

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
Институт проблем машиностроения

На правах рукописи

КРАВЧЕНКО ОЛЕГ ВИКТОРОВИЧ

ТЕПЛООБМЕН ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ В ЗАМКНУТЫХ
ПОЛОСТЯХ С ДИСКРЕТНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ
ТЕПЛОТЫ

05.14.05 - теоретическая теплотехника

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Харьков - 1995



Диссертация является
Работа выполнена в
механических процессов и
Украины.

Научный руководитель: член-корреспондент НАН Украины,
доктор технических наук, профессор
Мацевитый Юрий Михайлович.

Научный консультант: кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Цаканян Олег Семенович.

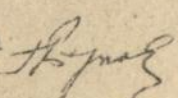
Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Сныдирский Дмитрий Федорович,
кандидат технических наук, доцент
Тарасов Александр Иванович.

Ведущая организация: Научно-исследовательский
технологический институт
приборостроения, Минмашпром
Украины, г. Харьков.

Защита состоится "02" 11 1995 г. в 14⁰⁰ часов в
аудитории 11 этажа на заседании специализированного ученого
совета Д 02.18.03 в Институте проблем машиностроения НАН
Украины по адресу: 310046, г. Харьков, ул. Пожарского, 2/10.
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
проблем машиностроения НАН Украины по адресу: 310046,
г. Харьков, ул. Пожарского, 2/10.

Автореферат разослан "30" 09 1995 г.

Ученый секретарь

специализированного ученого совета  Ледков Г. В.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В связи с разработкой сложных электронных блоков различных энергетических объектов повышенный интерес вызывает исследование теплообмена при естественной конвекции в узких замкнутых полостях прямоугольного сечения, обогреваемых дискретно расположенными источниками теплоты, расположенными на одной из вертикальных стенок. Условия применения этих блоков часто таковы, что занимаемое ими пространство и вес должны быть сведены к минимуму. Необходимо оптимизировать расположение тепловыделяющих элементов внутри блоков таким образом, чтобы максимально использовать свободноконвективный теплообмен внутри полости и тем самым, по возможности, обойтись без принудительного охлаждения.

В настоящее время процесс теплообмена в замкнутых полостях изучен недостаточно хорошо. Коэффициент теплоотдачи как один из основных параметров конвективного теплообмена более или менее точно определен для случаев либо постоянной температуры одной из стенок полости, либо постоянной плотности теплового потока на ней.

Применение "классических" критериальных уравнений для определения интенсивности теплообмена в узких замкнутых полостях с дискретно расположенными источниками теплоты, для расчета коэффициентов теплоотдачи и чисел Нуссельта, особенно их локальных значений, дает во многих случаях результаты, отличающиеся от реальных в несколько раз.

Поэтому особенно актуальным видится обобщение результатов экспериментальных исследований и получение критериальных зависимостей, использование которых позволяло бы еще на эта-

не проектирования однозначно определять эти параметры.

Коэффициент теплоотдачи может быть найден либо экспериментально, либо путем численного решения системы уравнений сопряженного теплообмена. Однако как в одном, так и в другом случае возникает ряд трудностей, которые в настоящее время не удается преодолеть. При экспериментальных исследованиях это связано с тем, что пока еще сложно с удовлетворительной точностью измерять локальные тепловые потоки небольшой плотности с малых площадок (например, дискретно расположенных на плате тепловых источников). К тому же, на макетирование каждой конкретной ситуации затрачивается большое количество времени и средств.

Трудности теоретических исследований связаны с тем, что численное решение систем уравнений теплопроводности для стенок, уравнений энергии, движения и неразрывности для жидкости сложно и требует значительных объемов памяти и затрат машинного времени; упрощенные же методики расчета базируются на формулах, которые, как правило, получены для нескольких условий (обычно предполагается, что условия на стенке заданы и постоянны).

Следует отметить, что при большом количестве параметров возникают значительные сложности с обобщением полученных результатов. С другой стороны, использование каких-либо обобщенных зависимостей не всегда корректно, так как процессы теплообмена при естественной конвекции в замкнутых полостях сложно предсказуемы, особенно при наличии локальных тепловых источников.

Выход из создавшейся ситуации видится в объединении расчетных исследований, базирующихся на решении ОЗТ с приме-

нением новых методологических разработок, и тщательно поставленных экспериментальных исследований.

