

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛО- И ХЛАДОТЕХНИКИ

УДК 536.212.2

АНИЗОТРОПИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Н.А. Баулин

Научный руководитель – к.т.н., доцент В.И. Егоров

Большинство алгоритмов разводки многослойных печатных плат используют ортогональное расположение печатных проводников на соседних слоях. Оценка коэффициента теплопроводности одного слоя печатной платы промоделирована численными методами.

Исследовано влияние геометрических параметров медных проводников и слоя диэлектрика. Варьировались следующие геометрические параметры проводников: толщина и ширина медного проводника, расстояние между медными проводниками. Получены зависимости теплопроводности одного слоя печатной платы при ориентации источника теплоты вдоль и поперек медных проводников.

Увеличение ширины проводника в четыре раза приводит к увеличению поперечной величины теплового сопротивления на 37%, а в продольной – на 333%.

При увеличении толщины проводника в два раза поперечное сопротивление уменьшилось на 51%, а продольное – на 50%.

При увеличении расстояния между проводниками в 6 раз поперечная величина сопротивления уменьшилась на 50%, а продольная – также на 50%.

Полученные данные позволят оптимизировать тепловое сопротивление печатных плат специального назначения при разработке программ при трассировке печатных плат с электронными компонентами значительной мощности.

С помощью этих расчетов можно оценить эффективный коэффициент теплопроводности композиционного материала (печатные платы).

УДК 536.629.7

РЕШЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

И.А. Сиваков, М.А. Борисов

Научный руководитель – д.т.н., профессор Н.В. Пилипенко

Развитие авиационной и космической техники требует совершенствования методов расчета и обеспечения тепловой защиты летательных и космических аппаратов, которое связано с решением задач прикладной нестационарной высокочастотной и высокотемпературной теплотрии – определения плотности локального теплового потока на поверхности объекта исследования. Исследования в области аэрокосмической техники наряду с вычислительным экспериментом сопровождаются испытаниями в аэродинамических трубах.

Особенностью процессов в импульсных аэродинамических трубах является короткое время проведения эксперимента и высокая плотность нестационарного теплового потока. Для решения обратной задачи теплопроводности необходимо измерение температуры

датчика, расположенного либо на поверхности объекта, либо на определенной его глубине.

В настоящее время для прикладной теплотметрии широко используются различного типа датчики тепловых потоков, которые, как правило, представляют собой автономные достаточно миниатюрные устройства с одномерным теплопереносом. Однако в отдельных практически важных случаях теплоперенос в исследуемых объектах не является одномерным.

В работах [1–3] для определения нестационарного теплового потока предлагается использовать метод параметрической идентификации, хорошо показавший себя в ряде задач, связанных с энергосбережением и восстановлением лучисто-конвективных нестационарных тепловых потоков, но применение этого метода ограничено одномерными задачами.

В настоящей работе предлагается расширение метода параметрической идентификации для случая многомерного теплопереноса. Для этого дифференциально-разностная аппроксимация исследуемого объекта заменяется конечно-элементной, а для нахождения оптимальных оценок теплового потока используются известные методы решения систем алгебраических уравнений с разреженными матрицами (разложение Холецкого, метод сопряженных градиентов, обобщенный метод минимальных невязок (GMRES) и т.д.).

Такой подход позволяет решать обратные задачи с учетом многомерного теплопереноса в исследуемом объекте, а результаты решения в дальнейшем позволяют упростить постановку и повысить точность решения задач вычислительной гидрогазодинамики.

В качестве иллюстрации предлагаемого метода в настоящей работе рассмотрено решение двумерной нестационарной обратной задачи теплопроводности. В рассматриваемом случае изначально решалась прямая задача теплопроводности (ПЗТ) с известными граничными условиями, на основании решения которой были сформированы граничные условия для решения нестационарной ОЗТ (задавалось изменение температуры во времени на границах модели). Внешний вид объекта и граничные условия для прямой и обратной задачи приведены на рис. 1.

При решении прямой задачи рассматривалась однородная область (рис. 1, а) со следующими теплофизическими свойствами: $\lambda = 60$ Вт/(м·К), $c = 435$ (Дж/кг·с), $\rho = 7850$ кг/м³ и граничными условиями: $q_1(\tau) = 500 \cdot \sin(0,1 \cdot \tau) + 500$ Вт/м², $q_2(\tau) = 200 \cdot \sin(0,1 \cdot \tau) + 200$ Вт/м², тепловые потоки на остальных гранях равны нулю.

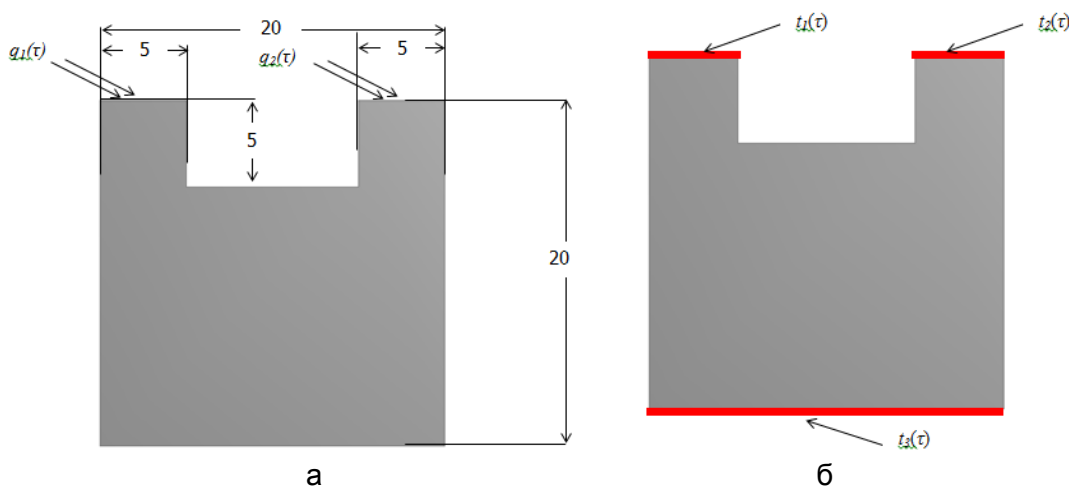


Рис. 1. Иллюстрация к тепловой модели для прямой (а) и обратной (б) задач теплопроводности

Результаты решения прямой и обратной нестационарных задач теплопроводности представлены на рис. 2. Из представленных графиков видно хорошее качественное и количественное совпадение результатов решения ОЗТ с граничными условиями ПЗТ.

