

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Филиал БНТУ «Институт повышения квалификации и переподготовки кадров
по новым направлениям развития техники, технологии и экономики БНТУ»

Кафедра «Метрология и энергетика»

ПОВЕРКА СРЕДСТВ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Часть 1

ПОВЕРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Учебно-методическое пособие для руководителей и специалистов метрологических служб предприятий и организаций, слушателей курсов повышения квалификации, студентов технических ВУЗов

Под редакцией О.П. Реута, В.Л. Гуревича

Электронный учебный материал

Минск, 2017

УДК 006. 91

ББК 30.10

Р44

Авторы

О.П.Реут, В.Л.Гуревич, П.В. Кривонос, Т.И. Дикун, А.А. Новиков

Под редакцией О.П. Реута, В.Л. Гуревича

Рецензент

Д.В. Василевский, заместитель начальника Испытательного центра БелГИСС

В первой части учебно-методического пособия «Проверка средств теплотехнических измерений. Часть 1. Проверка средств измерений температуры» подробно рассмотрены вопросы проведения проверки приборов общего применения, получивших наиболее широкое распространение в теплотехнических измерениях: изучение технических нормативных правовых актов, регламентирующих проверку средств измерений температуры и практических основ проведения проверки средств измерений температуры. Данное учебно-методическое пособие представляет интерес для руководителей и специалистов метрологических служб предприятий и организаций, слушателей курсов повышения квалификации, а так же студентов технических ВУЗов.

Белорусский национальный технический университет
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь

Тел.(017)292-77-52 факс (017)292-91-37

E-mail: kme-ipk@mail.ru

<http://www.bntu.by/>

Регистрационный № БНТУ/ИПКиПК-18.2017

© БНТУ, 2017

© Реут О.П., Гуревич В.Л. 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
В1. Нормативное обеспечение	5
В2. Государственные первичные и исходные эталоны единиц величин	8
В3. Поверочные схемы.....	17
В4. Техническая основа	19
В5. Методики поверки	19
Часть 1. Поверка средств измерений температуры	21
1.1 Основные технические нормативные правовые акты и другие документы СОЕИ, применяемые при поверке СИ температуры	21
1.2. Основные понятия, термины и определения, единицы температуры	22
1.3 Поверка стеклянных жидкостных термометров	24
1.3.1 Методы и средства поверки	25
1.3.2 Подготовка и условия поверки	26
1.3.3 Операции поверки	26
1.4 Поверка механических термометров.....	28
1.5 Поверка манометрических термометров	29
1.5.1 Методы и средства поверки	30
1.5.2 Подготовка и условия поверки	30
1.5.3 Операции поверки	31
1.6 Термопреобразователи сопротивления	32
1.6.1 Методы и средства поверки	34
1.6.2 Подготовка и условия поверки	34
1.6.3 Операции поверки	35
1.7 Поверка комплектов термопреобразователей сопротивления	36
1.7.1 Методы и средства поверки	36
1.7.2 Подготовка и условия поверки	36
1.7.3 Операции поверки	36
1.8 Поверка термоэлектрических преобразователей (термопар)	38
1.8.1 Методы и средства поверки	39
1.8.2 Операции поверки	39
1.9 Термисторы	42

1.10 Приборы электрические прямого преобразования для измерения неэлектрических величин (вторичные показывающие средства измерения температуры).....	43
1.10.1 Пирометрические милливольтметры	44
1.10.2 Логометры магнитоэлектрические	45
1.10.3 Автоматические потенциометры и мосты	46
1.10.4 Измерители – регуляторы температуры цифровые	47
1.11 Поверка пирометров.....	51
1.11.1 Классификация пирометров излучения	53
1.11.2 Основные типы пирометров излучения	53
1.12 Поверка теплосчетчиков.....	56
1.12.1 Уравнение теплопередачи	56
1.12.2 Типы теплосчетчиков.....	56
1.12.3 Метрологические характеристики теплосчетчиков.....	57
1.12.4 Поверка единого теплосчетчика с диаметром условного прохода до 20 мм	58
Список рекомендуемой литературы.....	62

ВВЕДЕНИЕ

Поверка теплотехнических средств измерений (общие вопросы поверки теплотехнических средств измерений)

Поверка СИ - поверка средств измерений - выполнение определенных операций, которые необходимо выполнить в целях определения - соответствуют средства измерения заявленным метрологическим требованиям или нет.

Основная цель поверки средств измерений – в строгом соответствии с разработанным и утвержденным порядком осуществить передачу рабочим средствам измерений (РСИ) размер единиц величин от исходных эталонных средств.

При реализации этого установленного порядка поверки в наличии должны быть:

- нормативное обеспечение;
- государственные первичные эталоны единиц величин;
- поверочные схемы;
- технические основы;
- методики поверки;
- обученные специалисты – поверители.

В1. Нормативное обеспечение

На основании статьи 25 Закона Республики Беларусь № 3848-ХІІ от 05.09.1995 "Об обеспечении единства измерений" – поверка средств измерений (СИ) является обязательной.

