

Министерство образования Российской Федерации
Санкт-Петербургская государственная академия
холода и пищевых технологий



Кафедра автоматике и автоматизации
производственных процессов

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОТРАСЛИ

Методические указания
к выполнению лабораторных работ
для студентов специальностей
210200, 270300, 270500, 270800, 270900, 271100

Санкт-Петербург 1999

УДК 621.2.08

Усачев Ю. А., Замарашкина В. Н. Метрологическое обеспечение отрасли. Метод. указания к выполнению лабораторных работ для студентов спец. 210200, 270300, 270500, 270800, 270900, 271100. – СПб.: СПбГАХИТ, 1999. – 41 с.

Рассмотрены виды стеклянных жидкостных термометров, правила и приемы их поверки, а также приведена методика исследования метрологических характеристик средств измерений.

Рецензент

Канд. техн. наук, доц. Н. А. Афанасьева

Одобрены к изданию советом факультета техники пищевых производств

© Санкт-Петербургская государственная
академия холода и пищевых
технологий, 1999

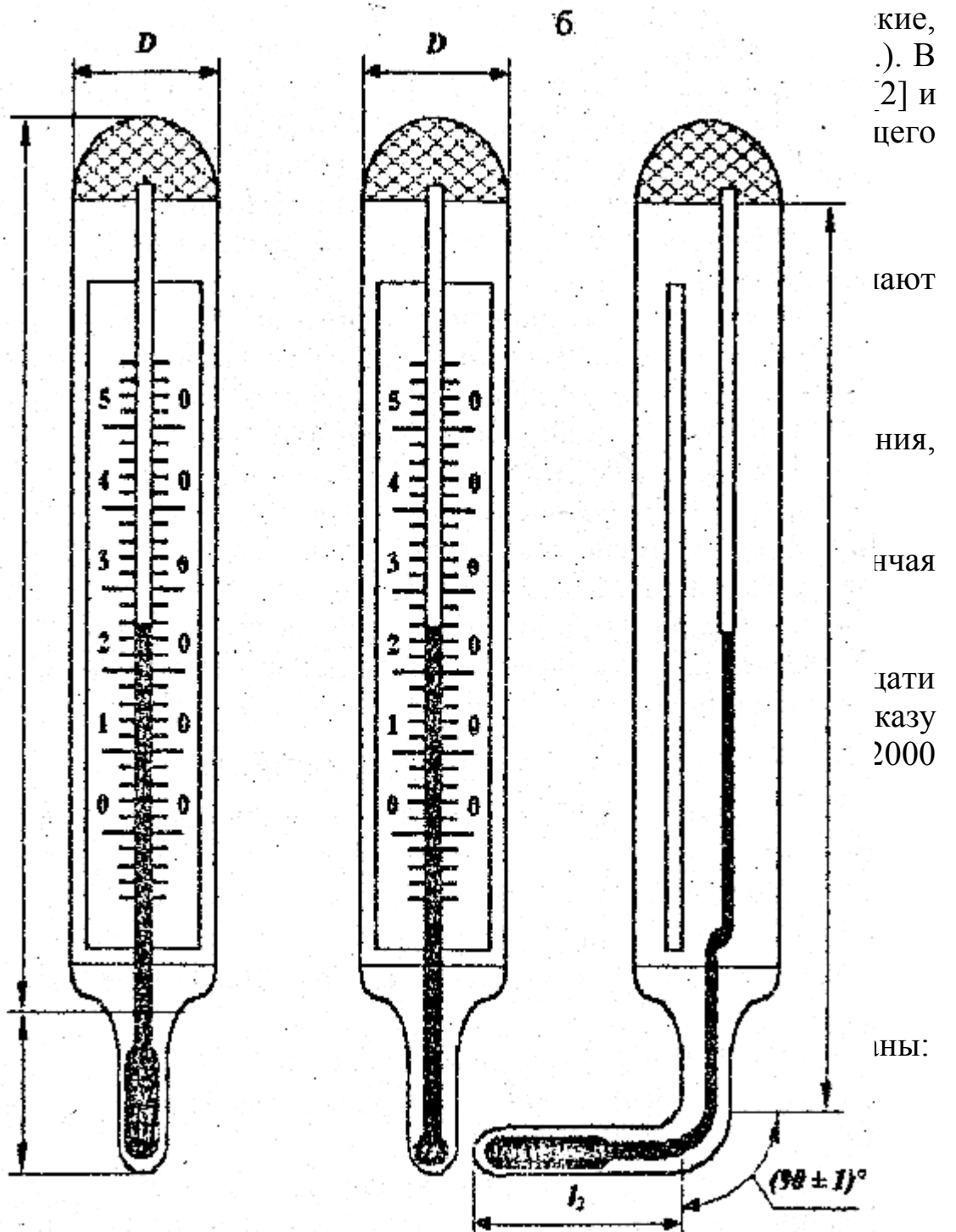
КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СТЕКЛЯННЫХ ТЕРМОМЕТРАХ

Температура тела характеризует кинетическую энергию теплового движения его молекул и атомов. Непосредственное измерение температуры практически осуществить невозможно, поэтому все существующие для этих целей приборы (термометры) измеряют температуру косвенным путем. При этом измеряется один из параметров рабочего тела термометра, функционально связанный с изменением его температуры [1].

В стеклянных жидкостных термометрах используется зависимость объема, занимаемого определенным количеством жидкости, от ее температуры. Изменение объема жидкости отмечается по перемещению мениска столбика жидкости в капиллярной трубке.

Нашей промышленностью выпускаются стеклянные жидкостные термометры (ТСЖ) с различными конструктивными особенностями.

В исполнении
—
—
Т
начина
о
о
предело
о
Д
допусти
потреби
мм Осно



В

- для пределов измерений от -90 до 30°C – ртуть;
- для пределов измерений от -30 до $+600^{\circ}\text{C}$ – ртуть;
- для пределов измерений от 60 до $+200^{\circ}\text{C}$ – толуол, полиэтиленсилоксан, керосин и другие органические жидкости.

Пространство в капиллярной трубке над столбиком жидкости заполняется инертным газом. Для термометров с верхним пределом измерения выше температуры кипения термометрической жидкости при атмосферном давлении инертный газ находится под давлением, исключающим ее кипение. Так, в ртутных термометрах (температура кипения ртути $+356,58^{\circ}\text{C}$), предназначенных для измерения температуры до $+500^{\circ}\text{C}$, инертный газ находится под давлением около $2,0$ МПа.

Градуировка технических термометров производится при погружении в термостат всей нижней части у прямых термометров на длину l_1 , а у угловых – на длину $l = l_1 - l_2$.

По заказу потребителей допускается градуировать термометры при другой длине погружения, при этом на обратной стороне шкальной пластинки символом и цифрой обозначается глубина погружения в миллиметрах (например, 120).

Для проверки неизменности положения шкалы относительно капилляра на оболочке термометра против нулевой точки или другой оцифрованной отметки шкалы наносится нестираемая отметка в виде штриха.

Пределы допускаемых погрешностей показаний термометров зависят от диапазона измеряемых температур, цены деления шкалы, вида термометрической жидкости, значения допускаемых погрешностей для термометров по ГОСТ 2823-73 приведены в табл. 2 прил. 1.

Следует иметь в виду, что ТСЖ показывают температуру точки погружения термобаллона (строго говоря, среднюю температуру термометрической жидкости). Поэтому при выборе термометра для конкретных измерений кроме диапазона изменения контролируемой величины и требуемой точности измерения необходимо учитывать расстояние контролируемой точки от места установки термометра. Последнее обстоятельство влияет на выбор длины нижней части термометра (размеры l_1 или l_2).

Основные размеры технических термометров даны в табл. 3 прил. 1.

При заказе термометров следует пользоваться условными обозначениями, в которых в сжатой форме содержатся все данные, однозначно определяющие выбранный термометр. Так, для термометра прямого исполнения N 2 с ценой деления 1°C , длиной верхней части 240 мм и нижней части 103 мм условное обозначение будет иметь вид: термометр П. 2 1 240 103 ГОСТ 2823-73.

Термометры лабораторные

Лабораторные ртутные стеклянные термометры общего назначения предназначены для измерения температуры от -30 до $+600^{\circ}\text{C}$. По конструкции различают два типа лабораторных термометров:

- А – палочные из массивных капиллярных трубок, на внешней поверхности которых нанесена шкала;
- Б – с вложенной шкальной пластинкой, заключенной внутри оболочки термометра (как у технических термометров).

В зависимости от цены деления и размеров термометры делятся на четыре группы. В каждой группе по 4, 8 или 10 термометров с различным диапазоном измерения и длиной термометра. Цена деления лабораторных термометров может быть 0,1; 0,2; 0,5; 1 или 2°C . Длина термометров от 160 до 530 мм.

Пределы допускаемых погрешностей показаний термометров в зависимости от диапазонов измеряемой температуры и цены деления шкалы приведены в табл. 4 прил. 1.

Лабораторные термометры градуируются при погружении в термостат до отсчитываемой отметки. Поэтому и при измерении они должны так же погружаться в контролируемую среду во избежание дополнительной погрешности.

В заключение отметим, что стеклянные термометры не разрешается применять для контроля за температурой пищевых продуктов без защитных металлических гильз. Эта мера предусмотрительности исключает попадание стекла, ртути и других вредных включений в пищевые продукты при поломке термометра. Вместе с тем измерение температуры через гильзу приводит к дополнительной систематической погрешности измерений вследствие увеличения теплового сопротивления между измеряемой средой и термометрической жидкостью. Для уменьшения этой погрешности гильза заполняется машинным маслом (улучшается контакт между термометром и гильзой), но при этом существенно возрастает инерционность пары гильза–термометр, что приводит к увеличению динамической ошибки при измерениях изменяющейся во времени температуры.