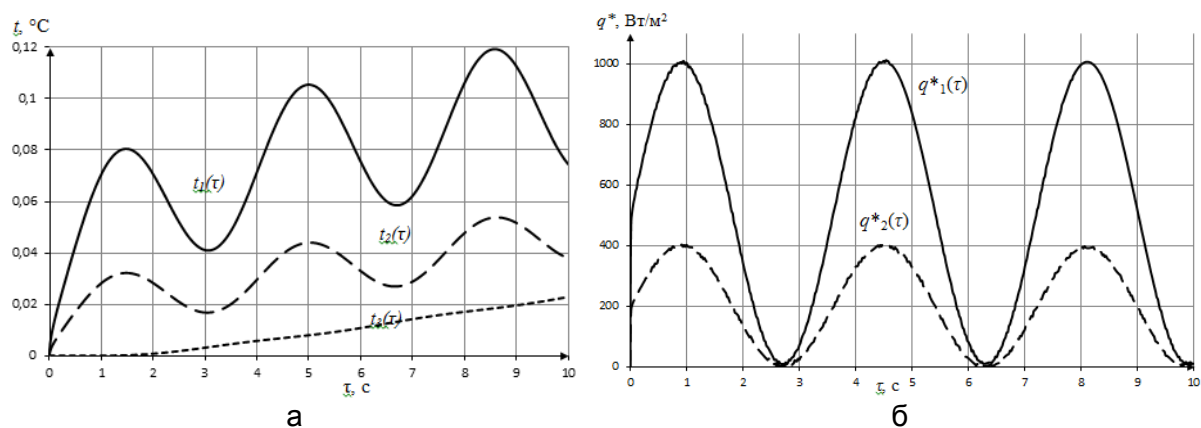


Рис. 2. Результаты решения прямой (а) и обратной (б) нестационарных задач теплопроводности

Заключение. Представлен метод решения нестационарной обратной задачи теплопроводности с использованием метода конечных элементов для случая многомерного теплопереноса в исследуемых объектах.

Приведены результаты решения прямой и обратной нестационарных задач теплопроводности для двухмерного случая, показывающие возможность применения предложенного метода на практике.

Предложенный метод восстановления нестационарных тепловых потоков может быть интересен для решения ряда задач, возникающих в аэрокосмической промышленности, при расчете лопаток турбин и в энергоемких областях, когда теплоперенос в объекте нельзя считать одномерным.

Литература

1. Пилипенко Н.В., Сиваков И.А. Метод определения нестационарного теплового потока и теплопроводности путем параметрической идентификации // Измерительная техника. – 2011. – № 3. – С. 48–51.
2. Сиваков И.А. Исследование возможности применения батарейных приемников теплового потока в нестационарной теплометрии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2012. – № 5(81) – С. 134–138.
3. Сиваков И.А., Пилипенко Н.В., Гладских Д.А. Решение коэффициентной обратной задачи теплопроводности при определении тепловых потерь зданий и сооружений // Сборник материалов Второй Международной научно-технической конференции «Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ». – СПб. – 2012.

УДК 621.3

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕРМОЭЛЕКТРИКОВ

А.И. Шкиндер, Е.В. Ларченко, А.Б. Головкин

Научные руководители: к.т.н., доцент А.В. Новотельнова; ст. преподаватель А.В. Асач

В настоящее время у термоэлектрических материалов имеется три основных области применения. Они используются для преобразования тепла в электричество (термоэлектродвигатели), термоэлектрического охлаждения и для измерения температур от абсолютного нуля до тысяч градусов.

Современные термоэлектрические материалы, применяемые в промышленности,

представляют собой сплавы металлов или химические соединения (селениды, теллуриды, оксиды, фосфиды и пр.), обладающие выраженными термоэлектрическими свойствами.

Наиболее перспективные материалы для использования для преобразования тепла в электричество и термоэлектрического охлаждения представляют собой полупроводниковые материалы. Важной технической задачей при создании новых термоэлектрических материалов является анализ их свойств.

Экономичность термоэлемента, а также максимальное снижение температуры на спаях зависят от эффективности (добротности) полупроводникового вещества $Z = \alpha^2 \sigma / k$, в которую входят удельная электропроводность σ , коэффициент Зеебека α и удельная теплопроводность k . Поэтому для оценки добротности новых термоэлектрических материалов необходимо экспериментально определять значения электропроводности, теплопроводности и коэффициента Зеебека. Точное определение каждого из этих параметров является сложной технической задачей.

В настоящей работе проанализированы известные из литературы методы исследования свойств термоэлектрических материалов, используемые для определения электропроводности, теплопроводности, коэффициента Зеебека.

В работе исследовано устройство лабораторной установки LSR-3 (Linseis) и используемых в ней методик определения параметров термоэлектрических материалов. Данная установка позволяет определять электропроводность и коэффициент Зеебека термоэлектриков.

Процесс измерения параметров происходит в среде инертного газа (гелия). Измерение электропроводности производится двухзондовым методом (для металлов и сплавов) и четырехзондовым методом (для полупроводниковых материалов).

Для измерения температурной зависимости электропроводности и коэффициента Зеебека предусмотрен радиальный нагрев измерительной камеры. Для определения коэффициента Зеебека образец дополнительно нагревается с помощью нагревателя создающего градиент температур вдоль цилиндрического образца. Измерение возникающей при этом термоэдс осуществляется с использованием электродов термопар.

