

**НАВОЙСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ
НАВОЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ**

**ЭНЕРГО МЕХАНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА «ОБЩАЯ ФИЗИКА»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению лабораторных работ по курсу
«Теплотехника»**

для студентов по направлениям:

*5310700 – «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» ,
5311600 –«Горное дело», 5321100 –«Техника и технология добычи переработки
руд редких и радиоактивных металлов», 5320200-«Технология машиностроения,
оборудование и автоматизация машиностроительных производств», 5320400-
«Химическая технология»*

Методические указания по выполнению лабораторных работ по курсу
«Теплотехника»

Методические указания предназначены для студентов технических вузов обучающихся по направлениям 5310700 – «Электротехника, электромеханика и электротехнологии», 5311600 – «Горное дело», 5321100 – «Техника и технология добычи переработки руд редких и радиоактивных металлов», 5320200- «Технология машиностроения, оборудование и автоматизация машиностроительных производств», 5320400-«Химическая технология» в качестве пособия по выполнению лабораторных работ по курсу Теплотехника.

Методические указания рассмотрено и рекомендована на заседании кафедры «Общая физика» НГГИ.

Составители: доц. Урунов И.А., Носиров Б.Н. Байчаев Ф.Х

Рецензенты: к. ф.-м. н. Худойбердиев Э.Н
к. ф.-м. н. Тураев Э.С

ФРОНТАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Цель работы: Изучение методов измерения температуры и измерительная техника измерения температуры.

Приборы и принадлежности: различные виды измерительных приборов температуры: ртутные термометры, термосопротивления, термopара, манометрический термометр, оптический пирометр и электрический нагреватель.

Теоретическая часть

Одним из важнейших параметров, определяющих тепловое состояние тела, является температура. Определение температуры основывается на понятии термодинамического равновесия. Термодинамическая равновесием называют такое состояние системы, при котором прекращаются всякие макроскопические изменения во времени (диффузия, теплообмен, агрегатные превращения), при отсутствии внешних воздействий.

Система, которая не взаимодействует с внешними силами, т.е. не обменивается тепловой и работой, всегда самопроизвольно приходит в состояние термодинамического равновесия.

Частным случаем термодинамического равновесия является тепловое равновесие, причиной нарушения которого является только теплообмен.

Для оценки нарушения равновесия между двумя телами вводится понятие разности температур. Разностью температур между двумя телами называют физическую величину, являющуюся мерой отклонения этих тел от состояния теплового равновесия друг с другом. Если одно из тел взять при каком-то состоянии и условиться считать это состояние за нулевое, то можно перейти от понятия разности температур к понятию температуры.

Измерение температуры основано на допущении, что все тела, находящиеся в соприкосновении и остающиеся в покое, в конце концов, придут к тепловому равновесию, т.е. будут иметь одинаковую температуру.

Количественное определение температуры может быть основано на любом свойстве веществ, изменяющемся однозначно с температурой, например, на тепловом расширении, электрическом сопротивлении, контактной электродвижущей силе, термо- ЭДС или давлении пара.

Допустим, что выбранные свойства A при определенных условиях являются функцией одной температуры, т.е.

$$A = f(t) \quad \text{где } t \text{ – температура.}$$

Для количественного определения температуры необходимо установить вид этой функциональной зависимости. Его выбирают произвольно возможно простым, а именно полагают эту функцию линейной

$$f(t) = a + bt \quad (1)$$

причем постоянные коэффициенты a и b принимают независимыми от температуры.

Пусть температурам t_0, t, t_s соответствует термические свойства A_0, A, A_s , тогда на основании уравнения (1) имеем:

$$\begin{aligned} A_0 &= a + bt_0, \\ A &= a + bt, \\ A_s &= a + bt_s. \end{aligned}$$

В непрерывном ряду температур выберем t_0 за основную температуру и придадим ей значение нуля, кроме того, интервал между t_0 и t_s примем эталонным и равным n единицам (градусам). Тогда будем иметь:

$$\left. \begin{array}{l} t_0 \\ t_s = n \end{array} \right\} \begin{array}{l} A_0 = a, \\ A = a + bt, \\ A_s = a + bn \end{array} \quad t = \frac{n(A - A_0)}{A_s - A_0}$$

Таким образом, произвольным принятием линейной зависимости между свойством вещества и температурной, произвольным выбором нулевой температуры и интервалом температур в качестве единицы может быть установлена термометрическая шкала.

Отсюда следует, что термометрических шкал может построено сколь угодно много.

В настоящее время используется две температурные шкалы.

1. Международная практическая шкала (шкала Цельсия) градуированная в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$) по двум реперным точкам - температурам замерзания и кипения воды при нормальном атмосферном давлении ($1,013 \cdot 10^5$ Па), которые принимаются соответственно 0°C и 100°C .

2. Термодинамическая температурная шкала (шкала Кельвина), градуированная в градусах Кельвина (К) определяется по одной реперной точке – **тройной точке воды** – температуре, при которой лед, вода и насыщенный пар давлении 609 Па находится в термодинамическом равновесии. Температура этой точки по данной шкале равна 372,16 К. Температура $T = 0$ К (по шкале Цельсия – $273,15^{\circ}\text{C}$) называется нулем Кельвина или абсолютным нулем температуры.

Термодинамическая температура (T) и температура (t) по Международной практической шкале связаны соотношением

$$T = 273,15 + t$$

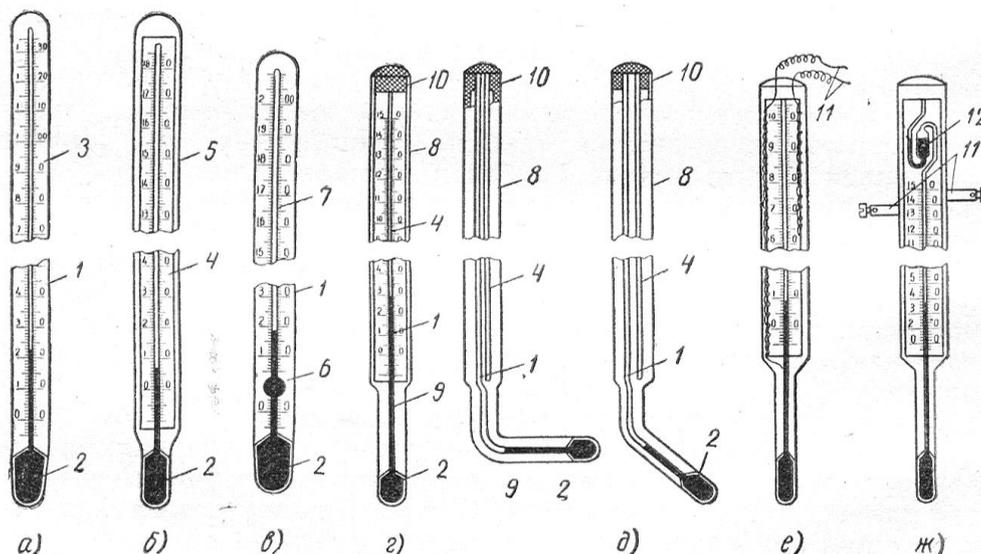
Температура тройной точки воды по шкале Цельсия равна $0,01^{\circ}\text{C}$.

Термометры

Термометры всегда показывает собственную температуру. Только через определенное время эта температура становится равной температуре окружающей среды. Иначе говоря, термометром свойственна определенная инерционность. Кроме того, они могут изменять измеряемую температуру среды.

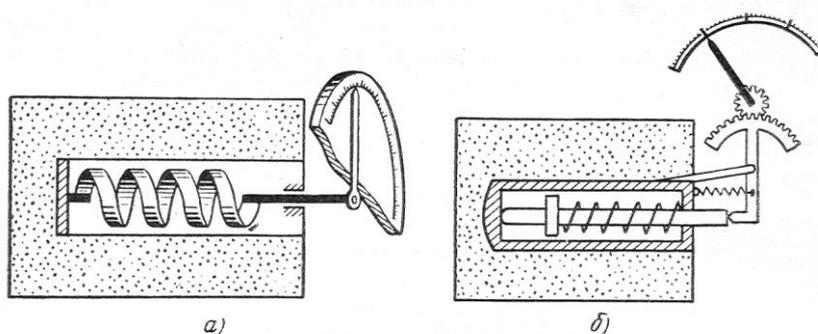
Жидкостные термометры

Длина столбика жидкости - ртути, спирта, толуола, пентана и т.д. служит мерой температуры. Интервал измерений ограничен температурами кипения и замерзания данной жидкости. Если температура неодинакова по длине столбика жидкости, то возможны незначительные ошибки измерения.



Металлические термометры

Металлический термометр представляет собой биметаллическую пластинку, т.е. пластинку, сваренную или склепанную из полосок двух различных металлов. Вследствие разницы в тепловом расширении металлов пластинка при нагревании будет изгибаться. Из длинной пластинки сгибают спираль. Наружный конец спирали закрепляют, а ко внутреннему прикрепляют стрелку, которая указывает по шкале соответствующую температуру.



