

Министерство образования Российской Федерации  
Санкт-Петербургский государственный университет  
низкотемпературных и пищевых технологий



Кафедра автоматики и автоматизации  
производственных процессов

## **МЕТРОЛОГИЯ**

Методические указания  
к выполнению лабораторных работ по дисциплине  
«Метрология, стандартизация и сертификация»  
для студентов всех специальностей

Санкт-Петербург 2003

УДК 621.317.08

**Усачев Ю.А., Замарашкина В.Н.** Метрология: Метод. указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» для студентов всех специальностей. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2003. – 45 с.

Приведены методические указания по выполнению лабораторных работ по разделу «Метрология» для студентов всех специальностей, изучающих дисциплину «Метрология, стандартизация и сертификация».

Рецензент

Канд. техн. наук, доц. О.И. Сергеенко

Одобрены к изданию советом факультета техники пищевых производств

© Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий, 2003

## 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 измеряют температуру косвенным путем. При этом измеряется один из параметров рабочего тела термометра, функционально связанный с изменением его температуры.

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

Нашей промышленностью выпускаются стеклянные жидкостные термометры по восьми государственным стандартам для различных сфер применения: технические, медицинские, метеорологические, ветеринарные, лабораторные и т. д. В данных методических указаниях будут рассмотрены технические ТСЖ по ГОСТ 2823–73 и близкие к ним по сфере применения лабораторные термометры общего назначения по ГОСТ 215–73.

### Технические термометры

В зависимости от формы нижней части термометров различают исполнения:

- прямое (П) (рис. 1, а);
- угловое (У) (рис. 1, б).

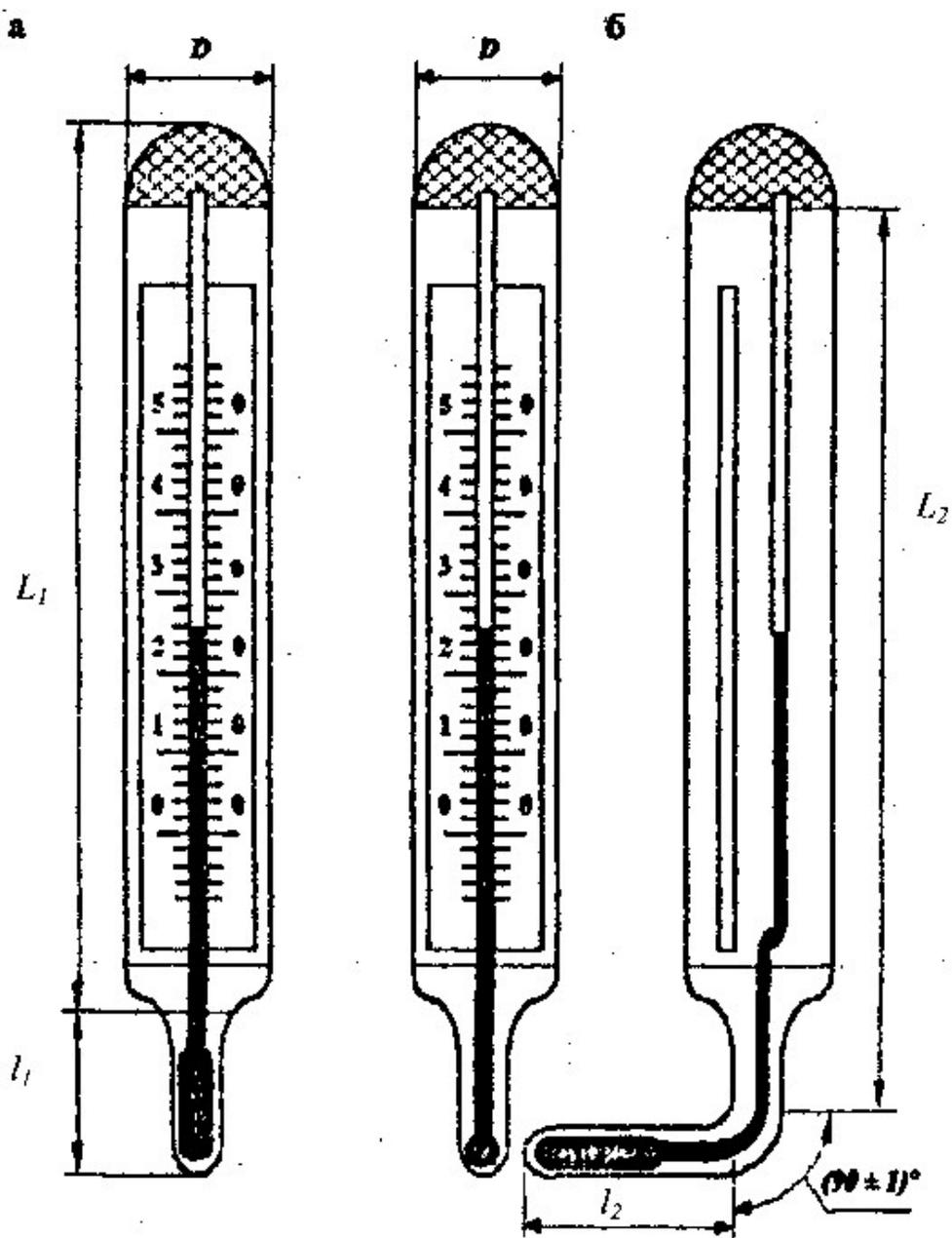
Технические ТСЖ выпускаются двенадцати пределов измерения, начиная с пределов:

- от  $-90$  до  $+30$  °С с ценой деления шкалы  $1$  °С;
- от  $-30$  до  $+50$  °С с ценой деления шкалы  $0,5$  или  $1$  °С

и кончая пределом:

- от  $0$  до  $600$  °С с ценой деления  $5$  или  $10$  °С.

Длина нижней части термометров может иметь одно из одиннадцати допустимых значений в диапазоне  $l_1 = 48 \div 503$  мм и  $l_2 = 86 \div 541$  мм. По заказу потребителя могут быть изготовлены термометры с длиной  $l_1(l_2)$  до  $2000$  мм.



с. 1. Термометры стеклянные:  
 а – прямое исполнение; б – угловое исполнение

Основные характеристики термометров даны в прил. 1 табл. 1.

В качестве термометрической жидкости могут быть использованы:

- для пределов измерения от  $-30$  до  $+600$  °С – ртуть;
- для пределов измерения от  $60$  до  $+200$  °С – 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 его кипение. Так, в ртутных термометрах (температура кипения ртути  $+356,58$  °С), предназначенных для измерения температуры до  $+500$  °С, инертный газ находится под давлением около  $2,0$  МПа.

Градуировка ТСЖ производится при погружении в термостат всей нижней суженной части (у прямых термометров на длину  $l_1$ ). По заказу потребителей допускается градуировать термометры при другой глубине погружения, при этом на обратной стороне шкальной пластинки символом и цифрой обозначается глубина погружения в миллиметрах (например,  $\downarrow 120$ ).

