

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА ФИЗИКИ

Методические указания

к лабораторной работе
«Исследование теплопроводности
материалов методом пластины»

по курсу «Тепломассообмен»

для студентов специальности
1-70 04 02 – Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана
воздушного бассейна»



Брест 2018

УДК 536.7: 621.036

В методических указаниях к лабораторной работе «Исследование теплопроводности материалов методом пластины» по курсу «Тепломассообмен» приводится описание используемой экспериментальной установки. Пояснена методика определения коэффициента теплопроводности материалов методом пластины. Коэффициент теплопроводности определяется прямыми измерениями значений температур на плоских основаниях образца, его толщины и плотности теплового потока через образец в направлении уменьшения температуры.

Методические указания предназначены для студентов факультета инженерных систем и экологии и инженерно-экономического факультета заочного образования, обучающихся по специальности 1-70 04 02 – Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна.

Составители: А.И. Пинчук, к.ф.-м.н., доцент
В.В. Борушко, ст. преподаватель
Н.Ф. Клименко, инженер-электроник

Рецензент: В.С. Секержицкий, к.ф.-м.н., доцент УО «Брестский государственный университет им. А.С. Пушкина»

Учреждение образования
© «Брестский государственный технический университет», 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа ТМО-1 (стенд) ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ПЛАСТИНЫ	4
Описание экспериментальной установки	4
Порядок проведения эксперимента	6
Порядок расчета	6
ПРИЛОЖЕНИЕ	7
Контрольные вопросы	10

Лабораторная работа ТМО-1 (стенд) ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ПЛАСТИНЫ

Цель работы: изучение явления теплопроводности и методики определения ее параметров в стационарном режиме для твердых тел, измерение коэффициента теплопроводности заданного образца, определение его температурной зависимости.

Приборы и принадлежности: стенд НТЦ-22.05.1 «Теплотехника и термодинамика» со съемным модулем НТЦ-22.05.1/1 «Исследование теплопроводности материалов методом пластины».

Описание экспериментальной установки

Эксперимент проводится на лабораторном стенде с использованием модуля, изображенного на рис. 1.



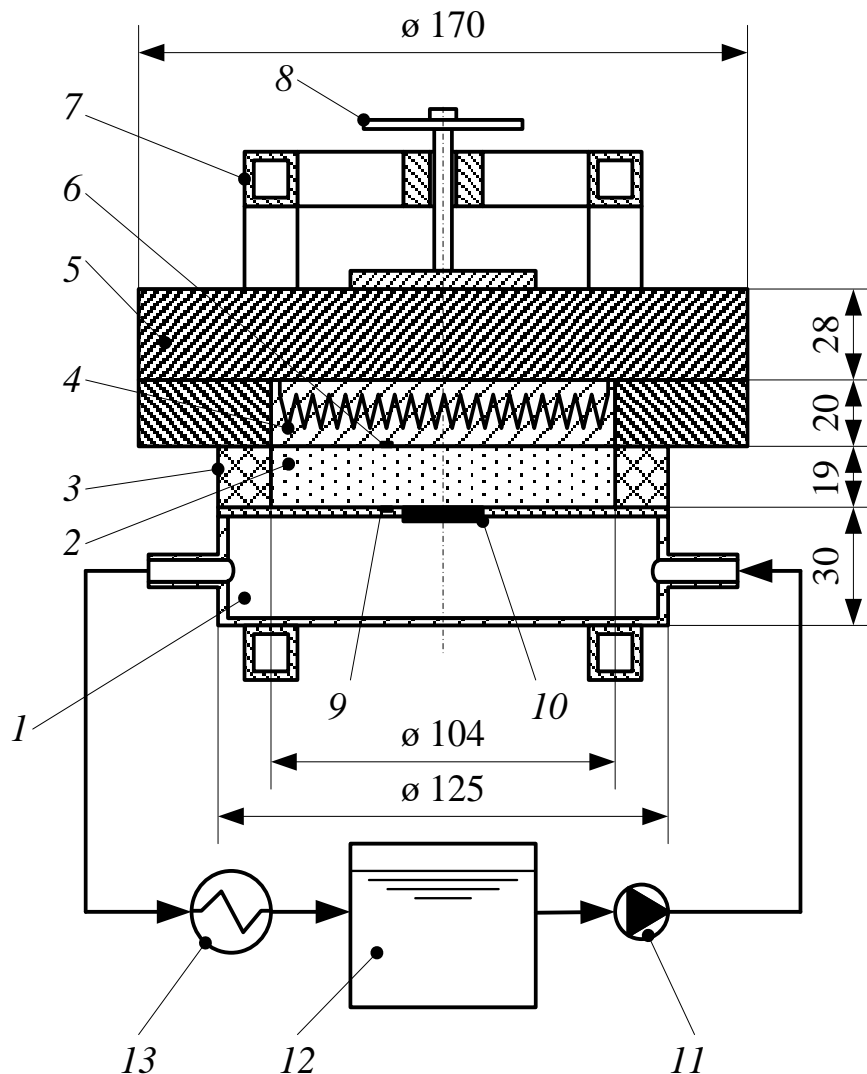
Рисунок 1 – Модуль НТЦ-22.05.1/1 «Исследование теплопроводности материалов методом пластины»