Термометры сопротивления

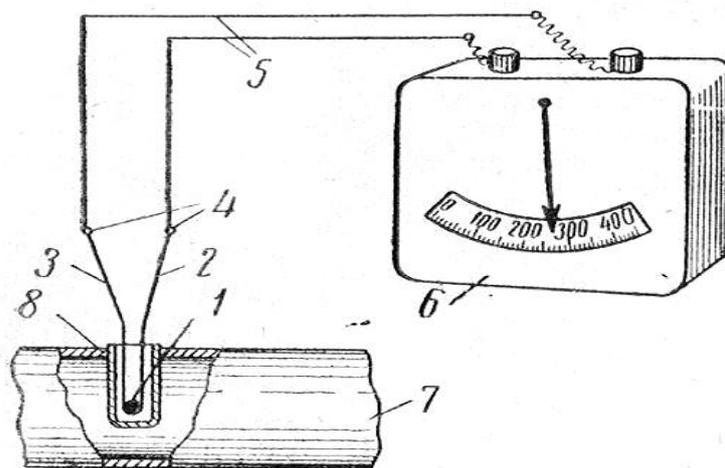
Сопротивление металлов меняется с температурой. Сила тока в цепи зависит от сопротивления проводника, а следовательно и от его температуры. Преимущество термометра сопротивления состоит том, что измерительный и место, где измеряется температура, могут быть разнесены на значительное расстояние. В качестве сопротивления в основном применяется тонкая отожженная платиновая проволока.

Термоэлектрические термометры

Если из двух разнородных металлов составит цепь и места соединения t_1 и t_2 , то в цепи возникнет электродвижущая сила, называемая термоэлектрической. Такое соединение разнородных проводников называется **термопарой**. Термопары могут изготавливаться из различных материалов. Они находят широкое применение для измерения и контроля постоянства температур в широких пределах. Самые точные и стабильные термопары составляют из благородных металлов: чистой платины и сплава платины и родия (платинородий). Максимальный предел измерения 1600°C .

Для технических измерений используют термопары: хромель – алюмель (ХА) и хромель – копель (ХК).

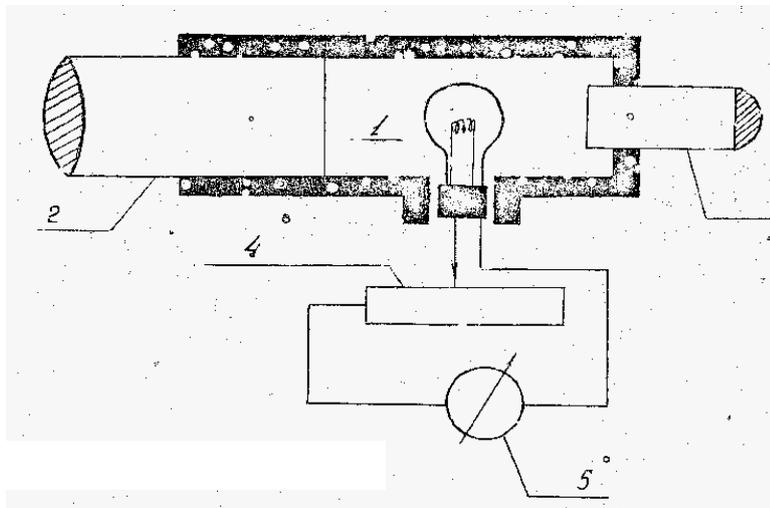
Иногда используют термопары медь – константан, медь – копель, железо – копель, медь – железо, никель – железо, константан – железо которые не изготавливаются в массовом количестве.



Оптический пирометр

Для измерения высоких температур, где не могут быть применены описанные выше приборы, используются оптический пирометры. Он служит измерителем одноцветного (монохроматического) излучения.

Принцип действия оптический пирометра основан на сравнении яркости свечения нагретого тела и раскаленной нити специальной фотометрической лампы накаливания, расположенной между глазом наблюдателя и измеряемым объектом. Сравнение происходит через красный светофильтр, пропускающий излучение только определенной длины волны (около 0,65 мк)



1- фотометрическая лампа, 2- объектив, 3- окуляр, 4 – реостат регулировки накала лампы, 5 – указатель температуры.

Порядок выполнения работы

Задание -1. Изучение основных характеристик приборов которые измеряют температуру. Определить принцип действия этих приборов, класс точности, цену деления, предел измерения, марка прибора.

Задание -2. Измерить температуру различных агрегатных состояниях. Определить и оценить недостатки и преимущество различных измерительных приборов температуру

Составит отчет о проделанной

Контрольные вопросы

1. Дайте определение физическому и термодинамическому смыслу величины температуры ?
2. Перечислите способы определения температуры тел ?
3. Какие существуют способы построения температурных шкал ?
4. Что такой термосопротивления ?
5. Чем обусловлена температура тел ?

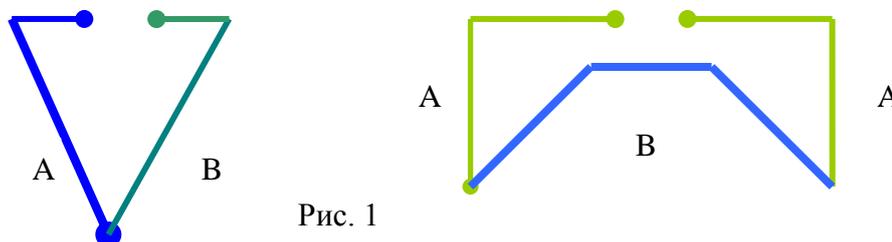
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРУ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОПАРЫ

Цель работы: Изучения термоэлектрического явления и градуировка термопара.
Приборы и принадлежности: термопара, нагревательный прибор, термометр, милливольтметр, сосуд с водой.

Теоретическая часть

Если составить замкнутую цепь из двух спаянных с концов разнородных металлов, которую называют термопарой, или термоэлектронем (рис-1.), то в местах спая А и В возникает противоположная контактная разность потенциалов. При одинаковых температурах суммарная разность потенциалов равна нулю.



Будем спай А поддерживается при температуре t_1 , а спай В –при t_2 и допустим, что $t_1 > t_2$. Обозначая контактную разность потенциалов в спаях А и В соответственно φ_1, φ_2 , нетрудно заключить, что $\varphi_1 > \varphi_2$. Следовательно, в цепи есть какая – то разность потенциалов

$$\xi_t = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (1)$$

Эту разность потенциалов называют термоэлектродвижущей силой. В цепи возникает ток, называемый термоэлектрическим током I_t , величина которого определяется термоэлектродвижущей силой и сопротивлением цепи.

Это можно записать так:

$$\xi_t = I_t (R_i + R_0) = I \cdot R \quad (2).$$

где R_i – внутреннее сопротивление термоэлемента, R_0 – внешнее сопротивление цепи, на которую замкнут ток.

Для некоторых термоэлектронем термоэлементов можно принять, что возникающая термоэлектродвижущая сила пропорциональна разности температур спаев, т. е.

$$\xi_t = \alpha(t_1 - t_2) = \alpha \cdot \Delta t \quad (3)$$

Здесь α - термоэлектродвижущая сила, возникающая при разности температур в 1°C , является величиной постоянной для каждой пары металлов, образующих термоэлемент.

Если разность потенциалов измерять чувствительным гальванометром, то отклонение его подвижной части будет пропорционально силе тока.

На зависимости между отклонениями подвижной части гальванометра и разности температур основан термоэлектрический метод измерения температур. Для этого термоэлемент должен быть предварительно

проградуирован. Результаты градуировки изображаются в виде графика или в виде формулы. Градуировкой термопары называется определение экспериментальным путем зависимости термоэлектродвижущей силы ξ_t , возникающей в термопаре от разности температур Δt ее спаев, т.е. $\xi_t = f(\Delta t)$.

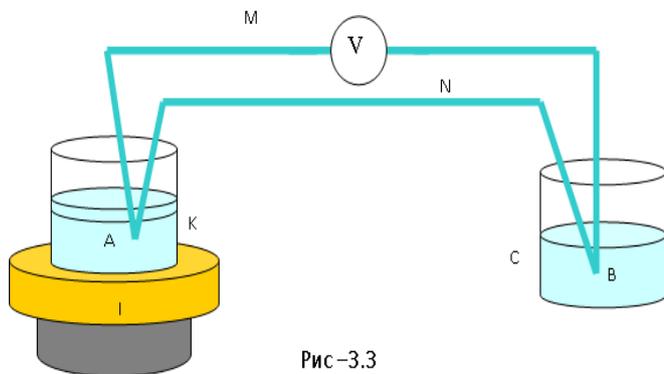


Рис-3.3

Экспериментальная установка (рис. 3.3) состоит из термоэлемента (термопары) изготовленного из двух проволок. М и N; в данной работе М – медь, а N – константан. Проволоки М и N спаяны концами А и В. Концы разомкнутого константанового термоэлектрода присоединены к милливольтметру.