Числовые значения этих видов погрешностей предстоит оценить в одной из работ этого цикла.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка для проведения данного цикла работ состоит из стеклянного сосуда Дьюара, термостата типа ТС-24 и гипсометра (кипятильника).

Сосуд Дьюара представляет собой большой термос с широким горлом и используется для проверки положения нулевой точки шкалы.

Гипсометр применяется для проверки точки 100°C . Гипсометр (рис. 2) представляет собой закрытый сосуд 1 для кипячения воды, паровое пространство которого соединено с закрытым цилиндром 3. Внутри цилиндра 3 находится открытый с торцов цилиндр 4 меньшего диаметра.

Водяной пар из кипятильника в начале поступает во внутреннюю полость цилиндра 4, а затем – в зазор между цилиндрами 3 и 4 и далее – в холодильник 2, где он конденсируется и стекает в сосуд 1. Поверяемые термометры 5 через герметизирующие пробки 6 вводятся внутрь парового пространства цилиндров 3 и 4. Стенки цилиндра 4 предотвращают лучистый теплообмен термометра со стенками цилиндра 3, температура которых ниже температуры пара внутри цилиндра 4.

Водяной U-образный манометр 7 служит для измерения избыточного давления внутри цилиндра 4, которое необходимо для точного определения температуры пара. Подвод тепла к кипятильнику осуществляется нагревательным элементом 8.

Термостат ТС-24 может быть использован для получения различных значений температур жидкой среды в диапазоне от комнатной до 200°C при заполнении термостата маслом и до 99°C при заполнении его дистиллированной водой. Термостат (рис. 3) состоит из внутренней емкости 1 для жидкости и кожуха 2. Пространство между кожухом и емкостью заполнено теплоизоляционным материалом. На крышке термостата установлен электропривод 6 насоса 4 и пропеллера 3. Пропеллер служит для перемешивания жидкости внутри термостата, а насос – для подачи термостатированной жидкости через парубок 5 к другому объекту (при необходимости). Нагревание жидкости производится посредством двух нагревателей 10 и 11, один из которых управляется системой автоматического регулирования с контактным ртутным термометром

регулируем
охлаждения
пропу
жидк
приве

нта. Точность
ения процесс
через который
Слив
остат

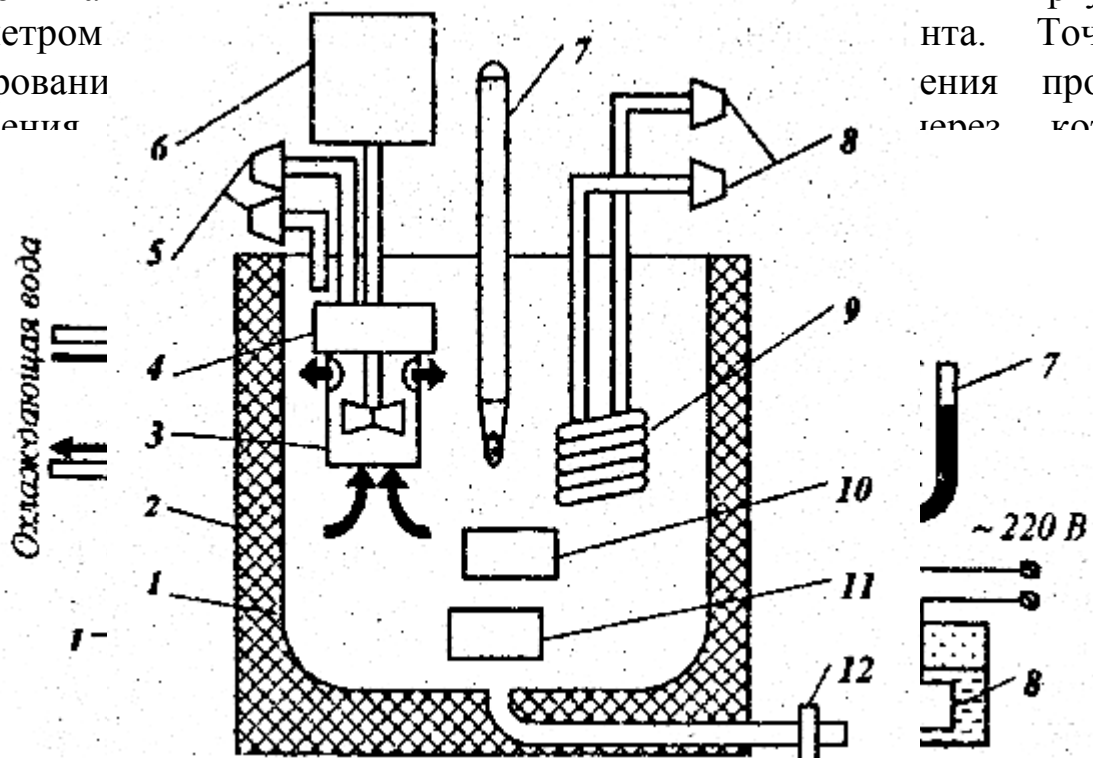


Рис. 3. Термостат ТС-24:

1 – внутренняя емкость; 2 – кожух; 3 – пропеллер; 4 – насос;
 5, 8 – патрубки; 6 – электропривод; 7 – термометр; 9 – холодильник;
 10, 11 – нагреватели; 12 – пробка

Для разогрева термостата необходимо:

- переключатель П поставить в положение “700 Вт”;
- включить В₁, подав тем самым питание на автотрансформатор, нагреватель “700 Вт” и схему регулирования;
- включить электродвигатель выключателем В₂;
- движок автотрансформатора поставить на отметку шкалы “200”;
- нагреть термостатируемую жидкость до требуемой температуры, наблюдая по контрольному термометру;

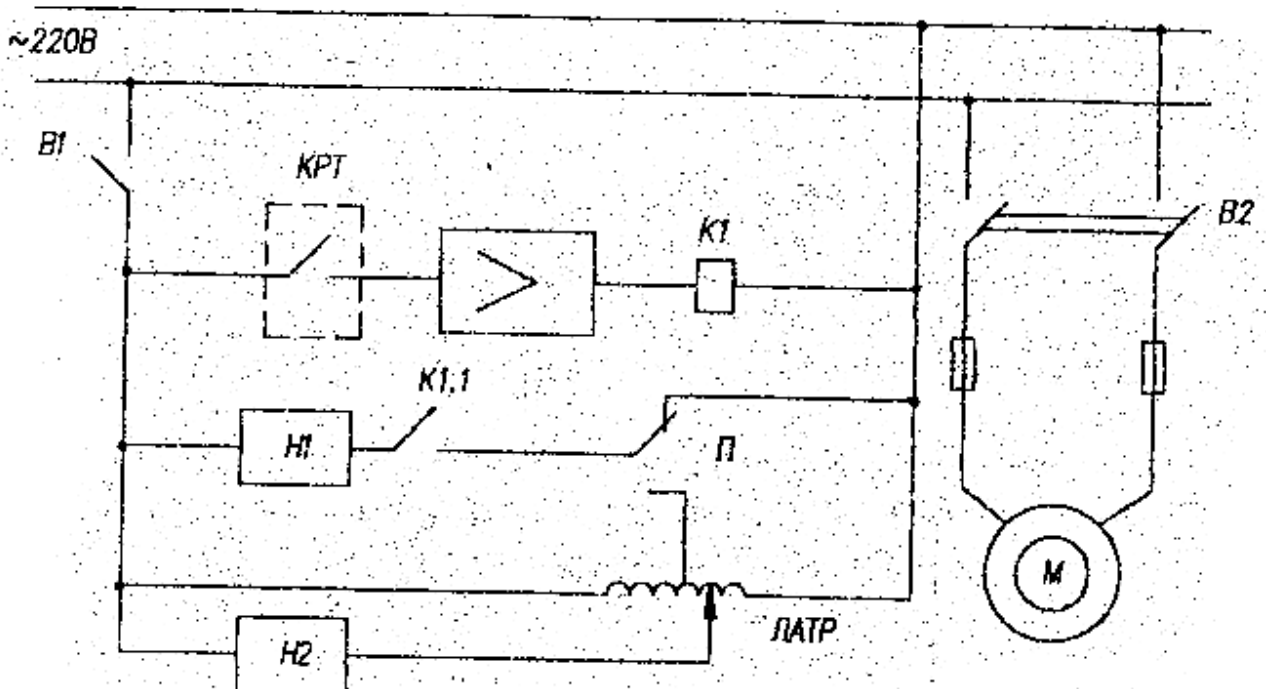


Рис. 4. Электрическая схема термостата ТС-24:
Н₁, Н₂ – нагреватели; В₁, В₂ – выключатели; М – электродвигатель;
ЛАТР – автотрансформатор; К₁ – реле; КРТ – контакт ртутного термометра;
П – переключатель

Точная подгонка температуры под заданное значение производится поворотом магнита контактного ртутного термометра по контрольному термометру и фиксацией моментов включения и отключения нагревателя.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ПРОВЕРКА ТЕХНИЧЕСКИХ ТСЖ

Цель работы – изучить правила и приемы поверки стеклянных жидкостных термометров.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПОВЕРКЕ СТЕКЛЯННЫХ ЖИДКОСТНЫХ ТЕРМОМЕТРОВ (ТСЖ)

Поверка ТСЖ производится по инструкции 159-60 Госстандарта СССР [4, 5]. По этой инструкции поверяются все ТСЖ, кроме метеорологических термометров и термометров в оправках, так как у последних правильность показаний зависит не только от качества самого термометра, но и от устройства оправы и от способа монтажа термометра в оправе.

