Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачёва» в г. Белово

Кафедра горного дела и техносферной безопасности

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ**

Методические указания по выполнению

лабораторной работы по дисциплине «Физика горных пород»

для студентов направления 21.05.04 «Горное дело»

Составитель: С.В. Белов

Рассмотрены на заседании кафедры

Протокол № \_10\_ от \_19.06.2020\_\_\_

Утверждены

учебно-методическим Советом филиала КузГТУ в г. Белово

### Протокол \_№ 9\_ от\_22.06.2020\_\_\_\_

Белово 2020

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ**

**1. Цель** **работы:** определить коэффициент теплопроводности двух исследуемых материалов; установить зависимость коэффициентов теплопроводности от температуры; сопоставить между собой полученные данные со справочными данными.

**2. Оборудование, необходимое для проведения работы**

Экспериментальная установка, принципиальная схема которой изображена на рис. 1, предназначена для определения коэффициентов теплопроводности двух различных материалов.

|  |
| --- |
| 10.JPG |
| Рис. 1. Лабораторная установка: 1 – тумблер включения/выключения реостата; 2 – реле-регулятор; 3 - амперметр; 4 – вольтметр; 5 – испытательные элементы установки с термопарами; 6 – блок питания; 7 – контроллер CompactRIO + модули MIO 9481; 8 – промышленный монитор. |

Установка состоит из двух испытательных элементов, которые отличаются один от другого только материалом испытуемой изоляции, поэтому в дальнейшем будет описано устройство лишь одного элемента (рис. 2).

|  |
| --- |
| 11.JPG |
| Рис. 2. Схема элемента установки:1 – медная труба; 2 – слой испытуемой изоляции; 3 – нагревательный элемент (спираль). |

Элемент представляет собой медную трубу (1) наружным диаметром d1=12 мм и длиной L=350 мм, на которую нанесен слой испытуемой изоляции (2) диаметром d2=24мм. Внутри трубы помещена спираль (3), по которой пропускается электрический ток, служащий источником тепла. Все выделяющееся тепло Q передается через цилиндрическую поверхность испытуемой изоляции. Величина Q определяется по показаниям вольтметра и амперметра и для каждого из двух элементов равна:

|  |  |
| --- | --- |
| $$Q=\frac{IU}{2}, $$ | (1) |

где Q – выделяющееся тепло, Вт; I – сила тока, А; U – напряжение, В.

**3. Теоретические основы эксперимента**

Теплопроводность представляет собой процесс распространения тепла путем непосредственного соприкосновения беспорядочно движущихся (колеблющихся) структурных частиц вещества – молекул, атомов, электронов. Это так называемый молекулярный способ переноса тепловой энергии, который может осуществляться в любых термически неравновесных (т.е. имеющих различные температуры) телах или системах тел.

В основу теории теплопроводности положен закон Фурье – тепловой поток прямо пропорционален температурному градиенту:

|  |  |
| --- | --- |
| $$Q=-λ\frac{dt}{dn}H,$$ | (2)  |

где Н – площадь поверхности, через которую проходит тепло, [м2];

λ- коэффициент теплопроводности;

$\frac{dt}{dn}$- температурный градиент, [К/м], [oC/м].

Коэффициент теплопроводности характеризует способность тел проводить тепло:

|  |  |
| --- | --- |
| $$λ=\frac{\left|Q\right|}{\left|H∙\frac{dt}{dn}\right|}$$ | (3)  |

По своему физическому смыслу коэффициент теплопроводности представляет собой количество тепла, проходящего в единицу времени через единицу изотермической поверхности при температурном градиенте, равном единице, или другими словами, это тепловой поток в единицу времени через единицу изотермической поверхности при изменении температуры на единицу толщины стенки в один градус. Коэффициент теплопроводности зависит от природы тела, его пористости, влажности, давления, температуры и других параметров. Для всех материалов с изменением температуры λ изменяется по линейному закону во всем рассматриваемом интервале температур:

|  |  |
| --- | --- |
| $λ$=$ λ\_{0}\left(1\pm bt\right),$ | (4) |

где λо – коэффициент теплопроводности при 0 оС;

*b –* постоянная, характеризующая приращение (уменьшение) λ материала при повышении его температуры на 1 оС.