Спай А помещается в сосуд К с водой, которая может нагреваться от нагревателя I. Спай В также помещен в сосуд, в котором жидкость находится при постоянной температуре. В обоих сосудах помещены термометры.

Порядок выполнения работы

1. Собирают установку по схеме, показанной на рис.3.3. Проверяют равенство температур в сосудах (С) при этом стрелка гальванометра должна стоять на нуле.
2. Сосуд К в котором находится спай (А), нагревают. Благодаря конвекционному движению воды ее температура будет повышаться и в термоэлементе возникнет ξ_t , что покажет отклонение стрелки милливольтметра. Фиксируют показания милливольтметра через равные интервалы изменения температур, например через 5- 10⁰С.

Опыт проводят, повышая температуру жидкости до 100⁰С.

4. Полученные опытом результаты заносят в таблицу.
5. На основании опытных данных строят график $\xi_t = f(\Delta t)$, откладывая по оси х разность температур, а по оси у термоэлектродвижущая сила.

№	t ₁	t ₂	$\Delta t = t_1 - t_2$	ξ_t
1.				
2.				
3.				

3

Контрольные вопросы

1. Что такое термопара?
2. В чем заключается явление термоэлектричества?
3. Какими причинами обусловлены контактная разность потенциалов?
4. Каковы преимущества термоэлектрического метода измерения температур по сравнению с ртутным термометром ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИРАЩЕНИЯ ЭНТРОПИИ ПРИ ПЛАВЛЕНИИ ОЛОВА

Цель работы: Определение приращения энтропии при плавлении олова

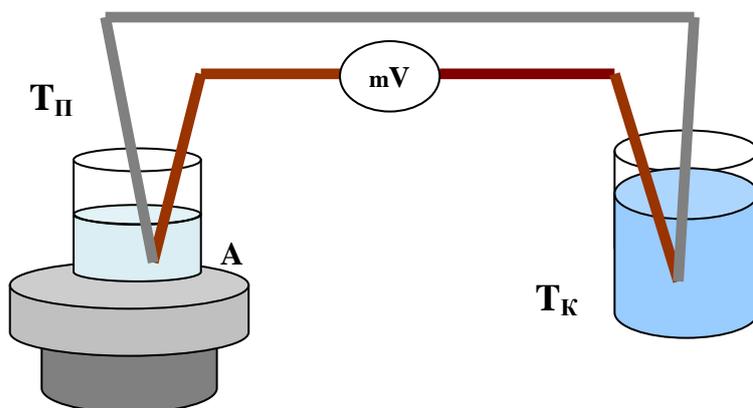
Приборы и принадлежности: тигель с оловом, термопара, милливольтметр, термометр, секундомер, электрические нагреватель.

Теоретическая часть

Плавление – это фазовый переход первого рода, сопровождающийся поглощением некоторого количества тепла. Температура плавления остаётся постоянной и зависит от давления. Изменение энтропии системы при переходе из состояния 1, характеризуемого параметрами P_1, V_1, T_1 в состояние 2 с параметрами P_2, V_2, T_2 вычисляется по формуле:

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T} = \frac{1}{T} \int_1^2 dQ \quad (2.1)$$

где dQ – элементарный приток тепла в систему,
 T – температура всей системы в $^{\circ}\text{K}$.



Определение приращения энтропии олова при его плавлении проводится следующим образом. Тигель с оловом А помещают в электронагревательная печь. Термопарой измеряют температуру олова.

Если первоначально олове находится при комнатной (начальной) температуре, то при подведении тепла, она с начала нагревается до температуры плавления, потом плавится при постоянной температуре.

Количество теплоты, которое надо затратить, чтобы нагреть олово от комнатной температуры $T_к$ до температуры плавления $T_п$

$$Q_1 = \int_{T_к}^{T_п} cm \cdot dT \quad (2.2)$$

где c и m – теплоемкость и масса олова.

Количество теплоты Q_2 , необходимое на плавление олова при температуре плавления $T_{\text{п}}$ ($T_{\text{п}}=\text{const}$), равно:

$$Q_2 = \lambda \cdot m \quad (2.3)$$

где λ – удельная теплота плавления олова.

Приращение энтропии при плавлении олова можно подсчитать по формулам (2) и (3): $\Delta S = \int_{Q_1}^{Q_2} \frac{dQ}{T}$ Подставим вместо Q его значение Q_1+Q_2

Получим:

$$\Delta S = \int_{T_{\text{к}}}^{T_{\text{п}}} \frac{c \cdot m}{T} dT + \frac{\lambda \cdot m}{T_{\text{п}}} = c \cdot m \cdot \ln \frac{T_{\text{п}}}{T_{\text{к}}} + \frac{\lambda \cdot m}{T_{\text{п}}} \quad (2.4)$$

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с описанием и приготовить всё необходимое.
2. Заготовить на миллиметровой бумаге координатные оси в масштабе: ось ординат – 10 мм= 1мВ, ось абсцисс – 10 мм= 1 мин.
3. Включить электроплитку в сеть и довести олово до жидкого состояния и одновременно включить секундомер, занести данные милливольтметра через каждую минуту, на график. Измерения проводить до тех пор, пока ЭДС не достигнет постоянного значения.
4. Выключить электроплитку и проводить аналогичные измерения при охлаждении олова, отмечая показания милливольтметра на том же график, что и в пункт 3.
5. По двум кривым, усредняя, определить показания милливольтметра, соответствующие участку кривой, параллельной оси времени, по градуированной кривой (она прилагается) термопары определить температуру плавления олова.
6. Вычислить приращение энтропии по формуле (2.4)

Контрольные вопросы

6. Что такое энтропия и что она характеризует?
7. Что такое теплота плавления?
8. Получите расчётную формулу.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Цель работы: измерить коэффициента теплопроводности исследуемые тела.

Приборы и принадлежности: прибор для определения коэффициента теплопроводности, исследуемые тела, термометр, штангенциркуль, секундомер, технические весы.

Теоретическая часть

Если отдельные участки тела нагреваются неодинаково, то происходит перенос внутренней энергии тела от более нагретых участков к менее нагретым. Внутренняя энергия тела равна сумме кинетической энергии хаотического движения всех его молекул.

Процесс передачи энергии, не сопровождающийся переносом вещества, называется теплопроводностью.

В стационарных процессах, когда температура от слоя к слою изменяется линейно, количество энергии, передаваемой через слой вещества, толщиной ℓ за время Δt определяется законом

$$\Delta Q = K \frac{T_1 - T_2}{\ell} S \cdot \Delta \tau \quad (1)$$

где $T_1 - T_2 = \Delta T$ разность температур между слоя. S – площадь сечения слоя.

Коэффициент теплопроводности K называется коэффициентом

теплопроводности. $\frac{\Delta T}{\Delta \ell}$, характеризующая

изменение температуры на единицу расстояния, в направлении передачи энергии,

называется градиентом температуры. Из выражения (1) находим

$$K = \frac{\Delta Q \ell}{\Delta T S \Delta \tau}$$

Положив численные значения S , $\frac{\Delta T}{\Delta \ell}$, $\Delta \tau$ равным единице, получим, что K численно равен ΔQ , т.е. коэффициент теплопроводности определяется количеством энергии, прошедшим через единичную площадку, за единицу времени при градиенте температуры равном единице.

Для определения коэффициента теплопроводности тел существует несколько методов. В данной работе коэффициент теплопроводности определяется калориметрическим методом.

Описания прибора в метод измерения

Прибор, изображенный на рис.2, состоит из цилиндрического сосуда D , заполненного водой, который помещает на плитку. На сосуд кладут исследуемые образец B . Сверху образца устанавливают сосуд с холодной

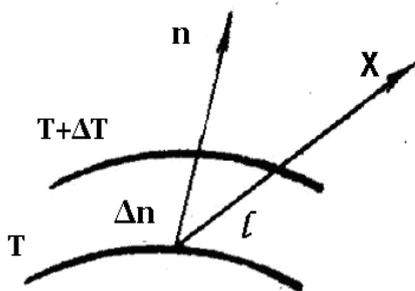


Рис. 1.

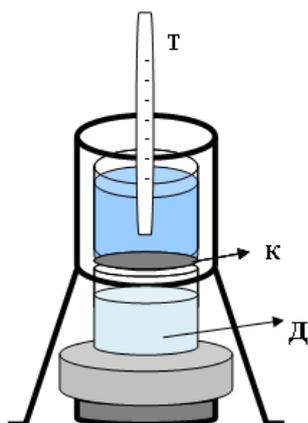


Рис.2

водой, помещая последний в калориметр. При появлении пара на гранях исследуемого образца возникает градиент температуры, равный $\frac{\Delta T}{\ell}$, вследствие чего тепло от пара будет передаваться через образец «В» в сосуд с водой К.

