

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского

федерального университета

Дата подписания: 19.09.2023 11:53:10

Уникальный программный ключ:

d74ce93cd40e39275c3ba2f38486412a18e190

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт сервиса, туризма и дизайна (филиал) СКФУ в г. Пятигорске

О.А. Макличенко

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

по дисциплине

ТЕПЛО- И ХЛАДОТЕХНИКА

Направление подготовки 19.03.04 Технология продукции и организация
общественного питания

Направленность (профиль) Технология и организация ресторанного дела

Квалификация выпускника: бакалавр

Для заочной формы обучения

Пятигорск, 2021 г.

Содержание

Введение

Лабораторная работа № 1. Определение коэффициента теплопроводности материалов методом бесконечной пластины

Список рекомендуемой литературы

Введение

Изучение дисциплины рекомендуется вести в следующем порядке: внимательно ознакомиться с содержанием соответствующего раздела рабочей программы и методическими указаниями, прочитать по учебнику материал, рекомендуемый в программе для изучения данной темы.

При изучении материала полезно составлять конспекты по каждой теме изучаемой дисциплины.

Для положительной аттестации по дисциплине от студента требуется знание теоретических положений дисциплин, понимание физической сущности изучаемых явлений и процессов, умение применять теоретические положения к решению практических задач и выполнению лабораторных работ.

В результате освоения компетенций ОПК-2, ОПК-3, ПК-5 студент должен знать понятие термодинамической системы, первый закон термодинамики, второй закон термодинамики, рабочие процессы холодильных машин, принципы получения искусственного холода; термодинамические процессы идеальных газов, круговые термодинамические процессы (циклы), основы термодинамики необратимых процессов; основные проблемы научно-технического развития пищевой промышленности; способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов; технологии выполнения основных процессов тепло- и хладотехники; уметь применять физические законы механики, молекулярной физики, термодинамики, электричества и магнетизма для решения типовых задач; использовать знания инженерных процессов при определении теплопроводности, параметров теплоотдачи, теплопередачи, толщины термоизоляционного слоя; осуществлять контроль качества, безопасности сырья и готовой продукции с использованием нормативной документации, основных и прикладных методов исследований при холодильном хранении пищевых продуктов; владеть методиками расчета при определении показателей теплоотдачи, теплопередачи, теплового излучения; владеть навыками эксплуатации современного теплового, холодильного оборудования и приборов; навыками выбора режимов процессов тепло- и хладотехники; навыками интерпретации полученных в процессе анализа результатов и формулирования выводов и рекомендаций.

Дисциплина «Тепло- и хладотехника» входит в обязательную часть дисциплин модуля (Б1.О.22) подготовки бакалавра по направлению 19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания, направленности (профиля) Технология и организация ресторанного дела. Ее освоение происходит в 3 семестре.

Лабораторная работа № 1

4 часа

Определение коэффициента теплопроводности материалов методом бесконечной пластины

Цель работы:

- определение коэффициента теплопроводности фторопласта методом плоского слоя;
- построение зависимости коэффициента теплопроводности от температуры $\lambda = f(t)$.

Задачи работы: при различных стационарных режимах снять показания температур на поверхности испытуемого образца и записать их в таблицу. В каждом режиме определить их средние значения температур. Произвести расчет коэффициента теплопроводности для всех режимов и занести результаты в таблицу. Построить график зависимости коэффициента теплопроводности материала λ от температуры.

Обеспечивающие средства: лабораторный стенд с объектом исследования в аудитории 308 – 2.

Задание: провести четыре серии опытов, увеличивая напряжение электронагрева. Измерения следует снимать при установившемся тепловом режиме (для этого достаточно 15 мин) не менее 2-3-х раз через каждые 2 мин. Первый режим можно считать законченным, убедившись в постоянстве показаний всех термопар на протяжении нескольких измерений. Полученные результаты занести в таблицу. Рассчитать тепловой поток от нагревателя; вычислить критерии Нуссельта, Грасгофа и Прандтля; коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности теплозащитного слоя к воздуху с помощью теплового потока, отводимого свободной конвекцией и определить коэффициент теплопроводности фторопластовой пластины. Построить график зависимости коэффициента теплопроводности λ от температуры.