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 прил. 1, табл. 2.

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 измерения контролируемой величины и требуемой точности необходимо учитывать расстояние контролируемой точки от места установки термометра. Последнее обстоятельство влияет на выбор длины нижней части термометра (размеры  $l_1$  и  $l_2$ ). Основные размеры ТСЖ даны в прил. 1, табл. 3.

При заказе термометров следует пользоваться условными обозначениями, в которых в сжатой форме содержатся все данные, однозначно определяющие выбранный термометр. Так, для ТСЖ прямого исполнения № 2 с ценой деления 1 °С, 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 °С. По конструкции различают два типа лабораторных термометров:

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

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 лабораторных термометров может быть 0,1; 0,2; 0,5; 1 или 2 °С. Длина термометров от 160 до 530 мм. Пределы допускаемых погрешностей термометров в зависимости от диапазонов измерения и цены деления шкалы приведены в прил. 1, табл. 4.

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

В заключении отметим, что стеклянные термометры не разрешается применять для контроля температуры пищевых продуктов без защитных металлических гильз. Эта мера предосторожности исключает попадание стекла, ртути и других вредных веществ 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 для улучшения контакта между термометром и гиль-

зой, но при этом существенно возрастает тепловая инерционность пары гильза-термометр, что приводит к увеличению динамической погрешности при измерении изменяющейся во времени температуры. Числовые значения этих видов погрешностей предстоит оценить в одной из лабораторных работ цикла.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

## ПОВЕРКА ТЕХНИЧЕСКИХ СТЕКЛЯННЫХ ЖИДКОСТНЫХ ТЕРМОМЕТРОВ

Цель работы – познакомиться с процедурой поверки средств измерения на примере поверки стеклянных жидкостных термометров.

### 1. Основные сведения

Поверка средств измерения (СИ) – это установление органом Госстандарта пригодности СИ к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям.

Поверку проходят все средства измерения, подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору, в том числе и жидкостные стеклянные термометры.

Поверка рабочих ТСЖ должна производиться по методике Госстандарта, изложенной в ГОСТ 8.279–79 с учетом изменений № 1, внесенных в этот ГОСТ 01.07.89.

В соответствии с методикой поверка ТСЖ состоит из следующих операций:

- внешний осмотр термометра;
- поверка показаний термометра;
- поверка постоянства показаний термометра (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 °С;
- гипсометр (водяной кипятыльник) для поверки точки 100 °С;
- масляный термостат для интервала температур от 95 до 300 °С;
- соляной термостат для интервала температур от 300 до 600 °С;
- лупа;
- барометр;
- образцовые ртутные термометры 2-го разряда с диапазонами от –30 до 0 °С;  $\Delta = (0,02 \div 1,0) \text{ °С}$ ; от 0 до 600 °С;  $\Delta = (0,02 \div 1,0) \text{ °С}$  или образцовый платиновый термометр 2-го разряда от –180 до 600 °С.

## 2. Внешний осмотр

При внешнем осмотре необходимо убедиться в отсутствии внешних признаков неисправности термометра. 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 нулевой отметки или другого оцифрованного деления шкалы.

## 3. Поверка показаний термометра

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

### 3.1. Поверка при 0 °С

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

Поверка производится в сосуде Дьюара, который до краев заполняется чистым речным измельченным льдом и затем заполняется дистилли-

рованной водой. Лед перемешивается и уплотняется так, чтобы не оставалось пузырьков воздуха.

Термометр, помещают в ледяную смесь в вертикальном положении так, чтобы отметка  $0^{\circ}\text{C}$  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.

### 3.2. Поверка точки $100^{\circ}\text{C}$

Поверка точки  $100^{\circ}\text{C}$  производится в гипсометре (рис. 2).

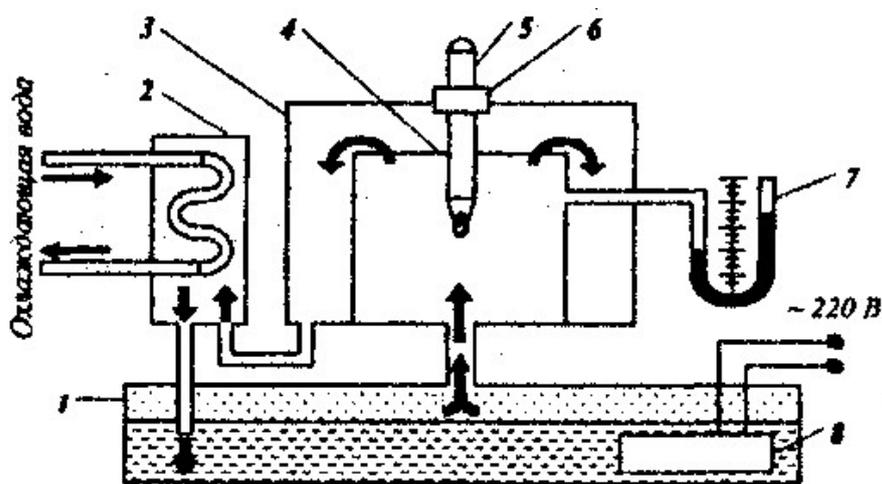


Рис. 2. Гипсометр с кипятильником:

1 – сосуд для кипячения воды; 2 – холодильник; 3, 4 – цилиндры; 5 – поверяемые термометры; 6 – пробка; 7 – манометр; 8 – нагреватель

Гипсометр 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. Поверяемый термометр 5 через герметизирующую пробку 6 вводится внутрь парового пространства цилиндров 3 и 4. Стенки цилиндра 4 предотвращают лучистый теплообмен тер-

мометра со стенками цилиндра 3, температура которого 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.

При выполнении измерений должно соблюдаться условие погружения термометра 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 ТСЖ в гипсометре допускается применение образцовых термометров, которые следует устанавливать рядом с поверяемыми. 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, превышающем  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 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 прибавляются следующие поправки:

- 1) инструментальная поправка;
- 2) поправка на приведение показаний барометра к  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- 3) поправка на приведение к нормальному ускорению силы тяжести (т. е. к значению ускорения на уровне моря на географической широте  $45^{\circ}$ );

4) поправку, учитывающую разность высот поверяемого термометра и барометра.

Первая поправка берется из свидетельства к барометру, вторая и третья – из прил. 2, табл. 1, 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 определить как сумму атмосферного и избыточного давлений. Избыточное давление определяется по показаниям водяного стеклянного манометра, соединенного с паровым пространством гипсометра. Отсчеты избыточного давления из миллиметров водяного столба пересчитываются в миллиметры ртутного столба по выражению

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

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

**П р и м е р.** Температура барометра составляет 25 °С. Значение атмосферного давления по барометру  $P = 748,1$  мм рт. ст. Измерение производится 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.

