

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»



Н. Н. Попок, Г. И. Гвоздь

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Методические указания к учебно-исследовательской лабораторной работе
по дисциплине «Термодинамика и теплопередача»
для студентов специальности 1-36 07 02
«Производство изделий на основе трехмерных технологий»

Текстовое электронное издание

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2021

Об издании – [1](#), [2](#)

1 – дополнительный титульный экран – сведения об издании

УДК 621.1 (075.8)

ББК 34.5-5я73

Одобрены и рекомендованы к изданию методической комиссией
механико-технологического факультета в качестве методических указаний
(протокол № 10 от 30.06.2021 г.)

Кафедра технологии и оборудования машиностроительного производства

РЕЦЕНЗЕНТ:

канд. техн. наук, доц., доц. каф. технологии и оборудования машиностроительного производства А.М. ДОЛГИХ

© Попок Н. Н., Гвоздь Г. И. 2021

© Полоцкий государственный университет, 2021

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения
Для создания текстового электронного издания «Определение зависимости теплопроводности твердых тел от температуры» Н. Н. Попка и Г. И. Гвоздь использованы текстовый процессор Microsoft Office Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

Технические требования:

1 оптический диск.

Системные требования:

*PC с процессором не ниже Core 2 Duo;
2 Gb RAM; свободное место на HDD 1,5 Mb;
Windows XP/7/8/8.1/10
привод CD-ROM/DVD-ROM;
мышь.*

Редактор С. Е. Рясова

Подписано к использованию 31.08.2021.

Объем издания: 1,4 Мб. Заказ 549.

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

211440, Ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
<http://www.psu.by>

СОДЕРЖАНИЕ

1. ЦЕЛЬ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	5
2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	5
3. ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРИБОРА ИТ– λ –400	5
4. СХЕМА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРИБОРА ИТ– λ –400	6
5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ	8
6. ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВА И РАБОТЫ ПРИБОРА ИТ– λ –400	10
7. ГРАДУИРОВКА ИЗМЕРИТЕЛЯ	16
8. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА	16
9. МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ	17
10. СТРУКТУРА ОТЧЕТА	17
11. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	17
ПРИЛОЖЕНИЯ	18

1. ЦЕЛЬ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Цель работы – изучить методы и получить навыки определения теплопроводности конструкционных материалов.

Рекомендуется выполнять работу в следующем порядке:

1. Ознакомиться с физическими основами теплопроводности тел.
2. Изучить метод определения коэффициента теплопроводности.
3. Изучить устройство и принцип работы прибора ИТ–λ–400.
4. Изучить инструкцию работы с прибором.
5. Ознакомиться с порядком градуировки прибора и обработкой результатов эксперимента.
6. Провести экспериментальные измерения, заполнить протокол (приложение А).
7. Построить зависимость теплопроводности материала исследуемого образца от температуры и сделать выводы.

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Теплоемкость, теплопроводность и температуропроводность являются важнейшими характеристиками материалов, так как входят в качестве коэффициентов уравнения теории теплопроводности. Расчеты тепловых полей различных тел возможны только тогда, когда известны конкретные значения теплопроводности, теплоемкости и температуропроводности материала этих тел.

В свою очередь, теплофизические свойства твердых тел являются функциями температуры. Современная физика не располагает универсальными математическими моделями, которые позволили бы рассчитать теплофизические свойства реальных материалов. Основным источником информации о них являются теплофизические измерения.

3. ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРИБОРА ИТ–λ–400

В основе всех процессов передачи теплоты лежит закон теплопроводности (закон Фурье), согласно которому удельный тепловой поток q пропорционален градиенту (разности) температур T :

$$q = -\lambda \cdot \text{grad } T. \quad (1)$$

Коэффициент пропорциональности λ в выражении (1) называется коэффициентом теплопроводности. Знак «–» перед правой частью показывает, что тепловой поток направлен в менее нагретую часть тела.

Теплопроводность является характеристикой пространственного переноса теплоты и проявляется лишь при заметных градиентах температурного поля. Для определения коэффициента теплопроводности чаще всего используют такой прием: по результатам измерения температуры в характерных точках образца восстанавливают его температурное поле и через него расчетным путем находят градиенты температур в тех сечениях образца, где экспериментально измерены тепловые потоки.

Очевидно, что восстановление температурного поля значительно облегчается, если его конфигурация будет по возможности более простой. Простыми должны быть и устройства для определения теплового потока.