В докладе приводятся экспериментальные данные определения теплофизических параметров образцов термоэлектрических материалов.

УДК 536.2

СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ТОЧНОСТЬ ПОКАЗАНИЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ

Д.С. Громов

Научный руководитель – д.т.н., профессор А.В. Шарков

Постановка задачи. Гирскопические приборы активно применяются во многих областях современной техники. Навигация, особенно высокоточная, – одна из них. Гирскопические приборы различаются по типу используемых чувствительных элементов, физическим принципам работы и, соответственно, по точности показаний и областям применения. Волоконно-оптический гироскоп (ВОГ), основанный на эффекте Саньяка – один из наиболее активно развивающихся и перспективных типов гироскопов. Ожидается, что бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС) на базе ВОГ в самое ближайшее время будут способны заменить более сложные и дорогие приборы в области прецизионной навигации в диапазоне точностей 10^{-2} – 10^{-30} /час. Известно, что обеспечение данной точности требует стабильности температуры по волоконному контуру на уровне 0,01 К, что является крайне сложной задачей.

Целями работы являются:

- обзор существующих методов снижения влияния температурных воздействий на точностные характеристики ВОГ;
- описание преимуществ и недостатков алгоритмической компенсации температурных воздействий;
- расчеты тепловых режимов ВОГ, производимых «ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»»;
- разработка методов термостатирования рассматриваемых ВОГ;
- выработка выводов и рекомендаций по оптимизации конструкций рассматриваемых ВОГ в целях снижения влияния внешних источников тепла на точность их показаний.

Базовые положения исследования. Существует два основных способа снижения влияния температурных воздействий на точность показаний ВОГ: алгоритмическая компенсация и термостатирование ВОГ с оптимизацией его конструкции. Преимущества и недостатки каждого из методов рассмотрены в настоящей работе. Алгоритмическая компенсация ВОГ активно применяется в «ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»», но в настоящий момент не позволяет достичь требуемых точностей показаний гироскопов $0,01^\circ/\text{час}$. Ожидается, что термостатирование ВОГ и принятие мер по оптимизации его конструкции сможет значительно выровнять градиенты температур в приборе вне зависимости от внешних температурных воздействий и, совместно с уже разработанными методами алгоритмической компенсации, поможет достичь точностей показания гироскопа $0,01^\circ/\text{час}$ и даже больше.

Результаты расчетов, выводы и рекомендации. В работе описаны результаты исследования тепловых режимов разработанных в «АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»» волоконно-оптических гироскопов интерферометрического типа с помощью современного программного обеспечения. Разработаны в первом приближении тепловые модели гироскопов. Приведены полученные распределения температур по поверхностям интерферометров в стационарном состоянии и графики изменения температуры во времени в наиболее значимых точках при изменяющейся температуре окружающей среды, оценены градиенты температур по поверхностям интерферометров, проведено сравнение полученных значений с результатами экспериментов и сделаны выводы о точности созданной тепловой модели. Приведены рекомендации по оптимизации конструкции и разработке системы термостатирования в целях уменьшения градиентов температур по поверхностям интерферометров, проведено компьютерное моделирование ВОГ с учетом предлагаемых доработок, и оценена их практическая значимость.

Заключение. В работе описаны методы снижения влияния температурных воздействий на точность показаний волоконно-оптических гироскопов. Исследованы тепловые режимы волоконно-оптического гироскопа интерферометрического типа, разработана система термостатирования ВОГ и выработаны рекомендации по обеспечению его оптимального теплового режима. Настоящая работа вносит существенный вклад в решение задачи обеспечения стабильности показаний ВОГ на уровне $0,01^\circ/\text{час}$ и точнее.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ СВОБОДНО КОНВЕКТИВНЫХ КОНТУРОВ ОКОЛО ТЕПЛОАГРУЖЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ.

В.В. Данин

Научный руководитель – д.т.н., профессор О.Б. Цветков

Вступление. Свободно-конвективное охлаждение поверхностей имеет большое значение для многих технологических процессов. Анализ проведенных работ показывает, что эта область является крайне мало изученной, как в экспериментальном, так и в теоретическом плане.

Постановка задачи. Опыт численного моделирования пристенных свободно-конвективных течений применяемых в пакетах программ типа ANSYS, Fluent и аналогиях Рейнольдса между переносом импульса и тепла указывает на первичную и определяющую роль в свободно-конвективных турбулентных потоках именно тепловых факторов. Для свободно-конвективных турбулентных течений целесообразно отказаться от аналогии Рейнольдса, которая широко используется в программных продуктах типа ANSYS, Fluent. Трудности возникают при реализации экспериментальных установок, способных обеспечить высокостабильный свободно-конвективный поток в течение достаточно больших промежутков времени. В мире насчитывается не более пяти крупномасштабных установок (Япония, Франция, США, Россия), способных генерировать турбулентное течение при значениях числа Грасгофа порядка 10^{11} , в том числе единственная в России. На ней проведены исследования вертикальной пластины (4,95 м) и реализованы все три режима течения: ламинарный, переходный и развитый турбулентный, вплоть до значения числа Грасгофа: $Gr = 5 \times 10^{11}$ (Ю.С. Чумаков).

В литературе для расчета локальной и средней теплоотдачи при свободно-конвективном течении воздуха около вертикальных поверхностей для турбулентного режима существуют зависимости вида $Nu = cRa^n$, где коэффициент n по данным различным источников отличается до полутора раз. Дан анализ значительных разбросов в коэффициентах, обусловленных, по мнению авторов, недостаточным учетом влияния радиационной составляющей теплообмена. Авторами отмечено крайне незначительный объем экспериментальных данных по исследованию теплообмена при свободно-конвективном течении воздуха около вертикальных поверхностей.