Поправки:

инструментальная .....	–0,1
на приведение к 0 °С (прил. 2, табл. 1) .....	–3,0
на широту (прил. 2, табл. 2, а) .....	1,0
на высоту над уровнем моря (прил. 2, табл. 2, б) .....	–0,05
на разность высот .....	–0,1
на избыточное давление в кипятыльнике .....	0,74

Суммарное значение поправок  $q_{\Sigma} = \sum_{(i)} q_i = -1,51$  мм рт. ст.

Исправленное значение давления паров воды в гипсометре  $P_{\text{и}} = P + q_{\Sigma} = 748,1 - 1,51 = 746,6$  мм рт. ст.

Температура пара, найденная по прил. 2, табл. 3, 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 % азотнокислого натрия и 45 % азотнокислого калия), от 550 до 600 °С – в солевом термостате (смесь солей 25 % NaCl и 75 % CaCl).

### 3.3. Поверка в термостате

В термостате производится поверка точек в интервале температур от 1 до 95 °С.

Термостат ТС-24 (рис. 3) может быть использован для получения различных значений температур жидкой среды в диапазоне от комнатной температуры до 200 °С при заполнении термостата маслом и до 99 °С при заполнении его дистиллированной водой.

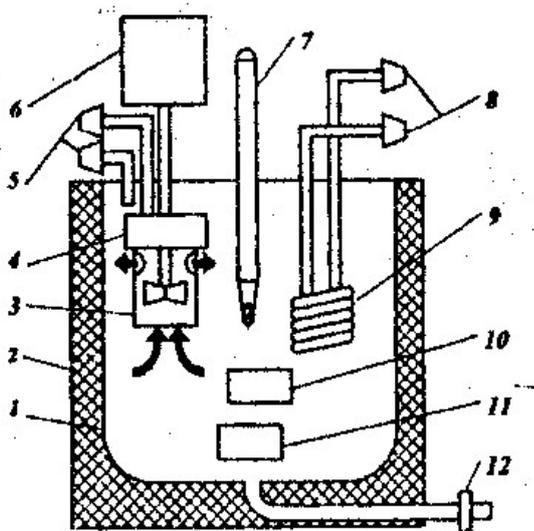


Рис. 3. Термостат ТС-24:

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

Термостат состоит из внутренней емкости 1 для жидкости и кожуха 2. Пространство между кожухом и емкостью заполнено изоляционным 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 патрубок 5 к другому объекту. Нагрева-

ние жидкости производится посредством двух нагревателей 10 и 11, один из которых управляется системой автоматического регулирования с контактным ртутным термометром 7 в качестве чувствительного элемента. Точность регулирования температуры составляет  $\pm 0,05$  °С. Для ускорения процесса охлаждения термостата имеется холодильник 9, через который пропускается водопроводная вода, подключаемая к патрубкам 8. Слив жидкости производится через пробку 12.

Электрическая схема термостата приведена на рис. 4.

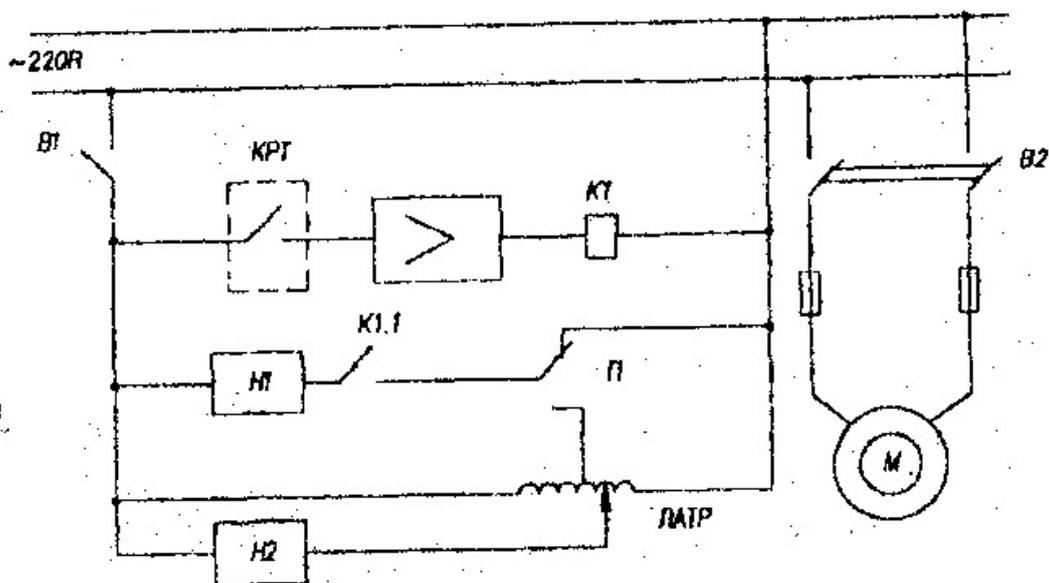


Рис. 4. Электрическая схема термостата ТС-24:

$H_1, H_2$  – нагреватели;  $B_1, B_2$  – выключатели;  $M$  – электродвигатель;  
ЛАТР – автотрансформатор;  $K_1$  – реле; КТР – контакт ртутного термометра;  
П – переключатель

Образцовый и поверяемые термометры помещаются в термостат на необходимую глубину. Поверку следует проводить, переходя от более низких температур к более высоким. Если первая поверяемая точка 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, замедляя нагревание термостата путем уменьшения силы тока в нагревателе, вывести температуру на значение, соответствующее поверяемой отметке. Выдержав термостат при этой температуре 3 – 5 мин, снимают показания образцового и поверяемых термометров. Действительное значение температуры в термостате  $T_d$  находят по показаниям образцового термометра  $T_{об}$  с учетом поправки  $q$ , указанной в паспорте на данный образцовый термометр:

$$T_d = T_{об} + q,$$

Если для произведенного отсчета поправка в свидетельстве отсутствует, то она вычисляется линейной интерполяцией по двум соседним поправкам.

Погрешность  $i$ -го поверяемого термометра находят из выражения

$$\Delta T_i = T_i - T_d,$$

где  $T_i$  – показания  $i$ -го термометра

Для принятия заключения о пригодности прибора к применению для каждого поверяемого термометра проверяют выполнение неравенства:

$$\Delta T_i \leq \Delta T_{доп},$$

где  $\Delta T_{доп}$  – допустимая для данного термометра погрешность.

Если это неравенство удовлетворяется, то термометр признается пригодным к применению и на него выдается свидетельство о поверке (образец приведен в прил. 7). В противном случае термометр признается негодным.

#### **4. Калибровка средств измерения**

Средства измерения, не подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору, вместо поверки могут проходить калибровку, целью которой является также определение действительных метрологических характеристик прибора. Только в отличие от поверки при калибровке не делается заключение о пригодности или непригодности средства измерения к применению.