Поверка ТСЖ состоит из следующих операций:

- внешний осмотр;
- поверка показаний термометра;
- поверка постоянства показаний (для термометров, снабженных свидетельством).

Для поверки технических термометров необходимы следующее оборудование и образцовые приборы:

- стеклянный сосуд Дьюара для определения положения нулевой точки шкалы;

- водяной термостат для интервала температур от 1 до 95°C;
- гипсометр (водяной кипятыльник) для поверки точки 100°C;
- масляный термостат для интервала температур от 95 до 300°C;
- соляной термостат для интервала температур от 300 до 600°C;
- лупа;
- барометр;
- образцовые ртутные термометры 2-го разряда:
 - от –30 до 0°C; $\Delta = (0,02 \div 1,0) \text{ }^\circ\text{C}$;
 - от 0 до 600°C; $\Delta = (0,02 \div 1,0) \text{ }^\circ\text{C}$;
 или образцовый платиновый термометр 2-го разряда от –180 до 600°C.

1.1. Внешний осмотр

При внешнем осмотре необходимо убедиться в отсутствии внешних признаков неисправности термометров. Термометр бракуется при наличии следующих признаков неисправности:

- механические повреждения корпуса и шкальной пластинки, а также присутствие влаги или пыли внутри баллона;
- несоединенные после постукивания или нагрева разрывы в столбике ртути;
- возгонка термометрической жидкости, проявляющаяся в виде налета на капилляре термометра;
- смещение шкалы более, чем на одно наименьшее деление шкалы при вертикальном положении термометра термобаллоном вниз или после легкого постукивания по оболочке рукой. Смещение отмечается по метке на баллоне термометра, которая ставится у отметки “0” или другого оцифрованного деления шкалы.

1.2. Поверка показаний термометра

Поверка показаний поверяемых термометров производится в термостатах путем сличения их показаний с показаниями образцовых приборов. Поверка в точках плавления льда и кипения воды может производиться без образцовых приборов по специальной методике, указанной ниже.

Отсчет показаний необходимо производить с помощью зрительной трубки или лупы. Показания ртутных термометров отсчитываются по касательной к вершине выпуклого мениска, а показания термометра с органическим наполнителем – по касательной к низшей точке вогнутого мениска.

1.3. Поверка при 0°С

Поверка положения нулевой точки обязательна для всех термометров, на шкале которых она нанесена. Для технических ТСЖ эта поверка производится один раз в конце поверки непосредственно после прогрева термометра при максимальной температуре.

Сосуд Дьюара наполняется до краев чистым речным измельченным льдом и затем заполняется дистиллированной водой. Лед перемешивается и уплотняется так, чтобы не осталось пузырьков воздуха.

Термометр, предварительно охлажденный до температуры $t \leq 50^\circ\text{C}$, помещают в ледяную смесь в вертикальном положении так, чтобы отметка 0°С возвышалась над поверхностью льда не более чем на 5 мм.

Термометр выдерживается во льду не менее 8 мин. Необходимо проследить, чтобы термометр не касался стенок сосуда и находился в вертикальном положении.

1.4. Поверка точки 100°С

Поверка точки 100°С производится в гипсометре. При этом соблюдается условие погружения термометров на необходимую глубину.

Отсчет показаний термометра начинается не ранее, чем через 5 мин после помещения ТСЖ в подготовленный к работе гипсометр. Признаком готовности является стабильность избыточного давления пара, измеряемого *U*-образным манометром.

При поверке термометров в гипсометре допускается применение образцовых термометров, которые следует устанавливать рядом с поверяемым. После выдержки (более 5 мин) производятся не менее 3 отсчетов при неизменном положении столбика ртути.

Температура кипения определяется как среднее значение из отсчетов показаний образцового термометра с введением к нему поправки по свидетельству. При разбросе показаний образцового термометра во время поверки, превышающих 0,1°С, поверку производить нельзя.

Основной способ поверки – сравнение показаний поверяемого термометра с температурой кипения воды (температурой пара) в гипсометре. Температура насыщенного пара в гипсометре определяется по величине атмосферного давления. После выдержки поверяемых термометров в кипятильнике производятся отсчеты:

- температуры барометра;
- атмосферного давления по барометру;
- избыточного давления пара в гипсометре по водяному манометру;
- показаний поверяемых термометров (не менее 5 отсчетов).

После окончания отсчетов надо повторно записать атмосферное давление по барометру и избыточное давление пара. К отсчету по ртутному барометру с латунной шкалой прибавить следующие поправки:

- инструментальную поправку;
- поправку на приведение показаний барометра к 0°С;
- поправку на приведение к нормальному ускорению силы тяжести (т. е. к значению ускорения на уровне моря на географической широте 45°);
- поправку, учитывающую разность высот поверяемого термометра и барометра.

Первая поправка берется из свидетельства к барометру, вторая и третья – из табл. 1 и 2 прил. 2.

При вычислении четвертой поправки следует помнить, что у поверхности земли давление 10 м воздушного столба соответствует давлению около 1 мм рт. ст.

Давление пара в гипсометре следует определять как сумму атмосферного и избыточного давлений. Избыточное давление определяется по показаниям водяного стеклянного манометра, присоединенного к паровому пространству кипятильника. Отсчеты избыточного давления из миллиметров водного столба пересчитываются в миллиметры ртутного столба по выражению

$$N \text{ мм рт. ст.} = 0,074 \cdot M \text{ мм вод. ст.}$$

Для вычисления температуры насыщенного пара в пределах от 730 до 780 мм рт. ст. следует пользоваться табл. 3 прил. 2.

П р и м е р. Температура барометра 25°С. Отсчет по барометру равен 748,1 мм рт. ст. и производился в месте, находящемся на 60° географической широты на высоте 200 м над уровнем моря.

Избыточное давление в гипсометре равно 10 мм вод. ст. Резервуары термометров расположены на 1 м выше уровня ртути в чашке барометра.

| | |
|---|------------------|
| Отсчет..... | 748,1 мм рт. ст. |
| Поправки: | |
| инструментальная..... | –0,1 |
| на приведение к 0°С (табл. 1 прил. 2)..... | –3,0 |
| на широту (табл 2а прил. 2)..... | 1,0 |
| на высоту над уровнем моря (табл. 2б прил. 2) | –0,05 |
| на разность высот..... | –0,1 |
| на избыточное давление в кипятильнике | 0,74 |
| Давление паров воды..... | 746,6 мм рт. ст. |

Температура пара, найденная по табл. 3 прил. 2 равна 99,50°С.

Поверка термометров в интервале от 1 до 95°С производится в водяном термостате, от 95 до 300°С – в масляном термостате, от 250 до

550°С – в селитровом термостате (смесь 55%-го азотнокислого натрия и 45%-го азотнокислого калия); от 550 до 600°С – в солевом термостате (смесь солей 25%-го NaCl и 75%-го CaCl).

1.5. Поверка в термостате

Термометры помещаются в термостат на необходимую глубину. Для термометров с полным погружением необходимо, чтобы отметка отсчитываемого деления возвышалась над крышкой не более чем на 5–10 мм.

Поверку следует вести, переходя от более низких температур к более высоким. Если первая поверяемая отметка соответствует положительной температуре, но ниже температуры помещения, водяной термостат необходимо заполнить охлажденной водой или охладить его, добавляя в воду измельченный лед при интенсивном перемешивании. Отсчеты показаний производятся не ранее чем через 5 мин после охлаждения термостата, когда температура воды начнет повышаться, при этом весь лед должен растаять.

При поверке отметок, соответствующих температурам выше температуры помещения, жидкость в термостате подогревают электрическим нагревателем. Когда температура жидкости в термостате приблизится к требуемой, следует замедлить нагревание термостата, уменьшая силу тока в нагревателе. Перед началом отсчета показаний термометра температура термостата должна медленно и плавно повышаться.

Во время отсчетов показаний термометров температура термостата должна слегка повышаться. При этом надо так отрегулировать силу тока в нагревателе, чтобы в момент окончания температура оказалась приблизительно на столько же градусов выше поверяемой точки, насколько она была ниже ее в момент начала отсчетов. В период отсчетов должно быть обеспечено хорошее перемешивание жидкости (мешалка должна быть отключена не позднее чем за 10–15 мин до начала отсчетов).

Отсчеты показаний поверяемых термометров можно начинать, если температура термостата отличается от номинального значения поверяемой отметки не более чем на 2 наименьших деления шкалы поверяемого термометра. Если число одновременно поверяемых термометров велико, то этот интервал может быть увеличен.

Показания термометров снимаются через равные промежутки времени, начиная с образцового термометра, затем – с поверяемых термометров в порядке их установки слева направо, повторные отсчеты следует снимать в обратном порядке (справа налево) и заканчивать образцовым термометром (рис. 5).

Интервал времени между отсчетами определяется до снятия отсчетов следующим образом. На режиме медленного нагрева определяется время T подъема температуры в термостате на 2°C . Надо определить, сколько отсчетов n следует сделать для поверки одной отметки (оно зависит от числа поверяемых термометров). Разделив T на n , найти время интервала T_1 . Такой метод поверки называется методом симметричных измерений.