Работы по изучению теплообмена при естественной конвекции в замкнутых полостях проводились в отделе моделирования тепловых и механических процессов Института проблем машиностроения (ИПМаш) НАН Украины по г/б теме "Теплообмен в энергетических установках, технологических процессах и объектах радиоэлектроники" (Г.Р. 01910019862), а также в рамках программы "Теплозахист" (контракт 546 с Национальным космическим агентством Украины, Г.Р.М 019340262-47 от 27.04.1993 г.)

Цель работы: получение критериальных уравнений теплообмена при свободной конвекции в узких замкнутых полостях прямоугольного сечения с локальными тепловыми источниками путем физического и математического моделирования.

Основные задачи: создание физической и математической моделей для исследования локальных характеристик теплообмена в замкнутых полостях, применение методов решения ОЗТ для интерпретации результатов экспериментальных исследований, получение критериальных уравнений теплообмена.

Методы исследования: использованы методы физического и математического моделирования: метод тепловой защиты рабочего образца, методы конечных разностей, релаксации и спектральных функций влияния граничных воздействий.

Научная новизна:

1. Создана физическая модель замкнутой полости, обогреваемой дискретно расположенными на одной из вертикальных стенок пластинчатыми источниками теплоты, отличаю-

шаяся от предыдущих экспериментальных моделей наличием компенсационной платы для предотвращения нежелательных утечек тепла, возможностью быстрого варьирования конструктивными и режимными параметрами, возможностью проведения визуальных наблюдений за воздушными течениями внутри полости, наличием более информативной схемы термометрирования.

2. Предложена новая методика интерпретации результатов экспериментальных исследований в форме решения обратной задачи теплопроводности с применением метода спектральных функций влияния граничных воздействий, позволяющая по измеренным на поверхностях полости температурам получать локальные значения плотностей теплового потока, коэффициентов конвекции и теплоотдачи, чисел Грасгофа и Нуссельта.

3. Создано автоматизированное рабочее место для исследования теплообмена в узких замкнутых полостях, благодаря чему вся информация в течение всего эксперимента о интересующих исследователя параметрах в удобной для него форме (в виде графиков, таблиц или измерительной схемы эксперимента) выводится на экран монитора персонального компьютера типа IBM PC/AT 386 с возможностью накопления и дальнейшей обработки.

4. Получены результаты исследований (в том числе и результаты визуальных наблюдений воздушных течений внутри полости) позволяющие определить влияние на локальную интенсивность теплообмена в замкнутой полости ее геометрических и режимных параметров.

5. Получены более точные по сравнению с ранее известными критериальные зависимости локальных значений коэффициентов конвекции от размеров и режимных параметров источни-

ков теплоты, ширины полости (при постоянной ее высоте).

Достоверность полученных результатов подтверждается данными собственных экспериментальных исследований, а также сопоставлением с результатами аналогичных численных и экспериментальных исследований других авторов.

Теоретическая ценность работы заключается в разработанной методике интерпретации результатов экспериментальных исследований в форме решения ОЗТ с применением метода спектральных функций влияния граничных воздействий.

Полученные критериальные зависимости для определения локальных значений коэффициентов конвекции и теплоотдачи вносят существенные уточнения в "классическую" теорию конвективного теплообмена в узких замкнутых полостях прямоугольного сечения обогреваемых дискретно расположенными источниками теплоты.

Практическая ценность и внедрение:

Созданное автоматизированное рабочее место (физическая и математическая модели в совокупности с системой сопровождения эксперимента и обработки его результатов) позволяет быстро и с высокой точностью определять интенсивности теплообмена в замкнутых полостях различных технических устройств, обогреваемых дискретно расположенными источниками теплоты.

Результаты диссертационной работы рекомендованы для выполнения теплотехнических расчетов при проектировании герметичных модулей РЭА.

Методики данных экспериментально-расчетных исследований внедрены в учебный процесс по НИРС и дипломному проектированию на кафедре общей теплотехники ХПУ.

Апробация работы. Основное содержание работы докладыва-

лось на 17-ой научно-технической конференции молодых ученых и специалистов ИТМаш АН УССР (Харьков, 1990), на Всесоюзном семинаре по проблемам теплообмена в РЭА. (Харьков, 1991).

Публикации. По материалам диссертации опубликованы 3 печатные работы. Работа [2], выполнена с соавторами.