При калибровке ТСЖ может быть использован метод симметричных измерений, который отличается от рассмотренного выше метода тем, что показания с образцового и поверяемых термометров через равные промежутки времени снимаются не при установившемся значении температуры жидкости в термостате, а при ее медленном подъеме в момент прохождения температуры вблизи поверяемой точки.

Последовательность операций при проведении калибровки сводится к следующему. В термостате устанавливают образцовый и несколько поверяемых термометров. Быстро поднимают температуру до значения примерно на  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ниже температуры первой поверяемой отметки на шкале термометра. Переключают термостат на медленный нагрев и производят вспомогательную операцию по определению интервала времени  $\Delta\tau$ , через который необходимо снимать показания термометров.

Интервал  $\Delta\tau$  определяют по формуле

$$\Delta\tau = \frac{\tau}{n},$$

где  $\tau$  – время, в течение которого температура в термостате поднимется на  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $n$  – число отсчетов, равное удвоенному количеству термометров, участвующих в эксперименте, включая образцовый термометр.

Снятие показаний производится в прямой и обратной последовательности через равные промежутки времени  $\Delta\tau$ . На рис. 5 показана последовательность снятия показаний с термометров для случая трех поверяемых термометров. В начале снимают показания с образцового термометра  $t_{1об}$ , затем – с первого поверяемого термометра  $t_{1п1}$ , потом – со второго  $t_{1п2}$  и третьего  $t_{1п3}$  последнего. После этого через тот же промежуток времени  $\Delta\tau$  производят снятие показаний в

обратной последовательности – с третьего  $t_{2п3}$ , второго  $t_{2п2}$ , первого  $t_{2п1}$  и, наконец, образцового  $t_{2об}$ .

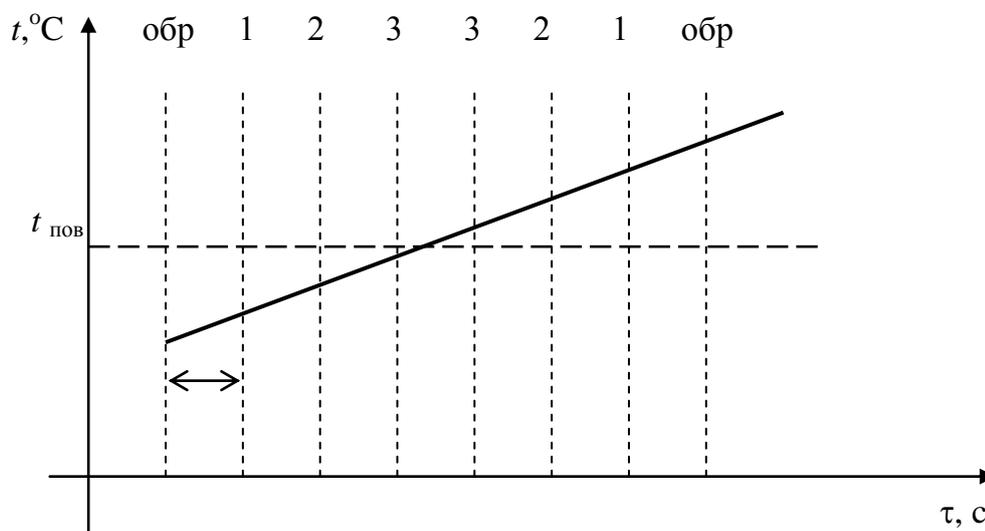


Рис. 5. Метод симметричных измерений:  
обр – образцовый термометр; 1–3 – поверяемые термометры

Погрешность  $i$ -го термометра  $\Delta t_i$  определяют как разность между действительным значением температуры вблизи поверяемой точки  $t_d$ , рассчитываемой по показаниям образцового термометра ( $t_{об} = \frac{t_{1об} + t_{2об}}{2}$ ), с учетом поправки ( $t_g = t_{об} + g$ ) и средним значением

показаний  $i$ -го термометра ( $t_i = \frac{t_{1i} + t_{2i}}{2}$ ):

$$\Delta t_i = t_i - t_d$$

## 5. Порядок выполнения работы

1. Изучить раздел «Краткие сведения о стеклянных термометрах» и содержание лабораторной работы, ответить на контрольные вопросы.

2. Для индивидуального варианта задания из прил. 3, табл. 1 произвести расчет температуры насыщенных паров в гипсометре по методике, описанной в разделе 3.2.

3. Подготовить бланки протоколов (прил. 3, табл. 2, 3).

4. Получить у преподавателя поверяемые термометры. Для каждого термометра определить: диапазон измерения, цену деления,

допустимую погрешность. Произвести внешний осмотр поверяемых термометров по методике, описанной в разделе 2. При отсутствии браковочных признаков приступить к поверке показаний.

5. Определить поверяемые отметки шкалы термометра по прил. 2, табл. 4 и число отсчетов в каждой точке.

6. Произвести поверку точек в интервале от 1 до 95 °С в водяном термостате. Для этого необходимо:

- ознакомиться со схемой лабораторной установки и устройством термостата ТС-24;

- залить в термостат воду;

- переключатель П поставить в положение «700 Вт» (рис. 4);

- включить выключатель В1, подав тем самым питание на автотрансформатор, нагреватель Н1 «700 Вт» и схему регулирования;

- включить электродвигатель выключателем В2;

- движок автотрансформатора поставить на отметку шкалы «200»;

- нагреть воду до требуемой температуры, наблюдая по контрольному термометру;

- по достижении требуемой температуры следует выключить выключатель В1;

- установить образцовый и поверяемые термометры в термостат выдержать в течение 5 мин и произвести снятие показаний с термометров для одной – двух поверяемых точек (по заданию преподавателя) в соответствии с методикой, изложенной в разделе 3.3. Результаты измерений занести в протокол (прил. 3, табл. 2).

7. Проанализировать полученные результаты и сделать вывод о пригодности поверяемых термометров к дальнейшему применению.

8. Произвести калибровку поверяемых термометров в тех же поверяемых точках. Для этого необходимо:

- заменить воду в термостате;

- включить термостат на быстрый нагрев воды ( см. п. 6);

- по достижении значения температуры на 5–7 °С ниже температуры точки калибровки термостат перевести в режим медленного нагрева, выключив выключатель В1. После этого переключатель П поставить в положение «175» и вновь включить В1;

- определить интервал времени  $\Delta t$  между снятием показаний с термометров по методике, описанной в разделе 4;

– снятие показаний с термометров производят начиная с образцового, затем – с поверяемых термометров в порядке их установки слева направо. Повторные отсчеты с поверяемых термометров следует снимать в обратном порядке – справа налево и заканчивать образцовым термометром.

9. Результаты измерений занести в протокол (прил. 3, табл. 3).

10. Сравнить погрешности  $\Delta T_i$  и  $\Delta t_i$  каждого термометра, найденные по результатам первого и второго экспериментов.

## **6. Содержание отчета**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- расчет температуры насыщенных паров в гипсометре с необходимыми комментариями;
- сведения о поверяемых и образцовом термометрах;
- протокол экспериментальных данных;
- результаты обработки экспериментальных данных;
- вывод.