Модуль содержит (рис. 2) массивный текстолитовый диск 5, выполняющий роль теплоизолятора, в котором имеется цилиндрическая глухая полость. В ней размещен электронагреватель 4, залитый металлом с высокой теплопроводностью, что обеспечивает создание равномерного температурного поля. Между нагревателем и водяным холодильником 1 расположено теплоизоляционное кольцо 3, которое применяется при исследовании теплопроводности сыпучих материалов. При изучении теплопроводности твердых тел кольцо удаляется, а на его место устанавливается изучаемый образец в форме диска. Тепловой поток, прошедший через диск, отводится водой холодного контура.

Вся система находится на опорной раме 7, позволяющей разъединять нагреватель и холодильник вращением барашка 8, а также зажимать опытный образец между ними, чтобы свести к минимуму контактное тепловое сопротивление.

Регулирование теплового потока электронагревателя происходит ступенчато. Для измерения температуры поверхности t_1 и t_2 опытного текстолитового диска использованы датчики 6 и 9, которые установлены на наружной поверх-

ности нагревателя и холодильника, а плотность теплового потока q фиксируется показывающим прибором по сигналу датчика теплового потока 10, установленного в середине заподлицо с наружной поверхностью холодильника.



1 – водяной охладитель; 2 – исследуемый материал; 3 – теплоизоляционное кольцо;
4 – электронагреватель; 5 – текстолитовый диск; 6, 9 – датчики температуры;
7 – опорная рама; 8 – барашек; 10 – датчик плотности теплового потока; 11 – насос;
12 – бак холодной воды; 13 – воздушный охладитель контура холодной воды

**Рисунок 2 – Функциональная схема модуля
для определения теплоемкости методом пластины**

Датчик теплового потока представляет собой гальваническую термобатарейку из нескольких сот последовательно соединенных термопар, сложенных бифилярно в спираль и залитую эпоксидным компаундом с различными добавками. Датчик имеет два вывода (по одному от каждого конца чувствительного элемента). Работа датчика основана на принципе «дополнительной стенки». Датчик закрепляется на теплообменной поверхности исследуемого объекта, образуя дополнительную стенку. Тепловой поток, проходящий через датчик, создает в нем градиент температур и соответствующий термоэлектрический сигнал. Величина плотности теплового потока пропорциональна этому сигналу, что позволяет соответственно проградуировать прибор, измеряющий термоЭДС.

Порядок проведения эксперимента

1. Установить Модуль НТЦ-22.05.1/1 «Исследование теплопроводности материалов методом пластины» (рис. 2) на перфорированную панель и закрепить поворотом крепежных рукояток во встречном направлении на четверть оборота. Подключить кабель модуля к разъему X10 на панели стенда.

2. Измерить толщину образца несколько раз в различных местах, найти среднее значение H_{cp} и определить погрешность измерения. (Для ускорения выполнения работы эти данные можно узнать из прилагаемых к работе справочных материалов).

3. Установить исследуемый образец (круг из текстолита) внутрь установки и с помощью винтового механизма слегка зажать его между нагревателем и датчиком теплового потока. **ВНИМАНИЕ! Не прилагать усилий при сжатии, чтобы не повредить датчик плотности теплового потока.**

4. Убедиться в том, что переключатели установлены в положения: SA1 - «выкл», SA2 (Насос-1) - «выкл», SA3 - «нижнее», SA4 (Насос-2) - «выкл», SA5 - «выкл», SA6 - «выкл», SA14 - min, SA15 - min, SA16 - min.

5. Включить автоматические выключатели QF1 и QF2 на панели стенда. Установить профиль индикации «L 1». Конфигурация отображаемых на индикаторах параметров изображена на рис. 3.

T1, C°	T2, C°	q, Вт/м ²	
P _{наруж} , Па	T _{наруж} , C°	Профиль индикации	
PH1, Вт			

Рисунок 3 – Конфигурация отображаемых на индикаторах параметров

6. Максимально открыть вентиль синего цвета на трубопроводе. Включить клавишный выключатель SA2 (Насос-1). Это приведет в работу циркуляционный насос охлаждающей воды. Установить вентилем расход воды $g_1=0,015-0,020$ л/с.