Чтобы уяснить принцип работы измерителя теплопроводности ИТ–λ–400, необходимо представить сравнительно небольших размеров пластину, боковые поверхности которой теплоизолированы. Если эту пластину положить на массивное тело, поверхность которого поддерживается при температуре T_1 , а на нее сверху положить стержень из теплопроводного материала, то тепловой поток от нагретого тела устремится к холодному стержню через пластину. Удельный тепловой поток q будет одинаков во всех точках плоскости соприкосновения, и со стороны стержня установится температура T_2 , а тепловое поле в пластине будет отписано выражением:

$$q = -\lambda(T_1 - T_2). \quad (2)$$

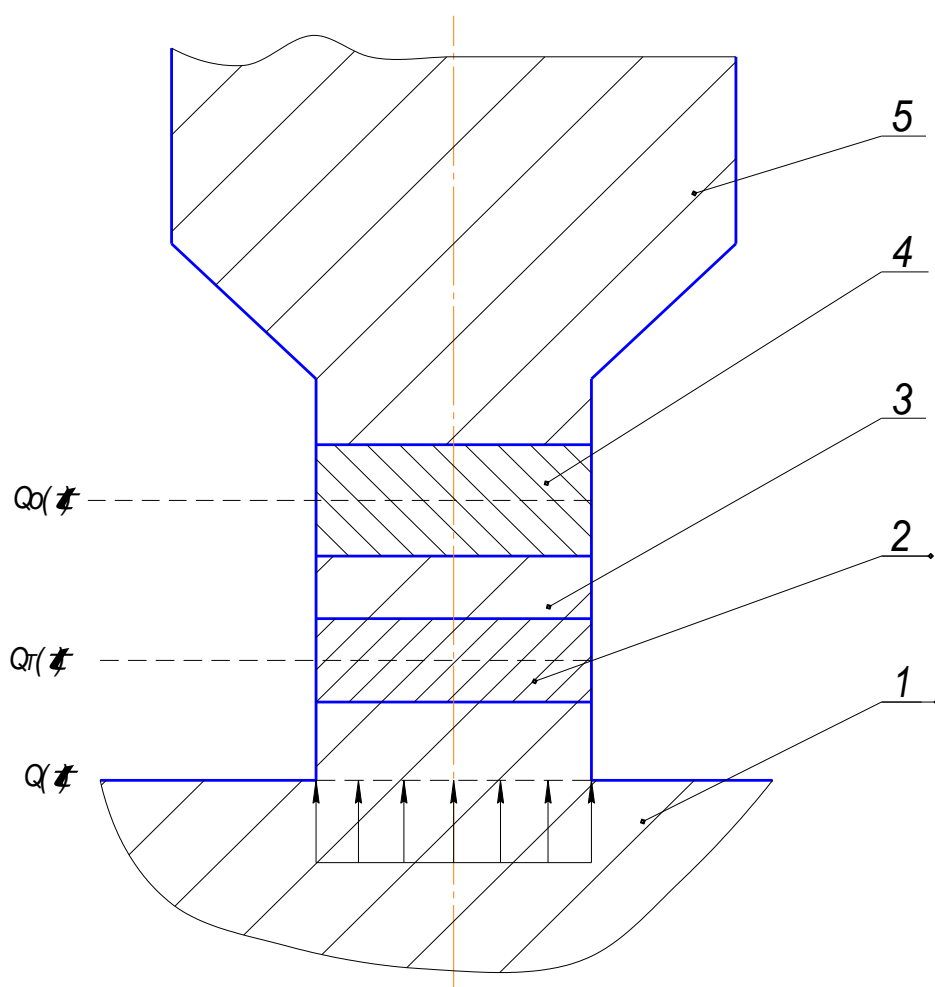
Очевидно, что стержень ограниченных размеров будет постепенно нагреваться и температура T_2 будет стремиться к T_1 . При малых разностях температур измерения q и λ становятся менее точными. Чтобы поддержать разность температур на достаточно высоком уровне, температуру массивного тела (нагревателя) увеличивают с постоянной скоростью.

Анализируя выражение (2) необходимо отметить, что оно может быть использовано как для определения мощности теплового потока если известно значение коэффициента теплопроводности λ , так и для определения λ при известном q .

4. СХЕМА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРИБОРА ИТ–λ–400

Схематично устройство измерительной системы прибора ИТ–λ–400 показано на рисунке 1. Испытуемый образец 4 и стержень 5 нагреваются тепловым потоком $Q_0(\tau)$, поступающим от основания 1 через пластину тепломера 2 и контактную пластину 3. Боковые поверхности тепломера 2,

контактной пластины 3, образца 4 и стержня 5 адиабатически изолированы. Стержень 5 и контактная пластина 3 изготовлены из меди, обладающей высокой теплопроводностью, поэтому разности температур внутри них незначительны. Тепловой поток $Q_T(\tau)$ проходит через пластину 2 и частично ею поглощается, за счет чего образуется разность температур на поверхностях. Так как теплопроводность материала пластины заведомо известна, то мощность теплового потока в среднем сечении $Q_T(\tau)$ в любой момент времени может быть вычислена по уравнению (2).