Практические результаты. Создан экспериментальный стенд для изучения конвективных контуров, в качестве объекта исследования использовалась металлическая труба диаметром 50 мм, длиной 6 м. Нагрев или охлаждение исследуемого объекта осуществлялся с помощью вихревой трубы Ранка, которая является безынерционным источником тепла и холода. С ее помощью, возможно, также провести исследование по нагреву охлажденного объекта. Экспериментальные исследования проводились на объекте горизонтально и вертикально. Экспериментальный стенд позволил смоделировать и получить экспериментальные данные для нескольких режимов течения (ламинарный, переходной, турбулентный).

Выводы. Дан анализ различия в опытных данных по коэффициенты теплоотдачи при свободной конвекции по данным различных исследований. Отмечены возможные причины расхождения:

- погрешности обусловлено неточностью определения лучистой составляющей теплового потока из-за неправильной оценки степени черноты;
- неточность определения градиента температур вблизи стенки и температуры стенки путем

экстраполяции температуры воздуха в пограничном слое на стенку.

Литература

1. Пчелкин И.М. Теплоотдача вертикальных труб при естественной конвекции // Конвективный и лучистые теплообмен. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – С. 56–64.
2. Чумаков Ю.С. Экспериментальное исследование свободноконвективного течения около вертикальной поверхности // Научно технические ведомости. – 2004. – № 2(36). – С. 103–116.
3. Nata K., Takeuchi Y., Nama K., Shiotsu M., Shirai Y., Fukuda K. Natural convection heat transfer from a vertical cylinder in liquid sodium // 7th International Conference on Nuclear Engineering Tokyo, Japan. – 1999. – P. 185–196.

УДК 536.2.022

НЕСТАЦИОНАРНОЕ ПРОХОЖДЕНИЕ ТЕПЛА ЧЕРЕЗ МНОГОСЛОЙНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

А.В. Коцкович

(Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского)

Научный руководитель – профессор П.П. Рымкевич

(Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского)

В сложных условиях эксплуатации различные элементы космических аппаратов (КА) подвергаются переменным температурным и влажностным воздействиям. Распределение температур по толщине конструкции – одна из основных задач тепломассопереноса. Корректное решение изучаемой проблемы позволяет прогнозировать распределение температур внутри КА и тем самым упрощает управление и эксплуатацию различных элементов космических систем.

Классические методы теории теплопроводности широко известны, тем не менее, при решении ряда задач нестационарной теплопроводности и тепловой устойчивости возникает ряд проблем, приводящих к существенному отличию теории от экспериментально наблюдаемых результатов. Возникает ряд вопросов при расчете многослойных материалов, широко используемых в последнее время с различными теплопроводными включениями. Одна из проблем – это корректное задание граничных условий на границе раздела сред. Однако, это не единственная проблема. Классическое уравнение теплопроводности в некоторых случаях «перестает» точно описывать теплоперенос. «Исправлению» уравнения теплопроводности посвящено достаточно много работ. Первым, кто предложил использовать уравнение Фурье с демпфером (чтобы избежать парадокса с бесконечной скоростью тепла, присущего всем уравнениям параболического типа) был Дж. Максвелл.

В данной работе будут рассмотрены те физические принципы, которые и объясняют наблюдаемые расхождения расчетных и экспериментальных значений тепловых потоков и температур в различных элементах КА.

Прежде всего, следует отметить, что большинство материалов, из которых состоят исследуемые конструкции, имеют гетерогенное строение. Однако даже для однородной гомогенной среды имеется не один механизм передачи тепла. Переносимую часть внутренней энергии можно трактовать как неравновесный фононный газ, диффундирующий в общем случае по разным механизмам (в твердых телах имеются не менее двух мод колебаний – продольные и поперечные волны).

Автором работы предложен новый метод решения задач нестационарной теплопроводности, основанной на вероятностных методах общей теории переноса. В данной работе рассмотрен лишь простейший перенос тепла через плоскую конструкцию. Процесс

передачи тепла с позиции современной физики можно рассматривать как диффузию аддитивного скалярного свойства – тепловой энергии, имеющего внутреннюю структуру.

Общий анализ предложенной математической модели теплопереноса позволяет сделать следующие выводы:

- в нестационарном решении теплообмен, потоки тепла и поле температур могут существенно отличаться от расчетных с одним стационарным коэффициентом теплопроводности;
- для тонких слоев материала возможен так называемый «масштабный эффект», т.е. зависимость интегрального стационарного коэффициента теплопроводности от толщины образца;
- характер решения системы зависит от структуры падающего потока тепла, т.е. требуется более корректное задание граничных условий;
- целесообразно для основных материалов, используемых в КА, экспериментально исследовать их тепловые характеристики в динамическом режиме теплопереноса.

УДК 66.045.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ В АППАРАТАХ С ОЧИЩАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ПРИ ОБРАБОТКЕ ВЯЗКИХ СРЕД С ПСЕВДОПЛАСТИЧНЫМИ СВОЙСТВАМИ

А.Ю. Круподеров

Научный руководитель – д.т.н., профессор Л.К. Николаев

Знания тепловых закономерностей при обработке аномально-вязких пищевых продуктов в аппаратах с очищаемой поверхностью создадут предпосылки для усовершенствования их конструкции и повышения производительности путем интенсификации тепловых процессов в этом оборудовании.

Интенсификация производственных процессов в различных отраслях пищевой промышленности является общепризнанным направлением научно-технического прогресса. Поэтому поиск новых способов интенсификации тепловых процессов на основе выполнения научных исследований и разработка более эффективных видов теплообменных аппаратов с очищаемой поверхностью теплообмена является значимой задачей. С учетом отмеченного проблема установления закономерностей тепловых процессов, происходящих в теплообменных аппаратах с очищаемой поверхностью и основанных на прогрессивных и эффективных способах их интенсификации при обработке вязких пищевых продуктов, которые обладают свойствами неньютоновской псевдопластичной среды, представляет научный и практический интерес.