Требования к отчету: итоги лабораторной работы должны быть представлены на листах формата А 4, графики – на миллиметровой бумаге, выполненные в карандаше. Работа выполняется побригадно (4 чел.), бригада составляет один отчет. В отчете указывается название института, кафедры, лабораторной работы, фамилии и инициалы студентов, название специальности и группы, вида обучения, факультета, а также цель работы, схема установки, основные формулы расчетов с расшифровкой символов, подробные расчеты значений одного из режимов, таблицы «Экспериментальные данные» и «Расчетные данные», график зависимости теплопроводности λ от температуры.

Технология работы: при подаче напряжения электронагрева и выходе на стационарный режим снять показания соответствующих термопар и занести их в таблицу. Увеличив напряжения электронагрева и убедившись в стационарности режима снять показания термопар и вновь занести их в таблицу.

Контрольные вопросы:

1. Какое температурное поле называется установившимся?
2. Определение температурного градиента и теплового потока.
3. Физический смысл коэффициента теплопроводности.
4. Дифференциальное уравнение процесса теплопроводности.
5. Какова общая характеристика используемого метода определения теплопроводности?
6. С помощью, каких приборов производятся измерения при выполнении работы?
7. Какие тепловые потери учитываются работе и методика их определения?

Библиографический список приводится в конце сборника описаний лабораторных работ.

Описание лабораторной работы

Теоретическая часть

Теплопроводность – молекулярный перенос теплоты в теле, обусловленный наличием градиента температуры, что осуществляется вследствие теплового движения и энергетического взаимодействия между частицами, из которых состоит данное тело. Процесс теплопроводности непрерывно связан с распространением температуры в теле. Совокупность мгновенных значений температур во всех точках рассматриваемого пространства в данный момент времени называется *температурным градиентом* и выражается уравнением:

$$t = f(x, y, z, \tau) \quad (1.1)$$

где x, y, z – пространственные координаты точки, а τ – время.

Если температура в любой точке пространства не изменяется с течением времени, а является функцией только ее пространственных координат (x, y, z) , то такое температурное поле называется *установившимся*, или *стационарным*. Простейшим температурным полем является одномерное стационарное поле $t = f(x)$.

Все точки пространства, имеющие одинаковую температуру, образуют *изотермическую поверхность*, следовательно, изменения температур в теле может наблюдаться только в направлениях, пересекающих эту поверхность, причем наиболее сильные изменения наблюдаются в направлении нормали (рис. 1.1).

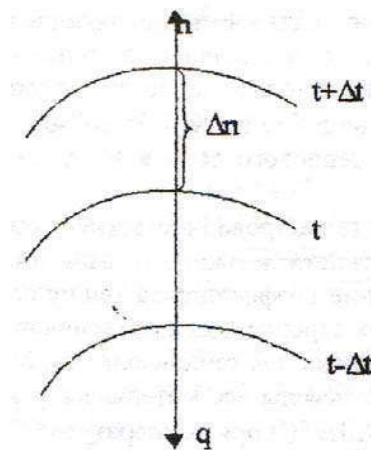


Рис. 1.1. К определению температурного градиента и теплового потока

Предел отношения изменения температуры Δt к расстоянию между изотермами по нормали Δn при условии, что $\Delta n \rightarrow 0$, называется *температурным градиентом*:

$$\lim \left[\frac{\Delta t}{\Delta n} \right]_{\Delta n \rightarrow 0} = \frac{\partial t}{\partial n} = \text{grad } t. \quad (1.2)$$

Значение температурного градиента определяет наибольшую скорость изменения температуры в данной точке температурного поля.