В ней сказано:

- поверка осуществляется при выпуске средств измерений из производства или ремонта, при их применении и ввозе в Республику Беларусь;
- поверка средств измерений, предназначенных для применения либо применяемых в областях, указанных в Перечне областей в сфере законодательной метрологии, осуществляется на основе договора юридическими лицами, входящими в государственную метрологическую службу;
- поверка средств измерений, предназначенных для применения либо применяемых в областях, не указанных в Перечне областей в сфере законодательной метрологии, осуществляется на основе договора юридическими лицами, указанными в части второй настоящей статьи, или иными юридическими лицами, аккредитованными для ее осуществления;
- периодичность осуществления поверки средств измерений, применяемых в сфере законодательной метрологии, устанавливается Государственным комитетом по стандартизации Республики Беларусь;
- поверка средств измерений, в отношении которых осуществлено утверждение типа средств измерений и которые применяются вне сферы законодательной метрологии, осуществляется юридическими лицами и индивиду-

альными предпринимателями, осуществляющими производство средств измерений, их ремонт, реализацию, применение, передачу в аренду, в том числе прокат, либо на основе договора иными юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями;

- периодичность осуществления поверки средств измерений, применяемых вне сферы законодательной метрологии, устанавливается юридическими лицами, индивидуальными предпринимателями и иными физическими лицами, применяющими эти средства измерений;

- поверка осуществляется непосредственно поверителями. При этом соответствие метрологических характеристик средств измерений метрологическим характеристикам, установленным при утверждении типа средств измерений и указанным в Государственном реестре средств измерений Республики Беларусь, а также соответствие средств измерений требованиям законодательства Республики Беларусь об обеспечении единства измерений удостоверяются поверителями посредством нанесения на средства измерений и (или) на их эксплуатационную документацию знака поверки средств измерений;

- результаты поверки удостоверяются свидетельством о поверке средств измерений;

- средства измерений, в ходе поверки которых выявлено несоответствие их метрологических характеристик метрологическим характеристикам, установленным при утверждении типа средств измерений и указанным в Государственном реестре средств измерений Республики Беларусь, признаются не прошедшими поверку, о чем составляется заключение. Указанные средства измерений могут применяться либо после ремонта и последующей поверки, либо после калибровки.

Казалось бы, что вопрос поверки СИ решен четко и однозначно, но в реальности постоянно возникают вопросы по поверке конкретных СИ на предприятиях. И решают эти вопросы по-разному. Часто на предприятиях одинаковые СИ могут использоваться как в технологическом процессе, так и при измерениях в сфере законодательной метрологии.

Помощь в принятии решения о предоставлении СИ в поверку может оказать следующий документ – Постановление Госстандарта № 17 от 16.03.2007 "Об утверждении перечня областей в сфере законодательной метрологии".

Помимо закона об обеспечении единства измерений на территории Республики Беларусь действует ТКП 8.003-2011 (03220) "Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Поверка средств измерений. Правила проведения работ" который устанавливает правила проведения работ по поверке средств измерений, включая оформление результатов поверки средств измерений, а также требования к методикам поверки средств измерений, графикам поверки средств измерений, рабочим местам поверителей и поверительным клеймам.

В соответствии с требованиями ТКП 8.003-2011:

- поверку средств измерений, предназначенных для применения в сфере законодательной метрологии, проводят юридические лица государственной

метрологической службы (по решению Госстандарта право поверки средств измерений, предназначенных для применения в сфере законодательной метрологии, может быть предоставлено аккредитованным поверочным лабораториям других юридических лиц. Деятельность этих лабораторий осуществляется в соответствии с действующим законодательством и ТНПА по обеспечению единства измерений, утвержденным Госстандартом);

- поверка производится в соответствии с методикой поверки, которая устанавливается при утверждении типа средства измерений организацией проводящей испытания с целью утверждения типа, либо в соответствии с методикой поверки разработанной предприятием-изготовителем;

- результатом поверки является подтверждение пригодности средства измерений к применению или признание средства измерений непригодным к применению (если средство измерений признано непригодным, то оно может применяться после ремонта и положительных результатов поверки).

ТКП 8.003-2011 регламентирует следующие виды поверок:

- первичная (поверке подлежат средства измерений утвержденных типов при выпуске из производства и при ввозе по импорту, при этом результаты первичной поверки заносятся в формуляр (паспорт) средства измерений);

- последующая:

- периодическая (периодической поверке подлежат средства измерений, находящиеся в эксплуатации или на хранении, через установленные межповерочные интервалы, при этом периодичность поверки средств измерений, применяемых в сфере законодательной метрологии, устанавливает Госстандарт);

- внеочередная (внеочередная поверка средств измерений проводится до окончания срока действия периодической поверки в следующих случаях: после ремонта средства измерений, при необходимости подтверждения пригодности средств измерений к применению, при вводе средств измерений в эксплуатацию, отправке (продаже) потребителю, а также перед передачей в аренду, в том числе прокат средств измерений по истечении половины межповерочного интервала на них, при отсутствии доказательств прохождения поверки (повреждения поверительного клейма или пломбы, ограничивающие доступ к определенным частям средств измерений (включая программное обеспечение) в целях предотвращения несанкционированных настройки и вмешательства, которые могут привести к искажению результатов измерений и (или) утери документов, подтверждающих прохождение средством измерений первичной или периодической поверки, при этом внеочередная поверка средств измерений после ремонта проводится в объеме, установленном в методике поверки для первичной поверки);

- инспекционная (инспекционную поверку проводят для выявления пригодности к применению средств измерений при осуществлении государственного метрологического надзора, при этом инспекционную поверку допускается проводить не в полном объеме, предусмотренном методикой поверки);

– экспертная (экспертная поверка проводится при возникновении спорных вопросов по метрологическим характеристикам, исправности средств измерений и пригодности их к применению, при этом данная поверка средств измерений, как правило, проводится поверителем государственной метрологической службы в объеме, установленном в методике поверки для периодической поверки).

