

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Уральский государственный лесотехнический университет»  
(УГЛТУ)

Кафедра энергетики

Ю. В. Путилин  
С. В. Звягин  
А. И. Сафронов

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА  
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ  
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
И КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ**

Учебно-методическое руководство к лабораторной работе №12 по курсу  
«Теплотехника» для студентов очного и заочного обучения  
всех специальностей

Екатеринбург  
2020

Печатается по рекомендации методической комиссии ИАТТС.

Протокол № 1 от 30.10.2019 г.

Рецензент – профессор, доктор техн. наук С. М. Шанчуров

Редактор Л. Д. Черных

Оператор компьютерной верстки Е. Н. Дунаева

---

Подписано в печать 20.03.2020		Поз. 43
Плоская печать	Формат 60x84 1/16	Тираж 10 экз.
Заказ №	Печ. л. 0,46	Цена руб. коп.

---

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ  
Сектор оперативной полиграфии РИО УГЛТУ

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В рекуперативных теплообменниках перенос тепла от греющего теплоносителя к нагреваемому осуществляется через разделяющую их твердую стенку. Этот процесс называется теплопередачей.

Интенсивность теплопередачи характеризуется значением коэффициента теплопередачи  $K$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К), численно равном величине теплового потока от одного теплоносителя к другому через поверхность площадью 1 м<sup>2</sup> разделяющей их стенки при разности температур между теплоносителями в 1°. Его величина определяется интенсивностью всех трех процессов, объединяемых понятием «теплопередача», а именно коэффициентом теплоотдачи от греющего теплоносителя к стенке  $\alpha_1$ , термическим сопротивлением стенки  $R_{ст}$  и коэффициентом теплоотдачи от стенки к нагреваемому теплоносителю  $\alpha_2$ .

В настоящей работе в качестве теплообменника используется аппарат (рисунок), имеющий 2-слойную стенку – на металлическую трубу нанесен слой асбестовой изоляции. Поэтому общее термическое сопротивление стенки равно сумме термических сопротивлений металлической стенки и изоляции:

$$R_{ст} = \frac{\delta_m}{\lambda_m} + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}},$$

где  $\delta_m$  и  $\delta_{из}$  – толщины металлической трубы и слоя изоляции, соответственно;

$\lambda_m$ ,  $\lambda_{из}$  – коэффициенты теплопроводности металла и изоляции, соответственно.

Важно подчеркнуть, что коэффициент теплопередачи никогда не может быть больше  $\alpha_1$ ;  $\alpha_2$ ;  $\lambda_m/\delta_m$ ;  $\lambda_{из}/\delta_{из}$ . Сильнее всего он зависит от наименьшего из этих значений, оставаясь всегда меньше его.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Определить величину коэффициента теплопроводности тепловой изоляции трубы.
2. Рассчитать коэффициенты теплоотдачи и коэффициент теплопередачи многослойной цилиндрической стенки.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Схема экспериментальной установки изображена на рисунке 1. На металлическую трубу (1) длиной  $L = 1150$  мм, диаметром  $d_1/d_2 = \frac{100}{112}$  мм нанесен слой изоляции из асбеста (3). Наружный диаметр изолированной трубы  $d_3 = 220$  мм.

Внутри трубы находится электрический нагреватель (2), мощность которого регулируется с помощью ЛАТРа. За счёт тепла, выделяемого электронагревателем, температура воздуха внутри трубы повышается до  $t_1$ , а температура стенки трубы – до  $t_{ст1}$ . Все выделяющееся тепло, проходя через стенку трубы и слой изоляции, путем свободной конвекции отдается от наружной поверхности изоляции (температура которой  $t_2$ ) к окружающему воздуху.

Температуры поверхностей изоляции и трубы измеряются с помощью термопар (4,5,6), подключенных к милливольтметрам. Измерение температуры окружающего воздуха  $t_2$  производится лабораторным термометром.

Сила тока  $J$  и напряжение  $U$  в цепи электронагревателя замеряется амперметром (8) и вольтметром (7).