Личное участие в ней определяется следующим образом: разработаны физическая и математическая модели замкнутой полости с дискретно расположенными источниками теплоты, создано автоматизированное рабочее место, предложена методика определения локальных коэффициентов конвекции.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 103 наименований, 25 рисунков, 84 стр. основного текста, всего 120 стр.

2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрены особенности теплообмена в замкнутых полостях. Дан анализ результатов экспериментальных исследований теплообмена в замкнутых полостях Г.Н. Дульнева, Карлсона, М.А. Микеева, Н.Якоба. Отмечен большой вклад в методологию проведения экспериментальных исследований теплообмена в замкнутых полостях с дискретно расположенными источниками теплоты Чуу, Черчилла и Паттерсона. Исследования, проведенные ими, получили развитие в работах Эккерта, Тарнера и Физла, а также других авторов.

Рассмотрены проблемы математического моделирования процессов теплообмена в замкнутых полостях. Отмечены сложности при решении сопряженных и "условно" сопряженных задач.

Развитие методов решения обратных задач теплопроводности: О.М. Алфановым, Л.А. Коздобой, Ю.М. Мацевитым, Д.Ф. Слим-

бирским и др. позволило на новом качественном уровне использовать ОЗТ для интерпретации результатов экспериментальных исследований.

Проведенный анализ показал, что на сегодняшний день отсутствуют результаты как численных решений, так и экспериментальных исследований, позволяющие быстро и достоверно определять локальные характеристики теплообмена в замкнутых полостях с дискретно расположенными тепловыми источниками. Отсутствуют инженерные методики и критериальные уравнения.

Сделана постановка задачи исследования.

Вторая глава посвящена экспериментальному исследованию процессов теплообмена в термичных полостях с дискретно расположенными источниками теплоты. Разработанная физическая модель представляет собой замкнутую полость, образованную рабочей плитой (оснащенной источниками теплоты), холодильником, а также боковыми и горизонтальными (верхней и нижней) стенками, выполненными из оптически прозрачного материала (органического стекла) с низким коэффициентом теплопроводности.

Высота полости H и ее длина L приняты постоянными (при этом $H=L$) ширина воздушного зазора между рабочей плитой и холодильником может изменяться в процессе исследований переустановкой холодильника и заменой боковых стенок.

Основным элементом экспериментальной установки является рабочая плата, образующая в полости вертикальную поверхность. Плата состоит из источников теплоты и проставок, образующих единую плоскость.

Специальная конструкция пластинчатых источников теплоты обеспечивает изотермичность их поверхностей и

устойчивость при задании режимных характеристик.

Для изучения влияния теплопроводности материала платы на интенсивность теплоотдачи, проставки могут изготавливаться из различных материалов. На первом этапе исследования проводились с проставками, выполненными из оргстекла.

Деление рабочей платы на участки позволяет принять следующую нумерацию, начиная с нижнего торца: проставки № 1, 3, 5, 7, 9, 11 (нечетные), грелки - № 2, 4, 6, 8, 10 (четные). На плате устанавливается 5 источников теплоты. Тепловой поток в крайние проставки (нижнюю и верхнюю) поступает только односторонне от грелок №2 и №10, в то время как остальные проставки обогреваются с двух торцов.

Для определения условий теплообмена на поверхностях нагревателей и проставок их поверхности оснащены хромель-алюмелевыми термопарами (диаметр провода 0,2 мм).

Для уменьшения погрешности экспериментального исследования, вызванной утечками теплоты в окружающее пространство, физическая модель оснащена компенсационной платой, конструкция которой идентична рабочей. Эта плата вместе со вторым холодильником, боковыми и горизонтальными стенками образует компенсационную полость, которая работает аналогично рабочей. Такая конструкция позволяет полностью предотвратить утечки теплоты путем установки компенсационной платы симметрично рабочей и поддержания равенства температур на тыльных (расположенных друг против друга) поверхностях нагревательных элементов рабочей и компенсационной плат.

Идентичность граничных условий на поверхностях плат в рабочей и компенсационной полостях создает также одинаковые

распределения температур в проставках.

Для регулирования температур, плотностей теплового потока, мощностей каждого из источников теплоты предусмотрено автономное их включение к стабилизированным источникам питания. Информация об измеряемых температурах поступает в многоканальный преобразователь Ш711/1И.