Количество теплоты, прошедшее через образец в сосуд К с водой, за время опыта можно определить калориметрическим уравнением:

$$Q = (c_1 m_1 + c_2 m_2) \cdot (t_2 - t_1) \quad (2)$$

В уравнения пренебрегают потерей тепла в окружающую среду.

m_1 – масса воды, m_2 – масса сосуда, c_1 – удельная теплоемкость воды, c_2 – удельная теплоемкость

сосуда, t_1 и t_2 соответственно начальная и конечная температура воды в сосуде. Объединяя формулы (1) и (2), получим

$$K = \frac{(c_1 m_1 + c_2 m_2) \cdot (t_2 - t_1) \cdot \ell}{S \cdot \Delta \tau \cdot (100 - t_{cp})} \quad (3)$$

$t_{п}$ – температура пара, равная температуре кипения воды (100°C) в течение всего опыта остается постоянной, t_{cp} – средняя температура воды в сосуде, т.е.

$t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2}$. После подстановки значения t_{cp} в формулу (3), расчетная формула

будет иметь вид

$$K = \frac{(c_1 m_1 + c_2 m_2) \cdot (t_1 - t_2)}{S \cdot \Delta \tau \cdot \left(t_n - \frac{t_1 + t_2}{2} \right)} \quad (4)$$

Расчетная формула (4) получена с небольшими допущениями, так как не учитывалось, что температура воды в сосуде за время опыта непрерывно повышается. Точную расчетную формулу можно получить, применяя интегрирование. Учитывая непрерывное изменение температуры воды T , формулу (2) и (1) можно соответственно записать

$$dQ = K \cdot S \cdot \frac{T_n - T}{\ell} d\tau \quad (5) \quad dQ = (c_1 m_1 + c_2 m_2) dT \quad (6)$$

температура пара – $T = (273 + 100)\text{K}$ приравнивая правые части, находим, что

$$K \cdot S \cdot \frac{T_n - T}{\ell} d\tau = (c_1 m_1 + c_2 m_2) dT \quad (7)$$

$$\frac{KS}{\ell} d\tau = (c_1 m_1 + c_2 m_2) \frac{dT}{T_n - T} \quad (8)$$

Значение коэффициента теплопроводности можно получить интегрированием уравнения (8):

$$\frac{KS}{\ell} = \int_0^{\tau} d\tau = (c_1 m_1 + c_2 m_2) \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T_n - T} \quad (9)$$

После интегрирования:
$$\frac{\hat{E}S\tau}{\ell} = (c_1m_1 + c_2m_2)\ell n \frac{T_n - T_1}{T_n - T_2} \quad (10)$$

Откуда
$$\hat{E} = \ell \frac{(\tilde{n}_1m_1 + c_2m_2)}{S\tau} \ell n \frac{T_n - T_1}{T_n - T_2} \quad (11)$$

где T_1 и T_2 начальная в конечная температура воды в колориметра.

Порядок выполнения работы

1. Взвешиванием на весах определяют массу сосуд $K - m_2$ и массу воды в сосуде $-m_1$ (вода в сосуде K должна составлять примерно $2/3$ его объема).
2. Штангенциркулем измеряют толщину образца ℓ , диаметр d определяют его площадь $S = \frac{\pi d^2}{4}$
3. Сосуд D наполняют водой ($0,5-0,6$ его объема), ставят на плитку и включают плитку в сеть.
4. При появлении пара в сосуде D непрерывно перемешивают воду в сосуде K , наблюдая за изменением ее температуры.
5. После того, как температура воды повысилась на $1-2^{\circ}$, записывают показания термометра (она принимается за начальную температуру) $T_1 (t_1)$ и пускают секундомер.
6. Опыт продолжают до тех пор, пока температура воды в колориметре не поднимается на $3 - 4^{\circ}$, останавливают секундомер, отмечают продолжительность опыта τ и записывают конечную температуру $T_2 (t_2)$. Затем измеряют время повышения до $t_2 = t_1 + 3^{\circ}$
 За температуру пара принимают температуру кипения воды, т.е. $t_{\text{п}} = 100^{\circ}\text{C}$.
 По формуле (4) или (11) вычисляют коэффициент теплопроводности.
7. Опыт повторяют не менее трех раз. За окончательный результат берут среднее значение коэффициента теплопроводности из трех измерений. Определяют среднюю абсолютную и относительную погрешности.

Данный измерений и вычислений заносят в таблицу.

№	m_1 (кг)	m_2 (кг)	$T_1(t_1)$ $^{\circ}\text{C}$	$T_2(t_2)$ $^{\circ}\text{C}$	d (м)	ℓ (м)	K	ΔK	$\frac{\Delta K}{K} \cdot 100\%$
1									
2									
3									
Ср.з									

Контрольные вопросы

1. Что называется теплопроводностью?
2. Объясните процесс теплопроводности с точки зрения молекулярно-кинетической теории.
3. Что называется коэффициентом теплопроводности и в каких единицах он измеряется?
4. Что называется градиентом температуры?
5. Напишите формулу (4) или (11) и объясните ее получение.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ МЕТАЛЛОВ
МЕТОДОМ ОХЛАЖДЕНИЯ

Цель работы: Ознакомится методом определения теплоемкости материалов.

Приборы и принадлежности: электропечь, набор образцов, секундомер, термопара (хромель-алюмель), милливольтметр, весы,

Описания прибора в метод измерения

Всякое тело, имеющее температуру выше окружающей среды, будет охлаждаться, причем скорость охлаждения зависит от величины теплоемкости тела.

Если взять два металлических стержня определенной формы, то сравнивая кривые охлаждения (температуры в функции времени) этих образцов, один из которых служит эталоном (его теплоемкость и скорость охлаждения должны быть известны), можно определить теплоемкость другого, определив скорость его охлаждения.

Количество тепла, теряемого элементарным объемом dV металла за время dt ,

$$dq = C\rho \frac{dT}{dt} dV \cdot dt \quad (1)$$

где C - теплоёмкость металла, ρ - его плотность, T - температура образца (принимается одинаковой во всех точках образца, так как линейные размеры тела малы, а теплопроводность металла велика). Величину dq можно подсчитать, кроме того, по закону Ньютона: $dq = \alpha(T - T_0) \cdot dS \cdot dt$ (2)

где dS – элемент поверхности, T_0 – температура окружающей среды, α - коэффициент теплоотдачи, и интегрирование ведется по всей поверхности образца.

Приравнивая выражения (1) и (2), получаем: $C\rho \frac{dT}{dt} dV = \alpha(T - T_0)dS$

Количество тепла, которое терять весь объем образца,

$$Q = \int C\rho \frac{dT}{dt} dV = \int \alpha(T - T_0)dS$$

Полагая, что $\frac{\partial T}{\partial t}$, C и ρ не зависят от координат точек объема, а α , T и T_0 не зависят от координат точек поверхности образца, можем написать:

$$C\rho \frac{\partial T}{\partial t} V = \alpha(T - T_0)S; \quad (3)$$

где V – объем всего образца, S – поверхность всего образца.

Напишем соотношение (3) для двух одинаковых образцов. В этом случае $S_1 = S_2$, $T_1 = T_2$ и $\alpha_1 = \alpha_2$. Делением одного выражения на другое получим:

$$C_1 = C_2 \frac{m_2 \left(\frac{dT}{dt} \right)_2}{m_1 \left(\frac{dT}{dt} \right)_1}, \quad (4)$$

где $m_1 = \rho_1 V_1$ – масса первого образца, $m_2 = \rho_2 V_2$ – масса второго образца.

В данной работе определение теплоемкости металлов проводится на установке рис. 1.

Электропечь А смонтирована на двух направляющих стержнях, по которым она может перемещаться вверх и вниз (на рисунке стержни не показаны). Образец В представляет собой цилиндр длиной 30 мм и диаметром 5 мм с высверленным каналом с одного конца. Этим каналом образец помещают на фарфоровую трубку, через которую пропущены проволоки термопары С. Концы термопары подведены к милливольтметру. Температура образца отсчитывается прямо по шкале милливольтметра, для чего последний снабжен специальным графиком перевода его показаний в значения температуры спаия термопары.

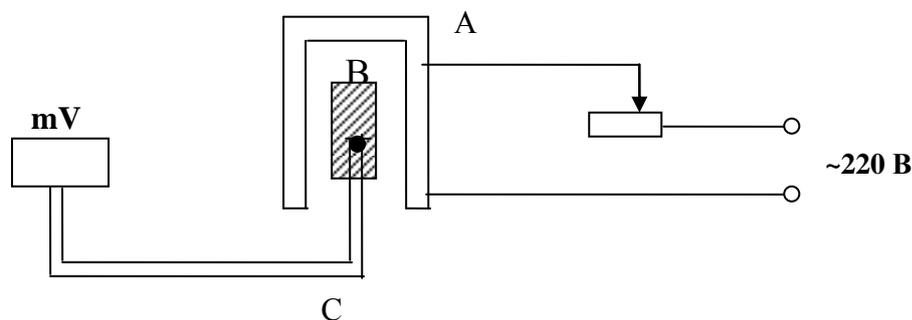


Рис. 1

Порядок выполнения работы

1. Собирают установку (рис. 1)
2. В начале опыта печь отпускается по направляющим стержням вниз настолько, чтобы образец полностью оказался внутри нее.
3. Включается источник тока.
4. Нагрев образец до температуры $550-600^{\circ}\text{C}$, печь быстро поднимают вверх и закрепляют
5. Нагретый образец охлаждается в неподвижном воздухе. Через каждые 10 сек производят запись температуры T образца по показаниям милливольтметра. Время t отсчитывают по секундомеру.
6. После охлаждения образца до температуры ниже 100°C опыт повторяют еще раз.
7. Строят график зависимости температуры T образца от времени t : $T = f(t)$. Откладывают по оси абсцисс время t , а по оси ординат температуру T . Для каждого образца снимают две кривые охлаждения и строят график для меди, железа, алюминия по средним значениям.

