

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ПРИБОРОВ СО СЛОЖНОЙ СТРУКТУРОЙ.

Введение.

При расчетах тепловых режимов приборов и оборудования со сложной структурой возникают некоторые трудности. Под сложной структурой подразумевается наличие у приборов и оборудования составляющих частей с различными теплофизическими свойствами, замкнутых и незамкнутых полостей, где происходит конвекция, а также внутренних и внешних источников тепловыделений.

Основные сложности при расчетах тепловых режимов подобных приборов заключается в многомерности тепловых потоков и наличии теплообмена между твердыми телами и подвижными средами. Величина последнего определяется, в том числе, и интенсивностью конвекции воздуха в прилегающих к поверхности точках. Интенсивность конвекции в обычных тепловых моделях, например среднемассовой, определить невозможно. Поэтому теоретические расчеты, сделанные на основе этих моделей, носят приблизительный характер. А основным методом проектирования при создании подобных устройств является проведение эксперимента и последующая доводка конструкции.

Проведение экспериментов, как правило, дорого и трудоемко. Повышение точности теоретических расчетов позволило бы снизить объем экспериментальной работы. Что уменьшило бы затраты времени и средств на создание подобных приборов со сложной внутренней структурой.

Учесть многомерность тепловых потоков и конвективную составляющую теплообмена и тем самым повысить точность теоретических расчетов можно в рамках математической модели на основе системы дифференциальных уравнений в частных производных, включающей уравнения Навье-Стокса и уравнение энергии, а также термическое уравнение состояния.

Математическая модель.

Основные уравнения сохранения для конвективно-теплообмена в приближении Буссинеска можно записать в следующем виде:
уравнения Навье-Стокса

$$\begin{aligned} \nabla \mathbf{V} &= 0 \\ \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + \nabla(\mathbf{V} \otimes \mathbf{V}) &= \frac{1}{\rho} \nabla(\mu \nabla \mathbf{V}) - \frac{\nabla P}{\rho} + \mathbf{B} \end{aligned} \quad (1)$$

уравнение энергии

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla(\mathbf{V}h) = \frac{1}{\rho} \nabla \left(\frac{\lambda}{C_p} \nabla h \right) + S \quad (2)$$

где, \mathbf{V} – вектор скорости;

h – энтальпия;

ρ – плотность;

P – давление;

\mathbf{B} – силы тяжести;

S – источники тепловыделений;

μ – динамическая вязкость;

C_p – удельная теплоемкость;

λ – коэффициент теплопроводности.

Термическое уравнение состояния:

$$\rho = \frac{P_0}{RT} \quad (3)$$

где P_0 – статическое давление, характерное для данной задачи.

Для определения интенсивности лучистого теплообмена была принята следующая модель излучения. Внутренние и внешние поверхности прибора являются излучающими поверхностями. Их температура предполагается постоянной на текущий момент времени, равной осредненной температуре. Поглощение излучения в окружающих поверхности средах не происходит.

Для системы, состоящей из n серых, непрозрачных поверхностей являющихся диффузионными отражателями и имеющие угловое распределение собственного излучения, подчиняющееся закону Ламберта, плотность потока результирующего излучения определяется зависимостью

$$q_{rezi} = \sum_{k=1}^n (E_{effi} - E_{effk}) \cdot \varphi_{ik} \quad (4)$$

где φ_{ik} – угловой коэффициент излучения i -ой поверхности на k -ую.

Плотность потока эффективного излучения складывается из собственного излучения поверхности и отраженного излучения других поверхностей

$$E_{effi} = E_i + (1 - \varepsilon_i) \sum_{k=1}^n E_{effk} \varphi_{ik} \quad (5)$$

где $E_i = 5,67 \cdot \varepsilon_i \left(\frac{T_i}{100} \right)^4$ – собственное излучение i -ой поверхности;

ε_i – степень черноты i -ой поверхности.

Записав уравнение (5) для всех поверхностей получим систему из n алгебраических уравнений для определения n эффективных потоков излучения. По их значениям по уравнению (4) находят плотность потока результирующего излучения для всех поверхностей.

Метод решения.

Задача решается численными методами в расчетной области, включающей области, занятые твердым телом и жидкостью.

Расчетная область разбивается на контрольные объемы. Для каждого из которых записываются дискретные аналоги исходных дифференциальных уравнений (1,2).