Численное значение коэффициента теплопроводности определяется опытным путем различными методами (шара, плиты и др). Для теплоизоляционных материалов (λ≤0,3 [Вт/м·К]) наибольшее распространение получил метод трубы (цилиндра), сущность которого заключается в следующем.

При установившемся тепловом режиме количество тепла Q, передаваемого в единицу времени от внутренней поверхности цилиндра к наружной на участке длиной L, определяется согласно закону Фурье для цилиндрической стенки:

|  |  |
| --- | --- |
| $$Q=\frac{2πL\left(t\_{1}-t\_{2}\right)λ}{ln\frac{d\_{2}}{d\_{1}}}$$ | (5) |

Установившийся (стационарный) режим предполагает неизменность температур t1 и t2 на внутренней и внешней поверхностях стенки диаметром, соответственно d1 и d2 (см. рис. 2), в различные моменты времени.

Таким образом, если коэффициент теплопроводности рассматривать как постоянную в диапазоне температур t1-t2 величину, то измерив значения t1, t2, Q, его можно вычислить из уравнения

|  |  |
| --- | --- |
| $$λ=\frac{Qln\frac{d\_{2}}{d\_{1}}}{2πL\left(t\_{1}-t\_{2}\right)}$$ | (6)  |

**4. Порядок выполнения работы**

Перед началом выполнения работы, по приложению 1, изучите управление, используемое в виртуальных работах.

Измерение температуры исследуемых материалов производится при помощи 12 термопар. Горячие спаи термопар заложены на внутренней (№№ 1, 3, 5 в первом элементе и №№ 7, 9, 11 во втором элементе) и наружной (№№ 2, 4, 6 в первом элементе, и №№ 8, 10, 12 во втором элементе) поверхностях испытуемого материала. Значения температуры в указанных точках измерения отображаются на мониторе.

1. После включения установки при помощи реле-регулятора устанавливается температура согласно задания преподавателя.

2. Убедившись, что режим работы установки стационарный (установившийся), проводится снятие результатов.

3. Результаты замеров вносятся в журнал наблюдений (табл. 1)

Таблица1

*Журнал наблюдений*

|  |  |
| --- | --- |
|  | Режим 1 |
| Элемент 1 | Элемент 2 |
| Замер 1 | Замер 2 | Замер 3 | Замер 1 | Замер 2 | Замер 3 |
| Напряжение на нагревателе U  |    |    |
| Сила тока на нагревателе I  |    |    |
| Тепловой поток Q=UI/2  |    |    |
| Температуры на внутреннейповерхности изоляции | Номера термопар |    |    |    |    |    |    |
| Эл. 1 | Эл. 2 |    |    |    |    |    |    |
| 1  | 7  |    |    |    |    |    |    |
| 3  | 9  |    |    |    |    |    |    |
| 5  | 11  |    |    |    |    |    |    |
| Среднее значение температуры t1 |    |    |    |    |    |    |
| Температуры на внешнейповерхностиизоляции   | Номера термопар    |    |    |    |    |    |    |
| 2  | 8  |    |    |    |    |    |    |
| 4  | 10  |    |    |    |    |    |    |
| 6  | 12  |    |    |    |    |    |    |
| Среднее значение температуры t2 |    |    |
| Расчет коэффициента теплопроводности λ |  |  |

4. Следующий опыт проводится аналогично первому при другом температурном режиме. Для этого изменяют мощность тока. Замеры на 2-ом режиме начинают через 30-60 секунд, после смены режима.

5. Определение коэффициента теплопроводности производится по формуле (6).

6. Для выяснения зависимости коэффициента теплопроводности от температуры необходимо построить два графика λср = f(tср), где tср=(t1+t2)/2 для различных элементов 2-х режимов.

7. Сравните полученные результаты с литературными данными и между собой.

**5. Контрольные вопросы**

1. Физическая сущность процесса теплопроводности.

2. Содержание основного закона теплопроводности и его приложение к телам простой геометрической формы.

3. Коэффициент теплопроводности и факторы, влияющие на его величину.

4. Стационарные методы и расчетные зависимости, положенные в основу опытного определения коэффициента теплопроводности.

5. Устройство опытной установки, осуществление предпосылок теории.