## **7. 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. Сколько показаний поверяемого термометра необходимо снимать для каждой поверяемой отметки шкалы при симметричном методе измерений?

4. С какой точностью снимаются показания поверяемых и образцового термометров?

5. В каких случаях термометр может быть забракован?

6. В чем заключается суть метода симметричных измерений?

## 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, на погрешность измерения температуры.

#### 1. Исходные сведения

Погрешность результата измерения температуры какого-либо объекта или среды складывается из погрешности термометра и погрешности, обусловленной выбором места и способом его установки. Практически все стеклянные термометры, используемые для контроля технологических параметров в процессе производства, устанавливаются на объекте в защитных устройствах. Последние обычно выполняются в виде цилиндрического пенала с прорезью для наблюдения за шкалой термометра и 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 средой и окружающей средой. Тепловое сопротивление зависит от материала и толщины стенки нижней части защитного устройства и хвостовой частью термометра. Для улучшения теплового контакта защитную гильзу часто заливают машинным маслом или засыпают металлическими опилками.

В данной лабораторной работе исследуется влияние способа установки термометра (без защитного устройства и с защитным устройством), а также изменения теплового сопротивления между термометром и кожухом защитного устройства на погрешность показаний.

#### 2. Порядок выполнения работы

1. Изучить раздел «Краткие сведения о стеклянных термометрах», содержание лабораторной работы и устройство термостата (см. раздел 3.3 лабораторной работы № 1). Ответить на контрольные вопросы.

2. Получить у преподавателя стеклянные лабораторный и технический термометры и защитное устройство.

3. Подготовить бланк протокола (прил. 4).

4. Ознакомиться с лабораторной установкой.

5. Заполнить термостат водой, включить его на разогрев. При достижении температуры 90–95 °С перевести термостат в режим автоматического поддержания температуры.

6. Произвести измерение температуры жидкости в термостате при пяти различных условиях установки термометра, результаты измерений занести в протокол. Показания технического термометра снимаются не ранее чем через 5 мин после его установки при данных условиях. Показания лабораторного термометра снимаются одновременно с показаниями технического термометра.

7. Оценить влияние условий установки термометра на погрешность показаний. Сделать выводы.

### **3. Содержание отчета**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- сведения о лабораторном и техническом термометрах;
- протокол экспериментальных данных;
- результаты обработки экспериментальных данных;
- выводы.

### **4. Контрольные вопросы**

1. Какого знака будет погрешность, вызываемая теплопроводностью защитного устройства, если температура измеряемой среды:  
а) больше температуры окружающей среды; б) меньше температуры окружающей среды?

2. Каково влияние температурного 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 ТЕРМОМЕТРА НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ

Цель работы: исследовать изменение тепловой инерционности термометра в зависимости от условий его применения, оценить погрешность метода определения постоянной времени термометра и влияние на эту погрешность отдельных ее составляющих.

### 1. Исходные сведения

Если мгновенно перенести термометр из среды с температурой  $t_1$  в среду с температурой  $t_2$ , то вследствие тепловой инерционности столбик термометрической жидкости переместится к отметке  $t_2$  не скачком, а путем плавного приближения к нему по кривой, описываемой уравнением экспоненты (рис. 6):

$$t_\tau = t_1 + (t_2 - t_1) \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T}}\right),$$

где  $t_\tau$  – показания термометра в любой момент времени  $\tau$ ;  $\tau$  – текущее время;  $T$  – постоянная времени, значение которой будет пояснено ниже.

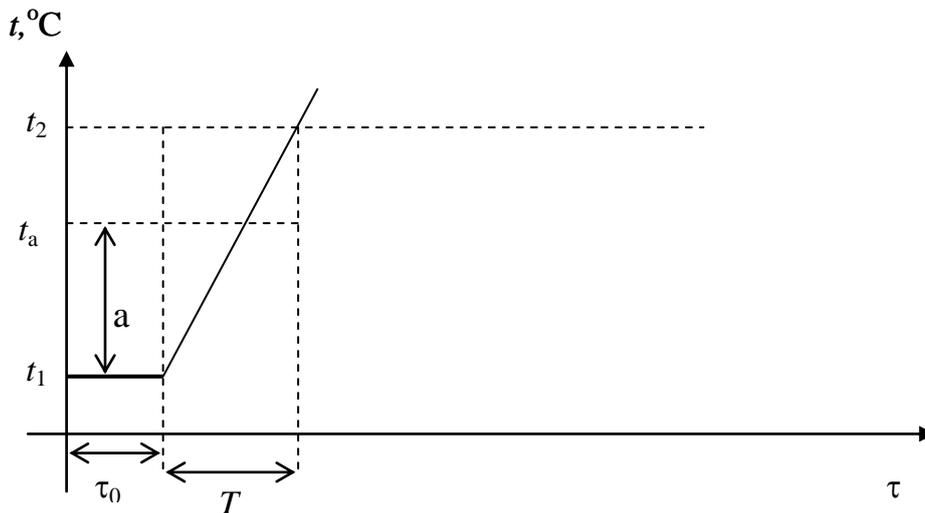


Рис. 6. График изменения показаний термометра:

$\tau_0$  – момент переноса термометра из среды с температурой  $t_1$  в среду с температурой  $t_2$  (момент включения секундомера);  $t_a$  – температура достижения, при которой останавливают секундомер ( $t_a = t_1 + a$ );  $a$  – интервал, равный 63 % от диапазона ( $t_1 - t_2$ );  $T$  – постоянная времени термометра

Естественно, если снимать показания термометра до момента установления нового значения температуры, то в результате 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 предыдущим и новым установившимися состояниями ( $t_2 - t_1$ ).

Зная  $T$ , из уравнения экспоненты можно найти погрешность показаний в каждый момент времени  $\tau$ :

$$\Delta t_\tau = t_2 - t_\tau = \frac{t_2 - t_1}{e^{-\frac{\tau}{T}}}$$

Так, если показания снимаются в момент времени  $\tau = T$ , то погрешность имеет значение:

$$\Delta t = \frac{1}{e^1} (t_1 - t_2) = 0,37(t_1 - t_2)$$

при  $\tau = 2T$

$$\Delta t = \frac{1}{e^2} (t_1 - t_2) = 0,13(t_1 - t_2)$$

при  $\tau = 3T$

$$\Delta t = \frac{1}{e^3} (t_1 - t_2) = 0,05(t_1 - t_2)$$

при  $\tau = 5T$

$$\Delta t = \frac{1}{e^5} (t_1 - t_2) = 0,007(t_1 - t_2)$$

В данной лабораторной работе необходимо экспериментально определить постоянную времени термометра при различных условиях теплопередачи между термометром и измеряемой средой.