В2. Государственные первичные и исходные эталоны единиц величин

Эталоны создаются для воспроизведения и хранения единиц физических величин и передачи их размера средствам измерений, применяемым в стране с целью обеспечения единства измерений.

Эталоны по подчиненности подразделяются на первичные (исходные) и вторичные (подчиненные). Первичные эталоны могут иметь такую разновидность, как специальные первичные эталоны.

Первичные эталоны воспроизводят и хранят единицу величины и передают их размеры с наибольшей точностью, достигнутой в данной области измерения.

Специальные эталоны воспроизводят единицы в условиях, когда прямая передача размера единицы от первичного эталона с требуемой точностью технически не осуществима (высокие и сверхвысокие частоты, малые и большие энергии, давление или температуры, особые состояния вещества и т. п.).

Первичные и специальные эталоны являются исходными для страны, и им присваивают наименования "Национальный эталон" и "Национальный специальный эталон".

К вторичным относят эталоны-копии, эталон сравнения и рабочие эталоны. Эталон-копии предназначены для передачи размера единицы рабочим эталонам. Эталон сравнения предназначен для взаимного сличения эталонов, которые по тем или иным причинам нельзя непосредственно сличать друг с другом.

Рабочие эталоны – для поверки наиболее точных рабочих средств измерений.

По количеству входящих в состав эталона средств измерений эталоны подразделяются на одиночные и групповые, а также на эталонные наборы.

Одиночный эталон состоит из одного средства измерения или одной измерительной установки, обеспечивающих воспроизведение и хранение самостоятельно, без участия других средств того же типа.

К групповому эталону относится совокупность однотипных средств измерений, применяемых как одно целое для повышения точности его метрологической надежности.

Групповые эталоны создаются как постоянного, так и переменного состава. В групповые эталоны переменного состава входят средства измерений, периодически заменяемые новыми.

Эталонный набор представляет собой набор средств измерений, позволя-

ющих хранить и измерять единицу величины в определенном диапазоне, в котором отдельные средства измерений имеют различные номинальные значения и диапазоны измерений.

Государственные эталоны создает, утверждает, хранит и применяет Госстандарт.

В состав государственных эталонов включают средства измерений, при помощи которых:

- хранят и воспроизводят единицу;
- контролируют условия измерений, неизменность воспроизводимого и хранимого размера единицы;
- осуществляют передачу размера единицы.

В состав вторичных центров включают средства измерений, при помощи которых хранят и контролируют условия хранения, передают размер единицы. Государственные эталоны подлежат международным сличениям. Для наблюдения за правильным хранением, сличением и исследованием эталонов назначаются ученые хранители эталонов.

На территории Республики Беларусь в настоящее время созданы и эксплуатируются следующие эталоны в области теплотехнических величин:

Национальный эталон единицы температуры – Кельвин

Состав эталона:

эталон состоит из комплекса средств измерений:

➤ ампул реперных точек Международной температурной шкалы 1990 года (МТШ-90):

- тройной точки ртути (- 38,8344 °С);
- тройной точки воды (0,01 °С);
- точки плавления галлия (29,7646 °С);
- точек затвердевания: индия (156,5985 °С), олова (231,928 °С), цинка (419,527 °С), алюминия (660,323 °С), серебра (961,78 °С)

➤ термостатирующих устройств для воспроизведения и поддержания ампул реперных точек МТШ-90:

- термостата Fluke 7341 для поддержания тройной точки ртути;
- термостата низкотемпературного "Криостат ТТВ" – для поддержания ампулы тройной точки воды;
- устройства термостатирующего "Цинк-5" – для поддержания ампулы точки затвердевания цинка; устройств термостатирующих: "Термостат А3" – для поддержания реперных точек затвердевания олова, индия и точки плавления галлия;
- термостата Fluke 9115А – для поддержания точки затвердевания алюминия;
- термостата Fluke 9116А – для поддержания точки затвердевания серебра;

- комплектов эталонных мер электрического сопротивления Tinsley 10 Ом, 100 Ом, 1000 Ом;
- моста термометрического F18;
- группы платиновых термометров сопротивления: ПТС-10, Tinsley 250 Ом;
- прецизионного измерителя температуры Super Thermometer 1590 в комплекте с эталонным платиновым термометром сопротивления 25 Ом.

Метрологические характеристики:

- диапазон воспроизведения температур – от минус 38,8344 до 961,78 °С;
- эталон обеспечивает воспроизведение единицы температуры – кельвина (и передачу ее размера) со средним квадратичным отклонением результата измерений S , не превышающим в диапазоне от 234,3156 до 273,16 К:

$0,25 \cdot 10^{-3}$ К при 234,3156 К;

$0,05 \cdot 10^{-3}$ К при 273,16 К;

- неисключенная систематическая погрешность θ не превышает:

$0,70 \cdot 10^{-3}$ К при 234,3156 К;

$0,11 \cdot 10^{-3}$ К при 273,16 К;

- стандартная неопределенность, оцениваемая по типу А, u_A не превышает:

$0,25 \cdot 10^{-3}$ К при 234,3156 К;

$0,05 \cdot 10^{-3}$ К при 273,16 К;

- стандартная неопределенность, оцениваемая по типу В, u_B не превышает:

$0,50 \cdot 10^{-3}$ К при 234,3156 К;