Во всей расчетной области задача решается как задача конвективного теплообмена. Однако вследствие равенства нулю скоростей в области, занятой твердым телом здесь будет решаться чистая задача теплопроводности. В результате решения такой задачи получим распределение скорости в жидкости и распределения температуры в твердом теле и жидкости, которые автоматически будут согласованы на границе раздела твердого тела с жидкости.

Вычисление нестационарного процесса реализуется следующим образом: на начальный момент времени задаются значения величин всех определяемых параметров – составляющих скорости и температуры. Составляющие скорости принимаются равными нулю, а температура для всех узловых точек равной начальной температуре. Далее для каждого шага по времени первоначально решается гидродинамическая задача. Полученные значения скоростей используются для решения уравнений сохранения энергии и нахождения значений температуры.

Теплофизические свойства материалов, значения которых зависят от температуры могут уточняться на каждом шаге по времени в соответствии с изменением температуры для всех контрольных объемов.

Результаты расчета теплового режима термостата.

Примером прибора со сложной внутренней структурой может служить термостат (рис. 1).

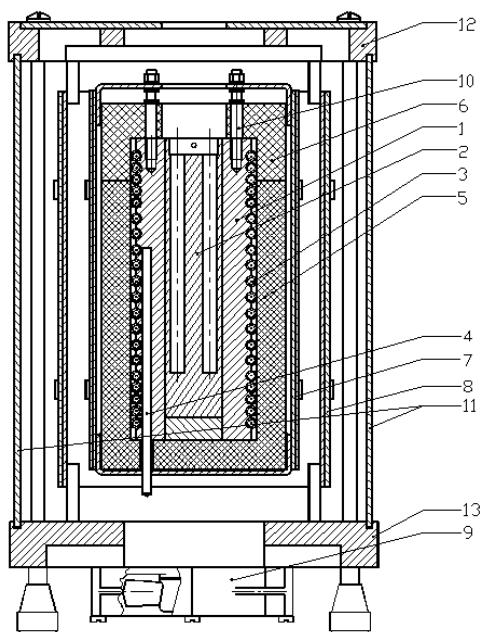


Рис. 1 Термостат. Общий вид.

1 - нагревательный блок; 2 - выравнивающий блок; 3 – нагреватель; 4 – датчик; 5 – теплоизоляция; 6 – заглушка; 7 – защитный экран; 8 - радиационный; 9 – вентилятор; 10 – шпилька; 11 – боковые стенки; 12 – верхняя стенка; 13 – нижняя стенка.

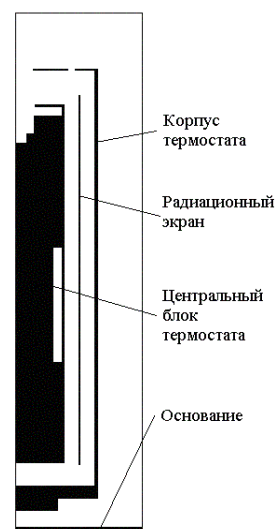


Рис. 2. Расчетная область.

Задача термостата - поддерживать определенную температуру в измерительном колодце расположенном в выравнивающем блоке 2 (рис. 1). Нагреватель 3 включается и выключается в зависимости от показаний датчика температуры 4. Термостат рассчитан на работу в двух режимах 300°C и 600°C.

Температура наружного корпуса 11,12,13 не должна быть высокой. Поэтому нагревательный 1 и выравнивающий блок окружены теплоизоляцией 5,6. В том числе защитным 7 и радиационным 8 экранами. Экраны и наружный корпус охлаждаются также за счет естественной конвекции воздуха. Для быстрого охлаждения термостата предусмотрен вентилятор 9. Он используется, когда необходимо охладить термостат после завершения его использования или когда с режима 600 °C необходимо перейти на режим 300°C. В рабочем режиме вентилятор отключен и блокирует проход воздуха внутрь термостата снизу.

Расчеты проводились по схеме, представленной на (рис.2). Помимо термостата в расчетную область включены основание, на котором расположен термостат и окружающий термостат воздух. На расчетную область нанесена равномерная сетка 440×110 узлов. Шаг между узловыми точками составляет 1мм по обоим осям. Габариты самого термостата составляют 370×150 мм. Решается осесимметричная задача, рассматривается половина диаметра термостата.

Время счета программы моделирующей нагрев термостата с начального состояния до выхода на рабочий режим 600°C составляет 1,5 часа на персональном компьютере с 32-х битной архитектурой. Время прогрева реального термостата до режима 600°C составляет 10 часов.