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

– решить уравнение экспоненты относительно постоянной времени  $T$ :

$$T = \frac{\tau}{\ln \frac{t_2 - t_1}{t_2 - t_\tau}};$$

– в соответствии с правилами вычисления погрешности косвенных измерений найти и погрешность определения постоянной времени:

$$\Delta T = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial T}{\partial Q_i} \right)^2 \Delta Q_i^2},$$

где  $Q_i$  – факторы, оказывающие влияние на погрешность определения  $T$  (в данном случае это  $\tau$ ,  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_a$ );  $\Delta Q_i$  – погрешность, с которой найдено значение  $i$ -го фактора.

## 2. Порядок выполнения работы

### Вариант I

Найти значение постоянной времени термометра, основываясь на следующем определении: постоянная времени – это время в течении которого выходная величина пройдет 63 % интервала между старым и новым установившимися значениями при скачкообразном изменении входной величины.

1. Изучить раздел «Краткие сведения о стеклянных ртутных термометрах», ответить на контрольные вопросы.

2. Ознакомиться с лабораторной установкой и устройством термостата ТС-24, описанным в разделе 3.3 лабораторной работы 1.

3. Подготовить бланк протокола (прил. 5).

4. Получить у преподавателя технический термометр и защитное устройство.

5. Включить термостат и нагреть воду до температуры  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ , после чего перевести его в автоматический режим поддержания заданного значения температуры.

6. Произвести экспериментальное определение постоянной времени технического термометра при различных условиях теплопередачи между термометром и измеряемой средой. Эксперимент целесообразно проводить в последовательности, указанной в прил. 5.

7. Перед проведением каждого эксперимента необходимо заранее вычислить показания технического термометра, соответствующие 63 % интервала  $(t_2 - t_1)$ . При этом следует иметь в виду, что при экспериментах с термометром, помещенным в защитный кожух, конечная температура  $(t_2)$  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.

8. Каждый эксперимент повторить дважды, за результат взять средне-арифметическое.

9. Определить для каждого исследуемого случая использования термометра интервал выдержки времени перед снятием показаний с термометра  $\Delta\tau$ , при котором погрешность, вызванная тепловой инерционностью  $\Delta t(\tau)$ , будет меньше 1 %.

10. Определить погрешность каждого найденного значения  $T$ . При этом обратить особое внимание на определение значения погрешности  $\Delta t_{\tau}$ . Произвести анализ полученных результатов и сделать соответствующие выводы. Оценить вклад в погрешность измерения каждого фактора.

## Вариант II.

Найти значение постоянной времени термометра, основываясь на следующем определении: постоянная времени находится как проекция на ось времени отрезка касательной, проведенной через точку перегиба кривой переходного процесса выходной величины при скачкообразном изменении входной. Концы отрезка касательной определяются точками пересечения ее с линиями начального и конечного значения температуры.

Эксперимент следует провести следующим образом. Нагреть в термостате воду до  $80 \div 90$  °С. в момент  $\tau_0$  поместить термометр в термостат и включить секундомер. Один из проводящих эксперимент непрерывно следит за показаниями термометра, другой – за показаниями секундомера. Каждый градус подъема температуры должен сопровождаться записью показания секундомера в этот момент. По точкам построить кривую переходного процесса и проведя касательную найти постоянную времени «Т». Оценить погрешность найденного значения. Сравнить найденные значения «Т» с результатом полученным при первом варианте эксперимента. Объяснить причину расхождения.

### 3. Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- таблицу экспериментальных данных;
- графики кривых переходного процесса с указанием динамической погрешности в моменты времени  $\tau_1 = T$ ,  $\tau_2 = 3T$ ,  $\tau_3 = 5T$ . На одном из графиков показать значение различных влияющих факторов;
- результаты расчета погрешности измерения постоянной времени  $\Delta T_i$  для всех вариантов проведения эксперимента с анализом и необходимыми пояснениями;
- оценку вклада погрешностей измерения каждого фактора в общую погрешность определения постоянной времени;
- вывод.

### 4. Контрольные вопросы

1. Одинаково ли влияние погрешности в определении температур  $t_1$  и  $t_2$  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  $(t_2 - t_1)$ ?
3. Какие мероприятия могут снизить погрешность определения  $T$ ?
4. Справедливо ли считать определение постоянной времени косвенным измерением, если она находится по отсчету секундомера?
5. Как оценить погрешность измерения температуры в точке  $t_a$ ?

## 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

Метрологическая характеристика (МХ) средства измерения (СИ). Это характеристика одного из его свойств оказывающего влияние на результат измерения и его погрешность.

К МХ СИ относятся:

- градуировочная характеристика;
- диапазон показаний;
- цена деления;
- чувствительность;
- все виды погрешностей;
- постоянная времени и т.д.

количественная оценка наиболее важных характеристик отражает в нормативных документах на прибор (паспорт, технические условия и т. п.) и они называются нормированными.

ГОСТ 8.009–84 определяет 16 различных метрологических характеристик средства измерения (СИ), из которых должны составляться комплексы метрологических характеристик, отражающих метрологические свойства средств измерения конкретного типа. К числу основных метрологических характеристик приборов применяемых при технологическом контроле можно отнести:

- погрешность  $\Delta$  СИ;
- систематическую составляющую  $\Delta_c$  погрешности  $\Delta$  СИ;
- случайную составляющую  $\overset{0}{\Delta}$  погрешности  $\Delta$  СИ;
- вариацию  $H$  показаний СИ.

В данной лабораторной работе на примере конкретного СИ – рабочего манометра – рассматривается методика определения перечисленных метрологических характеристик.

Значение систематической составляющей  $\Delta_c$  погрешности манометра в точке  $X$  диапазона измерения (шкалы прибора) находится по формуле:

$$\Delta_c = \frac{\bar{\Delta}_M + \bar{\Delta}_6}{2},$$

где  $\bar{\Delta}_M$  – среднее значение погрешности в точке  $X$  шкалы прибора, полученное из экспериментальных данных при подходе к этой точке со стороны меньших значений (т. е. при увеличении давления);  $\bar{\Delta}_6$  – то же при подходе к точке  $X$  со стороны больших значений (т. е. при уменьшении давления);

$$\bar{\Delta}_M = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_{Mi}}{n}, \quad \bar{\Delta}_6 = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_{6i}}{n},$$

где  $n$  – число опытов при определении  $\bar{\Delta}_M$  ( $\bar{\Delta}_6$ );  $\Delta_{Mi}$  – погрешность  $i$ -го отсчета манометра при подходе к точке  $X$  со стороны меньших значений;  $\Delta_{6i}$  – то же при подходе к точке  $X$  со стороны больших значений.

$$\Delta_i = X_{\text{ип}} - X_{\text{д}};$$

где  $X_{\text{ип}}$  – показание поверяемого манометра;  $X_{\text{д}}$  – показание образцового манометра.