$0,08 \cdot 10^{-3}$ К при 273,16 К;

- в диапазоне от 0,01 до 961,78 °С со средним квадратичным отклонением результата измерений S , не превышающим:

$0,05 \cdot 10^{-3}$ °С при 0,01 °С;

$1,28 \cdot 10^{-3}$ °С при 961,78 °С;

- неисключенная систематическая погрешность θ не превышает:

$0,11 \cdot 10^{-3}$ °С при 0,01 °С;

$2,3 \cdot 10^{-3}$ °С при 961,78 °С;

- стандартная неопределенность, оцениваемая по типу А, u_A не превышает:

$0,05 \cdot 10^{-3}$ °С при 0,01 °С;

$1,28 \cdot 10^{-3}$ °С при 961,78 °С;

- стандартная неопределенность, оцениваемая по типу В, u_B не превышает:

$0,08 \cdot 10^{-3}$ °С при 0,01 °С;

$1,64 \cdot 10^{-3}$ °С при 961,78 °С.

Структурная схема эталона представлена на рисунке В.2.1.

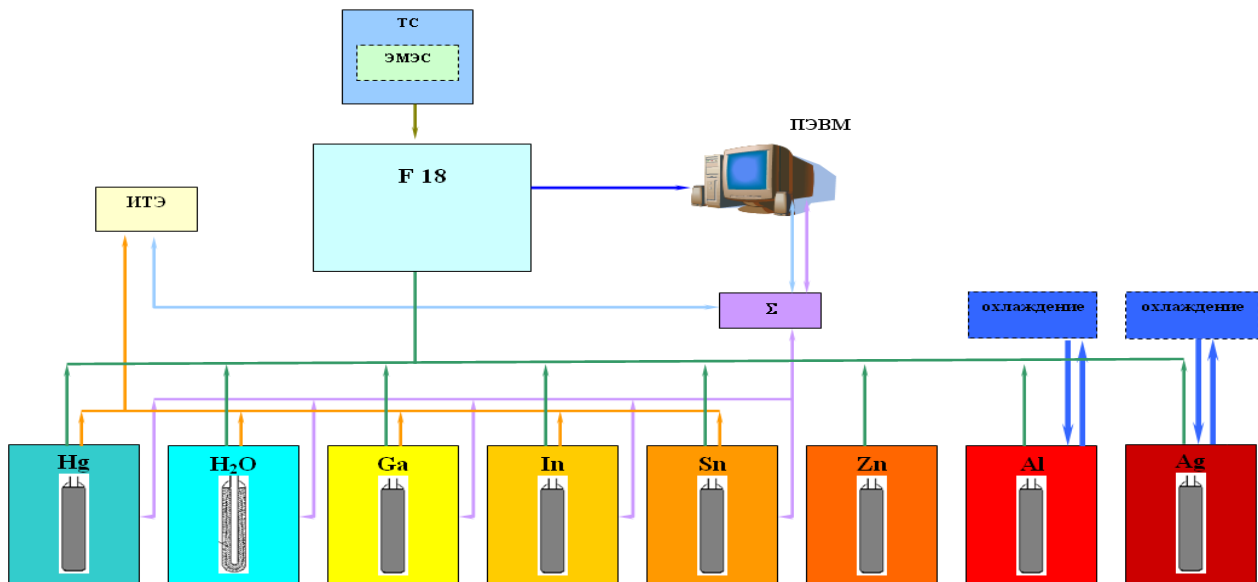


Рисунок В.2.1

Национальный эталон единицы теплопроводности

Состав эталона:

- эталонные установки А1 и А2;
- меры теплопроводности однозначные из полистирола вспененного "Пеноплэкс" МТО 01.01.006 (4 штуки);
- меры теплопроводности однозначные из органического стекла (ГОСТ 17622-72) МТО 01.01.001 (4 штуки);
- меры теплопроводности однозначные пластинчатые КВГ-1 (10 штук);
- мера теплопроводности многозначная МТО 01.01.010 (1 штука).

Состав эталонных установок:

- модуль центрального и охранного нагревателей;
- термостат жидкостной LAUDA PROLINE RP 845;
- мультиметр KEITHLEY 2700;
- малогабаритная модульная система питания Agilent Technologies N6700B;
- регуляторы-измерители температуры ПОЛИКОН 812.

Метрологические характеристики:

- диапазон воспроизведения единицы теплопроводности от 0,02 до 5,0 Вт/(м·К);
- диапазон температур от 250 до 350 К;
- неисключенная систематическая погрешность: для установки А1 – 0,6%; для установки А 2 – 0,7%.
- расширенная неопределенность U_p при коэффициенте охвата $k=2$ – 1%.

Внешний вид эталонной установки А-1 представлен на рисунке В.2.2.



Рисунок В.2.2

Национальный эталон единицы энергии сгорания – Джоуль

Состав эталона:

- диапазон температур от 250 до 350 К;
- жидкостный бомбовый калориметр – компаратор с изотермической оболочкой;
- бензойная кислота марки К-1;
- климатическая камера;
- установка для заполнения кислородом калориметрической бомбы;
- пресс для брикетирования бензойной кислоты;
- весы.

Основными элементами эталона являются жидкостный бомбовый калориметр и бензойная кислота марки К-1.