7. Переключателями SA14 (PH1) и SA15 (PH2) установить требуемую мощность электронагревателя (по указанию преподавателя). Регулятор SA15 (PH2) обеспечивает более плавную настройку мощности.

8. Дождаться наступления стационарного режима теплопередачи (значения температур и плотности теплового потока перестанут изменяться) и зафиксировать показания приборов.

9. Повторить измерения при других значениях мощности электронагревателя.

Порядок расчета

Поскольку противоположные основания пластины находятся при разных температурах, примем за температуру пластины их среднее значение:

$$T_{пл} = 0,5(T_1 + T_2). \quad (1)$$

Результаты экспериментальных измерений и расчетов среднего значения температуры пластины $T_{пл}$ вычислим по формуле (1); коэффициента теплопро-

водности λ – по формуле (П.4) Приложения; погрешности косвенных измерений $\Delta\lambda$ по формуле (2) заносятся в таблицу 1.

Таблица 1 – Данные прямых измерений и результатов расчета

Параметры	H_{cp}	T_1	T_2	q	$T_{пл}$	λ	$\Delta\lambda$
Единица измерения	м	°С	°С	Вт/м ²	°С	Вт/м·град	Вт/м·град
1							
2							
3							

Расчет погрешности косвенных измерений проводится по формуле

$$\Delta\lambda = \sqrt{\left(\frac{H}{T_1 - T_2} \Delta q\right)^2 + \left(\frac{q}{T_1 - T_2} \Delta H\right)^2 + \left(-\frac{qH}{(T_1 - T_2)^2} \Delta T_1\right)^2 + \left(\frac{qH}{(T_1 - T_2)^2} \Delta T_2\right)^2} \quad (2)$$

Абсолютная погрешность измерения температур $\Delta T_{1,2} = \pm 0,5$ С°, плотности теплового потока $\Delta q = \pm 1$ Вт/м², толщины пластины $\Delta H = \pm 0.05$ мм.

В заключение проводится сравнение опытных результатов со справочными данными и объясняются причины полученных расхождений. Приводится зависимость коэффициента теплопроводности от температуры в табличной и графической форме. По указанию преподавателя дается аналитический вид этой зависимости, полученный доступным способом.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Самопроизвольный необратимый процесс передачи теплоты в пространстве с неоднородным распределением температуры называется теплообменом или теплопередачей. Перенос теплоты представляет собой процесс обмена внутренней энергией между рассматриваемыми элементами среды или системами тел при наличии разности температур между ними.

Передача теплоты осуществляется в трех основных формах: теплопроводность, конвективный теплообмен и лучистый теплообмен.

Теплопроводность – процесс передачи теплоты при непосредственном соприкосновении различных тел или отдельных частиц тела, имеющих разные температуры.

Конвекция – процесс передачи теплоты при перемещении объемов жидкости или газа в пространстве из области с одной температурой в область с другой. При этом перенос энергии неразрывно связан с перемещением самой среды.

Тепловое излучение – это процесс передачи энергии путем электромагнитных волн.

Объектом изучения в данной работе является **теплопроводность**, механизм которой заключается в обмене энергией между микрочастицами в сплошной

среде. В металлах перенос теплоты осуществляется путем движения (диффузии) свободных электронов и в незначительной степени за счет упругих колебаний кристаллической решетки. В жидкостях и в твердых телах, являющихся диэлектриками, теплопроводность осуществляется путем непосредственной передачи теплового движения молекул и атомов соседним частицам вещества. В газах перенос теплоты теплопроводностью происходит вследствие обмена энергией при соударении молекул, имеющих различную скорость теплового движения (путем диффузии молекул и атомов). В любом из этих случаев необходимым условием для возникновения теплопроводности является наличие отличной от нуля разности температур между телами или различными точками сплошной среды.

Перенос теплоты, происходящий равномерно во времени, называют стационарным. Явление теплопроводности в стационарном режиме описывается законом Фурье, который устанавливает, что количество теплоты Q_t , передаваемое за время t через некоторую поверхность, расположенную перпендикулярно градиенту температуры и имеющую площадь S , пропорционально произведению этих трех параметров:

$$Q_t = -\lambda S t \text{grad} T, \quad \text{П.1}$$

где T – абсолютная температура, λ – коэффициент теплопроводности. Он характеризует способность вещества передавать теплоту и имеет следующий физический смысл: λ – это количество теплоты, переданное в единицу времени через единицу площади изотермической поверхности при единичном значении температурного градиента. Знак минус показывает, что векторы теплового потока (плотности теплового потока) и градиента температуры направлены в противоположные стороны. Вектор градиента температуры направлен в сторону увеличения температуры, а перенос теплоты происходит в направлении ее уменьшения.