Случайная составляющая  $\overset{\circ}{\Delta}$  погрешности  $\Delta_{\text{СИ}}$  обычно характеризуется пределом допускаемого значения среднеквадратического отклонения случайной составляющей погрешности СИ данного типа  $\sigma(\overset{\circ}{\Delta})$  и определяется из выражения:

$$\sigma(\overset{\circ}{\Delta}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_{Mi} - \bar{\Delta}_M)^2 + \sum_{i=1}^n (\Delta_{6i} - \bar{\Delta}_6)^2}{2(n-1)}}.$$

Значения вариации  $H$  показаний манометра определяется как абсолютное значение разности между средними значениями погрешностей при подходе к точке шкалы прибора со стороны меньших  $\bar{\Delta}_M$  и со стороны больших значений  $\bar{\Delta}_6$ :

$$H = |\bar{\Delta}_M - \bar{\Delta}_6| .$$

Определение погрешности  $\Delta$  манометра производится двумя способами в зависимости от значения случайной составляющей  $\sigma(\overset{\circ}{\Delta})$ :

а) если случайная составляющая погрешности манометра пренебрежимо мала, то  $\Delta$  определяется как наибольшее по абсолютному значению из полученных экспериментальных значений  $\Delta_M$  или  $\Delta_6$ ;

б) если случайная составляющая погрешности манометра существенна, то  $\Delta$  определяется как граница интервала, симметричного относительно нулевого значения погрешности, в который попадают  $P$  отсчетов погрешности из имеющегося числа  $n$  реализаций погрешности (например,  $P = 9$  и  $n = 10$ ).

В соответствии с критерием существенности случайная составляющая погрешности считается существенной, если одновременно выполняются два неравенства:

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

Число точек на шкале прибора, для которых производится определение метрологических характеристик, должно быть равно пяти. В качестве поверяемых точек берут оцифрованные деления шкалы манометра в следующих участках шкалы: среднее, вблизи минимального и максимального значений, в районе  $\frac{1}{4}$  и  $\frac{3}{4}$  диапазона шкалы. Число отсчетов при подходе к каждой точке шкалы с одной стороны ( $n$ ) должно быть не менее 10.

## 2. Порядок выполнения работы

1. Подготовить протокол (прил. 6).
2. Ознакомиться с лабораторной установкой. Выписать для образцового и рабочего манометров: тип прибора, диапазон измерения,

цену деления, класс точности. Определить поверяемые точки рабочего манометра.

3. Произвести снятие отсчетов в каждой из точек. Работу целесообразно организовать следующим образом. Один из участников эксперимента медленно поднимает давление в системе, второй следит за показаниями рабочего манометра. Как только стрелка рабочего манометра вышла на поверяемую отметку, не переходя через нее, изменение давления приостанавливается для считывания показаний образцового манометра. Затем процесс повторяется для второй, третьей и других поверяемых точек. Таким образом проходит весь диапазон от минимального до максимального значения. После окончания снятия показаний в последней поверяемой точке давление начинают медленно понижать. Процесс снятия отсчетов при подходе к поверяемым точкам со стороны больших значений аналогичен описанному. Полученные экспериментальные данные заносятся в протокол.

4. Рассчитать четыре метрологические характеристики рабочего манометра для каждой поверяемой точки шкалы. Сравнить полученные результаты с погрешностью манометра, нормированной классом точности прибора. Объяснить причину расхождения.

### **3. Содержание отчета**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- таблицу экспериментальных данных;
- сведения об образцовом и рабочем манометрах;
- результаты обработки экспериментальных данных с необходимыми комментариями;
- вывод.

### **4. Контрольные вопросы**

1. Одной или несколькими метрологическими характеристиками должны характеризоваться метрологические свойства конкретного экземпляра СИ?

2. Назовите основные виды метрологических характеристик приборов для технологического контроля.

3. Что такое систематическая составляющая погрешности СИ?

4. Что такое случайная составляющая погрешности СИ?

5. Как оценивается погрешность экземпляра СИ данного типа?
6. Что такое вариация показаний СИ?
7. Какое минимальное количество отметок шкалы прибора необходимо исследовать для оценки погрешности СИ?
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 8.279–78. ГСИ. Термометры стеклянные жидкостные рабочие. Методы и средства поверки (с учетом изменений № 1, внесенных 01.07.89). – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 27 с.
5. 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	Пределы измерений, °С		Цена деления шкалы, °С	
			Длина верхней части, $L_1, L_2$	
	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, °С						
	0,5	1	2	5	10	1	2
От -30 до -20	±1	±1	–	–	–	±2	–
От -20 до 0	±1	±1	±2	±5	±10	±1	±2
От 0 до 100	±1	±1	±2	±5	±10	±1	±2
От 100 до 200	–	±2	±3	±5	±10	±3	±4
От 200 до 300	–	–	±4	±5	±10	–	–
От 300 до 400	–	–	–	±10	±10	–	–
От 400 до 500	–	–	–	±10	±10	–	–
От 500 до 600	–	–	–	±10	±15	–	–

Таблица 3

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

Размеры, мм	Обозначение термометров 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)
	–	–	–	–	103	253	–
	(128)	(318)	(803)	–	–	–	–
$l_2$	104	201	441	1041	(86)	(166)	(356)
	(121)	(241)	(541)	–	104	201	441
	141	291	671	–	(121)	(241)	(541)
	–	–	–	–	141	291	–
	(166)	(356)	(841)	–	–	–	–

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	±0,3	±1	±1	±2
От –1 до 100	±0,2	±1	±1	±2
От 100 до 200	±0,4	±1	±2	±2
От 200 до 300	±0,8	±1,5	±3	±4
От 300 до 400	±1,0	±3,0	±4	±4
От 400 до 500	–	–	–	±5
От 50 до 600	–	–	–	±6

## Приложение 2

Таблица 1

**Таблица поправок для приведения показаний барометра  
с латунной шкалой к 0 °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	1,28
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 приведения барометрического давления  
к нормальной силе тяжести**

Таблица 2а

**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

Таблица 2б

**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 0 °С, при атмосферном  
давлении мм рт. ст (Па)**

Атмосферное давление, мм рт. ст (Па)	Дополнительный интервал давления				
	0(0)	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)
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
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

Атмосферное давление, мм рт. ст (Па)	Дополнительный интервал давления				
	0(0)	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)
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	99,83	99,84
756(100791)	99,85	99,86	99,87	99,88	99,88
757(100925)	99,88	99,90	99,90	99,91	99,91
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	100,05	100,06
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	10,50	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 поверяемых отметок					
от	до						
-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

**Задание к расчету температуры насыщенных паров в гипсометре**

№ варианта	Исходные данные						
	Показания барометра, мм рт. ст	Температура барометра, °С	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	24	70	200	15	3	0,1
2	738,2	23	65	100	15	2	0,1
3	738,8	26	35	300	10	1	0,1
4	439,0	17	35	300	1	3	-0,1
5	740,5	18	40	150	0	3	-0,1
6	740,5	19	40	100	10	2	-0,1
7	743,4	20	45	200	12	2	-0,2
8	744,5	25	45	100	12	1	-0,2

