

Лабораторная работа

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВЕЩЕСТВ

1.1. Цель работы

Изучение основных методов измерений температуры веществ и ознакомление с измерительными приборами.

1.2. Задачи работы

Ознакомление с приборами, установленными в лаборатории, и с принципами их устройства; снятие показаний приборов; зарисовка принципиальных схем устройства основных приборов.

1.3. Основные понятия

Температура с точки зрения молекулярно-кинетической теории – физическая величина, характеризующая интенсивность хаотического, теплового движения всей совокупности частиц системы и пропорциональная средней кинетической энергии поступательного движения одной молекулы или атома

$$\frac{mc^2}{2} = \frac{3}{2}kT \quad (1.1)$$

где T – абсолютная температура, К

k – постоянная Больцмана

m – масса молекулы, кг

c^2 – средняя квадратичная скорость поступательного движения молекул

Температура, определяемая из уравнения (1.1) называется термодинамической (абсолютной). Понятие абсолютной температуры было введено У. Томсоном (Кельвином), в связи с чем шкалу абсолютной температуры называют шкалой Кельвина или термодинамической температурной шкалой. Единица абсолютной температуры — кельвин (К).

Абсолютная шкала температуры называется так, потому что мера основного состояния нижнего предела температуры — абсолютный ноль, то есть наиболее низкая возможная температура, при которой в принципе невозможно извлечь из вещества тепловую энергию.

Абсолютный ноль определен как 0 К, что равно $-273,15$ °С (точно).

Температуру также измеряют по шкале Цельсия, где за нуль принимают температуру таяния льда, а за 100 °С – температуру кипения воды при давлении 101325 Па. Связь между абсолютной температурой T (К) и температурой по Цельсию t (°С) следующая:

$$T = t + 273,15 \quad (1.2.)$$

Таким образом, температура является параметром состояния термодинамической системы. В связи с этим возникает необходимость ее измерения, что осуществляется методами и приборами, описание которых приводится далее.

1.4. Методы измерения температуры, устройство и принцип работы приборов

В качестве измерителей температуры применяются приборы, действие которых основано на использовании различных термометрических свойств жидкостей, газов и твердых тел.

1.4.1. Термометры расширения

Физическое свойство тел изменять свой объем в зависимости от температуры лежит в основе устройства термометров расширения. Термометры расширения выполняются в виде жидкостных,

дилатометрических и биметаллических. Последние два типа иногда объединяют под общим названием — механические термометры.

Жидкостные термометры (рис. 1.1а). Принцип действия жидкостных термометров основан на тепловом расширении жидкости в стекле, коэффициент термического расширения которого меньше, чем у жидкости.

Основным термометрическим веществом является ртуть. Термометры с органическими жидкостями применяются главным образом для измерения низких температур. Точность этих термометров ниже, чем ртутных, ввиду смачиваемости стекла жидкостью, и большей тепловой инерции. Достоинством ртутных термометров является большой диапазон измерений, несмачиваемость стекла ртутью, постоянство температурного коэффициента в значительной части шкалы термометра.

К недостаткам следует отнести сравнительно малый коэффициент расширения ($0,0018 \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$), хрупкость, невозможность дистанционной передачи показаний, значительность тепловой инерции и трудность отсчета показаний.

Таблица 1.1

Термометрические жидкости

Рабочая жидкость	Возможный предел измерения, °C	
	от	до
Ртуть	-90	+700
Толуол	-90	+100
Этиловый спирт	-100	+ 75
Петролейный эфир	-180	+ 25
Пентам	-190	+ 20

Механические термометры (рис. 1.1б). Принцип действия дилатометрических и биметаллических термометров основан на изменении линейных размеров твердых тел в зависимости от изменения их температуры.