Количество теплоты, переданное через произвольную поверхность в единицу времени, называется *тепловым потоком* Q [Вт]. Тепловой поток, отнесенный к единице поверхности, называется *поверхностной плотностью* теплового потока q $\left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right]$. Так как тепловая энергия самопроизвольно распространяется только в сторону убывания температуры, перемещение тепла осуществляется противоположно направлению температурного градиента:

$$\vec{q} \approx - \left(\frac{\vec{\partial t}}{\partial n} \right). \quad (1.3)$$

Согласно закону Био-Фурье, тепловая мощность, передаваемая теплопроводностью, которая в чистом виде имеет место только в твердых телах с малым коэффициентом термического расширения, выражается эмпирической уравнением:

$$\vec{q} = -\lambda \frac{\vec{\partial t}}{\partial n} = \lambda \overrightarrow{\text{grad } t} \quad (1.4)$$

Множитель пропорциональности λ , входящий в это уравнение, называется *коэффициентом теплопроводности* (или *теплопроводностью*) и численно равен плотности теплового потока вследствие теплопроводности при градиенте температуры, равном единице $\left[\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ \text{C}} \right]$. Знак «минус» в уравнении (1.4) показывает, что направление теплового потока противоположно направлению градиента температуры.

Для различных тел теплопроводность имеет определенное значение и зависит от структуры, плотности, влажности, давления и температуры этих тел. Наиболее высокое значение коэффициента теплопроводности имеют металлы, ниже – у неметаллических строительных материалов и самые

низкие – у пористых материалов, применяемых в теплоизоляции. К числу теплоизоляционных материалов могут быть отнесены все материалы, у которых коэффициент теплопроводности менее $5 \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$ при температуре 0°C .

Коэффициент теплопроводности существенно зависит от температуры, и для многих материалов, в том числе и теплоизоляционных, зависимость коэффициента теплопроводности от температуры можно принять линейной:

$$\lambda_t = \lambda_0(1 + \beta t), \quad (1.5)$$

где λ_0 – коэффициент теплопроводности тела при 0°C ; β – температурный коэффициент, представляющий собой приращение коэффициента теплопроводности материала при повышении его температуры на один градус.

Для определения теплопроводности необходимо решить дифференциальное уравнение, выражающее изменение температуры в любой точке нагреваемого тела в зависимости от времени:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t + \frac{q_v}{c_m \rho}, \quad (1.6)$$

где $a = \frac{\lambda}{c_m \rho}$ – температуропроводность тела, $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$; $\nabla^2 t = \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа q_v – объемная плотность теплового потока от внутренних источников, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^3}$; c_m – средняя удельная теплоемкость вещества, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$; ρ – плотность вещества, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Левая часть этого уравнения характеризует скорость изменения температуры некоторой точки тела во времени, правая – пространственное распределения температуры вблизи этой точки.

Данное дифференциальное уравнение описывает процесс теплопроводности в общем виде. Чтобы получить частное решение, соответствующее конкретному явлению, к дифференциальному уравнению необходимо добавить математическое описание всех частных особенностей рассматриваемого процесса, которые включают в себя:

- геометрическую форму и размеры тела, в котором протекает процесс;
- значение физических параметров тела и окружающей среды;

- распределение температуры в теле в начальный момент времени (начальные условия) и условия протекания процесса;
- условия теплообмена на границе тела (граничные условия);
- интенсивность и распределения внутренних источников теплоты.

При решении уравнения (1.6) обычно используют метод разделения переменных или метод источника.

Лабораторные методы определения теплопроводности материалов основываются чаще всего на стационарном режиме. При исследовании теплоизоляционных материалов, обладающих низкой теплопроводностью, широкое распространение получил метод плоского слоя, когда образцу исследуемого материала придается форма тонкой круглой или квадратной пластинки. Для создания перепада температур одна поверхность пластинки нагревается, а другая охлаждается. При выборе геометрических размеров исследуемых образцов с низкой теплопроводностью необходимо выполнять условие:

$$\delta \leq \left(\frac{1}{7} \dots \frac{1}{10} \right) d \quad (1.7)$$

где δ – толщина пластины, м; d – диаметр круглой пластины (или сторона квадратной), м.

Для устранения тепловых потерь с боковых или торцевых поверхностей испытуемого образца используют тепловую изоляцию. При стационарном режиме температура в любой точке тела в течение времени не претерпевает изменений $\left(\frac{\partial t}{\partial \tau} = 0 \right)$. В лабораторной работе передача теплоты

осуществляется через плоскую однородную пластину толщиной δ с $\lambda = const$. Температура наружной и внутренней поверхностей пластины поддерживается постоянной и равной соответственно t_1 и t_2 . Так как длина и ширина пластины бесконечно велика по сравнению с ее толщиной, то температура стенки изменяется только в направлении оси x .