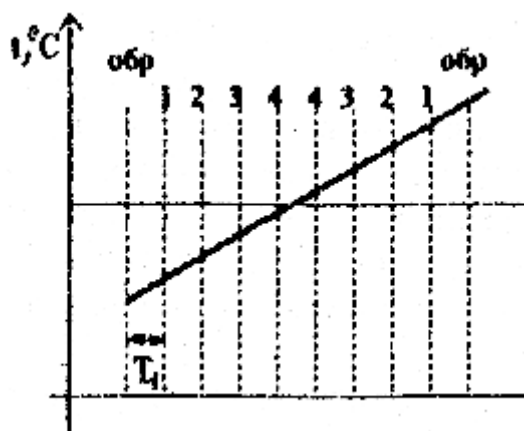


рис. 5. метод симметричных измерений:

обр – образцовый термометр; 1–4 – поверяемые термометры

Число серий отсчетов определяется типом поверяемых термометров:
 – для термометров с ценой деления $0,2^{\circ}\text{C}$ и меньше производится 5 или 6 отсчетов;
 – для прочих термометров производится не менее 3 отсчетов в каждой поверяемой отметке.

Поверка технических термометров производится не менее чем в трех отметках шкалы, указанных в табл. 4 прил. 2.

Поверка термометров производится без металлических оправ. Можно поверять термометры в оправах, защищающих только верхнюю часть термометра и оставляющей свободными резервуар и нижнюю часть капиллярной трубки. В остальных случаях, если термометры по своей конструкции не могут быть освобождены от металлической оправы, их поверку должны осуществлять органы ведомственного надзора на месте установки.

1.6. Обработка результатов поверки

Результаты поверки термометров следует занести в протокол установленной формы (табл. 1, прил. 3).

Действительная температура термостата определяется по показаниям образцового термометра. При применении двух образцовых термометров за действительную температуру принимают среднее арифметическое значение их результатов, полученных для каждого термометра в отдельности. Для вычисления действительной температуры по показаниям образцового термометра надо к среднему арифметическому из отсчетов по нему алгебраически прибавить поправку из свидетельства для данной поверяемой отметки. Если для произведенного отсчета поправка в свидетельстве отсутствует, то она вычисляется линейной интерполяцией по двум соседним поправкам.

Проверка положения нулевой точки образцовых термометров, применявшихся для поверки, производится после поверки каждой партии термометров. Перед определением положения нулевой точки термометр должен быть предварительно выдержан в течение получаса при температуре верхнего предела шкалы. Если при этом установлено, что нулевая отметка смещена на величину Δ , то на эту же величину (с учетом знака) должна быть введена поправка в полученные ранее показания образцовых термометров.

Из полученных отсчетов вычисляется среднее арифметическое значение, округленное до десятой доли деления шкалы образцового и каждого поверяемого термометра.

Поправка к поверяемым термометрам повышенной точности определяется как разность между средним значением действительной температуры термостата и средним арифметическим из отсчетов для каждого поверяемого термометра с учетом поправки на выступающий столбик, если этого требует метод поверки. Величина поправок не должна превышать допустимых значений погрешностей, указанных в ГОСТ на термометр.

Поправка на выступающий столбик вычисляется в следующих случаях:

– если размеры термометра не позволяют осуществить его полное погружение;

– если при поверке термометра, предназначенного для работы с неполным погружением, температура выступающего столбика отличается от температуры, указанной на термометре (если не указано то считается, что градуировка производилась при температуре 20°C). В первом случае поправка Δt_1 , °C вычисляется по формуле

$$\Delta t_1 = J \cdot (t - t_1) \cdot n,$$

где J – коэффициент видимого теплового расширения термометрической жидкости в стекле (табл. 2, прил. 3); n – число градусов в выступающей части столбика; t – температура в термостате, определяемая по показаниям образцового термометра; t_1 – средняя температура выступающего столбика жидкости, определяемая по вспомогательному термометру, резервуар которого укрепляется на середине высоты выступающего столбика так, чтобы он касался поверяемого термометра.

Во втором случае поправку вычисляют по формуле

$$\Delta t_2 = J \cdot (t_2 - t_1) \cdot n,$$

где J – коэффициент видимого теплового расширения жидкости в стекле (табл. 2, прил. 3); n – число градусов в выступающем столбике; t_1 – температура выступающего столбика при градуировке термометра; t_2 – средняя температура выступающего столбика во время поверки, определяемая при помощи вспомогательного термометра.

Поправки Δt_1 и Δt_2 вводятся в показания термометров путем алгебраического сложения их значения с показаниями термометра.

Результаты поверки оформляются следующим образом:

- на термометры широкого применения, удовлетворяющие требованиям соответствующего ГОСТа, ставится клеймо; на термометры повышенной точности, кроме этого, выделяется свидетельство с указанием поправок, которые делаются с точностью до десятой цены деления шкалы;
- термометры, не удовлетворяющие требованиям ГОСТа, клеймению не подлежат и должны быть изъяты из обращения.

2. ЗАДАНИЕ

2.1. Выполняемое дома при подготовке к работе

1. Изучить разделы: “Краткие сведения о стеклянных термометрах”, “Описание лабораторной установки” и “Основные сведения о поверке стеклянных жидкостных термометров”.
2. Ответить на контрольные вопросы.
3. Подготовить бланки протокола (табл. 1 прил. 3).
4. Рассчитать температуру насыщенных паров в гипсометре по методике, указанной в данной работе. Исходные данные для расчетов приведены в табл. 3, прил. 3.

2.2. Выполняемое в лаборатории

1. Предъявить преподавателю домашнее задание. Получить допуск к работе.
2. Произвести внешний осмотр поверяемого термометра. При отсутствии браковочных признаков приступить к поверке показаний.

3. В зависимости от вида поверяемого термометра определить поверяемые отметки и число отсчетов в каждой отметке.
4. Произвести поверку нулевой точки в сосуде Дьюара.
5. Произвести поверку точек в интервале от 1 до 95°C в водяном термостате.
6. Результаты поверки оформить протоколом (табл. 1, прил. 3) с выводами о годности или негодности термометра.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

1. Число поверяемых отметок шкалы термометра надо выбирать равным числу студентов в подгруппе, но не менее трех.
2. Каждый поверяющий снимает все № показаний со всех поверяемых термометров в одной из поверяемых точек и заносит результат измерения в общий черновой протокол. Обработку результатов поверки каждый ведет для своего термометра и заносит в индивидуальный протокол поверки.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. К прямому или косвенному виду измерений относится измерение температуры ртутным термометром?
2. Когда следует начинать снимать показания термометров, поверяемых в жидкостном термостате?
3. Какие средства измерений могут быть использованы в качестве образцовых для поверки технических термометров, изготовленных по ГОСТ 2823-73?
4. Сколько показаний поверяемого термометра необходимо снимать для каждой поверяемой отметки шкалы?
5. Чем определяются количество и числовые значения поверяемых отметок шкалы термометра?
6. Когда и каким образом производится определение положения нулевой отметки образцового термометра в процессе поверки технических термометров?
7. С какой точностью снимаются показания поверяемых и образцового термометров?
8. Как производится определение температуры выступающего столбика термометрической жидкости?
9. В каких случаях термометр должен быть забракован?
10. В чем суть метода симметричных измерений?
11. Как сказывается погрешность регулятора температуры термостата на погрешности поверки термометров?
12. Какова цель поверки средства измерения?

13. Каким образом можно убедиться, что шкала термометра не сместилась вдоль капилляра?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ УСТАНОВКИ ТЕРМОМЕТРА НА ПОГРЕШНОСТЬ ЕГО ПОКАЗАНИЙ

Цель работы: исследовать влияние различных факторов, связанных со способом установки стеклянного термометра на объекте контроля.

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Погрешность результата измерения температуры какого-либо объекта или среды будет складываться из погрешности термометра и погрешности, обусловленной выбором места и способа его установки. Вторую поставляющую погрешности будем называть погрешностью установки термометра [1].

Практически все стеклянные термометры, используемые для контроля технологических параметров в процессе производства, устанавливаются в защитных устройствах. Последние обычно выполняются в виде цилиндрического пенала с прорезью для наблюдения за шкалой термометра и с резьбой в нижней части для монтажа в объекте контроля.

Защищая термометр от повреждений, защитное устройство вносит искажения в показания термометра. Можно выделить два основных источника погрешности, вносимой защитным устройством: теплоотвод (теплоприток) от измеряемой среды в окружающую среду и тепловое сопротивление между измеряемой средой и термометром. Теплоотвод зависит от материала и геометрических размеров защитного устройства, от перепада температур между измеряемой и окружающей средой. Тепловое сопротивление зависит от материала и толщины стенки нижней части защитного устройства, от условий теплового контакта между стенкой защитного устройства и хвостовой частью термометра. Для улучшения теплового контакта защитную гильзу часто заливают машинным маслом или засыпают металлическими опилками.

2. ЗАДАНИЕ

2.1. Выполняемое дома при подготовке к работе

1. Изучить разделы “Краткие сведения о стеклянных термометрах” и “Описание лабораторной установки”.
2. Ответить на контрольные вопросы.
3. Подготовить бланк протокола испытаний (прил. 4).

4. Проанализировать предстоящий эксперимент. Предложить метод обработки экспериментальных данных, позволяющий оценить воздействие различных влияющих факторов (теплоотвод, тепловое сопротивление гильзы и др.) на результат измерения.