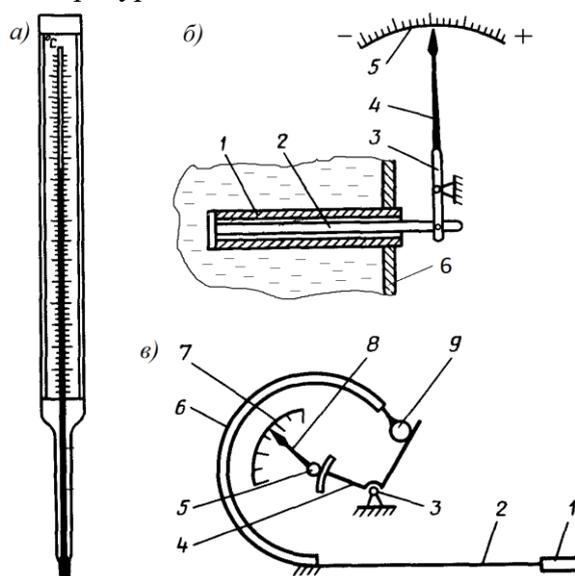


Рис.1.1. Термометры расширения:

а) жидкостные; б) дилатометрические: 1 – термочувствительный корпус, 2 – стержень, 3 – рычаг, 4 – стрелка, 5 – шкала, 6 – корпус теплового агрегата; в) манометрические: 1 – термобаллон, 2 – дистанционный капилляр, 3 – рычаг, 4 – сектор с червяком, 5 – трубка с шестерней, 6 – упругий термочувствительный элемент, 7 – шкала, 8 – стрелка, 9 – кулачок

На рис. 1.1б изображен дилатометрический термометр, который состоит из термочувствительной гильзы 1, изготовленной из металла с большим коэффициентом линейного расширения (медь, латунь, алюминий, сталь) и стержня 2, изготовленного из материала с малым

коэффициентом линейного расширения (кварц, фарфор, инвар).

Термочувствительная гильза 1 одним концом (справа) жестко закреплена в корпусе 6 теплового агрегата (котла, бойлера и др.) с помощью резьбового соединения. Снаружи гильзы находится среда (жидкость или газ), температуру которой необходимо контролировать. Внутри гильзы расположен металлический стержень 2, который жестко связан с другим концом гильзы (слева). Между гильзой и стержнем имеется диаметральный зазор. Когда повышается температура контролируемой среды, происходит увеличение диаметра и длины термочувствительной гильзы. Так как гильза правым концом закреплена в корпусе агрегата, то при увеличении ее длины свободный конец начинает перемещаться влево, и тянет за собой стержень 2. В свою очередь стержень своим правым концом поворачивает рычаг 3 относительно шарнирной опоры. Верхнее плечо рычага 3 жестко связано со стрелкой 4, которая будет показывать увеличение температуры.

Манометрические термометры (рис. 1.1б). По принципу действия манометрические термометры разделяются на два типа:

- а) газовые и жидкостные;
- б) паровые.

Действие газовых и жидкостных манометрических термометров основано на изменении зависимости от температуры давления газа или жидкости, находящихся в замкнутых пространствах. Действие паровых термометров давления насыщенного пара над поверхностью жидкости.

На рис. 1.1б изображен манометрический термометр, который работает следующим образом. Термобаллон 1 вместе с капилляром 2 и полый трубчатой пружиной 6 образуют одну полую запаянную замкнутую систему (одну полость), внутри которой находится термометрическая жидкость или газ, которые чувствительны к температуре. Нижним концом трубчатая пружина прикреплена к корпусу. Термобаллон помещают в контролируемую среду. Когда повышается температура контролируемой среды снаружи баллона, то внутри баллона также начинает повышаться температура термометрической жидкости. Термометрическая жидкость внутри баллона начинает расширяться, но так как полая система закрытая, то внутри замкнутой полости (термобаллон-капилляр-пружина) повышается давление. В результате повышения давления внутри пружины 6 она стремится выпрямиться (развернуться), и свободный верхний конец начнет перемещаться вверх-влево. На свободном конце трубчатой пружины жестко закреплен кулачок 9, который также перемещается влево-вверх. В результате движения кулачка 9 происходит поворачивание сектора с червяком 4, который с помощью зубчатой передачи 5 будет поворачивать стрелку 8 в сторону увеличения температуры.