Для определения плотности теплового потока используется уравнение (1.4) в скалярной форме:

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx}. \quad (1.8)$$

Путем интегрирования этого уравнения определяют плотность теплового потока:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2). \quad (1.9)$$

С учетом площади пластины F , м^2 , коэффициент теплопроводности определяется выражением:

$$\lambda = \frac{\delta}{F} \frac{Q}{(t_1 - t_2)}. \quad (1.10)$$

Описание установки

Установка для определения коэффициента теплопроводности, рис. 1.2, состоит из лабораторного стола 1 с вертикальной панелью, на которой расположен объект исследования 2, вентиль охлаждающей воды 3, автотрансформатор с ручкой управления 4, вольтметр в комплекте с регистрируемым прибором 5, блок температуры 6, а также система тумблеров и кнопок 7 – 15 включения и управления лабораторным стендом.

Объект исследования, рис. 1.3, представляет собой два образца 1, выполненных в форме дисков толщиной $\delta = 5$ мм и диаметром $d = 135$ мм из фторопласта. Испытуемые образцы помещены между нагревателем 3 и двумя холодильниками 2. необходимая плотность контакта испытуемых образцов обеспечивается применением болтового соединения. Нагревательный диск с электрическим сопротивлением $R = 96,62$ Ом выполнен из двух латунных дисков, один из которых служит крышкой, а другой представляет собой цилиндр с нагревательным элементом 4, уложенным для электрической изоляции на поверхность листового асбеста. Для снижения радиальных тепловых потерь используется теплоизоляционный кожух 5, выполненный из асбоцемента.

При установившемся тепловом режиме выделяющаяся в нагревателе теплота (за исключением радиальных тепловых потерь) проходит через испытуемые образцы, а затем отводится охлаждающей водой, протекающей через спиральные канавки, расположенные в полости двух холодильников. Подаваемое на нагреватель напряжение регулируется автотрансформатором Т1 и измеряется комбинированным цифровым прибором Ц-4313.

Для измерения температур на деталях рабочего элемента установлены хромель-копельные термопары, рис. 1.4. Термопары В1 и В2 зачеканены по центру поверхностей холодильников, а остальные четыре термопары – В3, В4, В5, В6 – расположены на торцевых поверхностях нагревателя. Кроме того, установлены еще три термопары – В7, В8, В9 – в центре боковой поверхности изоляционного кожуха. ЭДС термопар измеряется милливольтметром МВ46-41 А, шкала которого проградуирована в $^{\circ}\text{C}$.

Методика проведения работы

Вывести против часовой стрелки ручку трансформатора 4, рис. 1.2, в нулевое положение и включить тумблером 7 электропитание установки (загорается сигнальная лампочка 8). Включить питание прибора Щ-4313 с помощью тумблера 11 и установить род подаваемого напряжения тумблером 12. С помощью тумблеров 13 и 14 установить род работы. Выбрать диапазон измерений, соответствующий ожидаемому значению измеряемой величины. Подать питание на блок температур 6. Проверить температуру, показываемую термопарами. К милливольтметру 17 термопары подключаются с помощью переключателя ПТИ-М-20, ручка 16 которого выведена на панель управления. Термопар, если они исправны, регистрируют температуру окружающей среды. После этого следует открыть вентиль охлаждающей воды 3 и убедиться в перемещении поплавка в ротаметре. Затем, тумблером 9, расположенном на блоке измерения мощности, включить «нагрев» и ручкой автотрансформатора 4 плавно установить минимальное напряжение электронагрева, регистрируемое прибором Щ-4313.

Через 15 мин после включения нагрева снять показания температур не менее 2...3-х раз через каждые 2 мин. Первый режим можно считать законченным, лишь убедившись в постоянстве показаний всех термопар на протяжении нескольких измерений.