Весьма перспективным при тепловой обработке вязких продуктов является использование аппаратов с очищающими устройствами. Такие устройства обеспечивают механическую и гидродинамическую турбулизацию пристенных слоев обрабатываемых продуктов, оказывающих существенное термическое сопротивление при осуществлении тепловых процессов. Знание реологических характеристик продуктов является одним из важных факторов позволяющих создавать более совершенное и высокопроизводительное оборудование, обоснованно производить расчеты и правильно выбирать оборудование.

В связи с изложенным, установление закономерностей тепловых процессов в рассматриваемом оборудовании является актуальным.

Цель работы – выявление общих закономерностей тепловых процессов при обработке вязких и аномально вязких продуктов с неньютоновскими псевдопластичными свойствами в поточных аппаратах с перемешивающими устройствами. Вопросом определения теоретической зависимости тепловых процессов в оборудовании с очищающими

перемешивающими устройствами занимались такие исследователи как: Брагинский, Конвисер, Никонов, Романков, Kool, Latinen. В своих работах они теоретически определяли коэффициент теплоотдачи на стороне обрабатываемого продукта путем решения уравнения Фурье. Однако данные экспериментальных исследований демонстрируют коэффициент теплоотдачи в 2–8 раз меньший. Этот факт можно объяснить неполнотой перемешивания счищенных пристенных слоев, а также недостаточно полным прилеганием скребковых устройств к теплообменной поверхности.

Опубликованные теоретические и экспериментальные данные по теплообмену на стороне обрабатываемого продукта в аппаратах с перемешивающими устройствами нередко противоречивы, что не позволяет иметь единого мнения по рассматриваемому вопросу. В некоторых работах в качестве обрабатываемой среды использовалась вода, хотя известно, что большинство пищевых и многих непищевых вязких продуктов обладают неньютоновскими псевдопластичными свойствами. В связи с этим необходимо проведение экспериментальных исследований теплообменного аппарата с очищаемой поверхностью.

Литература

1. Конвисер И.А. Теплообмен в аппаратах с очищаемой поверхностью при охлаждении вязких пищевых продуктов // Холодильная техника. – 1971. – № 1. – С. 16–20.
2. Рогов Б.А. Технологическое: оборудование для производства жировой продукции. – СПб: СПбГУНиПТ, 2005. – 181 с.
3. Романков П.Г., Фролов В.Ф. Теплообменные процессы химической технологии. – Л.: Химия, 1982. – 288 с.

УДК 536.1

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСБОРА ДЛЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

В.А. Крылов, А.А. Никитин

Научный руководитель – д.т.н., профессор И.В. Баранов

В понятие возобновляемые источники энергии включаются следующие формы энергии: солнечная, геотермальная, ветровая, энергия морских волн, течений, приливов и океана, энергия биомассы, гидроэнергия, низкопотенциальная тепловая энергия и другие виды возобновляемой энергии.

Остановимся более подробно на двух формах возобновляемой энергии: геотермальной и низкопотенциальной.

Ресурсы геотермальной энергии разделяются на гидрогеологические и петрогеотермальные. Первые из них представлены теплоносителями (составляют всего 1% от общих ресурсов геотермальной энергии) – подземными водами, паром и пароводяными смесями. Вторые представляют собой геотермальную энергию, содержащуюся в раскаленных горных породах.

Среди возможных источников низкопотенциальной тепловой энергии можно выделить следующие: окружающий воздух, грунт поверхностных слоев Земли, водоемы и природные водные потоки, вентиляционные выбросы зданий и сооружений, канализационные стоки, сбросное тепло технологических процессов. В дальнейшем, в качестве источника низкопотенциальной теплоты, более подробно будет рассматриваться грунт поверхностных слоев Земли, так как его использование, в качестве источника тепла низкого потенциала, в почвенно-климатических условиях России является наиболее перспективным.

Основной недостаток геотермальной энергии – необходимость обратной закачки отработанной воды в подземный водоносный горизонт. Отмеченный недостаток приводит к

значительным капитальным затратам на бурение скважин, обратную закачку отработанной геотермальной воды, а также на создание коррозионно-стойкого теплотехнического оборудования. В тоже время капитальные затраты на бурение скважин при использовании низкопотенциальной энергии ниже. Это связано в первую очередь с глубиной бурения (для использования низкопотенциальной энергии глубина скважин достигает в среднем 100 м, в то время как для использования геотермальной энергии эта глубина в среднем составляет 5 км).

В качестве устройства переноса тепловой энергии от источника низкопотенциальной тепловой энергии (с низкой температурой) к потребителю (теплоносителю с более высокой температурой) используется тепловой насос.

Рассмотрим один из основных элементов теплонасосной системы систему сбора низкопотенциального тепла (систему теплосбора). В качестве такой системы используется геотермальный теплообменник. Независимо от типа теплообменника (различают вертикальный и горизонтальный теплообменники) основными характеристиками его расчета являются теплофизические характеристики ($\lambda_{гр}$, C_v) грунта.

На сегодняшний день производители теплонасосных систем рекомендуют принимать величину удельного теплового потока с одного погонного метра скважины в диапазоне от 20 до 150 Вт/пм. Получение более точных показателей удельного теплового потока является весьма актуальной на сегодняшний день проблемой, так как этот показатель напрямую влияет на технико-экономические показатели теплообменника. Для решения данной проблемы планируется оптимизация методик расчета геотермального теплообменника. Разрабатываемая методика предполагает бурение пробной скважины на проектируемом объекте, определение теплофизических свойств грунта, участвующего в теплообмене, и оптимизация расчетов и конструкций геотермальных теплообменников. Для определения теплофизических свойств грунта рекомендуется использовать приборы, разработанные на кафедре физики Института холода и биотехнологий НИУ ИТМО.

Литература

1. Васильев Г.П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли: монография. – М.: Издательский дом «Граница», 2006. – 176 с.
2. Рей Д., Макмайкл Д. Тепловые насосы: Пер. с англ. – М.: Энергоиздат, 1982. – 224 с.
3. Безруких П.П., Арбузов Ю.Д., Борисов Г.А. и др. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России – СПб: Наука, 2002. – 314 с.