Визуализация воздушных течений осуществляется при помощи встроенного "дымогенератора", который в требуемый момент исследования впрыскивает в полость перегретые пары машинного масла. Масляные пары движутся вместе с воздухом, что позволяет наблюдать воздушные течения, возникающие внутри полости.

Создано автоматизированное рабочее место (АРМ), представляющее собой совокупность физической модели, контрольно-измерительной аппаратуры и программного обеспечения для сопровождения эксперимента и интерпретации его результатов.

Персональный компьютер типа IBM PC/AT 386 с помощью специального интерфейса скомутирован с измерительным преобразователем Ш711/1И и оснащен созданным программным обеспечением. Функции, выполняемые автоматизированным рабочим местом:

- физическое моделирование процессов теплообмена в замкнутых полостях;

- постоянное слежение за ходом эксперимента с выводом на экран монитора текущей информации о значениях измеряемых параметров, графическая визуализация эксперимента, построение графиков изменения измеряемых параметров во времени (если

это необходимо).

-первичная обработка результатов эксперимента;

-интерпретация результатов эксперимента по заданным методикам с выводом их на экран монитора ЭВМ и на печать в виде графиков и таблиц, с возможностью занесения этой информации в долговременную память машины в удобной для дальнейшей обработки форме;

- накопление результатов исследования для анализа и обобщения.

Во третьей главе описана методика обработки результатов экспериментов методами решения обратных задач теплопроводности.

Для описания процесса теплообмена в составной плите в условиях идеального контакта между источниками теплоты и проставками в установившемся режиме уравнение теплопроводности в центральном сечении представлено в виде

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_i(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_i(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right) = 0, \quad i=I, II. \quad (1)$$

где i - номер участка (элемента) составной плиты,

λ_i - эффективная теплопроводность i -го участка.

Граничные условия на внешних поверхностях плиты, приняты для поверхностей:

I (нижний торец)

$$T_1 = T(0, y), \quad 0 \leq y \leq d,$$

II (обращена к холодильнику)

$$q_2 = -\lambda_i \frac{\partial T(x, d)}{\partial y} = q_1(x, d), \quad 0 \leq x \leq l,$$

III (верхний торец)

(2)

$$T_a = T(x, y), \quad 0 \leq y \leq d,$$

IV (тыльная, обращена к компенсационной плате)

$$q_4 = -\lambda_1 \frac{\partial T(x, 0)}{\partial y} = 0.$$

где d - толщина платы.

Поверхность II является рабочей, через которую с каждого i -го элемента (нагревателя или проставки) в полость камеры передается тепловой поток q_i . Поверхность IV теплокомпенсирована, и $q_4 = 0$.

Предложена методика решения ОЗТ с использованием метода спектральных функций влияния граничных воздействий, с помощью которой на поверхности II определяются локальные значения плотностей теплового потока, а также локальные значения коэффициентов конвекции ϵ_{ki} и эффективных коэффициентов теплоотдачи $\alpha(x)$, (т.е., учитывающих теплоотдачу поверхностей платы и холодильника) при $0 \leq x \leq L$. Свойства теплоносителя принимаются при средней температуре среды в полости.

Температуры в разных точках платы на поверхностях II и IV, измеренные при теплофизическом эксперименте являются исходными для решения ОЗТ.

Локальный эффективный коэффициент теплоотдачи представляется как

$$\alpha(x) = \frac{q_1(x) - q_4(x)}{\Delta T(x)},$$

где

$$q_1(x) = -\lambda \frac{\partial T}{\partial y}, \quad \Delta T(x) = T(x) - T_a(x),$$

$q_1(x)$ - общий тепловой поток с поверхности i -го элемента,
 $q_4(x)$ - лужистая составляющая теплоотдачи i -го элемента,

$T(x)$ - температура поверхности платы на высоте x для соответствующего элемента, $T_n(x)$ - температура поверхности холодильника на высоте x .

При подготовке к решению ОЗТ приближенно задается плотность теплового потока на поверхности платы. Описать его можно либо кусочно-постоянной функцией q_i , $i=1, \overline{11}$ для источников теплоты и проставок, либо комбинацией кусочно-постоянных функций для источников q_i , $i=2, 4, 6, 8, 10$ и кусочно-квадратичных функций для проставок q_i , $i=1, 3, 5, 7, 9, 11$.

