

Лабораторная работа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ТРУБЫ

9.1. Цель работы

Закрепить знания в области теории теплопроводности, изучить методику экспериментального определения коэффициента теплопроводности изоляционных материалов, исследовать эффективность тепловой изоляции и получить навык в проведении экспериментальных работ.

9.2. Задачи работы

Ознакомление с теоретическими положениями, являющимися основой метода трубы; ознакомление с составом оборудования и принципом действия экспериментальной установки; определение значения коэффициента теплопроводности исследуемого материала; определение эффективности применения изоляционных материалов для снижения тепловых потерь при изоляции труб.

9.3. Теоретические положения

Самопроизвольный необратимый процесс переноса теплоты в пространстве при наличии разности температур называется теплообменом.

Теплопроводность (кондуктивный теплообмен) – это процесс распространения теплоты за счет непосредственного соприкосновения тел (частиц тела). Она обусловлена движением микрочастиц (молекул) тела и возможна в твердых, жидких и газообразных средах.

Основным законом теплопроводности является закон Фурье, который устанавливает количественную взаимосвязь между тепловым потоком, вызванным теплопроводностью, и температурными неоднородностями среды:

$$q = -\lambda \cdot \text{grad}(t) = -\lambda \cdot \frac{dt}{dx}, \text{ Вт/м} \quad (9.1)$$

Согласно основному закону теплопроводности плотность теплового потока q прямо пропорциональна градиенту температуры $\text{grad}(t)$. Коэффициент пропорциональности λ (Вт/м·К) называется теплопроводностью, он характеризует способность материала проводить тепловую энергию. Коэффициент теплопроводности λ зависит от структуры вещества, его плотности, теплоемкости, температуры, давления.

Значение коэффициента теплопроводности определяется опытным путем на специальных лабораторных установках. В практических расчетах значения коэффициента теплопроводности для различных материалов можно взять из справочных материалов. В приложениях 4, 5 и 6 приведены значения коэффициента теплопроводности для некоторых материалов.

Одним из применяемых в теплотехнике методов определения λ является метод трубы или цилиндра. В случае установившегося теплового равновесия системы для многослойной стенки, состоящей из слоев разных материалов, уравнение теплового потока имеет вид:

$$\Phi = \frac{2\pi}{\sum_1^n \frac{1}{\lambda_i} \cdot \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}} (t_1 - t_2) \cdot L, \text{ Вт/м} \quad (9.2)$$

На теплообменные поверхности с целью уменьшения тепловых потерь накладывается тепловая изоляция из материалов с низкой теплопроводностью λ (газы, пористые материалы, асбест, минеральная вата, стекловата, пенопласт, пенобетон и другие). Часто на практике изолируются трубопроводы, по которым движутся горячие среды. На рис.9.1 изображена схема однослойной изоляции трубопровода.

В общем случае уравнение теплового потока на отрезке изолированного трубопровода длиной L , будет иметь вид, Вт:

$$\Phi = \frac{\pi \cdot L \cdot (t_{жк1} - t_{жк2})}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{ИЗ}} \cdot \ln \frac{d_{ИЗ}}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_{ИЗ}}} \quad (9.3)$$

где λ и $\lambda_{ИЗ}$ – коэффициенты теплопроводности материала трубы и изоляции;

α_1 и α_2 – коэффициенты теплоотдачи от горячего теплоносителя с температурой $t_{жк1}$ к стенке трубы и от изоляции в окружающую среду с температурой $t_{жк2}$.

При увеличении внешнего диаметра изоляции $d_{ИЗ}$ увеличивается сопротивление слоя изоляции $\frac{1}{2 \cdot \lambda_{ИЗ}} \cdot \ln \frac{d_{ИЗ}}{d_2}$, но одновременно уменьшается сопротивление теплоотдачи $\frac{1}{\alpha_2 \cdot d_{ИЗ}}$ на наружной поверхности изоляции.