УДК 66.045.1

РАСЧЕТНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ РАСХОДУЕМОЙ ЭНЕРГИИ В ОБОРУДОВАНИИ С ОЧИЩАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

А.В. Кузнецов

Научный руководитель – д.т.н., профессор Л.К. Николаев

В молочной, мясной и консервной промышленности широкое применение получило оборудование с очищаемой поверхностью. Оно представляет из себя теплообменные аппараты емкостного или поточного принципа действия со скребками, непрерывно счищающими пристенный слой как холодного, так и горячего продукта. Существует следующая классификация оборудования с очищаемой поверхностью: вотаторы, фризеры, маслообразователи, кристаллизаторы и др.

Создание высокоэффективного оборудования с очищаемой поверхностью невозможно

без интенсификации гидродинамических и тепловых процессов, что, в свою очередь, требует проведения исследований, и на их основании получение расчетных зависимостей процессов, проходящих в этом оборудовании. Расход энергии на перемешивание продукта зависит от нескольких факторов: конструкции аппарата, его геометрических и кинематических параметров, теплофизических и реологических характеристик самого продукта и т.д. [1].

Исследования различными авторами потребляемой мощности выявили определенные закономерности, влияющие на эффективность оборудования с очищаемой поверхностью, таких как: угол установки скребков на ометаемой поверхности, наружные и внутренние размеры краев скребков, их количество, эффективная ширина лопасти скребков, вязкость обрабатываемой среды, частота оборотов вала со скребками, температура обрабатываемой среды. Также, одним из определяющих критериев эффективности оборудования с очищаемой поверхностью является зазор между стенкой аппарата и скребком, так как в процессе работы образуется накипь или налесь исследуемой среды на внутренней стенке, что негативно влияет на теплообменный процесс, ввиду их низкой теплопроводности [2].

Анализируя данные ряда исследований можно сказать, что в них не всегда приводятся данные об устройстве емкостей и рабочих органов оборудования с очищаемой поверхностью, в некоторых работах не введен такой важный геометрический параметр как высота перемешивающего устройства [3]. По затронутому вопросу был опубликован ряд работ [4–7].

Литература

1. Арет В.А., Николаев Б.Л., Николаев Л.К. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции, Санкт-Петербург, 2009. – 448 с.
2. Брагинский Л.Н., Бегачев В.И., Павлушенко И.С. О теплообмене в аппаратах со скребковыми мешалками // ЖПХ. – 1964. – Т. 37. – № 9. – С. 1984–1988.
3. Николаев Л.К., Еловских Ю.П. Построение математической модели расходуемой мощности в поточных аппаратах с очищаемой поверхностью теплообмена // Межвузовский сборник научных трудов. – 1984. – 150 с.
4. Николаев Л.К., Орлов В.В., Удров А.В. Исследование теплопроводности сливочного сыра // Межвузовский сборник научных трудов. – 1981. – 155 с.
5. Николаев Б.Л. Обобщенное уравнение теплообмена и расходуемой энергии, учитывающие реологические характеристики пищевых продуктов, обрабатываемых в емкостном оборудовании // Материалы III международной конференции «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке». – 2007. – С. 597–603.
6. Николаев Л.К. Влияние градиента скорости сдвига и температуры на реологические характеристики плавленого сыра «Кисломолочный» // Материалы III международной конференции «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке». – 2007. – С. 593–596.
7. Регер Э.О., Лацер И. О расходе энергии, теплообмене и времени пребывания в реакторах со скребковыми мешалками в области ламинарного течения // Теоретические основы химической технологии. – 1981. – Т. 15. – Вып. 1. – С. 129.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКАНИРУЮЩЕЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ КАЛОРИМЕТРИИ

В.О. Палешко

Научный руководитель – д.т.н., профессор И.В. Баранов

Одним из методов термического анализа является дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК), что означает измерение разности тепловых потоков между исследуемым образцом и эталоном – термически стабильным материалом.

Теплота в методе ДСК определяется через тепловой поток, производную теплоты по времени. Тепловой поток измеряется как разница температур в двух точках измерительной системы в один момент времени. Измерения можно проводить как в изотермических условиях, так и в динамическом режиме при программируемом изменении температуры печи (калориметры такого типа называют «сканирующими»).

Принцип действия ДСК теплового потока основан на создании однородного температурного поля в печи калориметра. В сенсоре, выполненном в форме диска, распространяются равные тепловые потоки, направленные к исследуемому образцу и к эталону. Если теплоемкости сторон образца и эталона различаются или, если в образце происходит поглощение или выделение тепла, т.е. изменение тепловых потоков вследствие фазовых переходов или реакций, то все это приводит к возникновению температурного градиента внутри сенсора, являющегося хорошим проводником. Чувствительные температурные сенсоры регистрируют эти градиенты и измеряют, таким образом, очень быстро и точно любое изменение тепловых потоков. Такие отклонения отображаются на горизонтальной базовой линии калориметра в виде экзотермических или эндотермических пиков или ступеней и образуют кривую дифференциального теплового потока.

Метод ДСК может успешно использоваться для исследования, разработки и контроля качества пищевых продуктов, в том числе и материалов растительного происхождения. При текущем контроле пищевых материалов данный метод является экспрессным, требует лишь нескольких миллиграмм образцов, автоматизирован, поэтому является весьма привлекательным для их анализа. Одно сканирование может дать качественную и количественную информацию.

С использованием данного метода были проведены исследования теплоемкости образцов материалов растительного происхождения и проведен анализ полученных результатов.