9	747,2	30	50	150	20	1	-0,2
10	749,5	25	55	200	20	3	-0,2
11	750,3	21	50	200	20	2	-0,2
12	752,3	20	60	250	15	1	-0,2
13	753,7	28	60	250	15	3	0,2
14	754,8	28	65	300	10	2	0,2
15	756,6	25	65	300	10	1	-0,2
16	758,6	26	45	150	12	2	-0,3
17	760,1	25	45	150	14	2	-0,3
18	7603,4	27	35	200	14	2	0,3
19	7605,7	24	35	200	10	3	0,3
20	768,7	20	60	100	12	3	-0,3
21	769,3	19	65	200	14	3	-0,3
22	770,4	18	30	100	15	1	0,3
23	771,5	20	40	150	16	1	0,1
24	774,8	22	50	150	10	1	-0,1
25	780,0	22	50	200	14	2	-0,2

Таблица 2

Номер термометра	Поверяемые отметки			
	..... °C		..... °C	
	Показания термометров, °C	Погреш- ность, °C	Показания термометров, °C	Погреш- ность, °C
Образцовый термометр 1 2 ...				
Поправка на показания образцового термометра	$q_1 = \dots \text{ } ^\circ\text{C}$		$q_2 = \dots \text{ } ^\circ\text{C}$	
Действитель- ное значение температуры в поверяемой точке, °C	$T_{д1} = T_{об} + q_1$		$T_{д2} = T_{об} + q_2$	

Таблица 3

Номер	Поверяемые отметки
-------	--------------------

термометра	.....°C				.....°C			
	I от- счет	II от- счет	Среднее значе- ние	По- греш- ность	I от- счет	II от- счет	Среднее значе- ние	По- греш- ность
Образцовый термометр 1 2 ..								
Поправка на показания образцового термометра	$q_1 = \dots \text{°C}$				$q_2 = \dots \text{°C}$			
Действие- льное значе- ние темпера- туры в пове- ряемой точке, °C	$t_{д1} = t_{об} + q_1$				$t_{д2} = t_{об} + q_2$			

## Приложение 4

№ пп	Условия установки термометра	Показания технического термометра, °С	Показания лабораторного термометра, °С	Погрешность показаний технического термометра, °С	Погрешность показаний, вызванная влиянием защитного устройства, °С	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 внутри гильзы
3	То же, что п. 2, но гильза заполнена маслом					Тепловое сопротивление масла и гильзы
4	Вложен полностью в собранное защитное устройство, гильза пуста					Влияние теплоотвода и теплового сопротивления
5	То же, что п. 4, но гильза заполнена маслом					Влияние теплоотвода и теплового сопротивления масла и гильзы

## Приложение 5

Условия проведения эксперимента: среда с начальной температурой – среда с конечной температурой	Показания лабораторного термометра, °С		$t_2 - t_1$ , °С	0,63 ( $t_2 - t_1$ ), °С	$t_a$ , °С	$T$ , с
	начальная температура	конечная температура				
1. Воздух – вода; термометр без защитного устройства	20	80				
2. Вода – воздух; термометр без защитного устройства	80	20				
3. Воздух – вода; термометр в защитном устройстве	20	80				
4. Вода – воздух; термометр в защитном устройстве	80	20				
5. То же, что 3, но защитное устройство заполнено маслом	20	80				
6. То же, что 4, но защитное устройство заполнено маслом	80	20				

## Приложение 6

Показа- ния по- верье- мого ма- нометра, кг/см <sup>2</sup>	Показания образцового манометра				Погрешность		$U_{Mi} =$ $= \Delta_{Mi} - \Delta_M$	$U_{Mi}^2$	$U_{\delta i} =$ $= \Delta_{\delta i} - \Delta_{\delta}$	$U_{\delta i}^2$
	Ход вверх		Ход вниз		Ход вверх	Ход вниз				
	деле- ний шкалы	$P_{Mi}$ кг/см <sup>2</sup>	деле- ний шкалы	$P_{\delta i}$ кг/см <sup>2</sup>	$\Delta_{Mi},$ кг/см <sup>2</sup>	$\Delta_{\delta i},$ кг/см <sup>2</sup>				
...	...	...	...	...						
	...	...	...	...						
	...	...	...	...						
	...	...	...	...						
					$\Sigma$	$\Sigma$		$\Sigma$		$\Sigma$
...	...	...	...	...						
	...	...	...	...						
	...	...	...	...						
	...	...	...	...						

Государственный Комитет Российской Федерации  
по стандартизации и метрологии  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ЦЕНТР ИСПЫТАНИЙ И СЕРТИФИКАЦИИ - С.-ПЕТЕРБУРГ  
(ФГУ "ТЕСТ-С.-ПЕТЕРБУРГ")

# СВИДЕТЕЛЬСТВО

## О ПОВЕРКЕ

№ 0025709

Действительно до  
" " г.

Средство измерений \_\_\_\_\_  
наименование, тип

серия и номер клейма предыдущей поверки (если такие серия и номер имеются)

заводской № \_\_\_\_\_

принадлежащее \_\_\_\_\_  
наименование юридического (физического) лица, ИНН

поверено и на основании результатов первичной (периодической) поверки  
признано пригодным к применению

Поверительное клеймо

начальник отдела  
должность

\_\_\_\_\_   
подпись

\_\_\_\_\_   
Фамилия И.О.

поверитель  
должность

\_\_\_\_\_   
подпись

\_\_\_\_\_   
Фамилия И.О.

" " г.

## СОДЕРЖАНИЕ

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СТЕКЛЯННЫХ ТЕРМОМЕТРАХ .....	1
Технические термометры.....	3
Термометры лабораторные.....	6
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. ПОВЕРКА ТЕХНИЧЕСКИХ СТЕКЛЯННЫХ ЖИДКОСТНЫХ ТЕРМОМЕТРОВ .....	8
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ УСТАНОВКИ ТЕРМОМЕТРА НА ПОГРЕШНОСТЬ ЕГО ПОКАЗАНИЙ.....	20
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВОЙ ИНЕРЦИОННОСТИ ТЕРМОМЕТРА НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ.....	22
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАНОМЕТРА .....	27
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	31
Приложение 1 .....	32
Приложение 2 .....	34
Приложение 3 .....	37
Приложение 4 .....	40
Приложение 5 .....	41
Приложение 6 .....	42
Приложение 7 .....	43

Усачев Юрий Алексеевич  
Замарашкина Вероника Николаевна

## **МЕТРОЛОГИЯ**

Методические указания  
по выполнению лабораторных работ  
метрология, стандартизация и сертификация  
для студентов всех специальностей

*Редактор*

Л.Г. Лебедева

*Корректор*

Н.И. Михайлова

---

Подписано в печать 27.12.2003. Формат 60×84 1/16.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,79. Печ. л. 3,00. Уч.-изд. л. 2,69  
Тираж 600 экз. Заказ ? С 61

---

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