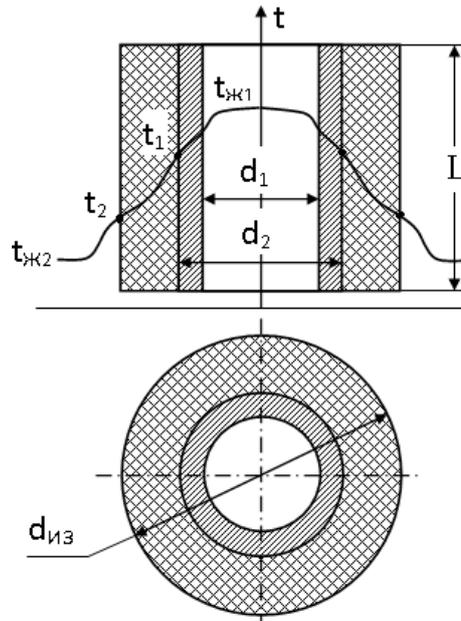


Рис. 9.1. Схема однослойной тепловой изоляции:
1 – горячая среда; 2 – стенка трубопровода; 3 – тепловая изоляция

Анализ общего термического сопротивления изолированной трубы позволяет выразить так называемый критический диаметр изоляции, при котором будут максимальные тепловые потери:

$$d_{кр} = 2 \cdot \frac{\lambda_{ИЗ}}{\alpha_2} \quad (9.4)$$

При $d_{ИЗ} < d_{кр}$ увеличение толщины изоляции приводит к увеличению теплопотерь, а при $d_{ИЗ} > d_{кр}$ – к уменьшению.

Рассчитанное значение критического диаметра должно быть меньше или равно наружному диаметру изолированной трубы, тогда изоляция будет эффективной:

$$d_{кр} \leq d_{ИЗ} \quad (9.5)$$

Решая это уравнение относительно значения коэффициента теплопроводности теплоизоляции, получим условие, когда теплопотери через изолированную цилиндрическую стенку будут наименьшими [6]:

$$\lambda_{ИЗ} \leq \frac{\alpha_2 \cdot d_2}{2} \quad (9.6)$$

9.4. Описание экспериментальной установки

Схема установки представлена на рис. 9.2. Экспериментальная установка состоит из металлической трубы 1, покрытой слоем исследуемого изоляционного материала 2, которым является асбест.

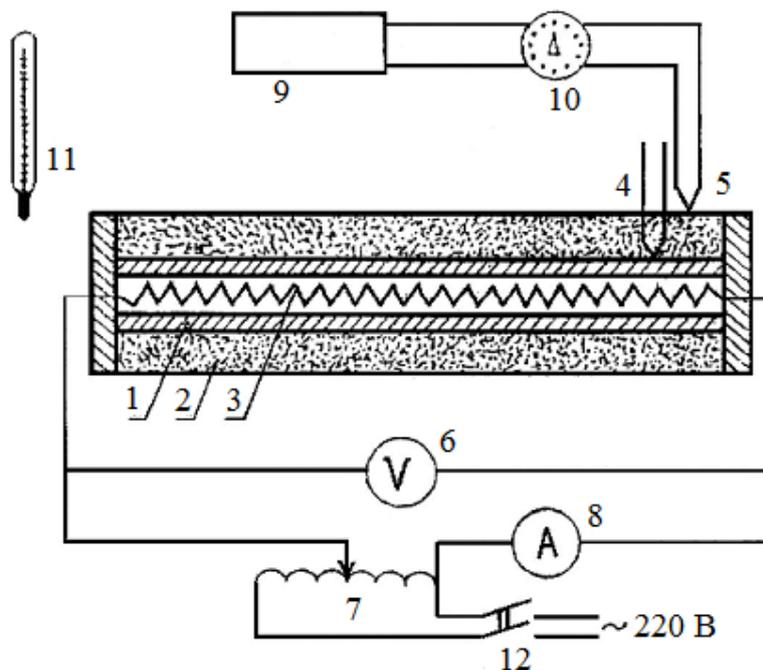


Рис. 9.2. Схема экспериментальной установки:

1 – металлическая труба; 2 – слой изоляции; 3 – нагревательный элемент;
 4 – термопары на внутренней поверхности изоляции; 5 – термопары на наружной поверхности
 изоляции; 6 – вольтметр; 7 – автотрансформатор (ЛАТР); 8 – амперметр; 9 – измеритель
 температуры; 10 – переключатель термопар; 11 – ртутный термометр; 12 – выключатель сети

Нагрев трубы осуществляется нагревательным элементом 3, при этом для регулирования напряжения применяется лабораторный трансформатор ЛАТР 7. Для определения мощности, потребляемой нагревательным элементом, в цепь питания включен вольтметр 8.