Метрологические характеристики:

- диапазон измерения или номинальное значение от 5 до 35 кДж;
- среднее квадратическое отклонение результата измерений S_0 при N независимых измерениях $4 \cdot 10^{-5}$ ($N=7$);
- неисключенная систематическая погрешность $5 \cdot 10^{-5}$;
- относительная стандартная неопределенность, оцененная по типу А, $u_{0A} 4 \cdot 10^{-5}$;
- относительная стандартная неопределенность, оцененная по типу В, $u_{0B} 2,3 \cdot 10^{-5}$;
- относительная расширенная неопределенность при коэффициенте охвата $k=2$, $U_p 9 \cdot 10^{-5}$.

Внешний вид эталона представлен на рисунке В.2.3.



Рисунок В.2.3

Исходный эталон единицы давления – Паскаль

Состав эталона:

- набор грузопоршневых манометров с диапазоном измерения от 0,04 до 0,6 МПа;
- набор грузопоршневых манометров с диапазоном измерения от 0,1 до 6 МПа;
- набор грузопоршневых манометров с диапазоном измерения от 1 до 60 МПа;
- установки для создания и поддержания давления и передачи размера единицы;
- наборы специальных грузов

Метрологические характеристики:

- диапазон давлений:
- от 0,04 до 0,6 МПа;
- от 0,1 до 6 МПа;
- от 1 до 60 МПа;
- СКО, не более $2 \cdot 10^{-5}$.

Внешний вид эталона представлен на рисунке В.2.4.



Рисунок В.2.4

Исходный эталон единицы давления для разности давлений

Состав эталона:

- микроманометр переносной ПМКМ с диапазоном измерения от 100 до 4000 Па;
- микрометр окулярный винтовой МОВ-1-15Х с диапазоном измерения от 0 до 8 мм;
- меры длины концевые плоскопараллельные, номинальное значение длин от 10 до 100 мм;
- меры длины концевые плоскопараллельные, номинальное значение длин 200 и 300 мм;
- индикатор многооборотный с диапазоном измерения от 0 до 1 мм;
- пресс сильфонный для создания и поддержания давления и передачи размера единицы

Метрологические характеристики:

- диапазон давления для разности давлений – от 100 до 4000 Па;
- неисключенная систематическая погрешность не превышает 0,4 Па;
- СКО не превышает 0,1 Па

Внешний вид эталона представлен на рисунке В.2.5.

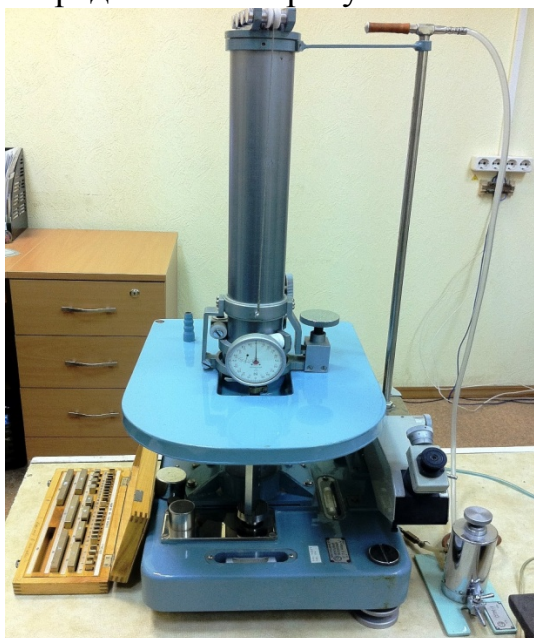


Рисунок В.2.5

Исходный эталон единицы давления – Паскаль в области абсолютного давления

Состав эталона:

- пневматический грузопоршневой манометр модели А6100;
- спецгрузы номинального значения от 3 до 7000 кПа;
- эталонный вакуумметр VT-6B03;

- вакуумный насос GQJ 56C17F504D P;
- двигатель для вращения спецгрузов;
- датчик для измерения давления в камере пневматического грузопоршневого манометра абсолютного давления;
- компьютер для автоматической обработки результатов поверки и калибровки средств измерений.

Метрологические характеристики:

- диапазон измерения абсолютного давления от 3 до 7 000 кПа, в том числе
 - низкий (L) – от 3 до 200 кПа;
 - средний (M) – от 25 до 2000 кПа;
 - высокий (H) – от 2000 до 7000 кПа;
- дискретность задания давления:
 - низкий (L) – 0,5 кПа;
 - средний (M) – 1,0 кПа;
 - высокий (H) – 5,0 кПа;
- предел допускаемой относительной погрешности: 0,005 %;
- рабочая среда: азот, воздух.

Внешний вид эталона представлен на рисунке В.2.6.



Рисунок В.2.6

Исходный эталон единицы массового и объемного расхода жидкости (воды)

Состав эталона:

- рабочий стол с двумя ветками измерительных трубопроводов;
- генераторы потока на базе насосов фирмы Grundfoss;
- напорный бак постоянного уровня;

- три весоизмерительные устройства на базе весов фирмы Mettler Toledo;
- четыре устройства переключения потока;
- три эталонные массовые расходомеры Micro Motion серии ELITE;
- регуляторы расхода фирмы Siemens;
- частотные приводы управления насосами фирмы Danfoss серии VLT 6000 HVAC;
- автоматизированные измерительные системы (АИС) и автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУТП) на базе программируемых промышленных контроллеров фирмы iCPcon (Тайвань);
- система водоподготовки и смены воды;
- система обеспечения сжатым воздухом;
- система поддержания микроклимата.