1 – основание; 2 – пластина тепломера; 3 – пластина контактная;
4 – испытуемый образец; 5 – стержень-теплоприемник

Рисунок 1. – Схема измерительной системы прибора ИТ-λ-400

Размеры измерительной системы выбраны таким образом, чтобы потоки теплоты, аккумулируемые образцом 4 и пластиной 2, были в 5–10 раз меньше потоков, поглощаемых стержнем.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Для выбранных размеров измерительной системы температурное поле образца 4 и пластины 2 оказывается близким к линейному, а для тепловых потоков, проходящих через образец $Q_o(\tau)$ и термомер $Q_T(\tau)$, справедливы формулы:

$$Q_o(\tau) = \frac{V_o \cdot S}{P} = \left(\frac{1}{2} C_o + C_c \right) \cdot b \quad (3)$$

$$Q_T(\tau) = K_T^* \cdot V_T = \left(\frac{1}{2} C_T + C_n + C_o + C_c \right) \cdot b \quad (4)$$

где $Q_o(\tau)$ – тепловой поток, проходящий через образец и поглощаемый стержнем, Вт;

V_o – перепад температуры в образце, К;

P – тепловое сопротивление между стержнем и контактной пластиной, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

C_o – полная теплоемкость образца, Дж/К;

C_c – полная теплоемкость стержня, Дж/К;

b – скорость разогрева измерительной ячейки, К/с;

S – площадь поперечного сечения образца, м^2 ;

$Q_T(\tau)$ – тепловой поток, проходящий через среднее сечение пластины 2, Вт;

K_T^* – коэффициент пропорциональности, характеризующий эффективную тепловую проводимость пластины 2, Вт/К;

V_T – перепад температур в пластине 2, К;

C_T – полная теплоемкость пластины 2, Дж/К;

C_n – полная теплоемкость контактной пластины 3, Дж/К;

Тепловое сопротивление между стержнем и контактной пластиной определяется по формуле:

$$P = P_o + P_k, \quad (5)$$

где P_o – тепловое сопротивление образца, $\text{м}^2/\text{Вт}$;

P_k – поправка, учитывающая тепловое сопротивление контактов между пластиной, образцом и стержнем, а также между термопарами и стержнем, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

Тепловое сопротивление образца P_o может быть вычислено по формуле

$$P_o = \frac{h}{\lambda}, \quad (6)$$

где h – высота образца, м;

λ – коэффициент теплопроводности, В/м·К.

На основании формул (3)–(6) можно получить расчетные формулы для определения теплового сопротивления образца и его теплопроводности:

$$P_o = \frac{V_o \cdot S(1 + \sigma_c)}{V_T \cdot K_T} - P_k, \quad (7)$$

где σ_c – поправка, учитывающая теплоемкость образца.

Эта поправка определяется по формуле

$$\sigma_c = \frac{C_c}{2(C_o + C_c)}, \quad (8)$$

где C_o – полная теплоемкость образца, Дж/К;

C_c – полная теплоемкость стержня, Дж/К.

Величина σ_c обычно не превышает 5–10% поэтому для вычисления теплопроводности можно пользоваться приближенными данными. Например, для конструкционных сталей можно использовать данные по удельной теплоемкости железа.

Тогда ориентировочное значение C_o можно вычислить по формуле

$$C_o = C_o(t) \cdot m_o, \quad (9)$$

где $C_o(t)$ – приближенное значение удельной теплоемкости образца, Дж/кг·К;

m_o – масса образца, кг.

Теплоемкость стержня вычисляется достаточно точно по формуле

$$C_c = C_M(t) \cdot m_c, \quad (10).$$

где $C_M(t)$ – удельная теплоемкость меди, Дж/кг·К;

m_c – масса стержня, кг.

Значение тепловой проводимости пластины 2 определяется следующей зависимостью:

$$K_T = K_T^* \cdot \frac{C_c}{\frac{1}{2} \cdot C_T + C_{п} + C_c}. \quad (11)$$

Для каждого конкретного образца значения K_T при различных температурах определяются при градуировке прибора ИТ-λ-400, аналогично определяется и поправка P_k для вычислений по формуле (5).

Для вычисления значений коэффициента теплопроводности используется формула

$$\lambda = \frac{h}{P_o}, \quad (12)$$

Вычисленные значения теплопроводности образца относятся к среднему значению температуры, которое вычисляется по формуле:

$$\bar{T} = T_c + 0,5A(T) \cdot n_o, \quad (13)$$

где \bar{T} – средняя температура образца, °С;

T_c – температура стержня, при которой проводилось измерение, определенная по показаниям на шкале измерительного блока, °С;

$A(T)$ – чувствительность контрольных термопар, с помощью которых производилось измерение температуры, град/мВ;

n_o – разность потенциалов, соответствующая перепаду температур на образце, мВ.