Количество выделяемого в окружающую среду тепла через поверхность трубы определяется по расходу электрической энергии. Для снижения тепловых потерь торцы трубы закрыты тепловой изоляцией. Температура испытываемого материала измеряется десятью хромель-копелевыми термопарами. Термопары 4 (пять штук) замеряют температуру на внутренней поверхности изоляции, а остальные пять термопар 5 – на наружной поверхности.

Вторичным прибором для измерения температуры является милливольтметр 9. Для последовательного подключения термопар к измерителю температур служит переключатель 10. Для определения температуры изоляции используется тот же измеритель. Измерение температуры окружающего воздуха проводится с помощью ртутного лабораторного термометра 11.

9.5. Порядок выполнения работы

Включение установки в сеть осуществляется выключателем 12 (рис. 9.2) под наблюдением преподавателя или лаборанта. Устанавливается тепловой режим (задается значение напряжения, которое регулируется при помощи ЛАТРа 7). Все изменения проводятся при строго установившемся тепловом режиме. Фиксация установившегося режима происходит при неизменной средней температуре наружной t_2 и внутренней t_1 поверхности изоляции. При этом вся тепловая энергия, выделяемая нагревательным элементом в трубе, отдается в окружающую среду. Установившееся тепловое состояние наступает через 30...40 минут после включения установки. Показания термопар определяют, последовательно подключая их к милливольтметру 9 переключателем 10, повторяя замеры 2-3 раза через 5...10 минут. При этом режим можно считать установившемся, если измеряемые температуры поверхности изоляции двух последовательных опытов отличаются не более, чем на 5 °С.

9.6. Обработка экспериментальных данных

1) Вычислить количество теплоты, выделяемое нагревательным элементом:

$$Q = U \cdot I, \text{ Вт} \quad (9.7)$$

2) Вычислить среднюю температуру внутренней поверхности изоляционного слоя:

$$\bar{t}_1 = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}{5}, \text{ }^\circ\text{C} \quad (9.8)$$

3) Определить средняя температура наружной поверхности изоляционного слоя:

$$\bar{t}_2 = \frac{t_6 + t_7 + t_8 + t_9 + t_{10}}{5}, \text{ }^\circ\text{C} \quad (9.9)$$

4) Вычислить коэффициент теплопроводности для изоляционного материала:

$$\lambda_{из} = \frac{Q \cdot \ln \frac{d_3}{d_2}}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (\bar{t}_1 - \bar{t}_2)}, \text{ Вт/м}\cdot\text{К} \quad (9.10)$$

Геометрические размеры изоляции равны:

Диаметры трубы: $d_2 = 0,04$ м, $d_3 = 0,05$ м;

Длина трубы: $L = 0,9$ м.

5) Определить коэффициент теплоотдачи от изоляции в окружающую среду:

$$\alpha_2 = \frac{Q}{\pi \cdot d_3 \cdot L \cdot (\bar{t}_2 - t_0)}, \text{ Вт/м}\cdot\text{К} \quad (9.11)$$

где t_0 – температура воздуха по показаниям лабораторного термометра.

6) Определить эффективность изоляции из соотношения (9.6).

7) Определить критический диаметр изоляции по формуле (9.5).

9.7 Оформление отчета

Отчет по работе должен включать цель работы, задачи работы, схему экспериментальной установки, таблицу 9.1 показаний термопар и таблицу 9.2 опытных и расчетных данных.

Таблица 9.1

Показания термопар

Номер опыта	Температура t , $^\circ\text{C}$ соответствующей термопары										Время замера τ , с
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

Таблица 9.2

Опытные и расчетные данные

№ п/п	Параметр	Значение
1	Напряжение питания U , В	
2	Сила тока нагревателя I , А	
3	Тепловой поток от нагревателя Q , Вт	
4	Температура воздуха t_0 , $^\circ\text{C}$	
5	Средняя температура внутренней поверхности изоляции \bar{t}_1 , $^\circ\text{C}$	

№ п/п	Параметр	Значение
6	Средняя температура внешней поверхности изоляции \bar{t}_2 , °С	
7	Коэффициент теплоотдачи теплоизоляции α_2 , Вт/м ² ·К	
8	Коэффициент теплопроводности изоляции λ , Вт/м·К	
9	Критический диаметр изоляции $d_{кр}$, м	

9.8. Контрольные вопросы

1. Каков физический смысл теплопроводности?
2. Сформулировать основной закон теплопроводности – закон Фурье.
3. Что такое критический диаметр теплоизоляции?
4. Из каких составляющих складывается общее термическое сопротивление двухслойной цилиндрической трубы?