2.2. Выполняемое в лаборатории

1. Предъявить домашнее задание. Получить допуск к работе.
2. Произвести измерение температуры жидкости, находящейся в термостате при семи различных условиях установки термометра, результаты занести в таблицу протокола испытаний.
3. Оценить влияние условий установки термометра на погрешность показаний. Сделать выводы.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ РАБОТЫ

1. Термостат включается на автоматическое поддержание температуры воды 90–95°C.
2. Эксперимент целесообразно производить, изменяя условия установки термометра в следующей последовательности согласно табл. прил. 4 – позиции 7, 4, 6, 3, 5, 2, 1.
3. Показания технического термометра снимаются не реже чем через 5 мин после установки его при данных условиях.
4. Показания лабораторного термометра снимаются одновременно с показаниями технического термометра.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какого знака будет погрешность, вызываемая теплопроводностью защитного устройства, если температура измеряемой среды T_c больше температуры окружающей среды T_o , и, если T_c меньше T_o ?
2. Каково влияние теплового сопротивления между измеряемой средой и термометром на показания термометра?
3. Какими средствами можно уменьшить тепловое сопротивление между измеряемой средой и термометром?
4. Избежали бы мы влияния защитного устройства на погрешность показания термометра, если бы нам удалось поддерживать температуру защитного устройства равной температуре измеряемой среды?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВОЙ ИНЕРЦИОННОСТИ ТЕРМОМЕТРОВ НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ

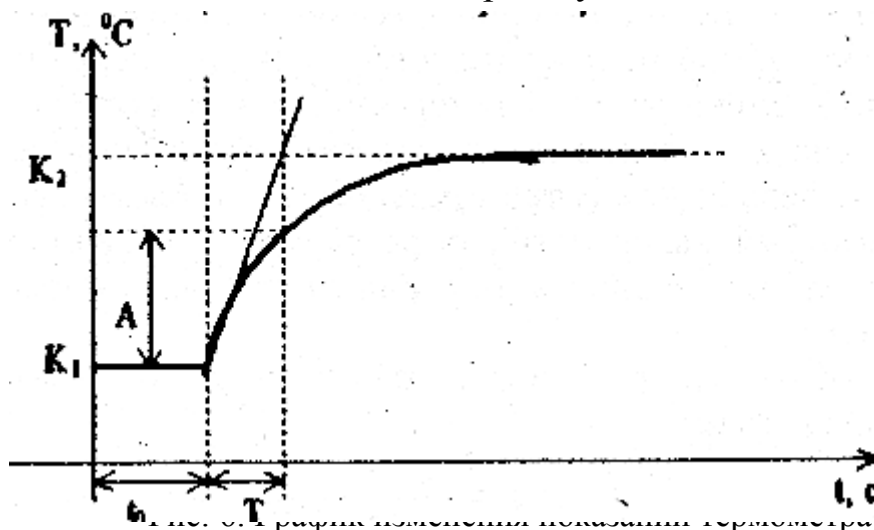
Цель работы: исследовать изменение тепловой инерционности термометра в зависимости от условий его применения и оценить погрешность метода определения постоянной времени термометра.

1. ИСХОДНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Если мгновенно перенести термометр из среды с температурой K_1 в среду с температурой K_2 , то столбик термометрической жидкости переместится в отметке K_2 не скачком, а путем плавного приближения к нему по кривой, описываемой уравнением экспоненты (рис. 6):

$$K_{\text{п}} = K_1 + (K_2 - K_1) (1 - \exp(-t/T)),$$

где $K_{\text{п}}$ – показания термометра в момент времени t ; t – текущее время; T – постоянная величина, значение которой будет пояснено ниже.



t_0 – момент переноса термометра из среды с температурой K_1 в среду с температурой K_2 ; a – интервал, равный 63% от диапазона $(K_2 - K_1)$; T – постоянная времени объекта

Естественно, если снимать показания термометра до момента установления нового значения температуры, то в результат измерения вносится погрешность. Возникает вопрос, через какое время после внесения термометра в измеряемую среду можно снимать показания, не опасаясь погрешности, вызванной тепловой инерционностью. Это время будет определяться индивидуальными свойствами термометра, а у одного и того же термометра оно будет изменяться при изменении условий теплопередачи между термометром и измеряемой средой.

По аналогии с инерционными свойствами массы тела, тепловую инерционность принято оценивать величиной T , называемой постоянной

времени. Постоянная времени любого объекта (тела, переходящего в новое состояние по экспоненте, представленной на рис. 6) может быть найдена по экспериментальным данным как время, в течение которого параметр (в нашем случае температура) пройдет 63% интервала между старым и новым установившимся состоянием ($K_2 - K_1$).

Зная T , из уравнения экспоненты можно найти погрешность показаний в каждый момент времени t :

$$\Delta K(t) = K_2 - K_n = (K_2 - K_1) / \exp(t/T).$$

Так, если показания снимаются в момент времени $t = T$, то дробь примет значение 0,37, что будет соответствовать погрешности $K = 37\%$ ($K_2 - K_1$);

при $t = 2T$, $1/\exp(2) = 0,13$, что соответствует $K = 13\%$ ($K_2 - K_1$);

при $t = 3T$, $1/\exp(3) = 0,05$, что соответствует $K = 5\%$ ($K_2 - K_1$);

при $t = 5T$, $1/\exp(5) = 0,007$, что соответствует $K = 0,7\%$ ($K_2 - K_1$).

Целью данной работы является экспериментальное определение постоянной времени различных термометров при одинаковых условиях теплопередачи и у одного и того же термометра при различных условиях теплопередачи между термометром и измеряемой средой.

Описанный выше метод определения постоянной времени термометра имеет погрешность, которая может быть определена следующим образом:

1) необходимо разрешить уравнение экспоненты относительно постоянной времени:

$$T = \frac{t}{\ln\left(\frac{K_2 - K_1}{K_2 - K_n}\right)}.$$

2) в соответствии с правилами вычисления погрешности косвенных измерений найдем погрешность определения постоянной времени:

$$\Delta = \sqrt{\sum\left(\frac{\partial T}{\partial Q}\right)} \cdot \Delta Q_1^2,$$

где Q_1 – факторы, оказывающие влияние на погрешность определения T (в данном случае это t , K_1 , K_2 , K_n); Q_1 – оценка погрешности от влияния 1-го фактора.

2. ЗАДАНИЕ

2.1. Выполняемое дома при подготовке к работе

1. Изучить разделы “Краткие сведения о стеклянных термометрах” и “Описание лабораторной установки”.
2. Ответить на контрольные вопросы.
3. Подготовить бланк протокола испытаний (прил. 5).
4. Оценить погрешность эксперимента по определению T для термометра, стоящего в воде с нулевой скоростью среды если:
 - разность начальной и конечной температур
 $K_2 - K_1 = 90^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 70^\circ\text{C}$;
 - исследуемый термометр с диапазоном измеряемой температуры $0 - 100^\circ\text{C}$ имеет цену деления шкалы 1°C ;
 - лабораторный термометр, измеряющий начальную и конечную температуры среды, имеет цену деления $0,1^\circ\text{C}$ и диапазон измерения $0-100^\circ\text{C}$;
 - отсчет времени производится с погрешностью $\pm 0,5$ с, показания секундомера – 5 с.
5. Предложить метод оценки влияния скорости потока воздуха от вентилятора на результат измерения.

2.2. Выполняемое в лаборатории

1. Предъявить преподавателю домашнее задание, получить допуск к работе.
2. Произвести экспериментальное определение постоянной времени технического термометра при различных условиях теплопередачи между термометром в соответствии с таблицей приведенной в прил. 5.
3. Определить для каждого исследуемого случая использования термометра интервал выдержки времени перед снятием показаний с термометра (Δt), при котором погрешность, вызванная тепловой инерционностью ($\Delta K(t)$), будет меньше 1%.
4. Определить погрешность каждого найденного значения T . Произвести анализ полученных результатов и сделать соответствующие выводы. Оценить вклад в погрешность измерения каждого влияющего фактора.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

1. Термостат ТС-24 включить на автоматическое поддержание температуры воды $80-90^\circ\text{C}$.
2. Эксперимент целесообразно проводить в последовательности, указанной в прил. 5

3. Перед началом каждого эксперимента необходимо заранее вычислить показания технического термометра, соответствующие 63% интервала ($K_2 - K_1$). При этом следует иметь в виду, что при экспериментах с термометром, помещенным в защитный кожух, конечная температура (K_2) может быть не равна температуре воды в термостате вследствие влияния теплового сопротивления и теплоотвода по материалу защитного устройства. В этих случаях необходимо конечную температуру определить опытным путем, сняв показания термометра не ранее чем через 5 мин.

4. Каждый эксперимент произвести дважды, за результат взять среднее арифметическое значение.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Одинаково ли влияние погрешности в определении температур K_2 и K_1 на погрешность определения постоянной времени термометра?

2. Остается ли прежней погрешность определения T , если она будет найдена как $1/3$ времени, которое потребовалось для изменения температуры на 95% от диапазона ($K_2 - K_1$)?

3. Какие мероприятия могут снизить погрешность определения T ?

4. Справедливо ли считать определение постоянной времени T косвенным измерением если она находится по отсчету секундомера?

5. Как оценить погрешность измерения температуры в точке K_n ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАНОМЕТРА

Цель работы – освоить приемы определения основных метрологических характеристик средств измерений по ГОСТ 8.009-72 на примере метрологических характеристик манометра.

1. ИСХОДНЫЕ СВЕДЕНИЯ

ГОСТ 8.009-84 определяет около 16-ти различных метрологических характеристик, из числа которых должны составляться комплексы метрологических характеристик, отражающих метрологические свойства средств измерений конкретного типа [6].

К числу основных метрологических характеристик для приборов теплотехнического контроля можно отнести следующие:

– систематическая составляющая Δ_c погрешности средства измерения (СИ);

– случайная составляющая Δ^0 погрешности СИ;

– погрешность средства измерения Δ ;

- вариация показаний СИ Н;
- динамические характеристики СИ.