Для определения значений V_o и V_T , входящих в формулу (7), необходимо в эксперименте определить разности потенциалов, соответствующую перепаду температур на образце n_o и тепломере n_T .

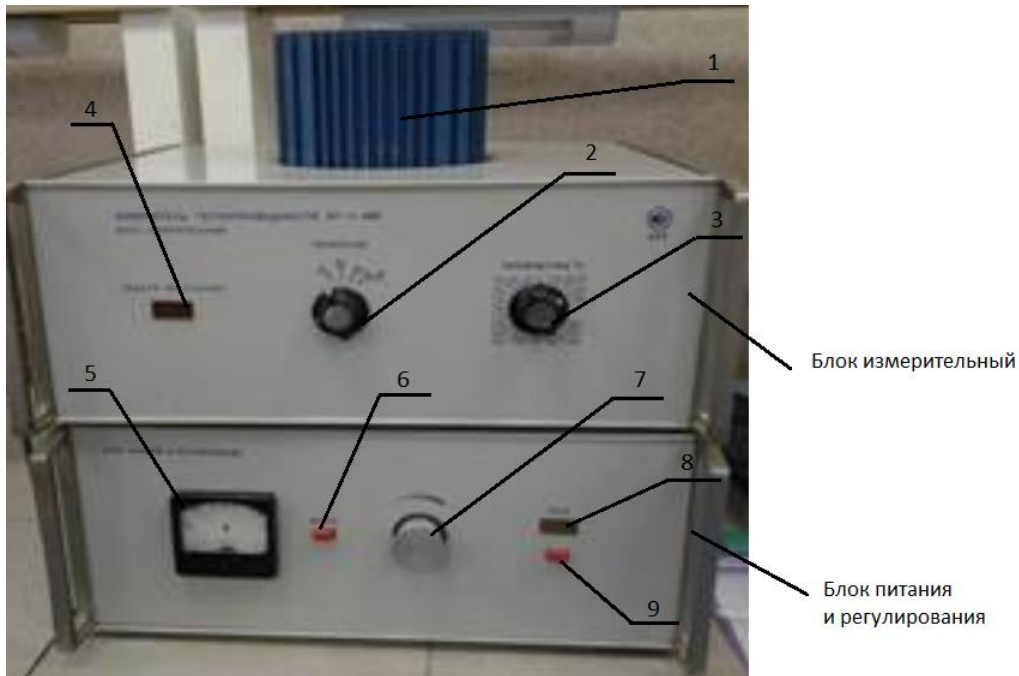
6. ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВА И РАБОТЫ ПРИБОРА ИТ-λ-400

6.1. Устройство прибора ИТ-λ-400

Измеритель теплопроводности ИТ-λ-400 предназначен для массовых исследований теплофизических свойств в условиях монотонного нагрева, что позволяет получить сразу температурную зависимость изучаемого параметра.

Прибор ИТ-λ-400 позволяет измерять коэффициент теплопроводности в диапазоне температур от 173 до 673 К. Измеритель теплопроводности

предназначен для массовых исследований теплофизических свойств, поэтому в его основу положен режим монотонного нагрева, позволяющий из одного эксперимента получить сразу температурную зависимость изучаемого параметра и обеспечивающий высокую производительность. Измеритель ИТ-λ-400 состоит из измерительного блока и блока питания и регулирования. Общий вид прибора представлен на рисунке 2.



1 – измерительная ячейка; 2 – ручка «Измерение» переключателя контактов термопар;
 3 – ручка «Температура» переключателя предельных значений температур нагрева ядра измерительной ячейки; 4 – лампа сигнальная блока измерения; 5 – вольтметр;
 6 – кнопка «Нагрев» включение нагрева ядра измерительной ячейки;
 7 – ручка регулирования напряжения на нагревателе; 8 – лампа сигнальная блока питания и регулирования; 9 – кнопка «Сеть» включения блока питания и регулирования

Рисунок 2. - Прибор для измерения теплопроводности ИТ-λ-400

Блок питания и регулирования обеспечивает нагрев ядра измерительной ячейки со средней скоростью 0,1 К/с и автоматическое регулирование температуры. Скорость нагрева определяется величиной начального напряжения на нагревателе и скоростью его изменения. Источником регулируемого напряжения служит лабораторный автотрансформатор с электродвигателем и редуктором. Для определения теплопроводности в процессе непрерывного разогрева на фиксированных уровнях температуры с помощью милливольтметра измеряется разность потенциалов, соответствующая перепаду температур на образце P_0 и пластине P_T тепломера.