К достоинствам манометрических термометров относятся: простота устройства, наглядность показаний, дистанционное измерение, взрывобезопасность.

Недостатки – небольшая точность, запаздывание показаний из-за большой тепловой инерции и невозможность ремонта на месте установки.

1.4.2. Термометры сопротивления (рис. 1.2)

Действие термометров сопротивления основано на изменении электрического сопротивления проводника при изменении температуры. Этим свойством обладают все без исключения материалы, но температурный коэффициент для каждого материала индивидуален, и, кроме того, величина коэффициента меняется с температурой.

Для целей термометрии наибольшее распространение получили термометры сопротивления из платины для измерения температуры от 190 до +660°C, меди от –55 до +220°C, никеля до 200...250°C, железа до 100...150°C, свинца для низких температур и фосфористой бронзы – для сверхнизких температур.

Термометр помещают в алюминиевую гильзу, которую в свою очередь помещают в предохранительный стальной чехол.

Измерение сопротивления у термометров этого типа производят неуравновешенными и уравновешенными мостами и логометрами, шкалы которых градуированы непосредственно в градусах.

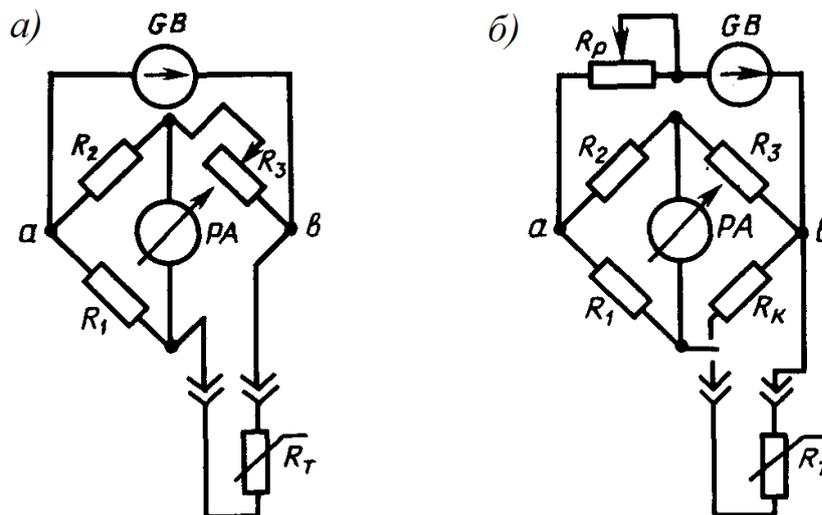


Рис. 1.2. Измерение температуры при помощи термосопротивления способом: а) уравновешенного моста; б) неуравновешенного моста

Схема уравновешенного моста приведена на рисунке 1.2а. В одно из плеч моста включен термочувствительный элемент R_T . Питание от источника напряжения GB подключено к одной из диагоналей моста, в другую включен измерительный прибор. Если мост уравновешен, то ток в измерительной диагонали равен нулю, что достигается при соотношении сопротивлений плеч:

$$R_3 = R_T \frac{R_2}{R_1} \quad (1.3)$$

Принцип измерения температуры состоит в том, что при изменении сопротивления R_T с помощью переменного резистора R_3 добиваются равновесия моста. Таким образом, указатель шкалы связан с подвижным контактом переменного резистора R_3 , причем характер шкалы полностью соответствует температурной характеристике термочувствительного элемента. Измерительный прибор PA служит в качестве нуль-индикатора, а шкала переменного резистора отградуирована в $^{\circ}C$. К преимуществам уравновешенной схемы относится независимость точности измерения от колебаний напряжения источника, что важно при использовании батарей или аккумуляторов. Недостаток схемы – необходимость ручной настройки шкалы при измерении [4].