Для контроля за средствами измерения в процессе эксплуатации и при поверке необходимо производить сравнение нормированных значений метрологических характеристик средств измерений с конкретным значением метрологических характеристик данного экземпляра прибора.

Расчетные формулы и методика определения оценок характеристик погрешностей СИ приводится ниже.

В данной лабораторной работе рассматриваются первые четыре метрологические характеристики, расчетные формулы и методика определения оценок которых приводится ниже.

Оценка Δ_c систематической составляющей Δ_c погрешности конкретного экземпляра средства измерения в точке X диапазона измерения производится по формуле

$$\Delta_c = \frac{\Delta_m + \Delta_b}{2},$$

где Δ_m – среднее значение погрешности в точке X диапазона измерения (шкалы прибора), полученное из экспериментальных данных при медленном непрерывном подходе к точке со стороны меньших значений; Δ_b – то же при подходе со стороны больших значений X :

$$\Delta_m = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_{mi}}{n}, \quad \Delta_b = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_{bi}}{n},$$

где n – число опытов при определении Δ_m (Δ_b); Δ_{mi} – i -й отсчет погрешности СИ при подходе к точке X со стороны меньших значений X ; Δ_{bi} – то же со стороны больших значений X .

Случайная составляющая погрешности $\overset{\circ}{\Delta}$ средства измерения обычно характеризуется пределом допускаемого значения среднеквадратического отклонения случайной составляющей погрешности СИ данного типа $\sigma_q(\overset{\circ}{\Delta})$.

Оценка $\sigma(\overset{\circ}{\Delta})$ среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности $\sigma(\overset{\circ}{\Delta})$ конкретного экземпляра СИ определяется формулой

$$\sigma(\overset{\circ}{\Delta}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_{mi} - \Delta_m)^2 + \sum_{i=1}^n (\Delta_{bi} - \Delta_b)^2}{2(n-1)}}.$$

Погрешность средства измерения Δ обычно характеризуется пределом Δ_n допускаемого значения погрешности СИ данного типа.

Оценка Δ погрешности Δ конкретного экземпляра средства измерения данного типа производится двумя способами в зависимости от значения случайной составляющей σ ($\sigma(\overset{0}{\Delta}$) рассматриваемого СИ:

а) если случайная составляющая погрешности данного средства измерения пренебрежимо мала, то Δ определяется как наибольшее по абсолютному значению из полученных экспериментально значений Δ_m и Δ_b ;

б) при существенной случайной составляющей Δ определяется как граница интервала симметричного относительно нулевого значения погрешности, в который попадают P отсчетов погрешности из общего числа n реализации погрешности.

Значения n и P регламентируются соответствующей нормативно-технической документацией.

Критерием существенности случайной составляющей погрешности является одновременное выполнение двух неравенств:

$$\sigma(\sigma(\overset{0}{\Delta}) \geq 0,9 \cdot H \text{ и } \sigma(\sigma(\overset{0}{\Delta}) \geq 0,1 \cdot \Delta_c$$

или

$$0,1 \cdot H \leq \sigma(\overset{0}{\Delta}) \leq 0,9 \cdot H \text{ и}$$

$$100 + \sqrt{8,3 \cdot \left(\frac{H}{\sigma(\overset{0}{\Delta})} \right)^2} \cdot \sigma(\overset{0}{\Delta}) > \Delta_c .$$

Оценка H значения вариации H определяется как абсолютное значение разности между значениями Δ_m и Δ_b :

$$H = |\Delta_m - \Delta_b|$$

Время, в течение которого производится n отсчетов погрешностей для указанных выше метрологических характеристик, должно быть не более $100 T_r$, где T_r – время установки показаний средства измерений.

2. ЗАДАНИЕ

1. Ознакомиться с лабораторной установкой.
2. Произвести оценку четырех метрологических характеристик манометра, указанных в разделе 1 данных методических указаний.
3. Сравнить полученные результаты с погрешностью манометра, нормированной классом точности прибора. Объяснить причину расхождений.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

1. Число поверяемых точек на шкале манометра должно быть равно пяти. В качестве поверяемых точек берут оцифрованные значения шкалы прибора в следующих участках шкалы: средние, вблизи минимального и максимального значений, в районе $1/4$ и $3/4$ диапазона шкалы.

2. Число отсчетов при подходе к каждой поверяемой точке с одной стороны (n) должно быть не менее 10.

3. Снятие отсчетов целесообразно организовать следующим образом: один из участков эксперимента медленно поднимает давление в системе, второй следит за показаниями поверяемого манометра. Как только стрелка этого манометра вышла на поверяемую точку, не переходя через нее, изменение давления приостанавливается для считывания показаний образцового манометра. Затем процесс продолжается. Таким образом, проходится весь диапазон от минимального до максимального значения, и наоборот.

Полученные экспериментальные данные заносятся в протокол (прил. 6).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Одной или несколькими характеристиками должны характеризоваться метрологические характеристики конкретного средства измерения?

2. Каковы основные виды метрологических характеристик приборов теплотехнического контроля?

3. Что такое систематическая составляющая погрешности средства измерения?

4. Что такое случайная составляющая погрешности средства измерения?

5. Как оценивается погрешность средства измерения конкретного типа?

6. Что такое вариация показаний?

7. Какое минимальное количество отсчетов необходимо произвести по оценке погрешности средства измерения?

8. Как по классу точности найти предельно допустимую погрешность прибора?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Преображенский В. П.** Теплотехнические измерения и приборы. – М.: Энергия, 1978. – 703 с.

2. ГОСТ 2823-73. Термометры стеклянные технические. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 25 с.

3. ГОСТ 215-73. Термометры ртутные стеклянные лабораторные. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 10 с.

4. ГОСТ 8.317-78. Термометры стеклянные ртутные образцовые. Методы и средства поверки. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 37 с.

5. Инструкция 159-60. По поверке стеклянных жидкостных термометров. – М.: Изд-во стандартов, 1960. – 45 с.

6. ГОСТ 8.009-84. ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 149 с.

Приложение 1

Таблица 1

Основные характеристики технических термометров по ГОСТ 2823-73

| Номер термометра | Предел измерений, °С | | Цена делений шкалы, °С Длина верхней части, i_1, i_2 | |
|------------------|----------------------|-----|---|--------|
| | от | до | 240 мм | 160 мм |
| 1 | –90 | 30 | 1 | – |
| 2 | –30 | 50 | 0,5 или 1 | 1 |
| 3 | –60 | 50 | 1 | 1 |
| 4 | 0 | 100 | 1 | 1 |
| 5 | 0 | 150 | 1 или 2 | 2 |
| 6 | 0 | 200 | 1 или 2 | – |
| 7 | 0 | 300 | 2 | – |
| 8 | 0 | 350 | 5 | – |
| 9 | 0 | 400 | 5 | – |

| | | | | |
|----|---|-----|----------|---|
| 10 | 0 | 450 | 5 | – |
| 11 | 0 | 500 | 5 | – |
| 12 | 0 | 600 | 6 или 10 | – |

Таблица 2

**Пределы допускаемых погрешностей
технических термометров**

| Диапазон измеряемой температуры | Предел допускаемой погрешности термометра, °С | | | | | | |
|---------------------------------------|---|----|----|-----|-----|--------------------------|----|
| | Ртуть | | | | | Органическая жидкость | |
| | Цена деления шкалы | | | | | | |
| | 0,5 | 1 | 2 | 5 | 10 | 1 | 2 |
| Св. –38 до –20 | ±1 | ±1 | – | – | – | ±2 | – |
| Св. –20 до 0 | ±1 | ±1 | ±2 | ±5 | ±10 | ±1 | ±2 |
| Св. 0 до 100 | ±1 | ±1 | ±2 | ±5 | ±10 | ±1 | ±2 |
| Св. 100 до 200 | – | ±2 | ±3 | ±5 | ±10 | ±3 | ±4 |
| Св. 200 до 300 | – | – | ±4 | ±5 | ±10 | – | – |
| Св. 300 до 400 | – | – | – | ±10 | ±10 | – | – |
| Св. 400 до 500 | – | – | – | ±10 | ±10 | – | – |
| Св. 500 до 600 | – | – | – | ±10 | ±15 | – | – |

Таблица 3

**Основные размеры технических термометров
по ГОСТ 2823-73**

| Размеры, мм | Обозначение термометра по длине верхней части | | | | | | |
|----------------|---|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| | 240 | | | | 160 | | |
| L_1 | 240 | | | | 160 | | |
| L_2 | 260 | | | | 180 | | |
| D | 20 | | | | 20 | | |
| l_1 | 66 | 163 | 403 | 1003 | (48) | (128) | (318) |
| | (83) | (203) | (503) | – | 66 | 163 | 403 |
| | 103 | 235 | 633 | – | (83) | (203) | (503) |
| | (128) | (318) | (803) | – | 103 | 253 | – |
| l_2 | 104 | 201 | 441 | 1041 | (86) | (166) | (356) |
| | (121) | (241) | (541) | – | 104 | 201 | 441 |
| | 141 | 291 | 671 | – | (121) | (241) | (541) |
| | (166) | (356) | (841) | – | 141 | 291 | – |