Провести измерения температур на трех других режимах, увеличение электронагрева (напряжение задается преподавателем). Измерения на этих режимах следует начинать через 15 мин. после установки соответствующего напряжения и проводить в такой последовательности, как при первом режиме. Полученные результаты занести в таблицу 1.2.

По окончании эксперимента выключить подачу напряжения на нагреватель – тумблер 10, прибор Щ-4313 – тумблер 11, электропитание – тумблер 7, а затем закрыть вентиль подачи охлаждающей воды 3.

Обработка опытных данных

Для обработки результатов используются данные, полученные при установившемся тепловом режиме. Результаты расчетов заносятся в таблицу 1.3.

Коэффициент теплопроводности материала для каждого из четырех режимов вычисляется по формуле:

$$\lambda = \frac{\frac{\delta}{F}(Q - Q_{\kappa})}{t_z - t_x}, \quad (1.11)$$

где Q – тепловой поток от нагревателя, Вт, определяется по электрической мощности, затрачиваемой на нагревание дисков:

$$Q = \frac{U^2}{R}, \quad (1.12)$$

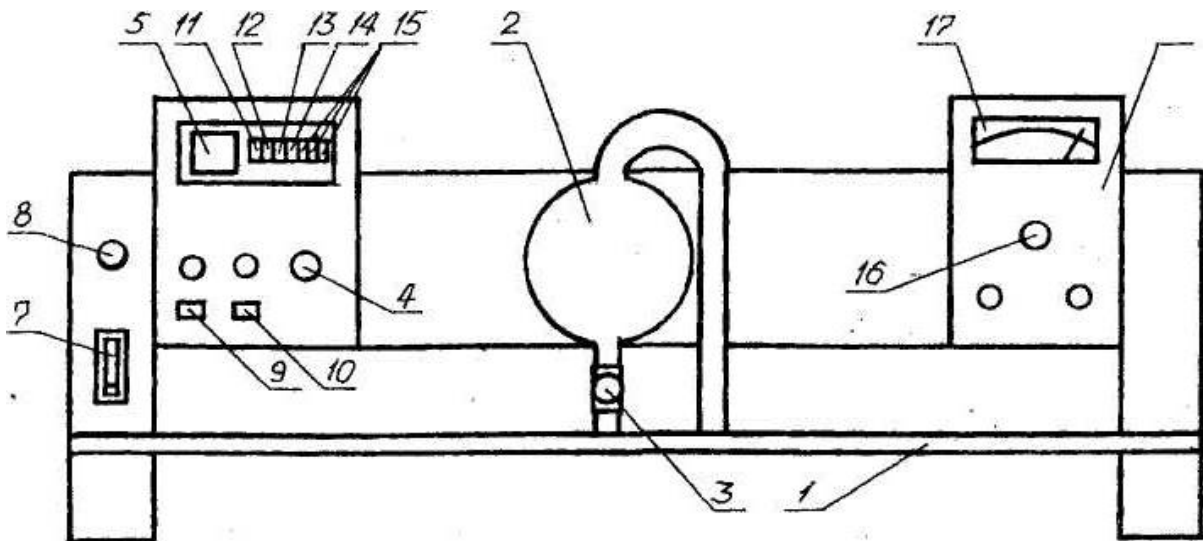


Рис.1.2. Схема установки.

- 1 – стол; 2 – объект исследования; 3 – вентиль; 4 – ручка автотрансформатора; 5 – вольтметр; 6 – блок температуры; 7 – тумблер электропитания; 8 – сигнальная лампа; 9 – тумблер «нагрева»; 10 – тумблер «напряжение»; 11, 12 – тумблер рода тока; 13, 14 – тумблер рода работы; 15 – кнопки выбора диапазона; 16 – переключатель термопар; 17 – шкала прибора