Методика решения ОЗТ с применением метода спектральных функций влияния (СФВ) граничных воздействий заключается в выборе спектральных составляющих граничного воздействия $\varphi_j(\xi)$. Если распределение граничного воздействия i -го участка границы аппроксимировать функцией, представляющей собой линейную комбинацию типа

$$q_i(\xi) = \sum_{j=0}^n a_{ij} \varphi_j(\xi), \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{0, n}, \quad (4)$$

(ξ - координата вдоль контура границы), то задача сводится к определению параметров граничных воздействий a_{ij} путем решения системы линейных алгебраических уравнений

$$T(x_n, y_n) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^{m_i} a_{ij} W_{ij}(x_n, y_n), \quad S = \overline{1, N}, \quad (5)$$

где (x_n, y_n) - координаты расположения датчиков температуры; N - количество датчиков; $T(x_n, y_n)$ - температура, полученная в результате измерения, $W_{ij}(x_n, y_n)$ - спектральная функция влияния граничного воздействия, установленная в результате

решения задачи теплопроводности для тела платы при нулевых воздействиях на участках поверхностей ее элементов за исключением того участка, на котором задается составляющая воздействия $\Phi, (\xi)$.

Если количество точек необходимых наблюдений (измерений) N превышает количество искомым параметров $n_{\text{км}}$, используется точечный метод наименьших квадратов применительно к выражению (4).

Рассмотренный метод использован для определения ΓU на поверхностях проставок рабочей платы $i = I, 3, 5, 7, 9, II$.

Решение обратной задачи теплопроводности для тепловой модели платы выполняется по частям. Сначала определяются плотности тепловых потоков на поверхностях проставок. Затем вычисляются тепловые потоки на границах контактов проставок и источников теплоты. Наконец, определяются плотности тепловых потоков на поверхностях II нагревательных элементов.

В работе предложен ускоренный алгоритм решения ОЗТ, основанный на том, что для рассматриваемого диапазона температур теплопроводность материала проставок постоянна, а следовательно, спектральные функции влияния можно определить один раз и в дальнейшем использовать для решения ОЗТ с различными входными данными. При этом в памяти ЭВМ хранится не весь массив спектральных функций влияния, а только $W_i(x_k, 0.005)$, где x_k - координата точек наблюдения, и массивы во всех приграничных точках конечно-разностной аппроксимации модели, отстоящих на 0,5 шага от поверхностей контакта проставок с источниками теплоты, которые нужны для определения соответствующих плотностей тепловых потоков.

Локальный эффективный коэффициент конвекции представляется как

$$\alpha_i(x) = \epsilon_{ki} \cdot \frac{\lambda_{\text{ст}}}{\delta}, \quad (7)$$

где ϵ_{ki} локальный коэффициент конвекции, который определен в виде

$$\epsilon_{ki} = \frac{q_{\text{ст}i} - q_{\text{из}i}}{q_{\text{т}i}}, \quad (8)$$

где $q_{\text{ст}i}$ - плотность теплового потока с поверхности i -го элемента; $q_{\text{из}i}$ - плотность потока излучения i -го элемента; $q_{\text{т}i}$ - плотность теплового потока, передаваемого молекулярной теплопроводностью среды.

Предложена методика оценки погрешностей определения интенсивности теплообмена на поверхности составной платы, позволяющая установить интервал достоверности вычисления основных параметров. Она учитывает:

- возможный теплообмен между рабочей и компенсационной платами из-за недостаточной точности при измерениях температуры;

- погрешность измерения мощности тепловых источников;

- погрешность измерения температуры в разных точках рабочей платы и холодильника;

- погрешность измерения геометрических размеров составных элементов платы;

- погрешность определения координат мест установки датчиков температуры;

- недостаточная точность зависимости коэффициента теплопроводности органического стекла от температуры.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований в узких замкнутых полостях (ширина по-

лости δ изменялась от 5 до 25 мм), обогреваемых 5 источниками теплоты, на которых устанавливались или равные температуры ($T_1 = \text{const}$), или равные электрические мощности ($P_1 = \text{const}$). Подтверждены повторяемость результатов экспериментов, достоверность выбора двухмерной тепловой модели, адекватность задания тепловых режимов на каждом из источников теплоты.