Графическим методом переводят кривые $T=f(t)$ всех образцов в кривые $\frac{dT}{dt} = \varphi(T)$, для чего кривые $T=f(t)$ разбивают на одинаковые близкие друг к другу участки вертикальными линиями, перпендикулярными оси абсцисс. Разности значений ординат кривых в точках пересечения их с вертикальными линиями будут представлять собой разности температур

$(T_1 - T_2)$, $(T_2 - T_3)$ и т.д. для интервалов времени Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 и т.д., на которые разбита ось абсцисс вертикальными линиям $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3 = 1$.

Отношения
$$\left(\frac{\Delta T}{\Delta t}\right)_1 = \frac{T_1 - T_2}{\Delta t_1}; \quad \left(\frac{\Delta T}{\Delta t}\right)_2 = \frac{T_2 - T_3}{\Delta t_2}; \quad \left(\frac{\Delta T}{\Delta t}\right)_3 = \frac{T_3 - T_4}{\Delta t_3} \quad (5)$$

и т.д. характеризуют скорость охлаждения в данной точке кривой и, следовательно, скорость охлаждения, соответствующую некоторой температуре. Числовые значения, полученные по формуле (5), вносят в таблицу записи результатов и строят график зависимости $\frac{dT}{dt} = \varphi(T)$ для образцов, откладывая по оси абсцисс значения температуры T , по оси ординат значения $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ первого графика.

8. Определяют теплоемкость C_{Al} алюминия, а потом железа C_{Fe} для 100, 200, 300, 400, 500⁰C. Для этого в формулу (4) подставляют значения $\frac{dT}{dt}$ для каждого образца при этих температурах. За эталон принимается образец из меди для которой зависимость от температуры сдана в таблицы 1.

Теплоёмкость меда в различных температурах

Температура °C	0	100	200	300	400	500	600
Теплоёмкость кал/ г град	0,0910	0,0940	0,0975	0,1008	0,1038	0,1070	0,1090

Массы m_1 , m_2 , m_3 образцов определяют взвешиванием.

Все полученные опытом и вычислением результаты вносят в таблицу.

№	t через каждые 10 с	T_{Cu}			T_{Fe}			T_{Al}			$\left(\frac{\Delta T}{\Delta t}\right)_{Cu}$	$\left(\frac{\Delta T}{\Delta t}\right)_{Fe}$	$\left(\frac{\Delta T}{\Delta t}\right)_{Al}$	C_{Fe}	C_{Al}
		T_1	T_2	T	T_1	T_2	T	T_1	T_2	T					

Контрольные вопросы

1. Что такое теплоёмкость?
2. Как определяется теплоемкость металлов?
3. Какие методы вы знаете для определения теплоёмкость материалов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Цель работы: изучение и определение коэффициента линейного расширения твердых тел во время нагревания.

Приборы и принадлежности: образцы твердых тел, амперметр, милливольтметр, ЛАТР, термopара, микрометр.

Теоретическая часть

Если нагревать телу он расширяется по всем направлениям. Существует следующая зависимость между величинами, характеризующими тепловое расширения твердых тел,

$$\frac{r - r_0}{r_0} = \frac{\Delta l}{l} = \alpha T$$

где r, r_0 – расстояния между колеблющимися частицами, l – длина тела, Δl – приращение длины, T – температура, α – коэффициент линейного расширения; α – коэффициент линейного расширения. Имеет различную величину для различных интервалов температур, поэтому берут коэффициент линейного расширения.

Средним коэффициентом линейного расширения называется физическая величина, численно равная среднему удлинению каждой единицы первоначальной длины l_0 при нагревании на 1°C в рассматриваемом интервале температур Δt :

$$\alpha_i = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta t} = \frac{l_1 - l_0}{l_0(t_1 - t_0)}$$

Величина $\frac{\Delta l}{\Delta t}$ – среднее удлинение при нагревании на 1°C в интервале Δt .

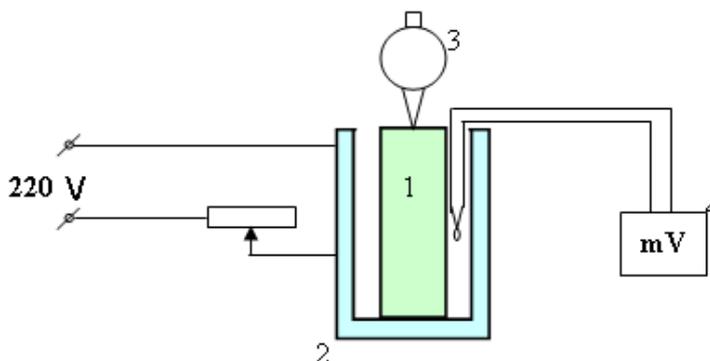
Величина $\frac{\Delta l}{l_0}$ – относительное удлинение, происходящее при нагревании 1°C .

Длина нагретого твердого тела равна: $l = l_0(1 + \alpha_i t)$

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему рис.1.

- 1- графит;
- 2- электропечь;
- 3- микрометр;
- 4- милливольтметр



2. Образец отпускается в печь. При этом образец должно полностью оказался внутри него.
3. После проверки соединения установки, он включаются к источнику питания.
4. Образец нагревается до температуры 500 – 600 °С.
5. Отключается схема от источника питания. Измеряется расширение образца с микрометром.
6. С помощью милливольтметра определяется температура образца до и после нагрева.
7. На основе полученных данных заполняется таблица.

№	l_t (mm)	t, (°C)	α (град ⁻¹)	$\Delta\alpha$ (град ⁻¹)	ε (%)
1					
2					
3					
Ср.з.					

Контрольные вопросы.

1. Что такое коэффициента линейного расширения ?
2. Чем обусловлена расширения твердых тел при нагревание?
3. Каким величинами характеризуется расширения твердых тел?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 ТЕПЛООБМЕН ИЗЛУЧЕНИЕМ МЕЖДУ ТЕЛАМИ

Цель работы: освоить методику расчетов при теплообмене излучением.

Приборы и принадлежности: Муфельная трубчатая печь, металлическая труба, термометр, мерный стакан, секундомер.

Теоретическая часть

Передача тепла излучением осуществляется по средством электромагнитных волн определенной длины. Любому телу свойственно тепловое излучение, при условии, что его температура отлична от абсолютного нуля. Зависимость интенсивности теплового излучения от температуры выражается законом Стефана-Больцмана. Закон Стефана-Больцмана гласит: излучательная способность абсолютно черного тела прямо пропорциональна четвертой степени его абсолютной температуры. Закон Стефана-Больцмана обычно записывают в форме:

$$E_s = C_s \left(\frac{T}{100} \right)^4 ;$$

где: C_s – коэффициент лучеиспускания абсолютно черного тела, равный $4,9 \text{ ккал/м}^2 \text{ час К}^4$; T – абсолютная температура, К.

Величину, характеризующую излучательную способность серого тела по отношению к излучательной способности абсолютно черного тела, называют степенью черноты. Степень черноты ε - может быть определена как отношение излучения серого тела E к излучению абсолютно черного тела E_s при определенной температуре:

$$\varepsilon = \frac{E}{E_s} \quad \text{или} \quad E = \varepsilon E_s ;$$

Тогда:

$$E = C \left(\frac{T}{100} \right)^4 ;$$

где: C – коэффициент лучеиспускания серого тела, равный: $C = \varepsilon C_s$.

Величина C не является постоянной и зависит от температуры, физических свойств и состояния поверхности тела.

При теплообмене между двумя серыми поверхностями на интенсивность лучистого теплообмена оказывает влияния их расположение относительно друг друга. Влияние этого фактора называется угловым коэффициентом. Угловой коэффициент показывает, какая часть всей излучаемой энергии одного тела попадает на другое.

Суммарный лучистый поток при теплообмене излучением между серыми телами пропорционален разности четвертых степеней абсолютных температур этих тел и рассчитывается по формуле:

$$Q = C_{np} \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right] \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{час};$$

где: $C_{пр}$ – приведенный коэффициент излучения.

Для случая двух коаксиальных цилиндров $C_{пр}$ рассчитывается по формуле:

$$C_{пр} = \frac{1}{\frac{1}{c_1} + \frac{F_1}{F} \left(\frac{1}{C} - \frac{1}{4.9} \right)}; \text{ккал/м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{к}^4;$$

где: F_1 – площадь поверхности первого тела;

F_2 – площадь поверхности второго тела;

$C_1 = 4,9 \varepsilon_1$ – коэффициент излучения первого тела;

$C_2 = 4,9 \varepsilon_2$ – коэффициент излучения второго тела;

ε_1 – степень черноты первого тела;

ε_2 – степень черноты второго тела.

