

Энгельсский технологический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Технология и оборудование химических, нефтегазовых
и пищевых производств»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО СЛОЯ

Методические указания к выполнению лабораторной работы
по дисциплинам «Теплотехника»,
«Техническая термодинамика и теплотехника»
для студентов направлений
15.03.02 «Технологические машины и оборудование»,
18.03.01 «Химическая технология»
21.03.01 «Нефтегазовое дело»

очной, заочной, очно-заочной форм обучения

Энгельс 2024 г.

Цель работы: закрепление знаний по теории теплопроводности, ознакомление с методикой экспериментального определения коэффициента теплопроводности материалов, а также приобретение навыков в работе с контрольно-измерительными приборами при проведении опытов.

В процессе выполнения работы должны быть проработаны самостоятельно и усвоены следующие вопросы:

- 1) физическая сущность процессов теплопроводности, как одной из форм передачи теплоты;
- 2) содержание основного закона теплопроводности;
- 3) понятие о коэффициенте теплопроводности и способах его определения;
- 4) теплопроводность плоской и цилиндрической многослойной стенок.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В ходе выполнения лабораторной работы студенту необходимо:

- 1) определить значение коэффициента теплопроводности исследуемого материала;
- 2) найти зависимость коэффициента теплопроводности от температуры: $\lambda = f(t)$.

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Для определения коэффициента теплопроводности сыпучим материалам придается форма цилиндрического слоя, который помещают на поверхность круглой трубы. Внутренняя поверхность трубы равномерно обогревается, поэтому при установившемся тепловом режиме все количество теплоты, выделяющееся внутри трубы, проходит через слой исследуемого материала и его можно определить по формуле теплового потока через цилиндрическую стенку:

$$Q = \frac{2\pi \cdot \lambda \cdot l \cdot (t_{w2} - t_{w1})}{\ln \frac{d_2}{d_1}}, \quad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности исследуемого материала, Вт/(м·К);

l – длина опытного участка трубы, м;

d_1 и d_2 – внутренний и наружный диаметры цилиндрического слоя материала, м;

t_{w2} и t_{w1} – температуры внутренней и внешней поверхности слоя материала, °С.

Цилиндрический образец исследуемого материала должен иметь достаточно большую длину по сравнению с диаметром и надежную тепловую защиту с торцов.

На образце выделяется опытный участок такой длины, при которой

аксиальные потоки тепла пренебрежимо малы по сравнению с радиальными, а тепловой поток можно считать одномерным.

Тогда по уравнению (1) определяется значение эквивалентного коэффициента теплопроводности, который характеризует свойства многослойной цилиндрической стенки.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Экспериментальная установка (рис. 1) состоит из трубы 1 с опытным участком длиной $l=0,7$ м. Изоляционный цилиндрический слой исследуемого материала 2 имеет внутренний диаметр $d_1=0,05$ м и наружный $d_2=0,13$ м.

Внутри трубы установлен электрический нагреватель 3, создающий равномерный обогрев. Сила тока регулируется лабораторным автотрансформатором 4, а потребляемая мощность измеряется с помощью амперметра 5 и вольтметра 6.