Доказано, что на формирование пограничного слоя на поверхностях элементов платы, а, следовательно, и на локальные коэффициенты конвекции, влияют сложные циркуляционные течения внутри полости. Их фотографии приведены в диссертации.

Определено, что во всем исследуемом диапазоне конструктивных и режимных параметров ($P_1 = 0.15 - 2.0$ Вт, $b = 10, 15, 20$ мм, $\delta = 5 - 20$ мм, где b - высота источников теплоты) внутри полости, наряду с общими по контуру, образуются локальные циркуляционные течения, которые в значительной степени влияют на локальные значения интенсивности теплообмена.

За основной искомый критерий, позволяющий оценить долю естественной конвекции в общем процессе теплопереноса (без учета радиационной составляющей), принимается локальный коэффициент конвекции ($\epsilon_{\text{кл}}$). Определено, что данный коэффициент зависит от нескольких параметров:

$$\epsilon_{\text{кл}} = f(GrPr, \delta, b, Sk_x), \quad (3)$$

где Sk_x - координата расположения оси симметрии источника теплоты.

В ходе исследований были получены закономерности влияния каждого из указанных в правой части выражения факторов (с учетом особенностей формирования локальных циркуляционных

ных течений) на значения локального коэффициента конвекции.

Были проведены исследования в диапазоне изменения чисел Грасгофа от 200 до 60000 (при $Pr = \text{const} = 0.7$).

По результатам наблюдений этот диапазон был разбит на 4 интервала: 200-500, 500-3000, 3000-20000, 20000-60000.

В интервале чисел Грасгофа 200-500 конвекция отсутствует. Для $\epsilon_{\text{кл}}$ поверхностей источников теплоты в каждом из трех остальных интервалов изменения чисел Gr были получены уравнения подобия, в частности:

$$Gr = 500 - 3000$$

$$\epsilon_{\text{кл}} = 3.386 Gr^{0.022} (\delta) \cdot 10^{-0.11} (\bar{b})^{0.59} \quad (10)$$

$$Gr = 3000 - 20000$$

$$\epsilon_{\text{кл}} = 0.4536 Gr^{0.27} (\delta) \cdot 10^{-0.022} (\delta) \cdot 10^{-0.11} (\bar{b})^{0.59} \quad (11)$$

$$Gr = 20000 - 60000$$

$$\epsilon_{\text{кл}} = 5.536 Gr^{0.07} (\delta) \cdot 10^{-0.32} (\bar{b})^{0.119} \quad (12)$$

Средняя относительная погрешность абсолютных значений $\epsilon_{\text{кл}}$, полученных по этим зависимостям, не превышает 21 %, а среднее квадратичное отклонение - 0.76.

Если учитывать, что значения $\epsilon_{\text{кл}}$ могут изменяться в ходе одного эксперимента только по высоте полости в 5 - 7 раз, то для инженерных расчетов погрешность, получаемая по формулам, является приемлемой.

Т.о., при помощи полученных критериальных уравнений можно с достаточной точностью определять локальные коэффициенты конвекции, а, следовательно, и локальные значения конвективной составляющей теплоотдачи в условиях свободной конвекции в узких замкнутых полостях прямоугольного сечения с дискретно расположенными источниками теплоты.

3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ.

1. Разработана и создана универсальная физическая модель, позволяющая исследовать теплообмен в замкнутых полостях с дискретно расположенными источниками теплоты в широком диапазоне изменения конструктивных и режимных параметров: толщины воздушной прослойки, высоты источника теплоты, координаты расположения элемента плиты по ее высоте, а также теплового режима полости.

Теплопотери с тыльной стороны плиты предотвращены путем установки компенсационной плиты с полостью, конструктивно повторяющей рабочую.

Заложена возможность для визуального наблюдения за течением теплоносителя.

2. Создан экспериментальный стенд в составе автоматизированного рабочего места на базе персонального компьютера, при помощи которого можно не только контролировать ход эксперимента, проводя первичную обработку информации, но и, используя методику интерпретации результатов эксперимента, сразу получать как локальные значения искомых величин (чисел Грасгофа, перепадов температур, эффективных коэффициентов теплоотдачи и локальных коэффициентов конвекции), так и графические зависимости между отдельными параметрами. Данные экспериментальных исследований автоматически сохраняются, систематизируются по определенным классификационным признакам; и могут использоваться для дальнейшего анализа и обобщения.