На начало расчета составляющие скорости принимаются равными нулю, а температура для всех узловых точек равной начальной температуре 20°C. Процесс нагрева термостата происходит следующим образом. Быстрее всего прогреваются нагревательный и выравнивающий блоки. В своей верхней части выравнивающий блок непосредственно соприкасается с воздухом.

Воздух нагревается и в верхней части центрального блока образуется вихрь. Этот вихрь увеличивается в размерах по мере продолжения нагрева. Со временем прогревается вся центральная часть термостата. Там начинается конвекция воздуха. Снаружи термостата воздух движется снизу вверх, нагреваясь от наружной стенки.

Распределение значений температуры и функции тока при достижении термостатом рабочего режима 300°C и 600°C представлены на рис.3,4.

Показателем качества работы термостата является распределение температуры вдоль колодца. На рис.5 приведены расчетные и экспериментальные значения температуры вдоль колодца термостата для рабочего режима 300°C, на рис.6 для рабочего режима 600°C.

Заключение.

Представленная методика позволяет учитывать влияние естественной и вынужденной конвекции на тепловой режим приборов и оборудования со сложной внутренней структурой, а также изучить закономерности процесса нагрева. Полученные значения температуры согласуются с данными экспериментов.

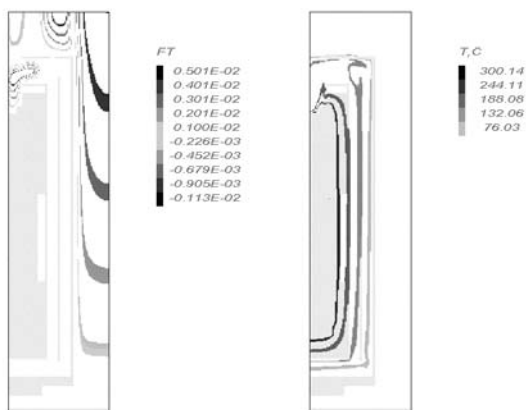


Рис. 3. Распределение значений температуры и функции тока при выходе термостата на рабочий режим 300°C.

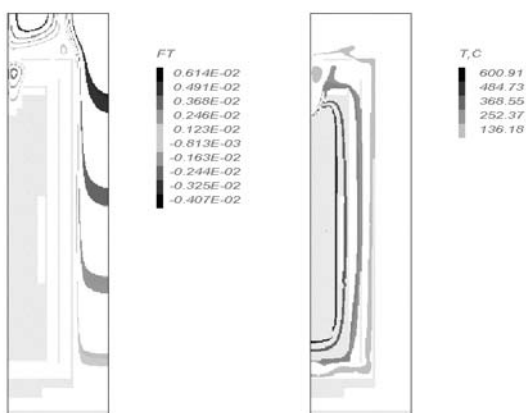


Рис. 4. Распределение значений температуры и функции тока при выходе термостата на рабочий режим 600°C.

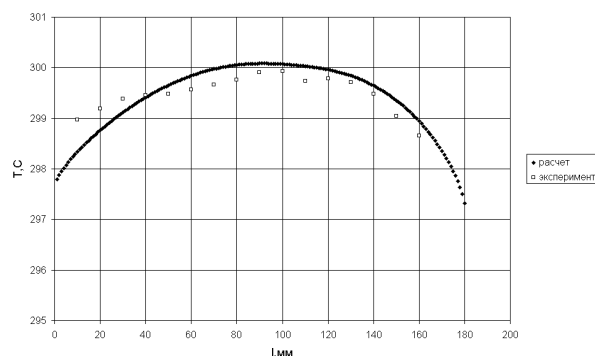


Рис. 5. Распределение значений температуры в колодце термостата при рабочем режиме 300°C.

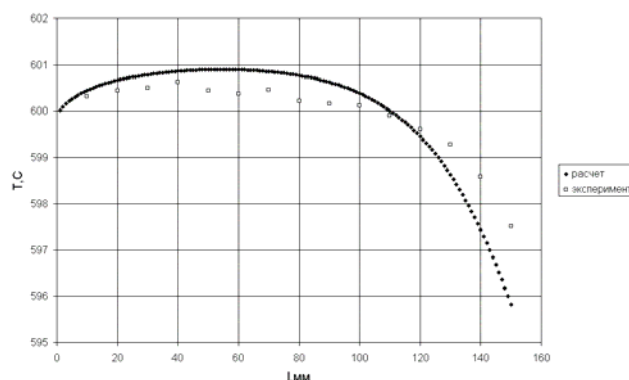


Рис. 6. Распределение значений температуры в колодце термостата при рабочем режиме 600°C.

Copyright © 2007 Computational Engineering