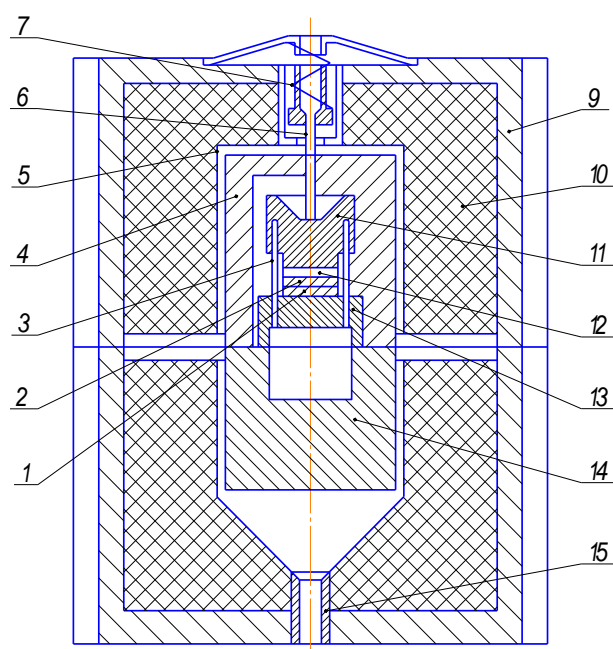
При необходимости определения теплопроводности в области низких температур (до -150°C) измерительную ячейку перед началом измерений охлаждают жидким азотом.

Измеритель теплопроводности ИТ- λ -400 состоит из двух независимых блоков. В одном из них содержится измерительная часть, в другом элементы питания и регулирования.

Измерительный блок собран в унифицированном корпусе. В верхней части корпуса расположена измерительная ячейка. Нижняя часть измерительной ячейки закреплена неподвижно, а верхняя может перемещаться по направляющей штанге. На поверхности штанги выфрезерована Г-образная шпоночная канавка, которая позволяет зафиксировать верхнюю часть измерительной ячейки в открытом положении для смены образца.

На передней панели корпуса расположены рукоятки управления, сигнальная лампа регулятора температуры, на задней – разъем для соединения с блоком питания и регулирования, розетка для подключения измерительного прибора, трубка для выхода паров азота и клемма «Земля».

Важнейшей частью измерительного блока является измерительная ячейка (рисунок 3).



- 1 – пластина; 2 – пластина контактная; 3 – термопара; 4 – колпак охранный;
5 – коробка из фольги; 6 – прижим; 7 – пружина; 8 – патрубок; 9 – корпус;
10 – оболочка теплозащитная; 11 – стержень; 12 – образец испытуемый;
13 – основание; 14 – блок нагревательный; 15 – патрубок

Рисунок 3. – Схема измерительной ячейки

Она состоит из корпуса 9, разъемной теплозащитной и оболочки 10 и металлического ядра (детали 1, 2, 3, 4, 11, 13, 14). Корпус 9 состоит из двух частей и имеет снаружи ребристую поверхность для улучшения теплообмена. Нижняя часть корпуса закреплена на верхней плате измерительного блока, верхняя – на подъемно-поворотном штанговом механизме. Блок нагревательный 14 и колпак охранный снабжены системой отверстий, в которые через патрубок 8 подается жидкий азот при необходимости охлаждения в область отрицательных температур.

На медном основании 13 размещены термопары 3, пластина тепломера 1, пластина контактная 2 и испытуемый образец 12. Основание 13 и блок нагревательный 14 соединены винтами и с помощью крестообразной детали крепятся к нижней части корпуса измерительной ячейки. Аналогичной деталью к верхней части корпуса крепится охранный колпак 4. Для температурных измерений использованы миниатюрные термопары с диаметром электродов 0,2 мм. В качестве материала электродов термопары использованы сплавы хромель и алюмель. Для предотвращения замыкания электроды термопары пропущены в каналы керамической трубки с наружным диаметром около 1 мм. Для повышения прочности керамические трубки помещены в трубки из нержавеющей стали.

Испытуемый образец 12 поджимается к контактной пластине стержнем 11, прижимом 6 и пружиной 7. Пластина 1, составляющая основу измерителя теплового потока, изготовлена из нержавеющей стали 1Х18Н9Т. Основание 13, пластины 1, 2 спаяны друг с другом.