Схема неуравновешенного моста приведена на рисунке 1.2б. Равновесие моста обеспечивается при настройке в одной точке температурного диапазона измерения (обычно в его начале), а при разбалансе моста определяют ток в измерительной диагонали:

$$I = \frac{U_{ab} \cdot (R_1 R_3 - R_2 R_T)}{R_2 R_3 (R_1 + R_T)} \quad (1.4)$$

В этом случае шкала измерительного прибора PA отградуирована $^{\circ}C$, но она нелинейно связана с температурной характеристикой термочувствительного элемента, так как величина R_T входит и в числитель и в знаменатель выражения. Шкала приблизительно линейна при небольших изменениях температуры и более сжата к концу температурного диапазона. Кроме того, точность измерения существенно зависит от напряжения U_{ab} . Чтобы обеспечить его постоянство, используется переменный резистор R_p , который настраивают после переключения измерительной цепи на контрольный резистор R_K . Сопротивление R_K соответствует значению сопротивления R_T при некоторой температуре, которая на шкале отмечена красным. При переключении на сопротивление R_K указатель PA должен устанавливаться на этой метке. Таким образом, при использовании уравновешенной схемы измерения необходимо обеспечить стабильность напряжения моста.

1.4.3. Термоэлектрические термометры (рис. 1.3)

Термоэлектрический преобразователь (термопара) работает на основании возникновения термо-эдс E в цепи, состоящей из двух разнородных проводников, при наличии разности температур T и T_0 соединений их концов:

$$E(T, T_0) = f(T) - f(T_0) \quad (1.5)$$

Обычно одно из соединений термопары (холодный спай) находится в среде с постоянной температурой T_0 , а другое (горячий спай) – в исследуемой среде с температурой T . Зависимость $f(T)$ близка к линейной и определяется материалами проводников термоэлектрической цепи.

В качестве термоэлектрических материалов применяют чистые металлы: платину, железо, медь, а также специальные сплавы, название и состав которых приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Термоэлектрические материалы		
Наименование сплава	Состав	
Алюмель	95% Ni	+ 5% Al, Si, Mg
Константан	60% Cu	+40 % Ni
Копель	56% Cu	+44% Ni
Платинородий	90% Pt	+ 10% Rh
Хромель	90% Ni	+ 10% Cr

Наибольшее распространение получили термопары, характеристика которых приведена в [приложении 1](#).

Промышленные термопары, изготовленные из толстой проволоки (диаметром 3...5 мм), невозможно протянуть до термостата. Поэтому от конца термоэлектродов, заканчивающихся в клеммной головке термопары, проводку осуществляют так называемыми компенсационными проводами, являющимися по существу гибким продолжением термопары. Компенсационные провода чаще всего изготавливают из тех же термоэлектродных материалов, из которых изготовлена монтируемая термопара; для платинородий-платиновой термопары компенсационные провода подобраны из таких металлов, которые в паре с платиной и платинородием не образуют термоэлектродвижущей силы.

Применением компенсационных проводов достигается отнесение холодных концов термопары, которыми являются в таком случае концы компенсационных проводов, в такое место, где они могут быть легко термостатированы.

Предохранительные чехлы промышленных термопар в зависимости от свойств среды, в которой производится измерение температуры, изготавливают из материалов, чаще всего сталей, способных противостоять механическим и коррозионным воздействиям.

Термо-эдс измеряют с помощью милливольтметров и потенциометров.

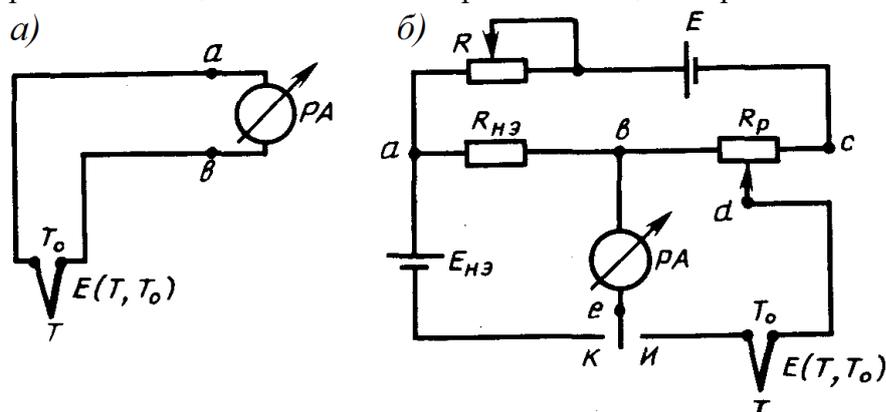


Рис. 1.3. Измерение термо-ЭДС при помощи термопар:
а) милливольтметром; б) потенциометром