Описания прибора в метод измерения

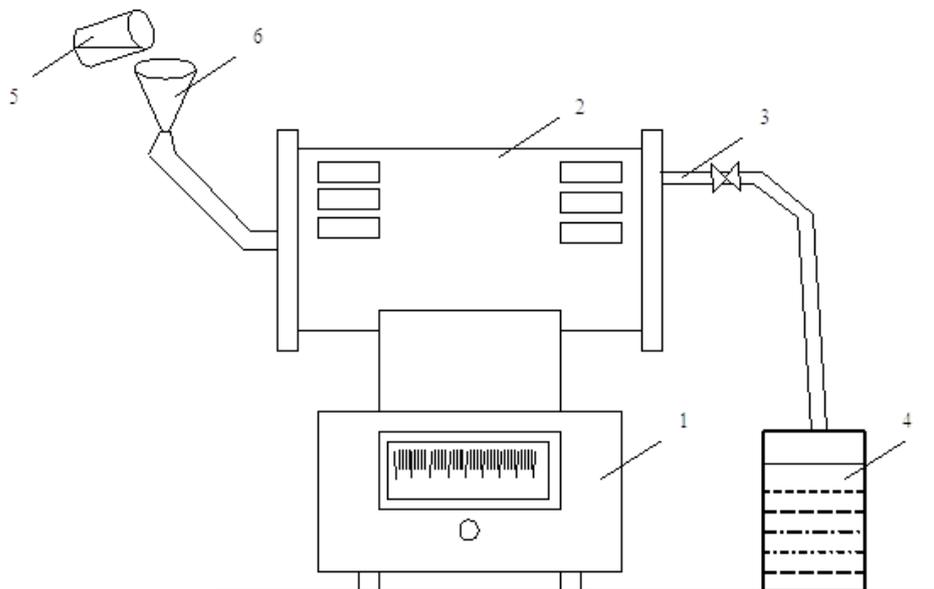


Рис.1. Установка для исследования теплообмена излучением. 1. Муфельная печь; 2. Металлическая печь; 3. Металлическая труба; 4. Мерный стакан; 5. Стакан; 6. Воронка.

Количество тепла, переданное воде, будет равно:

$$Q_v = cm(t_2 - t_1)$$

где: c – удельная теплоемкость воды;

m – количество воды;

t_2 и t_1 – температура воды на входе и выходе трубы.

Это же количество тепла передается излучением от поверхности муфеля к поверхности трубы.

$$Q_{изл} = C_{пр} \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right] F_{mp} \tau;$$

Поэтому можно приравнять:

$$Q_v = Q_{изл}$$

$$\text{Следовательно: } cm(t_2 - t_1) = C_{np} \left[\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right] F_{mp} \cdot \tau$$

где: T_2 – температура муфеля; T_1 – температура трубы; F_{mp} – площадь поверхности трубы; τ - время опыта.

Степень черноты муфеля и трубы при определении C_{np} примем одинаковыми и равными 0,9.

Решая уравнение относительно T_1 , получим:

$$T_1 = 100 \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \frac{c \cdot m \cdot (t_2 - t_1)}{C_{np} \cdot t \cdot F_{mp}}}$$

На масса воды m , поставим $m=V/\rho$. И тогда последняя выражения выглядит так

$$T_1 = 100 \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{T_2}{100} \right)^4 - \frac{c \cdot V \cdot (t_2 - t_1)}{C_{np} \cdot \rho \cdot t \cdot F_{mp}}}$$

Порядок выполнения работы

1. Перед началом работы необходимо детально ознакомиться с установкой (рис.1) и измерительными приборами, проверить плотность соединения резиновых трубок.
2. Включить печь. По достижении в печи заданной температуры, пропустить через трубу известное количество воды, замерив при этом:
 - температуру воды на входе в трубу;
 - температуру воды на выходе из трубы;
 - количество воды;
 - время пропускания воды.
3. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу.

Таблица.1

№ опыта	Расход воды, л/час	Температура муфеля T_2 ($^{\circ}\text{K}$)	Начальная температура воды t_1 ($^{\circ}\text{C}$)	Конечная температура воды t_2 ($^{\circ}\text{C}$)	Температура трубы T_1 ($^{\circ}\text{K}$)
1					

Контрольные вопросы

1. Передача тепла излучением.
2. Закон Стефана-Больцмана.
3. Влияние различных факторов на теплообмен излучением.
4. Степень черноты тела.
5. Угловые коэффициенты.
6. Методика выполнения работы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ И ЗОЛЬНОСТИ ТОПЛИВА,
И ПЕРЕСЧЕТ РАБОЧЕЙ МАССЫ**

Цель работы: ознакомление с методикой определения горючей и сухой масс твердого топлива и закрепление знаний, полученных на лекционных занятиях.

Приборы и принадлежности: Аналитические весы с разновесами; Бюкс высотой 25-30 мм и диаметром 35-40 мм; Сушительный шкаф с термометром; Ступка с пестиком; Сито с диаметром отверстий 0,2 мм; Эксикатор; Фарфоровый тигель; Муфельная электрическая печь; Тигельные щипцы; Твердое топливо.

Теоретическая часть

В настоящее время наиболее массовым источником тепловой энергии является топливо. Топливом принято называть горючие вещества, выделяющие большое количество тепла при их сжигании и удовлетворяющие следующим требованиям:

1. Продукты сгорания должны быть газообразными и безвредными для обслуживающего персонала и аппаратуры;
2. В природе должны быть достаточно большие запасы таких веществ;
3. Сжигание должно быть рациональным с экономической точки зрения.

Большинство видов топлива имеют органическое происхождение, поэтому основными его составляющими являются углерод и водород, которые находятся в топливе в виде различных соединений. В топливе также обычно присутствуют кислород, азот и сера. Все эти элементы образуют различные соединения, составляющие основу топлива. Кроме того в топливе всегда присутствуют вода и зола. Зола – это негорючая минеральная часть твердого и жидкого топлива, состоящая из Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO и др.

Чтобы установить состав топлива, проводят технический и химический (элементарный) анализ. При техническом анализе определяют влагу, летучие и золу. Элементарный анализ проводят с целью определения элементов в процентах по массе.

В соответствии с элементарным анализом в топливе различают органическую (С, Н, О, N), горючую (С, Н, О, N, S), сухую (С, Н, О, N, S, А) массы и рабочее топливо (С, Н, О, N, S, А, W).

При записи результатов анализа пользуются индексами, например:

S^o - содержание углерода в органической массе;

S^r - содержание серы в горючей массе;

A^c – содержание золы в сухой массе;

W^p – содержание влаги в рабочей массе;

Для пересчета данных по составу твердого и жидкого топлива из одной массы в другую применяют следующие выражения:

$$X^o = X^r \frac{100}{100 - S^r_l} \qquad X^r = X^c \frac{100}{100 - A^c}$$

$$X^c = X^p \frac{100}{100 - W^p} \quad X^c = X^s \frac{100 - A^c}{100}$$

где: X^r, X^p, X^c – содержание компонента соответственно в органической, горючей, рабочей и сухой массах топлива, в %.

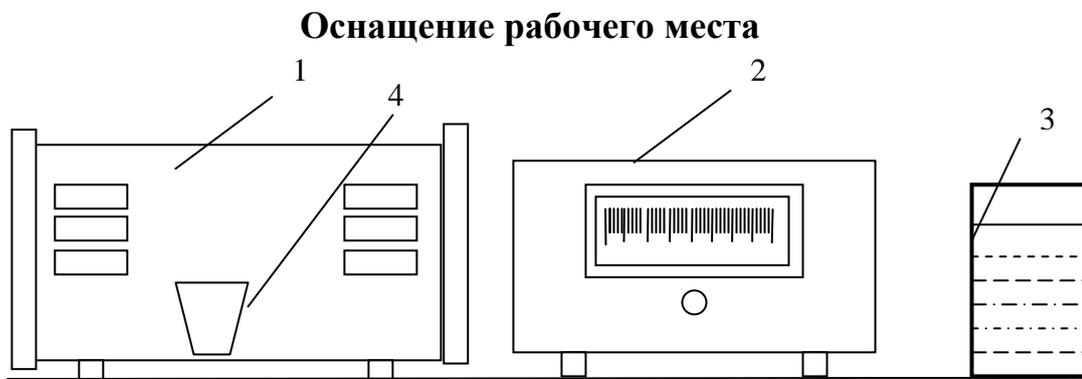


Рис. 1.1. Опытная установка. 1-сушильный шкаф с термометром; 2- муфельная электрическая печь; 3-бюкс; 4-тигель.