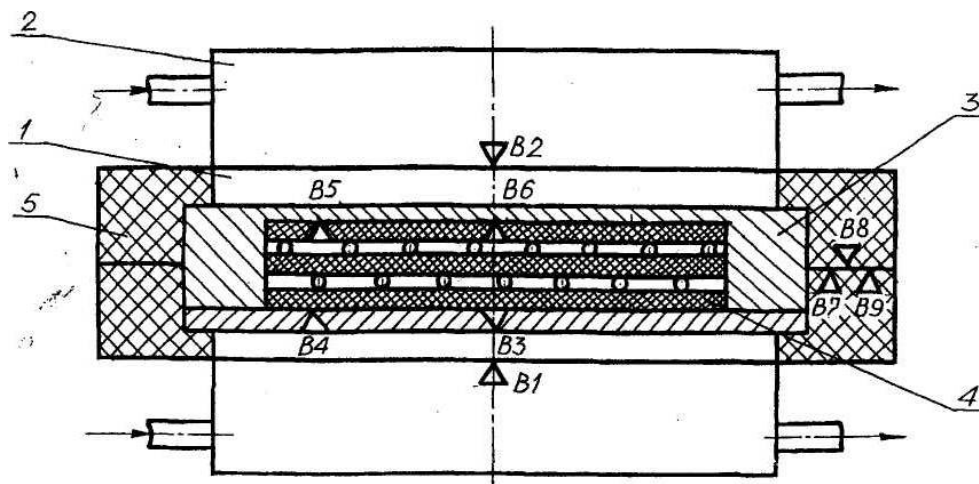


Рис. 1.3. Рабочий участок установки:

1 – образцы; 2 – холодильник; 3 – нагревательный диск; 4 – нагревательный цилиндр; 5 – теплоизоляционный кожух

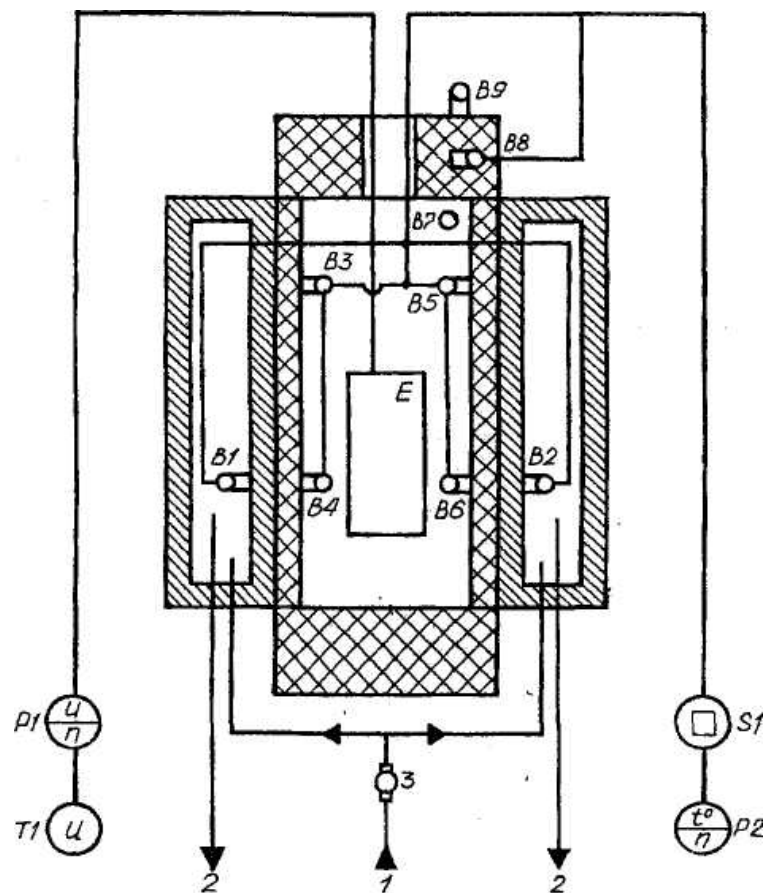


Рис. 1.4. Схема расположения термодпар

где R – сопротивление нагревательного диска, Ом; U – напряжение электронагрева, В; Q_k – радиальные тепловые потери, Вт.