На рис. 1.3а показан способ измерения термо-эдс с помощью вольтметра. Напряжение на выводах милливольтметра РА связано с термо-эдс соотношением:

$$U_{ab} = \frac{E(T, T_0)}{1 + \frac{R_{\text{Ц}}}{R_{\text{ВН}}}} \quad (1.6)$$

где $R_{\text{ВН}}$ – внутреннее сопротивление вольтметра кОм;

$R_{\text{Ц}}$ – сопротивление измерительной цепи, в которое входит сопротивление термопары, соединительных проводов, контактов и т. д., Ом.

На рис. 1.3б показан способ измерения термо-эдс с помощью потенциометра. В этом случае используют метод уравнивания термо-эдс известным напряжением $U_{\text{НЭ}}$.

Вначале обеспечивается постоянство тока в цепи потенциометра R_p . Для этого переключатель ставят в положение K и с помощью переменного резистора R добиваются нулевого значения на шкале измерительного прибора PA , что соответствует току $I = E_{\text{НЭ}}/R_{\text{НЭ}}$ в ветви ac . Затем переключатель переводят в положение $И$ и добиваются нуля в цепи PA с помощью потенциометра R_p , что соответствует равенству разности потенциалов между точками b и d , т. е.:

$$E(T, T_0) = I \cdot R_{bd} = \frac{E_{\text{НЭ}} \cdot R_{bd}}{R_{\text{НЭ}}} \quad (1.7)$$

Так как $E_{\text{НЭ}}$ и $R_{\text{НЭ}}$ – величины постоянные, то измерение сводится к определению сопротивления R_{bd} , а подвижный контакт потенциометра R_p непосредственно связан со шкалой температуры.

При измерении температуры с помощью термопар не требуются дополнительные источники питания. К недостаткам этих приборов относятся низкая температурная чувствительность и необходимость учитывать температуру холодных спаев.

1.4.4. Пирометры излучения

Измерение температуры тел, нагретых выше 800 °С, производится определением величины излучения, испускаемого этими телами.

Величина излучения отличается от величины излучения абсолютно черного тела. Это отличие характеризуется коэффициентом или степенью черноты, представляющим собой отношение количества лучистой энергии к энергии, испускаемой абсолютно черным телом при равенстве температур. Лучеиспускание абсолютно черного тела является наибольшим и потому коэффициент черноты всегда меньше единицы.

Возможность определения температуры реальных тел, имеющих различную степень черноты, одним и тем же прибором, достигается градуировкой приборов по температуре абсолютно черного тела.

Такой способ градуировки приводит к получению заниженных результатов. Правильная температура определяется введением поправок на степень черноты тела.

1.5. Проведение работы

В ходе работы студенты знакомятся под руководством преподавателя с назначением и устройством измерительных приборов, принципами их действия, снимают показания приборов, установленных в лаборатории. По указанию преподавателя студенты осуществляют измерение температуры в контрольных точках (например температуру воздуха внутри и снаружи помещения, температуру подогретой воды в колбе, температуру поверхности радиатора отопления в зимний период).

1.6. Оформление отчета

Отчет по работе должен включать перечень и краткое описание основных способов измерения давления, скорости и расхода жидкостей и газов, схемы устройства основных приборов, запись выполненных измерений. Выполненные измерения температуры сводятся в табл. 1.3.

Протокол измерений температуры

Прибор для измерения температуры	Показания прибора в контрольной точке, °C			
	1	2	3	4

1.7. Контрольные вопросы

1. Дать определение температуры, для чего нужно ее измерять.
2. Перечислить термометрические жидкости, применяемые в жидкостных термометрах расширения.
3. На каком принципе работают дилатометрические термометры?
4. Какой эффект применяется в работе термопар?