Температурный переключатель B_1 , установленный на передней панели, имеет 4 положения T_c , \bar{P}_o , \bar{P}_T , УСТО. В положениях \bar{P}_o и \bar{P}_T с помощью внешнего прибора измеряются разности потенциалов, соответствующие перепадам температур на образце (n_o) и тепломере (n_T). В положении t_c измеряется температура стержня, при этом внешний прибор используется в качестве нульиндикатора, а температура, достижение которой необходимо зафиксировать, устанавливается переключателем B_2 в пределах от -150 до $+400$ °С с интервалом в 25 °С. В положении УСТО производится проверка начальных показаний измерительного прибора и настройка его нулевого отсчета.

Блок питания и регулирования собран в таком же унифицированном каркасе как и измерительный. На передней панели расположены: вольтметр, кнопки «Сеть» и «Нагрев», сигнальная лампа и рукоятка для установки начального напряжения.

На задней панели установлены: разъем для соединения с измерительным блоком, предохранитель и шнур для подсоединения прибора к сети переменного тока.

Для плавного изменения степени нагрева служит лабораторный автотрансформатор, движок которого приводится во вращение двигателем РД-0.9 через редуктор с передаточным отношением 1:600. Возвращение движка в исходное положение производится вручную за счет поворота рукоятки против часовой стрелки. Перед поворотом рукоятку необходимо вытянуть на себя для расцепления зубчатой муфты, соединяющей ее с приводом.

Для повышения точности измерений с помощью специального нагревателя и регулятора температура стержня 11 и колпака охранного 4 поддерживаются при одинаковых температурах с точностью до 0,3 °С. Это исключает отдачу тепла от стержня в окружающую среду, а условия теплообмена в ядре измерительной ячейки определяются только массой стержня и его теплоемкостью.

Технические данные прибора ИТ–λ–400 представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Технические данные прибора ИТ–λ–400

Наименование показателя	Значение
Диапазон измерения теплопроводности λ , Вт/(м·К)	от 0,1 до 5
Температурный диапазон измерения теплопроводности, °С	–100÷400
Диаметр испытуемого образца, мм	15±0,3
Высота, мм	от 0,5 до 5
Продолжительность измерений во всем температурном диапазоне с обработкой экспериментальных данных, час	Не более 2,5
Предел допускаемой основной погрешности измерения теплопроводности, %	±10
потребляемая мощность, кВт	не более 1
Электропитание сети переменного тока, Гц	50
Напряжение, В	220±22

6.2. Порядок работы с прибором ИТ–λ–400

1. Переведите кнопки «Сеть» и «Нагрев» в положение выключено (максимальное выдвижение из корпуса).
2. Подключите блок питания и регулирования к сети.
3. Установите переключатели В₁ в положение «УСТО», а В₂ в положение +25 °С.

4. Проверьте показания измерительного прибора и при необходимости установите стрелку на нулевое деление шкалы.
5. Подключите измерительный прибор к сети и включите его на прогрев.
6. Замерьте высоту образца и его диаметр с точностью до $\pm 0,01$ мм, вычислите площадь основания S .
7. Взвесьте образец с точностью до $\pm 0,001$ г.
8. Данные об образце занесите в протокол измерений.
9. Поднимите верхнюю половину корпуса измерительной ячейки и поворотом по часовой стрелке зафиксируйте ее в этом положении.
10. Снимите стержень с термопар и протрите бензином контактные поверхности стержня, пластины контактной и образца, смажьте их смазкой ТФМС-4.
11. Установите образец на контактную пластину, а стержень на иглы термопары.
12. Верните в исходное положение верхнюю часть корпуса измерительной ячейки.
13. После прогрева в течении 15–20 мин проверьте показания прибора и при необходимости подстройте потенциометром УСТО его показание.
14. Включите блок питания кнопкой «Сеть».
15. Установите по вольтметру начальное напряжение 40 В.
16. Переведите переключатель «Измерение» в положение.
17. Включите кнопкой «Нагрев» основной нагреватель.
18. По мере прогрева ядра измерительной ячейки стрелка измерительного прибора будет постепенно двигаться к нулевому делению шкалы. При прохождении стрелки через «НУЛЬ» переведите переключатель «Измерение» сначала в положение n_0 , а затем n_T и запишите в протокол показания прибора в милливольтках.
19. Переключателем «Температура» установите новое значение температурного предела, например, $+50$ °С, а переключатель «Измерение» верните в положение t_c .
20. Повторяйте действия по п. 18 и 19 до тех пор пока не будет достигнут верхний температурный предел.
21. Кнопкой «Нагрев» выключите основной нагреватель.
22. Кнопкой «Сеть» отключите блок питания от сети.
23. Выключите измерительный прибор.
24. Поднимите и зафиксируйте в верхнем положении корпус измерительной ячейки для охлаждения.

