Министерство образования и науки Российской Федерации

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева" в г. Белово

Кафедра технических наук

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВОЗДУХА МЕТОДОМ НАГРЕТОЙ НИТИ**

Методические указания к выполнению

лабораторной работы по дисциплине «Теплотехника»

для подготовки студентов направления 21.05.04

Составитель С.В. Белов

Утверждены на заседании кафедры

Протокол № 2 от 21.09.2017

Рекомендованы к печати

методическим советом филиала

КузГТУ в г. Белово

Протокол № 3 от 25.10.2107

Электронная копия находится в методическом кабинете филиала КузГТУ в г. Белово

**Белово 2017**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВОЗДУХА МЕТОДОМ НАГРЕТОЙ НИТИ**

**1. Цель работы:** а)изучение явления теплопроводности газов; б) экспериментальное определение коэффициента теплопроводности воздуха; в) Изучение явлений переноса в газах.

**2. Подготовка к работе:** Прочитать в учебниках следующие параграфы: [1] – §§ 10.7–10.9, [2] – §§ 6.1-6.6, [3] – §§ 128, 131, [4] – раздел 2 §§ 1.1–1.4

Для выполнения работы студент должен знать: а) закон Фурье; б) физический смысл коэффициентов теплопроводности, диффузии и внутреннего трения; в) соотношения между характеристиками газов на основе молекулярно – кинетической теории; г) уметь пользоваться измерительными приборами.

**3. Выполнение работы**

**3.1. Описание лабораторной установки**

Установка ФПТ1-3 представляет собой конструкцию настольного типа, состоящую из следующих основных частей:



1. Блока приборного;

2. Цифрового термометра;

3. Блока рабочего элемента;

4. Вольфрамовой нити;

5. Стойки;

6. Датчика температуры.

*Рис. 1. Общий вид установки ФПТ1-3*

На лицевой панели приборного блока (рис.1) находятся органы управления и регулировки установки: «СЕТЬ», «НАПРЯЖЕНИЕ» и «НАГРЕВ». Узел «СЕТЬ» осуществляет подключение установки к сети питающего напряжения. Узел «НАПРЯЖЕНИЕ» осуществляет управление работой цифрового контроллера для измерения напряжения. Узел «НАГРЕВ» осуществляет включение и регулирование нагрева нити. Блок Рабочего элемента представляет собой коробчатый конструктив, укрепленный на стойке. Несущими узлами блока являются панель и кронштейн, скрепленные между собой. Между выступающими частями панели в текстолитовых фланцах зажата стеклянная трубка. По оси трубки натянута вольфрамовая нить. Между панелью и кронштейном размещен вентилятор для охлаждения трубки. На панели установлены цифровой контроллер для измерения напряжения. Спереди блок Рабочего элемента защищен прозрачным экраном.

**3.2. Методика измерений и расчёта**

В термодинамически неравновесных системах возникают особые необратимые процессы, называемые явлениями переноса, в результате которых происходит пространственный перенос энергии, массы, импульса. К явлениям переноса относится и теплопроводность, обусловленная переносом энергии: если в одной области газа средняя кинетическая энергия молекул больше, чем в другой, то с течением времени вследствие постоянных столкновений молекул происходит процесс выравнивания средних кинетических энергий молекул, т.е. выравнивание температур.

Распространение теплоты в газах происходит тремя способами: тепловым излучением (перенос энергии электромагнитными волнами), конвекцией (перенос энергии за счет перемещения слоев газа в пространстве из областей с более высокой температурой в области с низкой температурой) и теплопроводностью. Перенос энергии в форме теплоты подчиняется закону Фурье (систему отсчета выбрали так, чтобы ось х была ориентирована в направлении переноса):

 (1)

где *j* – плотность теплового потока (величина, определяемая энергией, переносимой в единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную оси х); χ – теплопроводность; dT/dx - градиент температур, равный скорости изменения температуры на единицу длины х в направлении нормали к этой площадке (знак «минус» показывает, что при теплопроводности энергия переносится в направлении убывания температуры). Для идеального газа

**** (2)

где ρ - плотность газа; <λ> - средняя длина свободного пробега молекулы; <υТ> - средняя скорость теплового движения молекул, равная

 (3)

Cv - удельная теплоемкость газа при постоянном объеме.

Рассмотрим два коаксиальных цилиндра, пространство между которыми заполнено газом. Если внутренний цилиндр нагревать, а температуру наружного цилиндра поддерживать постоянной, ниже температуры нагревателя, то в кольцевом слое газа возникает радиальный поток теплоты, направленный от внутреннего цилиндра к наружному. При этом температура слоев газа, прилегающих к стенкам цилиндров, равна температуре стенок. Выделим в газе кольцевой слой радиусом r, толщиной *dr* и длиной *l*. По закону Фурье тепловой поток *q= dQ/dt* , т.е. количество теплоты, которое проходит через этот слой за одну секунду, можно записать в виде:

**  (4)

Тогда

 (5)



где R1T1 и R2 T2 - соответственно температуры поверхностей и радиусы внутреннего и наружного цилиндров.