Порядок выполнения работы

1. Определение содержания углерода в сухой массе топлива. Собрать схему установку в соответствии с рис.1.1. Каменный уголь измельчают в ступке и просеивают. Берут 2-3 г топлива и помещают в предварительно взвешенный бюкс и высушивают при температуре 105-110°C около 1,5-2 час до постоянной массы. Крышка бюкса при выслушивании должна быть приоткрыта. Высушенное топливо вынимают из сушильного шкафа, охлаждают сначала на воздухе, а потом в эксикаторе и взвешивают; содержание влаги рассчитывается по формуле:

$$W = \frac{m}{m_1} \cdot 100\%$$

где: m – убыль в массе после просушивания, в граммах;

m_1 –навеска топлива, в граммах.

Содержание C^c в сухой массе топлива определяется по формуле:

$$C^c = C^p \frac{100}{100 - W} \%$$

где: C^p –содержание углерода в рабочем топливе, в % (указывается преподавателем); W – полученная влажность, в процентах.

Результаты заносятся в таблицу № 1.1.

2. Определение содержания углерода в горючей массе топлива. В предварительно прокаленный и взвешенный тигель переносят высушенную навеску топлива и помещают в муфельную печь. Температуру печи поднимают до 800 °C и выдерживают навеску при данной температуре 1 час. После этого тигель вынимают из печи, охлаждают в течение 5 минут на воздухе, переносят

в эксикатор, где тигель охлаждается до комнатной температуры. После взвешивания тигля зольность рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{m \cdot 100}{m_1} \%$$

где: m – масса зольного остатка, в граммах:

m_1 – масса топлива, в граммах;

Содержание углерода в горючей массе определяется по формуле:

$$C^e = C^c \frac{100}{100 - A} \%$$

Результаты заносятся в таблицу 1.2.

Таблица 1.1

№	Навеска топлива, г.		Убыль в массе, г.	Содержание углерода в сухой массе
	До высушивания	После высушивания		
1				
2				
3				

Таблица 1.2

№	масса		Зольность в процентах	Содержание углерода
	Топливо, г	Зол, г		
1				
2				
3				

Контрольные вопросы

1. Топливо, требования к нему.
2. Виды топлива.
3. Виды анализа состава топлива.
4. Формулы пересчета состава топлива.
5. Методика определения влажности топлива.
6. Методика определения зольности топлива.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Цель работы: освоит методику определения коэффициента полезного действия нагревателя.

Приборы и принадлежности: Один из видов нагревателей(керогаз, примус, керосинка, спиртовая лампа или какойнибудь другой нагреватель) весы, колба, штатив, мензурка, термометр.

Теоретическая часть

Молекулы состоят из атомов то есть для того чтобы разделить молекулы на атомы надо ослабить силу притяжения атомов и выполнить работу то есть потратить энергию. При объяденении атомов в обрзовании молекул энергия отделяется.

При сгорании топлива отделяется энергия. *Топливом* называется горючее вещество, используемое в качестве источника получения теплоты в энергетических, промышленных и отопительных установках. В зависимости от типа реакций, в результате которых выделяется теплота из топлива, различают *органическое* и *ядерное топливо*.

В органических топливах теплота выделяется в результате химической реакции окисления его горючих частей при участии кислорода, а в ядерных топливах – в результате распада деления ядер тяжелых элементов (урана, плутония и т.д.).

Классификация органических топлив по агрегатному состоянию.

Топливо	Агрегатное состояние		Газообразное Природный газ
	Твердое	Жидкое	
Природное	Дрова, торф, бурые и каменные угли, антрацит, горючие сланцы	Нефть	
Искусственное	Древесный уголь, полукокс, кокс, угольные и торфяные брикеты	Мазут, керосин, бензин, соляровое масло, газойль, печное топливо	Газы нефтяной, коксовый, генераторный, доменный, газ подземной газификации

1 кг полностью сжённного топлива и выделенного из него теплота обозначается q . Полностью сжённная теплота с массой m и количеством теплоты

$$Q = q \cdot m \quad (1)$$

вычесляется по формуле.

С помощью нагревателя сжигаем горючее и пользуемся полученной энергией. Обычные отопительные устройства бывают в виде керогаза, примуса,

керосинки, и спиртовой лампы. Вообще во всех отопительных устройствах часть энергии топлива уходит на площадь и поверхность трубы на воздухе. Вся энергия топлива не отдаётся нагревателю. Польза отопительного устройства определяется по его коэффициенту полезного действия.

Влита вода к нагреванию с массой m_s , при начале работы температура воды от t_1 должна быть нагрета до t_2 . Температура воды определяется по формуле

$$Q = cm_s(t_2 - t_1) \quad (2)$$

В нём c – удельная теплоёмкость $c=4190$ Дж/ кг· К

Теплота отправленная к нагреваемому телу Q_s выделенная количество теплоты при нагревании Q сравнимая количество теплоты mq называется коэффициентом полезного действия.

$$\eta = \frac{Q_s}{Q} = \frac{m_s \tilde{c}(t_2 - t_1)}{mq} \quad (3)$$

или

$$\eta = \frac{m_s \tilde{c}(t_2 - t_1)}{mq} \cdot 100\% \quad (3^1)$$

Порядок выполнения работы



1. Налейте воды в мензурку или колбу ($m_s=0.5-1$ kg). Измерьте начальную температуру колбы с помощью термометром t_1 .
2. Наливаем на колбу определённое количество воды и начинаем нагревать с помощью спиртовку со спиртом или другой вид топлива.
3. Включите спиртовую лампу и поставьте на него колбу с водой
4. Через 10-15 мин выключите спиртовую лампу. Затем измерьте температуру t_2 (Температуру нельзя поднимать с 60-70 С Для того чтобы сильно не нагревать)
5. В конце нагревания измеряем m_2 .

6. После охлаждения измеряем конечную массу m_2 и находим массу $m=m_1-m_2$
7. Коэффициента полезного действия топлива определяется с помощью формулы: (3¹). Удельная теплоотдача топлива q определяется из таблицы.

На основы полученных результатов заполняем таблицу.

№	Вид топлива	q (ж/К)	m_1 (кг)	m_2 (кг)	$m=m_1-m_2$ (кг)	t_1 (К)	t_2 (К)	m_3 (кг)	η

Контрольные вопросы

1. Из за чего говорят коэффициент полезного действия нагревателя?
2. Что называют удельной теплотой топлива?
3. Какое место в производстве горючего?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМНОГО И УДЕЛЬНОГО ВЕСА, ИСТИННОЙ ПОРИСТОСТИ ОГНЕУПОРОВ

Цель работы: освоит методику определения объемного и удельного веса огнеупоров, определения их истинной пористости.

Приборы и принадлежности: весы технические, весы аналитические, шкаф сушильный, образцы огнеупоров, мерный цилиндр, ступка с пестиком.

Теоретическая часть

Огнеупорами называются строительные материалы, служащие для сооружения тепловых агрегатов и способные противостоять действию высоких температур, а также воздействию физических и физико-химических процессов, происходящих в тепловых агрегатах при высоких температурах. У огнеупорных материалов различают следующие физические свойства: пористость, газопроницаемость, теплопроводность, электропроводность, теплоемкость.

Пористость огнеупоров имеет очень большое значение: стойкость огнеупоров против шлакоразъедания зависит от пористости изделия. С увеличением пористости огнеупоров значительно возрастает поверхность их контакта с расплавом и резко падает стойкость против шлакоразъедания. В печах с контролируемой средой, где фильтрация газа через футеровку недопустима, используют огнеупоры с минимальной пористостью. Огнеупоры, используемые в вакуумных печах. Тоже должны иметь минимальную пористость с тем, чтобы уменьшить непроизводительную работу вакуумных насосов по качке газов.

Размер пор, их структура и количество в огнеупорных изделиях весьма разнообразны: в легковесных огнеупорах пористость достигает 60-75%; а для большинства материалов она находится в пределах 15-28%, уменьшаясь до 10% и даже до нуля у плавленных изделий. Пористость обожженных изделий представляет собой комбинацию небольших объемов, связанных между собой капиллярами, или полностью изолированных друг от друга малых объемов, заполненных газом. Поэтому можно рассматривать:

1) общую или истинную пористость, под которой понимается объем всех содержащихся в изделии пор, отнесенный ко всему объему изделия;

2) кажущуюся или открытую, т. е. отношение объема, занятого в изделии порами, сообщающимися между собой и окружающей средой, к общему объему огнеупора;

3) закрытую пористость, т.е. объем изолированных от окружающего воздуха пор, отнесенный к объему изделия;

Величина пор в огнеупорных изделиях колеблется в весьма широких пределах: от нескольких миллиметров до молекулярных размеров.

Пористость оказывает влияние на соотношение объемного и удельного веса огнеупоров. Объемный вес огнеупора – это вес единицы его объема,

определяемый как отношение массы кирпича к его объему, равному произведению длины, ширины и высоту огнеупора:

$$P = a \cdot b \cdot h$$

где: P - вес огнеупора, a - длина кирпича, b - ширина кирпича, h -высота кирпича.

Удельным весом огнеупора называются все единицы объема огнеупора за вычетом объема, занимаемого порами.