7. ГРАДУИРОВКА ИЗМЕРИТЕЛЯ

Как было указано выше, при эксплуатации прибора необходимо учитывать его индивидуальные особенности, сказывающиеся на теплообмене и регистрации температур в активных точках системы. Для учета этих особенностей производится градуировка прибора. Заключается она в том, что на место экспериментального образца, устанавливается образец с заранее известными свойствами. В приборе ИТ-λ-400 такие образцы изготавливаются из кварцевого стекла и меди.

Данные, полученные при градуировке используются при расчете теплопроводности образца.

8. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Расчет теплопроводности образца производится в следующей последовательности:

1. Рассчитывается поправка на теплоемкость образца:

$$\sigma_c = \frac{C_c}{2(C_o + C_c)},$$

$$C_o = C_o(t) \cdot m_o,$$

где $C_o(t)$ – приближенное значение удельной теплоемкости образца, Дж/кг·К;
 m_o – масса образца, кг.

C_c – теплоемкость стержня (приложение Б, таблицы 1 и 2).

2. Рассчитывается тепловое сопротивление образца:

$$P_o = \frac{n_o \cdot S \cdot (1 + \sigma_c)}{n_T \cdot k_T} - P_K.$$

3. Рассчитывается теплопроводность образца:

$$\lambda = \frac{h}{P_o}.$$

4. Рассчитывается средняя температура \bar{T} , к которой относятся значения теплопроводности λ :

$$\bar{T} = T_c + 0,5A(T) \cdot n_o.$$

Все результаты расчета вносятся в протокол измерений (приложение А).

9. МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

1. Образцы материалов цилиндрической формы диаметром $(15 \pm 0,3)$ мм и высотой $(5 \pm 0,1)$ мм;
2. Графитовый порошок или алюминиевая пудра;
3. Измеритель теплопроводности ИТ- λ -400;
4. Весы аналитические (точность определения массы $-0,01$ г);
5. Штангенциркуль.

10. СТРУКТУРА ОТЧЕТА

1. Название, цель работы.
2. Описание метода определения теплопроводности.
3. Обработка результатов эксперимента.
4. Протокол проведения исследований теплопроводности (приложение А).
5. Расчет величины теплопроводности и анализ полученных зависимостей.

11. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы цель и порядок выполнения работы?
2. Что такое теплопроводность?
3. Какой закон лежит в основе всех процессов передачи теплоты?
4. Как вычислить мощность теплового потока?
5. Опишите схему метода определения теплопроводности материала.
6. Как вычислить тепловое сопротивление?
7. Запишите формулу для вычисления значений коэффициента теплопроводности.
8. Расскажите о методе монотонного режима определения коэффициента теплопроводности.
9. Расскажите об устройстве и порядке подключения прибора ИТ- λ -400.
10. Поясните как зависит теплопроводность материала исследуемого образца от температуры.

Протокол исследований теплопроводности

$t, ^\circ\text{C}$	Постоянные прибора			$\Delta T_T,$ дел.	$\Delta T_o,$ дел.	$C_o,$ Дж/ $^\circ\text{C}$	S_c	$P_o,$ ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)/ Вт	$\lambda,$ Вт/ ($\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$)
	$C_c,$ Дж/ $^\circ\text{C}$	$r_T \cdot 10^2,$ Вт/ $^\circ\text{C}$	$P_k \cdot 10^4,$ ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)/Вт						
25	15,86	6,15	7,6						
50	16,54	7,02	6,1						
75	16,54	7,02	6,1						
100	16,87	8,26	5,6						
125	16,87	8,26	5,6						

Данные об образце:

- высота $h =$ м;
- диаметр $d =$ м;
- площадь сечения $S =$ m^2 ;
- масса $m =$ кг.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б.1. – Плотность ρ , коэффициент теплопроводности λ , удельная теплоёмкость c_p и коэффициент температуропроводности различных материалов