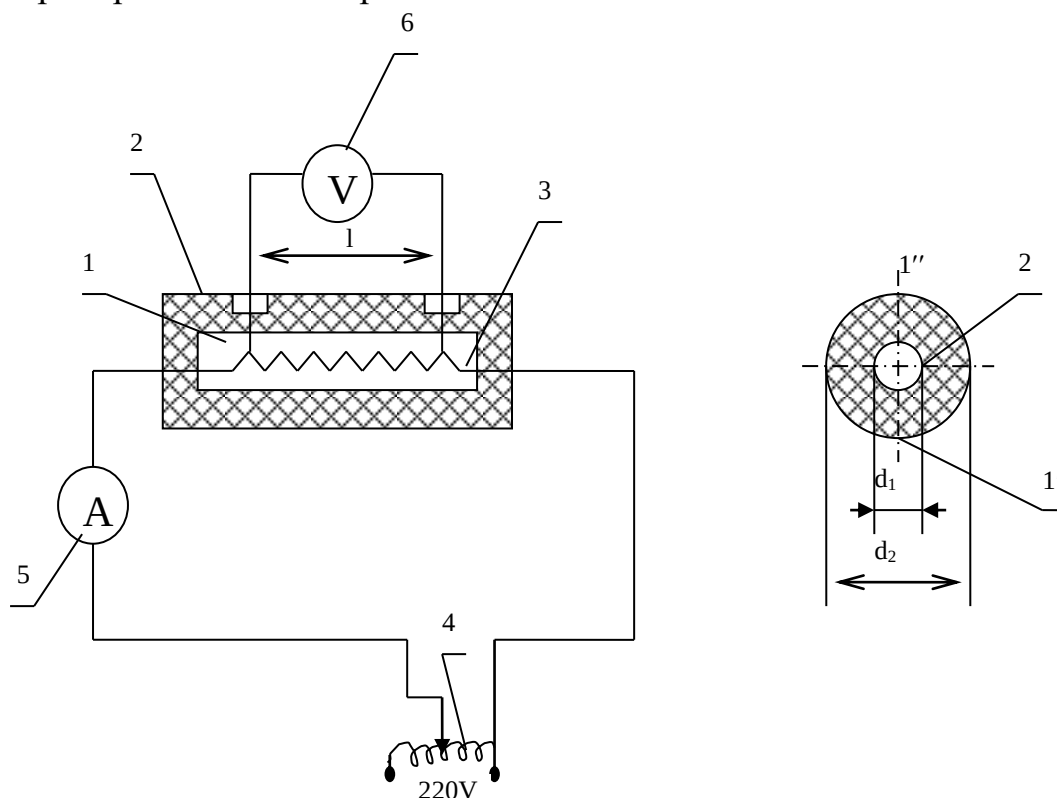


Рис.1. Схема установки.

Исследуемый материал имеет хороший контакт на границе с внешней поверхностью внутренней трубы, поэтому соприкасающиеся поверхности материала и трубы имеют одну и ту же температуру.

Температура внешней и внутренней поверхности цилиндрического слоя (рис.1, точки 1'', 1', 2) материала измеряется с помощью датчиков микропроцессорного измерителя типа 2ТРМ0.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ И МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Первоначально необходимо заготовить протокол для записи наблюдений по следующей форме.

Протокол записи показаний измерительных приборов

Температура, °С			Сила тока, А	Напряжение, В
t'_{w1}	t''_{w1}	t_{w2}	I	U

Запись всех показаний измерительных приборов производится после наступления установившегося состояния.

Для достижения установившегося состояния требуется значительный промежуток времени, поэтому лабораторная установка включается заранее.

Опыт можно считать законченным после того, как показания приборов на протяжении 4-5 замеров остаются неизменными.

Температура внешней поверхности цилиндрического слоя испытуемого материала определяется по формуле:

$$t_{w1} = \frac{t'_{w1} + t''_{w1}}{2},$$

где t'_{w1} – температура в нижней точке внешней поверхности теплоизоляционного слоя, °С;

t''_{w1} – температура в верхней точке внешней поверхности теплоизоляционного слоя, °С.

Следующий опыт производится при другом температурном режиме.

Опыты производятся для температурных режимов с силой тока $I=1,0; 1,5; 2,0$ А.

Для обработки необходимо использовать данные, полученные при установившемся тепловом состоянии системы. Обычно в расчетах используют средние показания приборов из последних записей.

Коэффициент теплопроводности λ исследуемого материала вычисляется из уравнения (1):

$$\lambda = \frac{Q \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}}{2 \pi \cdot l \cdot (t_{w2} - t_{w1})}. \quad (2)$$

Количество теплоты Q , Вт, определяется по потребляемой электрической мощности нагревателя:

$$Q = I \cdot U, \quad (3)$$

где I – сила тока, А; U – напряжение, В.

Полученное по уравнению (2) значение коэффициента теплопроводности следует относить к средней температуре исследуемого материала:

$$\bar{t} = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2}. \quad (4)$$

Так как каждому принятому в опытах температурному режиму будет соответствовать определенное значение коэффициента теплопроводности λ , то можно построить график зависимости λ от средней температуры исследуемого материала: $\lambda=f(t)$.