Истинная пористость огнеупора определяется по формуле:

$$P_{и} = \frac{U_{в} - O_{в}}{U_{в}} \cdot 100\%;$$

где: $P_{и}$ – истинная пористость огнеупора;

$U_{в}$ – удельный вес огнеупора;

$O_{в}$ – объемный вес огнеупора.

Порядок выполнения работы

1. Огнеупорный кирпич взвесить на технических весах, измерить его длину, ширину, высоту и рассчитать объемный вес огнеупора;
2. Кусок огнеупора растереть в порошок и высушить в сушильном шкафу в течение 30 минут при температуре 200°C;
3. Высушенный огнеупор взвесить на аналитических весах и высыпать в мерный цилиндр, в который налито известное количество воды. Хорошо встряхивать;
4. По увеличению объема воды определить объем порошка огнеупора. Рассчитать удельный вес огнеупора;
5. Рассчитать истинную пористость огнеупора;
6. Аналогичные расчеты провести для двух других образцов;
7. Результаты опытов и вычислений занести в таблицу 8.1.

Таблица 8.1

№	Вид огнеупора	Объемный вес	удельный вес	Истинная пористость
1				
2				
3				

Контрольные вопросы.

1. Определение огнеупорных материалов.
2. Физические свойства огнеупорных материалов.
3. Значение пористости в практике применения огнеупоров.
4. Виды пористости.
5. Объемный и удельный вес огнеупора.
6. Методика определения истинной пористости.

Удельная теплоемкость металлов и сплавов

Металл или сплав	Температура, °С	Удельная теплоемкость	
		кДж/(кг · К)	кал/(г · °С)
Алюминий	0–200	0,92	0,22
Вольфрам	0–1600	0,15	0,036
Железо	0–100	0,46	0,11
»	0–500	0,54	0,13
Золото	0–500	0,13	0,032
Иридий	0–1000	0,15	0,037
Магний	0–500	1,10	0,27
Медь	0–500	0,40	0,097
Никель	0–300	0,50	0,12
Олово	0–200	0,23	0,056
Платина	0–500	0,14	0,033
Свинец	0–300	0,14	0,033
Серебро	0–500	0,25	0,059
Сталь	50–300	0,50	0,12
Цинк	0–300	0,40	0,097
Чугун	0–200	0,54	0,13

Соотношения между единицами удельных теплот сгорания, парообразования и плавления

Единицы	Дж/кг	кДж/кг	кал/г или ккал/кг
1 Дж/кг	1	10^{-3}	$2,39 \cdot 10^{-4}$
1 кДж/кг	10^3	1	0,239
1 кал/г (1 ккал/кг)	$4,19 \cdot 10^3$	4,19	1

Примечание. 1 кал/г = 1 ккал/кг = 4186,8 Дж/кг = 4,1868 кДж/кг = $4,1868 \cdot 10^{-3}$ МДж/кг.

**Температура плавления $t_{пл}$ металлов и сплавов
при нормальном атмосферном давлении**

Металл или сплав	$t_{пл}$, °C	Металл или сплав	$t_{пл}$, °C
Алюминий	660,4	Магний	650
Вольфрам (наиболее тугоплавкий из металлов)	3420	Медь	1084,5
Германий	937	Натрий	97,8
Дуралюмин	≈ 650	Нейзильбер	≈ 1100
Железо	1539	Никель	1455
Золото	1064,4	Нихром	≈ 1400
Инвар	1425	Олово	231,9
Иридий	2447	Осмий	ок. 3030
Калий	63,6	Платина	1772
Карбиды		Ртуть	-38,9
гафния	3890	Свинец	327,4
ниобия	3760	Серебро	961,9
титана	3150	Сталь	1300–1500
циркония	3530	Фехраль	≈ 1460
Константан	≈ 1260	Цезий (наиболее легкоплавкий из металлов)	28,4
Кремний	1415	Цинк	419,5
Латунь	≈ 1000	Чугун	1100–1300
Легкоплавкий сплав*	60,5		

* Состав: 50% Bi, 25% Pb, 12,5% Sn, 12,5% Cd.

**Удельная теплота плавления металлов
при нормальном атмосферном давлении**

Металл	Удельная теплота плавления		Металл	Удельная теплота плавления	
	кДж/кг	кал/г		кДж/кг	кал/г
Алюминий	393	94	Платина	113	27
Вольфрам	184	44	Ртуть	12	2,8
Железо	270	64,5	Свинец	24,3	5,8
Золото	67	16	Серебро	87	21
Магний	370	89	Сталь	84	20
Медь	213	51	Тантал	174	41
Натрий	113	27	Цинк	112,2	26,8
Олово	59	14	Чугун	96–140	23–33

**Удельная теплота плавления некоторых веществ
при нормальном атмосферном давлении**

Вещество	Удельная теплота плавления		Вещество	Удельная теплота плавления	
	кДж/кг	ккал/г		кДж/кг	ккал/г
Азот	25,7	6,2	Нафталин . . .	151	36
Водород	59	14	Парафин	150	35
Воск	176	42	Спирт	105	25
Глицерин	199	47,5	Стеарин	201	48
Кислород	13,8	3,3	Хлор	188	45
Лед	330	80	Эфир	113	27

Удельная теплота сгорания q некоторых пищевых продуктов

Продукт	q		Продукт	q	
	кДж/кг	ккал/кг		кДж/кг	ккал/кг
Батоны простые	10 470	2500	Мясо куриное	5380	1280
Виноград	2400	700	Огурцы свежие	570	140
Говядина	7520	1800	Окунь, щука	3520	840
Земляника садо- вая	1730	443	Сахар	17 150	4100
Картофель	3770	900	Сметана	14 800	3530
Кефир	2700	640	Смородина черная	2470	590
Малина	1920	460	Хлеб пшенич- ный	8930	2130
Масло сливочное	32 700	7800	Хлеб ржаной	8620	2060
Молоко	2800	670	Яблоки	2010	480
Морковь	1720	400	Яйца	6900	1650
Мороженое сли- вочное	7500	1790			

**Удельная теплота сгорания q различных видов топлива
и некоторых веществ**

Топливо, вещество	q	
	МДж/кг	ккал/кг
Условное топливо	29,3	7000
<i>Твердое</i>		
Антрацит	26,8–31,4	6400–7500
Древесный уголь	31,5–34,4	7500–8200
Дрова (воздушно-сухие)	8,4–11	2000–2500
Каменный уголь	≈ 27	≈ 6500
Порох	3,8	900
Сланцы горючие	7,5–15,0	1800–3600
Твердые ракетные топлива	4,2–10,5	1000–2500
Торф	10,5–14,5	2500–3500
Тротил (взрывчатое вещество)	15	3600
Уголь		
канско-ачинский	15,5	3700
подмосковный	10,5	2500
челябинский	14,6	3500
экибастузский	16,1	3840
<i>Жидкое</i>		
Бензин	44–47	10 500–11 200
Дизельное автотракторное	42,7	10 200
Керосин	44–46	10 500–11 000
Нефть	43,5–46	10 400–11 000
Спирт	27,0	6450
Топливо для ЖРД (керосин + жидкий кислород)	9,2	2200
Топливо для реактивных двигателей самолетов (ТС-1)	42,9	10 250
<i>Газообразное</i>		
Ацетилен	48,1	11 500
Водород	120	28 600
Газ природный	41–49	9800–11 700
Метан	50,0	11 950
Оксид углерода (II)	10,1	2420

Литература

1. Алексеев Г.Н. Общая теплотехника. М.: Энергия, 1980.
2. Архоров А.М. Исаев С.И., Крутов В.И. Теплотехника. М.: Машиностроение, 1986.
3. Баскаков А.П. Теплотехника. М.: Энергия, 1988.
4. Лариков Н.Н. Теплотехника. М.: Стройиздат, 1985, 432 с.
5. Ястржембский А.С. Техническая термодинамика. М.: Энергоиздат, 1990.
6. Альбовский А.Б. Недюжий М.В. Термодинамика и теплопередача. -М.: Высшая школа, 1990. 455 с.
7. Абдурахмонов С.А., Овчинников А.А., Якубова Н.М. Лабораторные работы по курсу «Металлургическая теплотехника». Ташкент, 1984.
8. Арутюнов В.А., Неведомская М.Н. Лабораторный практикум по металлургической теплотехнике. М. МИСиС, 1999.

Содержание

Фронтальная лабораторная работа.

Методы измерения температуры

Лабораторная работа №1. Измерение температуры с помощью термопары

Лабораторная работа № 2. Определение приращения энтропии при плавлении олова

Лабораторная работа № 3. Определение коэффициента теплопроводности твердых тел.....

Лабораторная работа № 4. Определение теплоёмкости металлов методом охлаждения.....

Лабораторная работа № 5. Определение температурного коэффициента линейного расширения твердых тел

Лабораторная работа № 6. Теплообмен излучением между телами

Лабораторная работа № 7. Определение влажности и зольности топлива и пересчет рабочей массы.....

Лабораторная работа № 8. Определение коэффициента полезного действия топлива

Лабораторная работа № 9. Определение объемного и удельного веса, истинной пористости огнеупоров

Литература.....