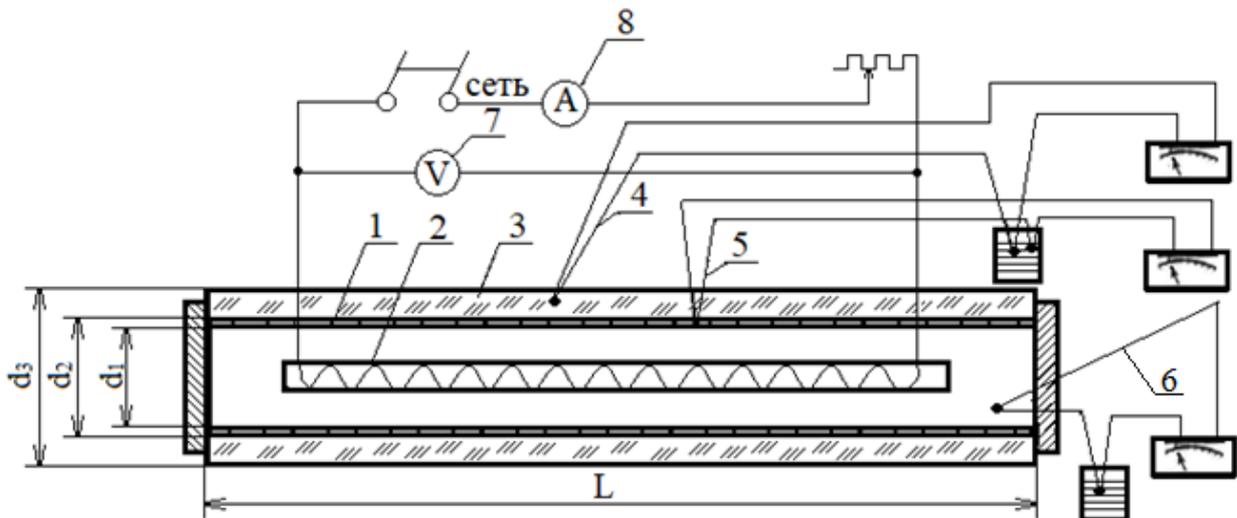


Схема экспериментальной установки:

- 1 – металлическая труба; 2 – электрический нагреватель; 3 – асбестовая изоляция;  
4,5,6 – термопары; 7 – вольтметр; 8 – амперметр

## ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА И МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРЕМЕНТА

Включается электронагреватель, и с помощью ЛАТРа устанавливается необходимая тепловая нагрузка. Холодные спаи всех термопар помещаются в сосуд с тающим льдом. После установления стационарного теплового режима, когда температуры изоляции и трубы не будут изменяться, производится снятие показаний всех термопар, силы тока и напряжения нагревателя. Измерения проводятся при неизменной мощности нагревателя не менее трех раз с интервалом в 2...3 минуты. Результаты вносятся в таблицу.

Результаты измерений

№	Сила тока J, А	Напряжение U, В	Температура, °С			
			горячего воздуха, t <sub>1</sub>	стенки трубы, t <sub>ст1</sub>	поверхности изоляции, t <sub>ст2</sub>	окружающей среды, t <sub>2</sub>
1						
2						
3						
Сред. знач.						

Тепловой поток Q через изолированную стенку трубы равен мощности электронагревателя

$$Q = J \cdot U \quad (1)$$

Он передается всеми стадиями общей теплопередачи от горячего воздуха внутри трубы к окружающей среде, в том числе и через слой изоляции.

Тепловой поток, Вт, через слой изоляции, учитывая значительную толщину последнего, может быть определен по выражению для цилиндрической стенки:

$$Q = \frac{2\pi L \lambda_{из} (t_{ст1} - t_{ст2})}{\ln \frac{d_3}{d_2}} \quad (2)$$

Из этого уравнения находятся значения коэффициента теплопроводности изоляции, Вт/(м·К):

$$\lambda_{из} = \frac{Q \ln \frac{d_3}{d_2}}{2\pi L (t_{ст1} - t_{ст2})} \quad (3)$$

Коэффициенты теплопередачи от горячего воздуха к внутренней поверхности трубы  $\alpha_1$ , Вт/(м<sup>2</sup> · К), и от наружной поверхности изоляции к окружающему воздуху  $\alpha_2$ , Вт/(м<sup>2</sup> · К), определяются по выражениям:

$$\alpha_1 = \frac{Q}{F_1(t_1 - t_{ct1})}, \quad (4)$$

$$\alpha_2 = \frac{Q}{F_2(t_{ct1} - t_2)}, \quad (5)$$

где  $F_1 = \pi d_1 L$  и  $F_2 = \pi d_3 L$  – площади внутренней поверхности трубы и наружной поверхности изоляции, соответственно.

Коэффициент теплопередачи  $K$ , Вт/(м<sup>2</sup> · К), определяется по выражению

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_M}{\lambda_M} + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (6)$$

где  $\delta_M = \frac{\alpha_2 - d_1}{2}$  – толщина стенки металлической трубы, м;

$\delta_{из} = \frac{d_3 - d_2}{2}$  – толщина слоя изоляции, м;

$\lambda_M = 50$  Вт/(м·К) коэффициент теплопроводности металлической трубы.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по работе должен включать следующие разделы:

1. Наименование и цель работы.
2. Принципиальная схема установки.
3. Результаты измерений (таблица).
4. Результаты обработки опытных данных по формулам (3), (4), (5), (6).

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Понятия теплопроводности, конвекции, теплопередачи.
2. Что называется коэффициентом теплопроводности, теплопередачи и теплоотдачи? Какова размерность этих коэффициентов и их физический смысл?
3. Каким из четырех термических сопротивлений (величины в знаменателе формулы (6)) определяется в первую очередь значение коэффициента теплопередачи?



**Ю. В. Путилин**  
**С. В. Звягин**  
**А. И. Сафронов**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА  
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ  
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
И КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ**

Екатеринбург  
2020