Примечание: размеры, указанные в скобках, не рекомендуются

Таблица 4

**Пределы допускаемых погрешностей
лабораторных термометров**

| Диапазоны измеряемых температур, °С | Пределы допускаемых погрешностей при цене деления шкалы, °С | | | |
|---|--|-----------|---------|---------|
| | 0,1 и 0,2 | 0,5 | 1 | 2 |
| От –30 до – 1 | $\pm 0,3$ | ± 1 | ± 1 | ± 2 |
| Свыше –1 до 100 | $\pm 0,2$ | ± 1 | ± 1 | ± 2 |
| Свыше 100 до 200 | $\pm 0,4$ | ± 1 | ± 2 | ± 2 |
| Свыше 200 до 300 | $\pm 0,8$ | $\pm 1,5$ | ± 3 | ± 4 |
| Свыше 300 до 400 | $\pm 1,0$ | $\pm 3,0$ | ± 4 | ± 4 |
| Свыше 400 до 500 | – | – | – | ± 5 |
| Свыше 500 до 600 | | | | ± 6 |

Приложение 2

Таблица 1

**Таблица поправок для приведения показаний барометра
с латунной шкалой к °С
(все поправки имеют отрицательный знак)**

| Температура барометра, °С | Барометрическое давление, мм рт. ст. | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 700 | 710 | 720 | 730 | 740 | 750 | 760 | 770 | 780 |
| 10 | 1,14 | 1,16 | 1,18 | 1,19 | 1,21 | 1,22 | 1,24 | 1,26 | 1,27 |
| 12 | 1,37 | 1,39 | 1,41 | 1,43 | 1,45 | 1,47 | 1,49 | 1,51 | 1,53 |
| 14 | 1,60 | 1,62 | 1,64 | 1,67 | 1,69 | 1,71 | 1,73 | 1,76 | 1,78 |
| 16 | 1,83 | 1,85 | 1,88 | 1,90 | 1,93 | 1,96 | 1,98 | 2,01 | 2,03 |
| 18 | 2,05 | 2,08 | 2,11 | 2,14 | 2,17 | 2,20 | 2,23 | 2,26 | 2,29 |
| 20 | 2,23 | 2,31 | 2,35 | 2,38 | 2,41 | 2,44 | 2,48 | 2,51 | 2,54 |
| 22 | 2,51 | 2,54 | 2,58 | 2,62 | 2,65 | 2,66 | 2,72 | 2,76 | 2,79 |
| 24 | 2,73 | 2,77 | 2,81 | 2,85 | 2,89 | 2,93 | 2,97 | 3,01 | 3,05 |
| 26 | 2,96 | 3,00 | 3,05 | 3,09 | 3,13 | 3,17 | 3,21 | 3,26 | 3,30 |
| 28 | 3,19 | 3,23 | 3,28 | 3,32 | 3,37 | 3,41 | 3,46 | 3,50 | 3,55 |
| 30 | 3,41 | 3,46 | 3,51 | 3,56 | 3,61 | 3,66 | 3,70 | 3,75 | 3,80 |

Таблица 2

**Таблицы поправок для произведения барометрического
давления к нормальной силе тяжести**

а) Поправки для приведения к географической широте 45°

| Географическая широта, ° | Барометрическое давление, приведенное к 0°С, мм рт. ст. | | | |
|-----------------------------|---|-------|-------|-------|
| | 650 | 700 | 750 | 800 |
| 30 | -0,89 | -0,96 | -1,03 | -1,09 |
| 35 | 0,61 | -0,66 | -0,72 | -0,77 |
| 40 | -0,33 | -0,36 | -0,38 | -0,41 |
| 45 | -0,03 | -0,04 | -0,04 | -0,04 |
| 50 | +0,26 | +0,29 | +0,31 | +0,34 |
| 55 | +0,55 | +0,60 | +0,64 | +0,69 |
| 60 | +0,82 | +0,89 | +0,96 | +1,18 |
| 65 | +1,08 | +1,16 | +1,24 | +1,32 |

б) Поправки, обусловленные приведением значения ускорения силы тяжести к уровню моря

| Высота над уровнем моря, м | Показания барометра, приведенное к 0°С, мм рт. ст. | | | | | | | |
|----------------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|
| | 640 | 660 | 680 | 700 | 720 | 740 | 760 | 780 |
| | Абсолютное значение поправки, мм рт. ст. (все поправки отрицательные) | | | | | | | |
| 100 | – | – | – | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| 200 | – | – | – | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| 300 | – | – | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 |
| 400 | – | – | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | – |
| 500 | – | – | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | – | – |
| 600 | – | 0,10 | 0,13 | 0,14 | 0,14 | 0,14 | – | – |
| 700 | 0,14 | 0,15 | 0,15 | 0,16 | 0,16 | – | – | – |
| 800 | 0,16 | 0,17 | 0,17 | 0,18 | 0,18 | – | – | – |
| 900 | 0,18 | 0,19 | 0,19 | 0,20 | – | – | – | – |
| 1000 | 0,20 | 0,21 | 0,21 | 0,22 | – | – | – | – |

Таблица 3

**Температура кипения воды °С,
при атмосферном давлении мм рт. ст./Па**

| Атмосферное давление мм рт. ст./Па | Дополнительный интервал давления | | | | |
|--|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | 0,70 | 0,2 мм рт.ст/ 26,7 Па | 0,4 мм рт.ст/ 753,3 Па | 0,6 мм рт.ст/ 80,0 Па | 0,8 мм рт.ст/ 106,6 Па |
| 730/97326 | 99,88 | 98,88 | 98,88 | 98,90 | 98,91 |
| 731/97458 | 98,92 | 98,92 | 98,93 | 98,94 | 98,95 |

| | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 732/97592 | 98,95 | 98,96 | 98,97 | 98,98 | 98,98 |
| 733/97725 | 98,99 | 99,00 | 99,00 | 99,01 | 99,02 |
| 734/97858 | 99,03 | 99,04 | 99,04 | 99,04 | 99,06 |
| 735/97992 | 99,07 | 99,07 | 99,08 | 99,09 | 99,10 |
| 736/98125 | 99,11 | 99,12 | 99,12 | 99,13 | 99,14 |
| 737/98258 | 99,14 | 99,15 | 99,16 | 99,17 | 99,17 |
| 738/98393 | 99,18 | 99,19 | 99,20 | 99,20 | 99,21 |
| 739/98525 | 99,22 | 99,23 | 99,23 | 99,24 | 99,25 |
| 740/98658 | 99,26 | 99,26 | 99,27 | 99,28 | 99,29 |
| 741/98792 | 99,29 | 99,30 | 99,31 | 99,32 | 99,32 |
| 742/98925 | 99,33 | 99,34 | 99,35 | 99,35 | 99,36 |
| 743/99058 | 99,37 | 99,38 | 99,38 | 99,39 | 99,40 |
| 744/99192 | 99,41 | 99,43 | 99,42 | 99,43 | 99,44 |
| 745/99325 | 99,44 | 99,45 | 99,46 | 99,47 | 99,47 |

Окончание табл. 3

| Атмосферное давление мм рт. ст./Па | Дополнительный интервал давления | | | | |
|--|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | 0,70 | 0,2 мм рт.ст/ 26,7 Па | 0,4 мм рт.ст/ 753,3 Па | 0,6 мм рт.ст/ 80,0 Па | 0,8 мм рт.ст/ 106,6 Па |
| 746/99458 | 99,48 | 99,49 | 99,50 | 99,50 | 99,51 |
| 747/99592 | 99,52 | 99,53 | 99,53 | 99,54 | 99,55 |
| 748/99725 | 99,56 | 99,56 | 99,57 | 99,58 | 99,59 |
| 749/00858 | 99,59 | 99,60 | 99,61 | 99,62 | 99,62 |
| 750/99992 | 99,63 | 99,64 | 99,65 | 99,65 | 99,66 |
| 751/100125 | 99,67 | 99,67 | 99,68 | 99,69 | 99,70 |
| 752/100258 | 99,70 | 99,71 | 99,72 | 99,73 | 99,73 |
| 753/100391 | 99,74 | 99,75 | 99,76 | 99,76 | 99,77 |
| 754/100525 | 99,78 | 99,79 | 99,79 | 99,80 | 99,81 |
| 755/100658 | 99,82 | 99,82 | 99,83 | 99,84 | 99,85 |
| 756/100791 | 99,85 | 99,86 | 99,87 | 99,88 | 99,88 |
| 757/100925 | 99,88 | 99,90 | 99,90 | 99,91 | 99,92 |
| 758/101058 | 99,93 | 99,93 | 99,94 | 99,95 | 99,96 |
| 759/101191 | 99,96 | 99,97 | 99,98 | 99,99 | 99,99 |
| 760/101325 | 100,00 | 100,00 | 100,02 | 100,02 | 100,03 |
| 761/101458 | 100,04 | 100,04 | 100,05 | 100,06 | 100,07 |
| 762/101591 | 100,07 | 100,08 | 100,09 | 100,10 | 100,10 |
| 763/101725 | 100,11 | 100,12 | 100,13 | 100,13 | 100,14 |
| 764/101858 | 100,15 | 100,15 | 100,16 | 100,17 | 100,18 |
| 765/101991 | 100,18 | 100,19 | 100,20 | 100,21 | 100,22 |
| 766/102126 | 100,22 | 100,23 | 100,24 | 100,24 | 100,25 |
| 767,102258 | 100,26 | 100,26 | 100,27 | 100,28 | 100,29 |
| 768/102391 | 100,29 | 100,30 | 100,31 | 100,32 | 100,32 |

| | | | | | |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 769,102525 | 100,33 | 100,34 | 100,34 | 100,35 | 100,36 |
| 770/102658 | 100,37 | 100,37 | 100,38 | 100,39 | 100,40 |
| 771/102791 | 100,40 | 100,41 | 100,42 | 100,42 | 100,43 |
| 772/102925 | 100,44 | 100,45 | 100,45 | 100,45 | 100,47 |
| 773/103058 | 100,48 | 100,48 | 100,48 | 100,50 | 100,50 |
| 774/103191 | 100,51 | 100,52 | 100,53 | 100,53 | 100,54 |
| 775/103325 | 100,54 | 100,56 | 100,56 | 100,57 | 100,58 |
| 776/103458 | 100,58 | 100,59 | 100,60 | 100,61 | 100,61 |
| 777/103591 | 100,62 | 100,63 | 100,63 | 100,64 | 100,65 |
| 778/103725 | 100,66 | 100,66 | 100,67 | 100,68 | 100,69 |
| 779/103858 | 100,69 | 100,70 | 100,71 | 100,71 | 100,72 |
| 780,103391 | 100,73 | 100,74 | 100,74 | 100,75 | 100,76 |