**6. Тестовые задания**

Задание 1

|  |  |
| --- | --- |
| Какой фактор сильнее влияет на коэффициент теплопроводности диэлектрика? | * температура
* удельная теплоемкость
* длина свободного пробега фонона
* скорость фонона
* давление
 |

Задание 2

|  |  |
| --- | --- |
| Проводимость тепла в минеральном веществе земной коры зависит главным образом от: | * температуропроводности
* удельной теплоемкости
* **теплопроводности**
* теплого расширения
* решеточной теплопроводности
 |

Задание 3

|  |  |
| --- | --- |
| Физический параметр, характеризующий скорость выравнивания температуры в веществе при нестационарной теплопроводности называется: | * объемной теплоемкостью
* **температуропроводностью**
* удельной теплоемкостью
* теплопроводностью
* геотермическим градиентом
 |

Задание 4

|  |  |
| --- | --- |
| Физический параметр, характеризующий интенсивность процесса теплопроводности в веществе, численно равный плотности теплового потока (q) при градиенте температуры, равном единице называется: | * удельной теплоемкостью
* температуропроводностью
* **теплопроводностью**
* плотностью теплового потока
* объемной теплоемкостью
 |

Задание 5

|  |  |
| --- | --- |
| Вектор, направленный в сторону противоположную градиенту температуры, и численно равный количеству теплоты, проходящей через изотермическую поверхность в единицу времени, называется: | * удельной теплоемкостью
* теплопроводностью
* **плотностью теплового потока**
* температуропроводностью
* геотермическим градиентом
 |

Задание 6

|  |  |
| --- | --- |
| Единица измерения теплопроводности равна: | * Дж/м×град
* **Вт/(м×К)**
* Дж/кг×град
* Дж/м×сек×град
* Вт/кг×м×сек
 |

Задание 7

|  |  |
| --- | --- |
| Какой фактор обуславливает низкую теплопроводность: | * **минеральный состав**
* пористость
* степень насыщения жидкостями
* форма и размеры зерен
* плотность
 |

**7. Рекомендованная литература**

1.  Основы физики горных пород : учеб. для студентов горн. специальностей вузов / ***В. В. Ржевский, Г. Я. Новик***. – 5-е изд. – М. : Кн. дом "ЛИБРОКОМ", 2010. – 360 с. – (Классика инженер. мысли  горне дело).

2. Основы горного дела : учеб. для студентов вузов, обучающ. по направлению "Горн. дело" (квалификация – бакалавр техники и технологии) и по специальности "Физ. процессы горн. или нефтегаз. пр-ва" направления подготовки "Горное дело" / ***В. И. Городниченко, А. П. Дмитриев***. – М. : Горная книга, Изд-во Москов. гос. горн. ун-та, 2008. – 464 с. : ил.

3. Теплопередача. [В 2 ч.] Ч. 1 : [учебное пособие для вузов / В. С. Чередниченко, В. А. Синицын, А. И. Алиферов [и др. ] ; В. С. Чередниченко и др.] ; под ред. В. С. Чередниченко ; Новосиб. гос. техн. ун-т. – Изд. 2-е, перераб. и доп.. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2008. – 231 сил c. – (Учебники НГТУ). – ISBN 9785778209695. – URL: <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=149181&type=nstu:common>

**Приложение 1**

**Управление, используемое в виртуальных работах**

Для работы в виртуальных лабораторных работах применяются следующие клавиши (рис.3):

W, S, A, D – для перемещения в пространстве;

F2, E – аналоги средней клавиши манипулятора (при первом нажатии берется объект, при последующем – ставится);

Ctrl – присесть; F10 – выход из программы.

|  |
| --- |
| 1.JPG |
| Рис. 3. Активные клавиши клавиатуры |

|  |
| --- |
| 2.JPG |
| Рис. 4. Функции манипулятора |

Левая клавиша мыши (1) (рис. 4) - при нажатии и удерживании обрабатывается (поворачивается, переключается) тот или иной объект.

Средняя клавиша (2) - при первом нажатии (прокрутка не используется) берется объект, при последующем – ставится (прикрепляется).

Правая клавиша (3) - появляется курсор–указатель (при повторном - исчезает).

***Примечание:*** При появившемся курсоре невозможно перевести взгляд вверх и стороны.

Составитель

Белов Сергей Викторович

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ**

Методические указания по выполнению

лабораторной работы по дисциплине «Физика горных пород»

для студентов направления 21.05.04 «Горное дело»

Отпечатано на ризографе.

Тираж экз.

Филиал ГУ КузГТУ в г. Белово. 652644, г. Белово, ул. Ильича 32-а