Метрологические характеристики:

- номинальный диаметр исследуемых расходомеров любых типов DN: от DN10 до DN50 включительно;
 - реализуемый метод: Статическое взвешивание
 - значение (или диапазон значений) величины, воспроизводимой эталоном
 - от 60000 кг/ч до 7000 кг/ч включительно
 - неисключенная систематическая погрешность Θ : 0,028 %;
 - случайная погрешность S: 0,014 %;
 - расширенная неопределенность U (k = 2, P = 95 %): 0,029 %;
 - от 7000 кг/ч до 10 кг/ч включительно
 - неисключенная систематическая погрешность Θ : 0,031 %;
 - случайная погрешность S: 0,023 %;
 - расширенная неопределенность U (k = 2, P = 95 %): 0,031 %;
 - от 10 кг/ч до 1 кг/ч включительно;
 - неисключенная систематическая погрешность Θ : 0,065 %;
 - случайная погрешность S: 0,019 %;
 - расширенная неопределенность U (k = 2, P = 95 %): 0,038 %;
 - от 60 м³/ч до 7 м³/ч включительно;
 - неисключенная систематическая погрешность Θ : 0,044 %;
 - случайная погрешность S: 0,014 %;
 - расширенная неопределенность U (k = 2, P = 95 %): 0,044 %;
 - от 7 м³/ч до 0,1 м³/ч включительно;
 - неисключенная систематическая погрешность Θ : 0,046 %
 - случайная погрешность S: 0,023 %;
 - расширенная неопределенность U (k = 2, P = 95 %): 0,031 %;
 - от 0,1 м³/ч до 0,001 м³/ч включительно;
 - неисключенная систематическая погрешность Θ : 0,066 %;
 - случайная погрешность S: 0,018 %;
 - расширенная неопределенность U (k = 2, P = 95 %): 0,045 %.
- Внешний вид эталона представлен на рисунке В.2.7.

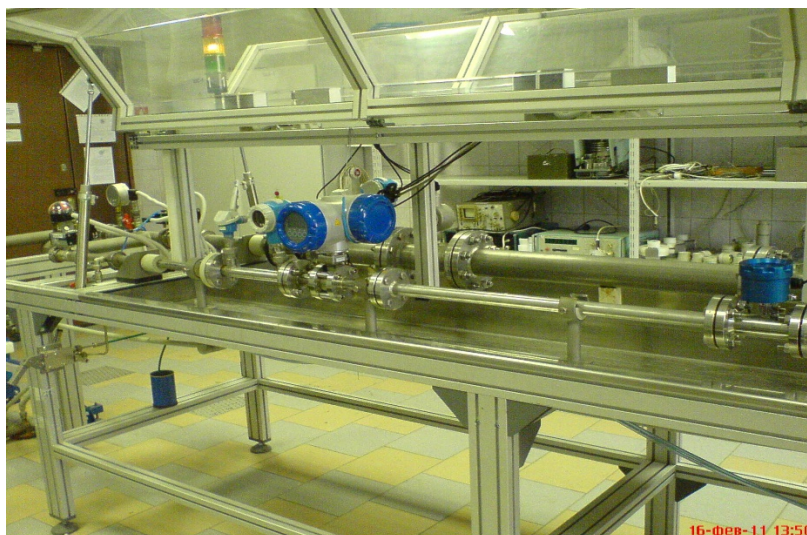


Рисунок В.2.7

В3. Поверочные схемы

Технической основой обеспечения единства измерений являются:

- воспроизведение единиц физических величин;
- передача информации о размере единицы от эталонов рабочим средствам измерений;
- метрологическая аттестация и поверка средств измерений.

Передача информации о размере единицы от эталонов рабочим средствам измерений осуществляется при помощи поверочных схем.

Поверочная схема – это утвержденный в установленном порядке документ, регламентирующий средства, методы и точность передачи размера единицы физической величины от государственного эталона рабочим средствам измерений.

Поверочные схемы в зависимости от области распространения подразделяются на следующие виды:

- межгосударственные поверочные схемы (утверждаются Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации);
- государственные поверочные схемы (распространяются на все СИ данной физической величины, применяемые в стране, т. е. устанавливают порядок передачи информации о размере единицы в масштабе страны);
- локальные поверочные схемы (распространяется на СИ, подлежащие поверке в данном предприятии, ведомстве, республике, регионе и др., в соответствии со своей областью распространения локальная поверочная схема может называться поверочной схемой предприятия, ведомственной, республиканской, региональной и т.д., при этом локальные поверочные схемы не должны противоречить государственным поверочным схемам для СИ тех же физических величин и должны конкретизировать требования государственных поверочных схем применительно к своей области распространения).

Содержание и построение поверочных схем устанавливает ГОСТ 8.061-80.

На чертеже поверочной схемы указывают:

- наименование групп СИ, номинальные значения или диапазоны значений физических величин, диапазоны важнейших условий измерений, определяющих порядок передачи размера единицы;
- наименование методов передачи размера единиц;
- соподчинение СИ в системе передачи размера единицы;
- допускаемые значения погрешностей СИ;
- допускаемые значения погрешностей методов.

Методы передачи размера единиц, указываемые на поверочных схемах, с целью унификации должны соответствовать одному из следующих общих методов:

- непосредственное сличение (т.е. без средств сравнения);
- сличение при помощи компаратора (т.е. при помощи средств сравнения);
- метод прямых измерений;
- метод косвенных измерений.