3. Разработана математическая модель теплообмена составной плиты с дискретными тепловыми источниками, являющейся одной из вертикальных стенок узкой замкнутой полости.

4. Предложена методика интерпретации результатов экспериментальных исследований в форме решения обратной задачи теплопроводности с применением метода спектральных функций влияния граничных воздействий, позволяющая устанавливать функциональную связь между входными воздействиями (плотностями тепловых потоков) и выходными параметрами (температурами поверхностей).

5. Разработана методика определения интенсивности теплообмена на поверхностях платы.

6. Реализован алгоритм ускоренного решения СЗТ, позволяющий значительно сократить необходимые объемы памяти и машинное время при расчетах.

7. Предложена методика определения локальных значений коэффициентов конвекции и эффективных коэффициентов теплоотдачи.

8. Разработана методика определения погрешности экспериментального исследования теплообмена в замкнутой полости с локальными источниками теплоты.

9. В исследуемом диапазоне режимных и конструктивных параметров замкнутых полостей с дискретно расположенными источниками теплоты определены локальные значения коэффициентов конвекции.

10. Установлено, что на значение величины ek большое влияние оказывает характер течения теплоносителя внутри полости, особенно, наличие и расположение локальных циркуляционных зон.

II. Проведен анализ влияния на величину локального коэффициента конвекции толщины воздушной прослойки, числа Грасгофа, координаты расположения источ-

ников теплоты и их геометрических размеров (высот). Ока- залось, что в различных диапазонах числа Грасгофа характер влияния каждого из указанных параметров различен.

12. Получены регрессионные уравнения для определения локального коэффициента конвекции как функции числа Грасгофа и относительных величин: ширины замкнутой полости, высоты и координаты расположения источника теплоты.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ отражено в следующих опубликованных работах:

1. Кравченко О. В. Анализ результатов экспериментально-расчетных исследований теплообмена при естественной конвекции в узких замкнутых полостях с дискретно расположенными источниками теплоты - Харьков, 1995. - 27 с. - (Препринт/ НАН Украины. Ин-т проблем машиностроения; № 381).

2. Кравченко О. В., Мацевитый Ю. М., Цакания О. С. Моделирование теплообмена при естественной конвекции в замкнутых полостях с дискретно расположенными источниками теплоты. - Харьков, 1995. - 38 с. - (Препринт/ НАН Украины. Ин-т проблем машиностроения; № 382).

3. Кравченко О. В. Теплообмен при свободной конвекции в герметичных полостях прямоугольного сечения с пластинчатыми источниками тепла // Тез. докл. научн.-техн. конф. молодых ученых и специалистов Ин-та проблем машиностроения АН УССР. - Харьков, 1990. - С. 17.

SUMMARY

Kravchenko O. V. Natural Convective heat transfer in square enclosure with discretely located sources of heat. This is manuscript for finding of the akademik degree of a candidat of of science on the speciality 05.14.05-

theoretical thermal engineering, Institute for Problems in Machinery National Academy of Sciences of the Ukraine, Kharkov, 1995.

With the help physical and mathematical modelling of equations for definition of the local characteristics of heat-exchange in square enclosure with discretely located sources of heat.

АННОТАЦИЯ

Кравченко О. В. Теплообмен при естественной конвекции в замкнутых полостях с дискретно расположенными источниками теплоты. Диссертация является рукописью, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.05 - теоретическая теплотехника, Институт проблем машиностроения НАН Украины, Харьков, 1995.

При помощи физического и математического моделирования получены критериальные уравнения для определения локальных характеристик теплообмена в замкнутых полостях, обогреваемых дискретно расположенными источниками теплоты.

Ключові слова: фізична модель, моделювання, теплообмін, вільна конвекція, коефіцієнт конвекції, теплопровідність, дискретні джерела теплоти, спектральні функції.

Ответственный за выпуск: К. т. н. С. Ф. Пуштенко.

Подписано к печати 27.09.95. Формат 60 x 90 1/16. Бумага
тип. И. Услов. печ. л. 1. 0. Уч. - изд. л. 0. 96. Тираж 110 экз. Заказ 234

Ротапринт ИШМаш НАН Украины

310046, Харьков -46, ул. Ша. Погарского, 2/10

444870

AB 33.176