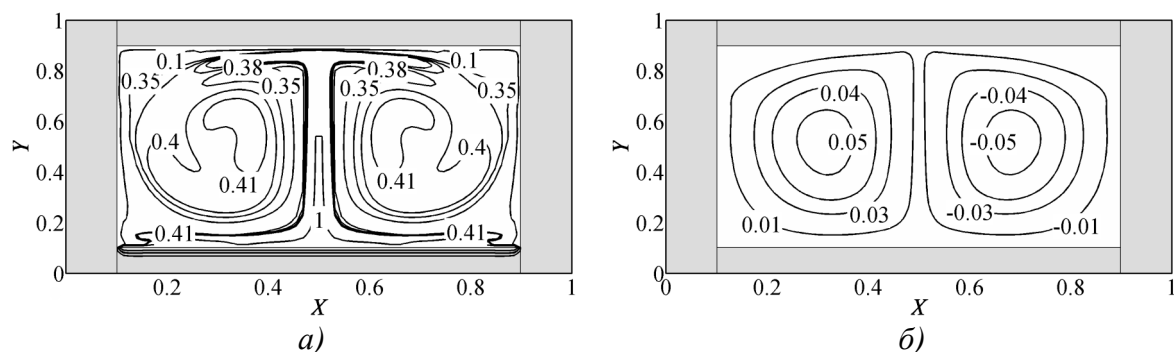


Рис. 2. Поля температур (а) и изолинии функции тока (б) для модели естественной конвекции в замкнутой области с радиационным нагревом нижней границы раздела «газ – твердая стенка» при различных $\tau = 100000$

Интенсивная турбулизация способствует перераспределению тепла по всему воздушному объему. В нижней его части формируется слой высотой около $H = 0,1$ с постоянной температурой практически по всей ширине газовой области (см. рис. 2). В верхних воздушных слоях наблюдается некоторое снижение температур, что является следствием оттока тепла в верхнюю ограждающую конструкцию.

С целью ответа на вопрос о целесообразности применения достаточно сложных моделей сопряженного теплообмена при решении задач теплоснабжения проведен расчет количества теплоты, аккумулированной ограждающими конструкциями и воздухом на глубину рассматриваемой области в 1 метр (см. табл. 1), с использованием температурных полей, рассчитанных при решении задачи.

Таблица 1. – Тепловая энергия, аккумулированная в ограждающих конструкциях (Q_1) и в воздушной среде (Q_2).

$\tau \cdot 10^{-3}$	$Q_1, 10^6$ Дж	$Q_2, 10^4$ Дж
50	8,14	5,87
60	8,79	5,45
70	9,44	4,63

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что значительная часть энергии расходуется на нагрев ограждающих конструкций (см. табл. 1) (большая часть тепловой энергии, поступающей от газовых инфракрасных излучателей, аккумулируется в твердотельных элементах области решения). Поэтому расчет тепловых режимов помещений с системами отопления на базе ГИИ необходимо проводить путем решения задач свободной конвекции в сопряженной постановке с учетом теплоотвода в ограждающие конструкции и аккумуляции в них энергии. Балансные модели [3] при этом могут служить инструментом для нижних оценок энергии, необходимой для эффективного использования систем радиационного нагрева.

На основании сопоставления температурных полей объекта теплоснабжения, установленных по результатам численного моделирования с использованием модели сопряженного теплообмена, показана необходимость использования моделей, учитывающих конвекцию и теплоотвод в ограждающие конструкции. Полученные результаты иллюстрируют перспективы использования моделей сопряженного теплопереноса [4-6] при решении типичных задач анализа тепловых режимов объектов теплоснабжения с газовыми инфракрасными излучателями.

Работа выполнена в рамках НИР Госзадания «Наука» (Шифр федеральной целевой научно-технической программы 7.3073.2011).

Список литературы:

1. Леонтьев А.И., Пилюгин Н.Н., Полежаев Ю.В., Поляев В.М. Научные основы технологий XXI века. – М.: УНПЦ «Энергомаш», 2000. – 136 с.
2. Давлятчин Р.Р., Куриленко Н.И. Лучисто-конвективный теплообмен газовых инфракрасных излучателей с многослойной конструкцией кровли // Приволжский научный журнал. – 2009. – № 2. – С. 74–78.
3. Бухмиров В.В., Солнышкова Ю.С., М.В. Пророкова Экспериментальное исследование системы отопления и инфракрасными излучателями // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2011. – Вып. 3. – С. 12–16.
4. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Сопряженный теплоперенос в замкнутой области с локально сосредоточенным источником тепловыделения // Инженерно-физический журнал. – 2006. – Т. 79. – № 1. – С. 56–63.
5. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Об одном подходе к математическому моделированию тепловых режимов радиоэлектронной аппаратуры и электронной техники // Микроэлектроника. – 2008. – Т. 37. – № 2. – С. 150–158.
6. Кузнецов Г.В., Куриленко Н.И., Максимов В.И., Мамонтов Г.Я., Нагорнова Т.А. Сопряженный теплоперенос в системе с радиационным источником нагрева // XIV Минский международный форум по тепло- и массообмену. – Минск, 2012. – Т. 1 – Ч. 1. – С. 147–151.

УДК 621.565.9:621.1.016

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
СМЕШАННОЙ КОНВЕКЦИИ В ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ОБЛАСТИ
С ЗАДАННЫМ ИСТОЧНИКОМ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ**

Нагорнов Д.А., Максимов В.И., к.т.н.

Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: elf@tpu.ru

Изучение теплопереноса в неоднородных средах имеет большое значение при моделировании и оптимизации физических процессов, связанных с производством и рациональным использованием энергии. Усложнение технических устройств и неотложность многих проблем энергетики и охраны окружающей среды привели к тому, что в послед-