Введем понятия теплового потока $Q=Q_t/t$ и плотности теплового потока $q=Q/S$. Ограничимся одномерным случаем, когда температура изменяется вдоль только одной координаты, например x . Тогда $\text{grad} T = \frac{\partial T}{\partial x}$ и закон Фурье примет вид:

$$q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}. \quad \text{П.2}$$

Значения коэффициента теплопроводности веществ, λ , находятся в пределах от тысячных долей до нескольких сотен Вт/(м·К). Оно определяется составом вещества, его и агрегатным состоянием, степенью однородности. Коэффициент теплопроводности также является функцией температуры, например, с увеличением температуры для чистых металлов наблюдается уменьшение численного значения λ , а для сплавов – его увеличение.

Уравнение П.2 содержит два параметра, поддающиеся непосредственному измерению различными способами: q и $\partial T/\partial x$. Это позволяет определить и значение λ для конкретных образцов и веществ:

$$\lambda = \frac{q}{\partial T/\partial x} . \quad \text{П.3}$$

Данное уравнение явилось основой для разработки метода определения коэффициента теплопроводности, который называется методом бесконечной тонкой пластины (или просто методом пластины). Его сущность заключается в следующем. Опытный образец выполняется в виде пластины, толщина которой много меньше образующих ее сторон (или диаметра в случае диска). К одной из поверхностей образца от нагревателя подводится некоторое количество теплоты, а с противоположной стороны тепло отводится к холодильнику. Нагреватель и холодильник должны быть отрегулированы так, что бы обе поверхности образца находились при неизменяющихся во времени температурах. Это обеспечивает стационарность процессу теплопередачи. Значительные линейные размеры образца обеспечивают: а) однородность температурного поля на плоских основаниях образца в областях, близких к центру симметрии; б) возможность пренебрежения тепловыми потерями через боковые поверхности образца.

Поскольку пластина является тонкой, то вдали от ее краев температурный градиент между поверхностями может рассматриваться как линейная функция (рис. 4).

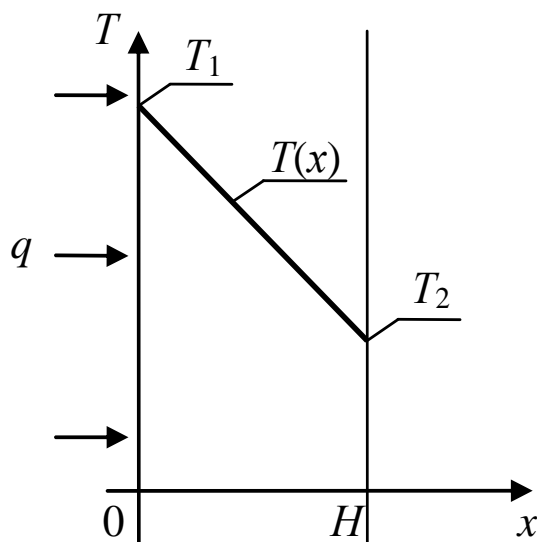


Рисунок 4 – Температурный градиент между поверхностями

Тогда

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{T_1 - T_2}{H} ,$$

где T_1, T_2 – температуры на плоских основаниях образца в градусах Цельсия; H – толщина пластины.

Таким образом, получаем:

$$\lambda = \frac{qH_{cp}}{T_1 - T_2}, \quad (\text{П.4})$$

где H_{cp} – усредненная толщина пластины.

Уравнение П. 4 показывает, что определение коэффициента теплопроводности может быть результатом косвенных измерений, если прямыми измерениями получены значения температур на плоских основаниях образца, его толщины и плотности теплового потока через образец в направлении, указанном на рис. 4.

Контрольные вопросы

1. Формы передачи теплоты.
2. Теплопроводность. Закон Фурье.
3. Температурный градиент плоской пластины.
4. Приведите функциональную схему модуля для определения теплоемкости.
5. Получите формулу для расчета коэффициента теплопроводности на основе закона Фурье.

Учебное издание

Составители:

*Пинчук Александр Иванович
Борушко Вадим Васильевич
Клименко Николай Федорович*

Методические указания

к лабораторной работе
«Исследование теплопроводности
материалов методом пластины»
по курсу «Тепломассообмен»
для студентов специальности
1-70 04 02 – Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана
воздушного бассейна

Ответственный за выпуск: Пинчук А.И.
Редактор: Боровикова Е.А.
Компьютерная вёрстка: Соколюк А.П.
Корректор: Никитчик Е.В.

Подписано в печать 29.11.2018 г. Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага «Performer».
Гарнитура «Times New Roman». Усл. печ. л. 0,69. Уч. изд. л. 0,75. Заказ № 1433. Тираж экз.
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.