Литература

1. Платунов Е.С., Баранов И.В., Буравой С.Е., Курепин В.В. Теплофизические измерения: учебное пособие / Под ред. Е.С. Платунова. – СПб: СПбГУНиПТ, 2010. – 738 с.
2. Калориметрия. Теория и практика: Пер. с англ./В. Хеммингер, Г. Хёне. – М.: Химия, 1990. – Пер. изд.: ФРГ, 1984. – 176 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕПЛАСТИКОВ

Д.В. Плужникова (Стерликова)

Научный руководитель – д.т.н., профессор И.В. Баранов

В настоящее время во многих отраслях человеческой деятельности применяется широкое разнообразие композиционных материалов, значения теплофизических характеристик (в большей степени теплопроводность), которых важны для правильного подбора материалов, обеспечивающего необходимые тепловые и эксплуатационные режимы для работы. Это в свою очередь влечет необходимость их экспериментального исследования и контроля при производстве и эксплуатации.

Цель работы заключается в выявлении закономерностей изменения теплопроводности композиционных материалов на основе углепластиков в диапазоне температур от -75 до 200°C . Последовательно решались следующие задачи:

- выбор метода исследования, отладка и совершенствование (модернизация) прибора ИТ- λ -400 (оснащение современными измерительными устройствами);
- оценка влияния контактного теплового сопротивления на поверхность образца на результат измерений, анализ способов его уменьшения;
- экспериментальное исследование температурной зависимости теплопроводности композиционных материалов в условиях монотонного разогрева образца.

Исследования проводились на приборе ИТ- λ -400, в основе работы которого лежит метод монотонного разогрева образца, разработанный под руководством проф. Е.С. Платунова.

Прибор был усовершенствован дополнением в его состав современных измерительных устройств. Метрологическая проверка прибора была проведена на веществах хорошо изученными теплофизическими характеристиками: медь (определение теплового сопротивления) и кварц (определение тепловой проводимости тепломера). Проведены экспериментальные исследования четырех образцов композиционных материалов на основе углепластика марок: КМУ-4Э, КМУ-4Л, КМУ-4У, КМУ-4К, КМКУ 2.120, КМКУ 2.120+ЛАВСАН. Среднеквадратическая погрешность определения теплопроводности по результатам трех опытов не превысила 10%. Полученные экспериментальные данные проанализированы и были переданы заказчику для дальнейших инженерных расчетов.

Литература

1. Кожевников И.Г., Новицкий Л.А. Теплофизические свойства материалов при низких температурах / Справочник. – М.: Машиностроение, 1982. – 328 с.
2. Платунов Е.С., Баранов И.В., Буравой С.Е., Курепин В.В. Теплофизические измерения: учебное пособие / Под ред. Е.С. Платунова. – СПб: СПбГУНиПТ, 2010. – 738 с.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА МОЩНОГО РАДИОЭЛЕКТРОННОГО КОМПЛЕКСА

В.А. Савенко

Научный руководитель – к.т.н., ст.н.с. В.А. Кораблев

В радиолокационной технике все шире находят применение фазированные антенные решетки (ФАР). Это антенны в виде группы антенных излучателей, в которых относительные фазы сигналов изменяются комплексно, так, что эффективное излучение антенны усиливается в каком-то одном, желаемом направлении и подавляется во всех остальных.

Основная задача проектирования ФАР РЛС заключается в размещении в малом объеме всей микроэлектроники приемного и передающего каналов. С этой целью элементы, относящиеся к каналу одного излучателя или группы излучателей ФАР, конструктивно оформляются в виде приема-передающего модуля (ППМ).

При разработке ППМ должны быть учтены задачи минимизации токопотребления, минимизации массогабаритных параметров модуля, сопряжения обмена данными управления и обязательно задача отвода тепла.

Целью работы было выяснить влияние расхода и перепада давлений охлаждающей жидкости на теплообмен в ППМ ФАР.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- провести обзор литературных источников, посвященных активным антенным фазированным решеткам;
- изучить устройство приема-передающего модуля ФАР;
- собрать макет системы обеспечения теплового режима 32-канального ППМ;
- провести исследования теплового режима макета;
- разработать тепловую и математическую модель ППМ;
- провести теоретические расчеты теплового режима ППМ;
- на основании экспериментальных данных дать рекомендации по выбору теплоносителя и его расхода.

В ходе работы был проведен обзор методик расчета теплообмена в ППМ ФАР, дано описание теплового макета ППМ и экспериментальной установки, на которой проводились исследования.

Канал охлаждения ППМ включался в замкнутый контур, состоящий из насоса, теплообменного аппарата «жидкость-воздух», расширительного бака, водосчетчика, манометров и байпаса, последовательно соединенных трубами.

Охлажденная жидкость с помощью насоса поступала на вход ППМ, проходила по каналу охлаждения, забирая тепло, которое выделяют микросхемы. Нагретая жидкость поступает в радиатор с двумя вентиляторами, где охлаждается и поступает снова на вход канала охлаждения ППМ.

В ходе опыта измерялись: расход охлаждающей жидкости, перепада давлений между входом и выходом канала охлаждения, температура окружающего воздуха, температура жидкости на входе и на выходе, температуры в точка на фланцах микросхем.

В ходе обобщения экспериментальных данных строились зависимости перепада температур между точкой измерения на фланце и температурой жидкости на входе в канал (тепловая характеристика ППМ) и перепада статических давлений между входом и выходом канала охлаждения от расхода охлаждающей жидкости (гидравлическая характеристика).

Полученные экспериментальные данные с помощью методов математической статистика сравнивались с данными полученными в ходе расчета по предложенной математической модели.

Также было проведено исследование теплового режима ППМ с помощью тепловизионной съемки.

После обобщения экспериментальных данных были выбраны оптимальные значения расхода охлаждающей жидкости и перепада статических давлений, необходимых для обеспечения нормального теплового режима ППМ.

С учетом выбранных параметров в ходе работы был предложен состав системы обеспечения теплового режима, а именно выбраны насос, теплообменный аппарат, вентиляторы, расширительный бак и измерительные приборы.