Средняя температура поверхности дисков со стороны нагревателя, $^{\circ}\text{C}$:

$$t_z = \sum_{i=3}^6 \frac{t_i}{4}, \quad (1.13)$$

Средняя температура поверхности дисков со стороны холодильника, $^{\circ}\text{C}$:

$$t_x = \frac{t_1 + t_2}{2}. \quad (1.14)$$

В стационарном тепловом режиме поток, который проходит в радиальном направлении внутри пластины, должен быть равен потоку, отводимому в окружающую среду с внешней поверхности теплозащитного слоя. Теплоотдача с поверхности осуществляется механизмом свободной конвекции и излучением. В данной работе при сравнительно умеренных температурах достаточно вычислить одну составляющую теплоотдачи, а именно, за счет конвекции – Q_k .

Для расчета величины Q_k используется критериальная зависимость:

$$Nu = C(Gr \cdot Pr)^n, \quad (1.15)$$

где $Nu = \frac{\alpha_k d_{\text{эк}}}{\lambda_{\text{в}}}$ – критерий Нуссельта; α_k – коэффициент теплоотдачи с внешней поверхности защитного слоя, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$; $d_{\text{эк}} = 0,06$ – наружный диаметр защитного слоя, м; $\lambda_{\text{в}}$ – коэффициент теплопроводности воздуха, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C}}$; Gr, Pr – соответственно, критерий Грасгофа и Прандтля, характеризующие данный процесс.

$$Gr = \frac{g d_{\text{эк}}^3}{\nu^2} \beta \Delta t, \quad (1.16)$$

где g – ускорение свободного падения, $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$; $\beta = (t_{\text{с}} + 273)^{-1}$ – коэффициент объемного расширения

воздуха, м; $\Delta t = t_k - t_b$ – разность температур наружной поверхности теплозащитного слоя и воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{a} = \frac{c_p \cdot \mu}{\lambda}, \quad (1.17)$$

где a – температуропроводность тела, $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$.

Значения коэффициентов C и n в уравнении (1.15) определяются по таблице 1.1.

Таблица 1.1

$Gr \cdot \text{Pr}$	C	n
$1 \cdot 10^{-3} \dots 5 \cdot 10^2$	1,18	1/8
$5 \cdot 10^2 \dots 2 \cdot 10^7$	0,54	1/4
$> 2 \cdot 10^7$	0,135	1/3

По рассчитанному значению критерия Нуссельта находится коэффициент теплоотдачи α_k от наружной поверхности теплозащитного слоя $F_{\text{т.с}}$ к воздуху.

Теперь можно рассчитать плотность теплового потока, отводимого свободной конвекцией по закону охлаждения:

$$Q_k = \alpha_k F_{\text{т.с}} (t_k - t_b). \quad (1.18)$$

Полученные значения коэффициента теплопроводности следует отнести к средней температуре $t_{\text{ср}}$ исследуемого диска. Определив значения λ для соответствующих температурных режимов, строят зависимость и определяют значения коэффициентов a и b .

$$\lambda = a + bt_{\text{ср}}, \quad (1.19)$$

где $t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{г}} + t_{\text{х}}}{2}$, $^{\circ}\text{C}$

РАСЧЕТНЫЕ ДАННЫЕ

[illegible]

Список рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Тепло- и хладотехника : учебное пособие / С. В. Бутова, В. В. Воронцов, М. Н. Шахова [и др.]. — Воронеж: Воронежский Государственный Аграрный Университет им. Императора Петра Первого, 2016. — 248 с.
2. Цветков, О. Б. Теоретические основы тепло- и хладотехники. Основы термодинамики и тепломассопереноса : учебно-методическое пособие / О. Б. Цветков, Ю. А. Лаптев. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, Институт холода и биотехнологий, 2015. — 54 с.

Дополнительная литература

1. Тепломассообмен в установках кондиционирования воздуха: методические указания : [16+] / сост. П.Т. Крамаренко, С.С. Козлов, И.П. Грималовская ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет и др. — Нижний Новгород : Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (ННГАСУ), 2013. — 39 с.
2. Буянов, О. Н. Тепло- и хладоснабжение предприятий пищевой промышленности: учебное пособие / О. Н. Буянов. — Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2006. — 282 с. — ISBN 5-89289-412-6. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт].
3. Кораблев, В. А. Лабораторный практикум по курсу теория тепло- и массообмена: учебное пособие / В. А. Кораблев, Д. А. Минкин, А. В. Шарков. — Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2016. — 37 с. — ISBN 2227-8397. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]