Таблица 4

**Поверяемые отметки шкалы технических
термометров**

| Пределы измерения, °С | | Числовые значения | | | | | |
|-----------------------|-----|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| от | до | поверяемых отметок | | | | | |
| -35 | 50 | -20 | 0 | 50 | | | |
| 0 | 100 | 0 | 50 | 100 | | | |
| 0 | 150 | 0 | 100 | 150 | | | |
| 0 | 250 | 0 | 100 | 200 | 250 | | |
| 0 | 350 | 0 | 100 | 200 | 300 | | |
| 0 | 400 | 0 | 100 | 200 | 300 | 400 | |
| 0 | 450 | 0 | 100 | 200 | 300 | 400 | 450 |
| 0 | 500 | 0 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 |

Приложение 3

Таблица 1

| №№ термомет- ров | Поверяемые отметки | | | | | | |
|---|-------------------------------------|--------------|---------------------|------------------|--------------------|--------------|-------|
| | 30°C | | | | 50°C | | |
| | 1 отсчет | 11 отсчет | Среднее значение | Погреш- ность | 1 отсчет | 11 отсчет | |
| Образцовый термометр 1 2 3 · · · | | | | | | | |
| Поправка на показания образцового термометра | $q = \dots \text{ } ^\circ\text{C}$ | | | | | | |
| Действитель- ное значение в поверяемой точке | $t_d = t_{об} + q$ | | | | $t_d = t_{об} + q$ | | |

Таблица 2

Коэффициенты теплового расширения термометрических жидкостей

| Жидкость | (по ГОСТ 1224-41) | Жидкость | (по ГОСТ 1224-41) |
|---------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
| Ртуть (-30 до +1200°C) | 0,00016 | Керосин (0 до 300°C) | 0,00093 |

| | | | |
|----------------------------------|---------|------------------------------------|---------|
| Толуол (-80 до +100°C) | 0,00107 | Петролейный эфир (-120 до 20°C) | 0,00140 |
| Этиловый спирт (-80 до +80°C) | 0,00103 | Пентан (-200 до 20 °C) | 0,00170 |

Таблица 3

Задание к расчету температуры насыщенных паров в гипсометре

| № варианта | Исходные данные | | | | | | |
|------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|---|--|-------------------------------------|
| | Показания барометра мм рт.ст | Температура барометра, °C | Географическая широта | Высота над уровнем моря | Избыточное давление в гипсометре, мм рт.ст. | Разность высот термометра и барометра, м | Инструментальная поправка, мм рт.ст |
| 1 | 738,2 | 23 | 70 | 300 | 15 | 3 | 0,1 |
| 2 | 738,2 | 25 | 65 | 300 | 15 | 3 | 0,1 |
| 3 | 738,2 | 26 | 35 | 200 | 10 | 2 | 0,1 |
| 4 | 740,5 | 26 | 35 | 100 | 10 | 2 | -0,1 |
| 5 | 740,5 | 18 | 40 | 100 | 10 | 2 | -0,1 |
| 6 | 742,5 | 18 | 40 | 150 | 12 | 1 | -0,2 |
| 7 | 742,5 | 18 | 45 | 150 | 12 | 1 | -0,2 |
| 8 | 747,2 | 20 | 45 | 150 | 20 | 1 | 0,2 |
| 9 | 747,2 | 25 | 45 | 200 | 20 | 2 | 0,2 |
| 10 | 747,2 | 30 | 50 | 200 | 20 | 2 | -0,2 |
| 11 | 750,3 | 25 | 50 | 200 | 15 | 3 | -0,2 |
| 12 | 750,3 | 20 | 50 | 300 | 15 | 3 | -0,2 |
| 13 | 752,2 | 20 | 55 | 300 | 10 | 3 | 0,2 |
| 14 | 752,2 | 28 | 60 | 300 | 10 | 2 | 0,2 |
| 15 | 754,3 | 28 | 60 | 150 | 12 | 1 | 0,2 |
| 16 | 754,3 | 25 | 50 | 150 | 14 | 3 | -0,2 |
| 17 | 758,6 | 25 | 65 | 150 | 14 | 2 | -0,2 |
| 18 | 758,6 | 27 | 65 | 200 | 10 | 2 | 0,3 |
| 19 | 765,7 | 27 | 65 | 200 | 12 | 2 | 0,3 |
| 20 | 765,7 | 24 | 55 | 200 | 15 | 3 | 0,3 |
| 21 | 767,7 | 20 | 55 | 100 | 15 | 3 | -0,3 |
| 22 | 767,7 | 19 | 45 | 100 | 12 | 1 | -0,3 |
| 23 | 768,4 | 18 | 45 | 150 | 10 | 1 | -0,3 |

| | | | | | | | |
|----|-------|----|----|-----|----|---|------|
| 24 | 768,4 | 22 | 60 | 150 | 10 | 1 | -0,2 |
| 25 | 770,3 | 22 | 60 | 200 | 14 | 2 | -0,2 |
| 26 | 770,3 | 20 | 60 | 250 | 14 | 2 | 0,2 |
| 27 | 772,0 | 15 | 40 | 250 | 14 | 3 | 0,2 |

| №№ пп | Условия установки термометра | Показания технического термометра, $t_{тi}$, °С | Показания лабораторного термометра, $t_{ли}$, °С | Погрешность показаний технического термометра | Погрешность показаний вызванная влиянием защитного устройства | Примечание |
|----------|---|---|--|--|--|--|
| 1 | Установлен в измеряемую среду без защитного устройства | | | | | Влияние защитного устройства не сказывается |
| 2 | Вложен в нижнюю часть защитного устройства, верхняя часть снята | | | | | Преимущественное влияние теплового сопротивления стенки гильзы и воздуха |
| 3 | То же, что 2, но гильза заполнена маслом | | | | | Тепловое сопротивление гильзы и масла |
| 4 | То же, что 2, но гильза заполнена металлическими опилками | | | | | Тепловое сопротивление гильзы и металлических опилок |
| 5 | Вложен полностью в защитное устройство, гильза пуста | | | | | Влияет теплоотвод и тепловое сопротивление |
| 6 | То же, что 5, но гильза заполнена маслом | | | | | То же |
| 7 | То же, что 5, но гильза заполнена металлическими опилками | | | | | —“— |

| Условия проведения эксперимента: среда с начальной температурой – среда с конечной температурой | Показания лабораторного термометра | | $K_1 - K_2$, °C | $0,63(K_2 - K_1)$, °C | T, с |
|--|------------------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------|---------|
| | начальная температура, °C | конечная температура, °C | | | |
| 1. Воздух–вода; термометр без защитного устройства | 20 | 80 | | | |
| 2. Вода–воздух; термометр без защитного устройства, воздух неподвижен | 80 | 20 | | | |
| 3. Воздух–вода; термометр в защитном устройстве | 20 | 80 | | | |
| 4. Вода–воздух; термометр в защитном устройстве, воздух неподвижен | 80 | 20 | | | |
| 5. То же, что 3, но защитное устройство заполнено маслом | | | | | |
| 6. То же, что 4, но защитное устройство заполнено маслом | | | | | |
| 7. То же, что 2, но термометр помещается в поток воздуха от вентилятора | | | | | |
| 8. То же, что 4, но термометр помещается в поток воздуха от вентилятора | | | | | |

| Показания поверяемого манометра, P_p , кг/см ² | Показания образцового манометра | | | | Погрешность | | $U_{mi} =$ $= \Delta_{mi} -$ $- \Delta_m$ | U_{mi}^2 | $U_{\delta i} =$ $= \Delta_{\delta i} -$ $- \Delta_{\delta i}$ | $U_{\delta i}^2$ |
|---|---------------------------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|---|------------|--|------------------|
| | Ход вверх | | Ход вниз | | Ход вверх Δ_{mi} | Ход вниз $\Delta_{\delta i}$ | | | | |
| | деле- ний | P_{mi} кг/см ² | деле- ний | $P_{\delta i}$ кг/см ² | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | Σ | Σ | | Σ | Σ | Σ | Σ | Σ | Σ |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Примечание: принимаем $n = 10$; $p = 9$

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----------|
| МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОТРАСЛИ..... | 3 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1..... | 10 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2..... | 19 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3..... | 21 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4..... | 24 |
| МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОТРАСЛИ..... | 4 |

**Ю. А. Усачев
В. Н. Замарашкина**

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОТРАСЛИ

**Методические указания
к выполнению лабораторных работ
для студентов специальностей
210200, 270300, 270500, 270800, 270900, 271100**

Редактор М. Б. Кановская

Корректор Н. И. Михайлова

ЛР № 020414 от 12. 02. 97

Подписано в печать .10. 99. Формат 60×84 1/16. Бум. газетная
Печать офсетная Усл. печ. л. 2,56. Печ. л. 2,75. Уч.-изд. л. 2,13
Тираж 200 экз. Заказ ? С 19

СПбГАХИТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9
ИПЦ СПбГАХИТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9