Для большинства материалов эта зависимость имеет линейный характер, который выражается законом:

$$\lambda = \lambda_0 \cdot (1 \pm b \cdot t), \quad (5)$$

где λ_0 – значение коэффициента теплопроводности исследуемого материала при 0° С, Вт/(м·К);

b – постоянная, определяемая опытным путем.

Максимально возможная относительная погрешность определения коэффициента теплопроводности находится по формуле:

$$\delta\lambda = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \left| \frac{\Delta I}{I} \right| + \left| \frac{\Delta U}{U} \right| + \left| \frac{\Delta l}{l} \right| + \left| \frac{\Delta t_{w1} + \Delta t_{w2}}{t_{w2} - t_{w1}} \right| + \left| \frac{d_1 \cdot \Delta d_2 + d_2 \cdot \Delta d_1}{d_1 \cdot d_2 \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}} \right|, \quad (6)$$

где Δ - абсолютные погрешности измерения величин.

Обозначим относительные погрешности непосредственно измеряемых в опыте величин:

$$\begin{aligned} \delta I &= \frac{\Delta I}{I} \cdot 100, \% , \quad \delta U = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100, \% , \quad \delta l = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100, \% , \\ \delta(t_{w2} - t_{w1}) &= \frac{\Delta t_{w1} + \Delta t_{w2}}{t_{w2} - t_{w1}} \cdot 100, \% , \quad \delta \ln \frac{d_2}{d_1} = \frac{d_1 \cdot \Delta d_2 + d_2 \cdot \Delta d_1}{d_1 \cdot d_2 \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}} \cdot 100, \% , \end{aligned}$$

и окончательно получим:

$$\delta\lambda = \left| \delta I \right| + \left| \delta U \right| + \left| \delta l \right| + \left| \delta \ln \frac{d_2}{d_1} \right| + \left| \delta(t_{w2} - t_{w1}) \right|. \quad (7)$$

В лабораторной работе установлен амперметр и вольтметр с классом точности 2,0. Температура внутренней и внешней поверхностей теплоизоляционного слоя измеряется с помощью датчиков микропроцессорного измерителя типа 2ТРМ0 с классом точности 0,5. Абсолютная погрешность измерений каждого из диаметров d_1 , d_2 и длины опытного участка l с помощью металлической линейки составляет 1,0 мм.

ОТЧЕТ О РАБОТЕ

Отчет о выполненной лабораторной работе должен содержать следующее:

- 1) краткое описание работы;
- 2) принципиальную схему установки;
- 3) протокол записи показаний измерительных приборов;
- 4) обработку результатов опыта и график зависимости коэффициента теплопроводности от температуры материала $\lambda=f(t)$;
- 5) сравнение полученных результатов с литературными данными и определение постоянных λ_0 и b ;
- 6) расчет суммарной погрешности измерения по формуле (6).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение процесса теплопроводности.
2. Что называют температурным полем? Какими бывают эти поля?
3. Как определяется установившийся и неуставившийся тепловой режим?
4. Что такое изотермические поверхности и температурный градиент?
5. Напишите уравнение основного закона теплопроводности (закон Фурье).
6. В чем физический смысл коэффициента теплопроводности?
7. Как зависит коэффициент теплопроводности от физических характеристик материалов?
8. Какие материалы называются теплоизоляционными?
9. Написать уравнение одномерного температурного поля при установившемся режиме.
10. Опишите законы изменения температур по толщине плоской и цилиндрической стенок.
11. Как подсчитать температуру любой промежуточной изотермической поверхности тела?
12. Напишите формулу для определения термического сопротивления плоской и цилиндрической стенок.
13. Как определить термическое сопротивление многослойных стенок?
14. Какова форма изотермической поверхности в цилиндрической стенке?
15. Укажите, в каком направлении распространяется тепловой поток в цилиндрической стенке.
16. Перечислите виды теплоизоляционных материалов.