Наименование материала	t, °C	ρ , кг/м ³	λ , Вт/(м·°C)	c_p , кДж/(кг·°C)	$a \cdot 10^6$, м ² /с
1	2	3	4	5	6
Альфоль	50	20	0,0456	–	–
Асбест листовой	30	770	0,1163	0,818	0,196
Асбест волокно	50	470	0,1105	0,818	0,290
Асфальт	20	2110	0,698	2,09	0,159
Бетон	20	2300	1,280	1,13	0,494
Войлок шерстяной	30	330	0,0524	–	–
Гипс	–	1650	0,291	0,88	–
Глина огнеупорная	450	1845	1,04	1,09	0,516
Гравий	20	1840	0,361	–	–
Дерево бальза	30	128	0,0524	–	–
Дерево дуб \perp волокнам	20	800	0,207	1,76	0,147
Дерево дуб \parallel волокнам	20	800	0,363	–	–
Дерево сосна \perp волокнам	20	448	0,107	2,7	–
Дерево сосна \parallel волокнам	20	448	0,256	–	–
Земля	сухая	–	1500	0,1385	–
	влажная	–	1700	0,658	2,01
Каменный уголь	20	1400	0,186	1,31	1,03
Картон гофрированный	–	–	0,064	–	–
Кварц кристаллический оси	0	2500–2800	7,21	0,836	3,34
Кирпич изоляционный	100	500	0,1395	–	–
Кирпич строительный	20	800–1500	0,23–0,3	0,8	–
Кирпич карборидовый	–	1000	11,3	0,678	1,66
Клиикер	30	1400	0,163	1,42	0,114
Кожа(подошвенная)	30	1000	0,160	–	–
Кокс порошкообразный	100	449	0,191	1,22	0,035
Копоть ламповая	40	190	0,0314	–	–
Лёд	0	921	2,25	2,26	1,08
Лёд	–95	–	3,96	1,17	–
Линолеум	20	1180	0,186	–	–
Магнезия 85% в порошке	100	216	0,0675	–	–
Мел	50	2000	0,93	0,88	0,531
Минеральная шерсть	50	200	0,0456	0,92	0,253
Мрамор	90	2700	1,31	0,419	1,15
Накипь котельная	65	–	0,13–3,14	–	–

Окончание таблицы Б.1

1	2	3	4	5	6
Опилки древесные	20	200	0,070	–	–
Парафин	20	920	0,268	–	–
Песок сухой	20	1500	0,326	0,798	2,73
Песок влажный	20	1650	1,130	2,09	0,492
Портландцемент	30	1900	0,303	1,13	0,140
Пробковая пластина	30	190	0,0420	1,88	0,117
Пробковая гранулированная	20	45	0,0384	–	–
Резина	0	1200	0,163	1,38	0,0985
Сахарный песок	0	1600	0,582	1,26	0,278
Слюда	–	290	1,49	–	–
Сланец	100	2800	0,465	2,09	0,398
Совелит	100	450	0,0976	–	–
Стекло	200	2500	0,745	0,67	0,445
Стекланная вата	0	200	0,0372	0,67	0,278
Торфоплиты	50	220	0,064	–	–
Фарфор	95	2400	1,035	1,09	0,398
Фибра(платина)	20	240	0,049	–	–
Шлакобетон в куске	–	2150	0,43	0,88	0,495
Шлаковая вата	100	250	0,47	–	–
Штукатурка	20	1680	0,78	–	–
Целлулоид	30	1400	0,210	–	–
Целотекс	20	215	0,0465	–	–
Алюминий	0	2670	204,0	0,92	91,3
Бронза	20	8000	64,0	0,381	20,8
Латунь	0	8600	85,5	0,378	26,4
Медь	0	8800	64,0	0,381	20,8
Никель	20	9000	58,2	0,462	26,4
Олово	0	7230	64,0	0,921	39,2
Ртуть	0	13600	4,9	0,138	4,25
Свинец	0	11400	34,9	0,129	23,6
Серебро	0	10500	458	0,234	186,5
Сталь	20	7900	45,4	0,462	12,5
Цинк	20	7000	116,3	0,394	42,3
Чугун	20	7220	63,0	0,504	17,4

Таблица Б.2. – Коэффициент теплопроводности λ Вт/(м·°С) металлов и сплавов в зависимости от температуры

Температура, °С	0	20	100	200	300	400	500	600
Металл или сплав								
Алюминий	202		206	229	262	319	371	422
Алюминиевые сплавы:								
92% Al 8% Mg	102	106	123	148				
80% Al 20% Mg	158	160	169	174				
Дюралюминий:								
94–96% Al 3–5% Cu 0,5% Mg	159	165	181	194				
Латунь:								
90% Cu 10% Zn	102		117	134	149	166	180	195
70% Cu 30% Zn	106		109	110	114	116	120	121
67% Cu 33% Zn	100		107	113	121	128	135	151
60% Cu 40% Zn	106		120	137	152	169	186	200
Медь (99,9%)	393		385	378	371	365	359	354
Моннель-металл:								
29% Cu 67% Ni 2% Fe		22,1	24,4	27,6	30	34		
Нейзильбер:								
60% Cu 15% Ni 22% Zn		25,0	31	40	45	49		
Нихром								
90% Ni 10% Cr	17,1	17,4	19	20,9	22,8	24,6		
80% Ni 20% Cr	12,2	12,6	13,8	15,6	17,2	19,0		22,6
Нихром железистый								
61% Ni 15% Cr 20% Fe 4% Mn		11,6	11,9	12,2	12,4	12,7		13,1
61% Ni 16% Cr 23% Fe	11,9	12,1	13,2	14,6	16,0	17,4		
Сталь мягкая	63		57	52	46	42	36	31