В ходе исследования были сделаны следующие выводы:

- гидравлическое сопротивление модуля существенно зависит от расхода теплоносителя: при его увеличении увеличиваются потери давления между входом и выходом канала. Расхождение между расчетными и экспериментальными данными не превышает допустимых пределов;
- нагревается транзистор 16 – первый по ходу движения теплоносителя. Интересно также отметить, что транзистор 1 нагрелся меньше, чем можно было ожидать. Расхождение между расчетными и экспериментальными данными не превышает 15%, что позволяет сделать вывод об адекватности предложенной модели;
- тепловизионное обследование 32-канального ППМ позволило сделать вывод о том, что практически все тепло выделяемое микросхемой уходит через фланец к трубе с охлаждающей жидкостью. Наблюдается незначительный отток тепла по другим путям.

УДК 536.242

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА МОЩНЫХ СВЕТОДИОДНЫХ ПРИБОРОВ

Т.Н. Соболевская

Научный руководитель – к.т.н., ст.н.с. В.А. Кораблев

Светодиодное освещение – перспективное направление технологии искусственного освещения, основанное на использовании в качестве источника света светодиодов. Эволюция светодиодного освещения тесно связана с технологическим развитием светодиода. Созданы сверхъяркие светодиоды, специально предназначенные для искусственного освещения.

В настоящее время светодиодное освещение находит все большее и большее распространение в сфере искусственного освещения, поскольку имеет неоспоримое превосходство перед традиционными лампами накаливания, галогенными и люминесцентными лампами. Светодиодное освещение позволяет существенно сократить расходы на потребляемую электроэнергию, а источники света, применяемые для светодиодного освещения, имеют очень большой срок службы, излучаемый при этом световой поток, слабо нагревает окружающие предметы. Все это позволяет использовать светодиодные светильники для эффективного и повсеместного освещения жилых и нежилых помещений.

Однако основным недостатком светодиодов является существенная зависимость их выходных характеристик от температуры. В большинстве случаев, когда светодиоды участвуют в формировании ответственных сигналов, определенных стандартами, или являются исполнительной частью системы передачи изображения, температурным зависимостям всегда есть место при расчетах и проектировании систем. Важно отметить, что под влиянием температуры изменяются практически все фундаментальные характеристики светодиодов, указываемые в спецификациях производителем только при комнатных температурах и составляющие основу для указанного проектирования, в то время как

устройства на этих светодиодах, как правило, работают в широком диапазоне температур. Знание характера изменения характеристик в зависимости от тепловых условий позволит учесть и скорректировать выходные данные указанных устройств на их основе.

Исходя из этого, была сформулирована тема работы – исследование теплового режима светодиодного светового прибора. Объектом исследования является светодиодный улично-дорожный светильник повышенной мощности и надежности. В рамках обозначенной темы были поставлены следующие задачи:

- проведение обзора по методам обеспечения теплового режима светодиодных световых приборов,
- разработка экспериментальных установок для исследования зависимости световой отдачи светодиодного светильника от температуры окружающей среды и определения внутреннего теплового сопротивления светодиода.

По результатам исследования получили экспериментальную зависимость освещенности от температуры окружающей среды. Также было получено значение для внутреннего сопротивления светодиода – 25,7 К/Вт. Так как данная величина включает в себя контактное сопротивление между корпусом светодиода и платой, на которой устанавливаются СИД, были даны рекомендации по уменьшению КТС.

В работе был проведен обширный обзор по методам обеспечения теплового режима светодиодных световых приборов, экспериментально исследована зависимость освещенности от температуры окружающей среды и проведена оценка внутреннего теплового сопротивления, даны рекомендации по уменьшению перепадов температур между элементами конструкции светильника.

УДК 536

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ТЕПЛОВЫХ ЯЧЕЙКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SOLIDWORKS

В.А. Черноозерский

Научный руководитель – д.т.н., профессор И.В. Баранов

Как правило, базой для реализации на практике методов измерения теплофизических характеристик лежат математические модели, в основу которых обычно закладываются граничные условия, обеспечивающие одномерное приближение для температурных полей. При измерениях теплопроводности и теплоемкости, как правило, исходят из приближения однородного по объему тепловыделения. На практике эти допущения неизбежно нарушаются.

В качестве объекта исследований использована тепловая ячейка автоматизированного прибора ИТС-сλ-10, предназначенного для комплексных исследований теплофизических свойств различных материалов в области температур от минус 20 до 80°С. В процессе эксплуатации данного прибора возникла необходимость в расширении температурного диапазона измерений в область низких криогенных температур. Для анализа возможностей данной тепловой ячейки по организации исследований в расширенном температурном диапазоне, а также для установления, требуемых конструктивных изменений, была создана трехмерная параметрическая модель тепловой ячейки при помощи модуля Flow Simulation программного комплекса SolidWorks. Используемое программное обеспечение позволяет на базе созданной трехмерной параметрической модели теплоизмерительной ячейки и на основе метода конечных элементов осуществить расчет распределения температурных полей в основных конструктивных элементах тепловой ячейки.

Анализируются возможные причины отклонений между реальным распределением температур в основных узлах тепловых ячеек от модельных. Исследуются проблемы влияния

внедренных датчиков, разрывность поверхностного распределения плотности тепловых потоков. Особое внимание уделяется организации теплофизического эксперимента в области низких температур, где к названным источникам возмущений добавляются эффекты неоднородности из-за температурной зависимости свойств веществ.

Создание математической модели «измерительного» эксперимента должно учитывать вероятность искажения, деформации температурных полей под влиянием размерных, технологических и структурных факторов. Оптимальной измерительной схемой может быть та, в которой неопределенности граничных условий будут минимальны, а другие отклонения от реализуемой модели могут быть выявлены.

Программный комплекс Solidworks способен учесть данные факторы и создать модель наиболее приближенную к реальной, что позволяет произвести прогнозирование нестационарных во времени процессов, с последующим анализом результатов для выявления проблемных областей, вследствие чего появляется возможность усовершенствовать модель как на стадии ее разработки, так и определить необходимые изменения в существующем варианте конструкции.