Интегрируя, получим:

 (6)

Таким образом, процесс теплопередачи путем теплопроводности от нити к окружающей ее цилиндрической поверхности описывается уравнением:

 (7)

где χ – теплопроводность; *q*  - тепловой поток через поверхность S; D - внутренний диаметр трубки; d - диаметр нити, длина нити; ΔТ – разность температур нити и трубки.

В установке ФТП1-3 тепловой поток создается путем нагрева нити постоянным током и определяется по формуле:

 (8)

где Uн – падение напряжения нити; Uр - падение напряжения на эталонном резисторе; R - сопротивление эталонного резистора (Rр = 41 Ом).

Для вычисления разности температур ΔТ в слое газа напишем формулы, по которым определяют сопротивление проволоки при температуре окружающего воздуха и в нагретом состоянии:

, (9)

 (10)

где R0 – сопротивление проволоки при t = 0 0C; α – температурный коэффициент сопротивления материала проволоки.

Исключив из этих равенств R0, найдем

. (11)

Учитывая, что , получим

 (12)

где Uн, Uн.о. – падение напряжения на проволоке соответственно в нагретом состоянии и при температуре окружающего воздуха t0; Uр, Uр.о. – падение напряжения на эталонном резисторе соответственно при нагретой проволоке и при температуре окружающего воздуха t0.

**3.3. Порядок выполнения работы**

1. Включить тумблер «ВКЛ» в модуле питания «СЕТЬ». При этом загорается сигнальная лампочка.

2. Включить тумблер «ВКЛ» в модуле «НАГРЕВ». При этом загорается сигнальная лампочка.

3. Нажать кнопку «Uр»(режим измерения падения напряжения на эталонном резисторе).

4. Установить рукояткой «НАГРЕВ» напряжение Uр не более 0,060В (негреющий ток).

5. Нажать кнопку «Uн» (режим измерения падания напряжения на нити) и зарегистрировать показания цифрового индикатора.

6. Полученный результат записать в таблицу Up.o., Uн.o., to.

7. Нажать кнопку «Up» и установить рукояткой «НАГРЕВ» напряжение Uр равным 2 В.

8. Выждать минуту для стабилизации теплового режима и определить падение напряжения на нити Uн нажатием кнопки «Uн».

9. Полученный результат записать в таблицу.

Таблица 1

*Результаты определения теплопроводности воздуха χ*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Up*,*В |  |  |  |  |  |
| Uн, В |  |  |  |  |  |
| q, Дж |  |  |  |  |  |
| ΔT, К |  |  |  |  |  |
| χ, Вт/(м⋅К) |  |  |  |  |  |

10. Повторить пункты 7 – 9 для величин Uр в диапазоне 2,0 - 6,0 В с шагом 1 В.

11.После измерения вывести ручку «НАГРЕВ» в крайнее левое положение.

3.4. Обработка результатов измерений

1. Рассчитать тепловой поток по формуле (8), учитывая следующие данные:

*l*=0,4 м; d=64•10-5м; α=4,1•10-3; D=26•10-3м.

2. Рассчитать разность температур по формуле (12).

3. Определить коэффициент теплопроводности по формуле (7).

Полученные значения усреднить.

4. Зная связь коэффициентов теплопроводности  и динамической вязкости , найдите .

5. Найдите плотность воздуха при условиях эксперимента и коэффициент диффузии .

6. Сделать выводы.

 **4. Вопросы для самоподготовки**

1. В чем сущность явлений переноса?

2. При каких условиях возникают явления переноса?

3. Выведите формулу (7) для теплопроводности воздуха для описываемого эксперимента.

4. Объясните физическую сущность закона Фурье?

5. Какова связь между температурой и средней кинетической энергией молекул?

6. Зависит ли теплопроводность газа от числа молекул в единице объема, от давления? Почему?

7. Сформулируйте зависимость теплопроводности газа от длины

свободного пробега, средней скорости молекул, плотности и теплоемкости газа. Объясните физическую сущность полученного выражения.

5. Список рекомендуемой литературы

1. Детлаф, А.А., Яворский Б.М. Курс физики: учебное пособие для втузов/ А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. – 6-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 720 с
2. Теплотехника / В. В. Дырдин, А. А. Мальшин, В. Г. Смирнов, Т. Л. Ким ; КузГТУ. – Кемерово, 2017. – 172 с.

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=91591&type=utchposob:common>

3. Савельев, И.В. Курс общей физики. В 3 т. Том 1. Механика. Молекулярная физика [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 436 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/71760. — Загл. с экрана.

4. Кудинов, В. А. Техническая термодинамика и теплопередача : учебник для академического бакалавриата / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов, Е. В. Стефанюк. — 3-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 442 с

<https://biblio-online.ru/book/EFA5B946-B5A6-4C71-AE60-3DAFCC7163EC>

Составитель

Белов Сергей Викторович

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВОЗДУХА МЕТОДОМ НАГРЕТОЙ НИТИ**

Методические указания к выполнению

лабораторной работы по дисциплине «Теплотехника»

для подготовки студентов направления 21.05.04