На территории Республики Беларусь действуют следующие поверочные схемы:

- ГОСТ 8.017 "Государственная система обеспечения единства измерений. Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерения избыточного давления до 250 МПа";
- ГОСТ 8.142 "Государственная система обеспечения единства измерений. Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений массового расхода жидкости в диапазоне от $1 \cdot 10^{-3}$ до $2 \cdot 10^3$ кг/с";
- ГОСТ 8.187 "Государственная система обеспечения единства измерений. Государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерения разности давлений до $4 \cdot 10^4$ Па";
- ГОСТ 8.223 "Государственная система обеспечения единства измерений. Государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерения абсолютного давления в диапазон от $2,7 \cdot 10^2$ до $4000 \cdot 10^2$ Па";
- ГОСТ 8.373 "Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений объемного и массового расхода (объема и массы) нефти и нефтепродуктов";
- ГОСТ 8.374 "Государственная система обеспечения единства измерений. Государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений объемного расхода воды в диапазоне от $2,8 \cdot 10^{-8}$ до $2 \cdot 10^{-2}$ м³/с";
- ГОСТ 8.510 "Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений объема и массы жидкости";

- ГОСТ 8.558 "Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений температуры"

В4. Техническая основа

Технической основой метрологического обеспечения являются:

- система государственных эталонов единиц физических величин, обеспечивающих воспроизведение единиц с наивысшей точностью;
- система передачи размеров единиц физических величин от первичных эталонов с помощью образцовых СИ и других средств поверки;
- система разработки, постановки на производство и выпуска в обращение рабочих СИ, обеспечивающих определение с требуемой точностью характеристик продукции, технических процессов и других объектов в сфере производства, при НИР и других видах деятельности;
- система обязательных государственных испытаний СИ, предназначенных для серийного и массового производства и ввоза их из-за границы, обеспечивающая единообразие СИ при разработке и выпуске в обращение;
- система обязательной государственной поверки или МА СИ;
- система стандартных образцов (СО) состава и свойств вещества материалов, обеспечивающих воспроизведение единиц величин, характеризующих состав и свойства веществ и материалов; система стандартных справочных данных (ССД) о физических константах и свойствах веществ и материалов, обеспечивающая достоверными данными НИР, разработку технологических процессов и конструкций изделий, процессов получения и использования материалов.

В5. Методики поверки

К основным методам поверки средств измерений относятся:

- непосредственное сличение рабочих СИ с эталонным средством измерения или меры с эталонной мерой;
- измерение эталонным средством измерения единицы физической величины, воспроизводимой поверяемой мерой;
- прямое измерение поверяемым средством измерения единицы физической величины, воспроизводимой эталонным средством измерения;
- сличение эталонного и поверяемого средства измерения с помощью компаратора;
- поверка с применением косвенных измерений единицы физической величины.

Метод непосредственного сличения поверяемого средства измерения с эталонным средством измерения – наиболее распространенный метод поверки.

Основой метода является проведение одновременных измерений одного и того же значения единицы физической величины поверяемым и эталонным средством измерения.

Основными достоинствами метода непосредственных сличений являются простота, наглядность, возможность применения автоматической поверки.

Прямое измерение поверяемым средством измерения величины, воспроизводимой эталонном средством измерения, применяется в случае, когда имеется возможность с помощью эталонного средства измерения произвести сличение и определить погрешность измерения поверяемого прибора в пределах измерений.

Сличение эталонного и поверяемого средства измерения с помощью компаратора выполняют путем введения в схему поверки некоторого промежуточного звена – компаратора, позволяющего сравнивать две однородные величины.

Например, при поверке эталонных платиновых термопреобразователей сопротивления в качестве компаратора используют термометрические мосты. Сличение средств измерений с помощью компаратора может осуществляться методами противопоставления или замещения. Общим для этих методов является выработка сигнала о наличии разности измеряемых величин. Также различают нулевой метод, когда путем подбора показание компаратора сводят к нулю.

Поверка с применением косвенных измерений позволяет находить размеры с помощью поверяемого средства измерения прямыми измерениями нескольких эталонных величин, связанных с искомой величиной определенной зависимостью. Метод применяется в том случае, когда действительные значения величин, воспроизводимые эталонными и поверяемыми средствами, невозможно определить прямыми измерениями или, когда косвенные измерения просты или более точны по сравнению с прямыми измерениями.

ЧАСТЬ 1. ПОВЕРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

1.1 Основные технические нормативные правовые акты и другие документы СОЕИ, применяемые при поверке СИ температуры

Основные требования к передаче размера единиц, установлены в:

- ГОСТ 8.558-2009 "Государственная поверочная схема для средств измерений температуры";
- ГОСТ 6651-2009 " Государственная система обеспечения единства измерений. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний";
- ГОСТ 7164 "Стекло термометрическое. Марки";
- ГОСТ 6616-94 "Преобразователи термоэлектрические. Общие технические условия";
- ГОСТ 7164-78" Приборы автоматические следящего уравнивания ГСП. Общие технические условия";
- ГОСТ 8335-96 "Пирометры визуальные с исчезающей нитью. Общие технические условия";
- ГОСТ 10627-71 "Телескопы пирометров суммарного излучения. Градуировочные таблицы";
- ГОСТ 13646 -68 "Термометры стеклянные ртутные для точных измерений. Технические условия";
- ГОСТ 13881-68 "Пирометры термоэлектрические. Методы и средства поверки";
- ГОСТ 28243-96 "Пирометры. Общие технические требования";
- ГОСТ 28498-90 "Термометры жидкостные стеклянные. Общие технические требования и методы испытаний";
- ГОСТ 26331-94 "Соединение первичных преобразователей температуры с технологическими трубопроводами и аппаратами. Типы и условные размеры. Общие технические требования";
- СТБ EN 60751-2011 "Термопреобразователи сопротивления платиновые промышленные";
- СТБ ГОСТ Р 8.585-2004 "Термопары. Номинальные технические характеристики Преобразования";
- СТБ EN12470-1-2014 "Термометры жидкометаллические стеклянные максимальные. Требования и методы испытаний";
- СТБ EN 12470-5- 2014 "Требования к термометрам ушным инфракрасным максимальным";
- ГОСТ Р 8.566-2012 "Излучатели в виде моделей абсолютно черного тела. Методика поверки и калибровки";
- СТБ EN 1434-1-2011 "Теплосчетчики. Часть 1. Общие требования";
- СТБ EN 1434-2-2011 "Теплосчетчики. Часть 2. Требования к конструкции";

- СТБ EN 1434-4-2011 "Теплосчетчики. Часть 4. Испытания с целью утверждения типа";
- СТБ EN 1434-5-2011 "Теплосчетчики. Часть 5. Первичная поверка".

1.2. Основные понятия, термины и определения, единицы температуры

Температура представляет собой величину, позволяющую описывать тепловое равновесие между двумя системами, находящимися в тепловом контакте.

Измерить температуру какого-либо тела непосредственно, т.е. так, как измеряют другие физические величины, например, вес, не предоставляется возможным. Определение температуры вещества производят посредством наблюдения за изменением физических свойств другого, так называемого термометрического (рабочего) вещества, которое будучи приведено в соприкосновение с нагретым телом, вступает с ним через некоторое время в тепловое равновесие. Такой метод дает не абсолютное значение температуры нагретой среды, а лишь разность температур относительно исходной температуры рабочего вещества, условно принятой за нуль. На результат измерений влияют свойства рабочего вещества, такие, как: объемное расширение, изменение давления в замкнутом объеме, изменение электрического сопротивления, возникновение термоэлектродвижущей силы и интенсивность излучения.

Пользуясь вторым законом термодинамики, английский физик Кельвин в 1848 году предложил совершенно точную и равномерную, не зависящую от свойств рабочего вещества шкалу, получившую название термодинамической температурной шкалы. Последняя основана на уравнении термодинамики для обратимого процесса (цикла Карно), имеющем вид

$$Q_1 / Q_2 = T_1 / T_2 \quad (1.1)$$

Это уравнение показывает, что при работе теплового двигателя по обратимому циклу отношение количества тепла Q_1 , получаемого рабочим веществом от нагревателя, к количеству тепла Q_2 , отдаваемого им холодильнику пропорционально только отношению температур T_1 и T_2 нагревателя и холодильника. Закон прямой пропорциональности здесь выбран произвольно. Принципиально в это уравнение может входить любая функция, которая и будет характеризовать термодинамическую шкалу. Линейный вид функции выбран по соображениям максимальной простоты, а также для исторической преемственности. Приняв разность между термодинамической температурой кипения воды и температурой таяния льда равной точно 100 градусам, Кельвин получил шкалу, совпадающую с уже существовавшей стоградусовой шкалой газового термометра. Именно такую шкалу, удовлетворяющую приведенному выше уравнению, принято называть в настоящее время термодинамической температурной шкалой. Однако, практически указанный метод измерения температуры использован быть не может, так как нельзя осуществить обратимый цикл работы двигателя.

Термодинамическая шкала совпадает со шкалой газового термометра, заполненного "идеальным" газом (ближе всего водород, гелий, азот), обладающим пропорциональным изменением давления в зависимости от температуры.

Термодинамическая шкала температур является чисто теоретической. Для ее практического использования в 1927 году было достигнуто международное соглашение о практической температурной шкале, в связи с тем, что газовый термометр никогда не получал широкого применения, поскольку использование его трудоемко и требует больших затрат времени. Более того, даже для лучших газовых термометров воспроизводимость оказывается хуже, чем для платиновых термометров в большей части температурного интервала. Газовые термометры использовались для построения практических температурных шкал, которые совершенствовались практически каждые 20 лет:

- Международная температурная шкала 1927г. (МТШ-27);
- Международная температурная шкала 1948г. (МТШ-48);
- Международная практическая температурная шкала 1948 г. (МПТШ-48), редакция 1960 г.;
- Международная практическая температурная шкала 1968 г. (МПТШ-68);
- Международная практическая температурная шкала 1968 г. (МПТШ-68), редакция 1975 г.;
- Временная температурная шкала 1976г. в диапазоне от 0,5 до 30К (ВТШ-76).

В соответствии с резолюцией Международного комитета мер и весов, принятой на сессии в октябре 1989 года, с 1 января 1990 года единство измерений температуры в мире должно осуществляться на основе Международной температурной шкалы 1990 г. (МТШ-90).

МТШ-90 охватывает область от 0,65 К до наивысшей температуры, практически доступной измерению в соответствии с законом излучения Планка для монохроматического излучения. МТШ-90 включает в себя ряд диапазонов и поддиапазонов, в каждом из которых установлено свое определение температуры T_{90} .

Единицей основной физической величины термодинамической температуры, символ T , является кельвин, символ К, определенный как $1/273,16$ часть термодинамической температуры тройной точки воды.

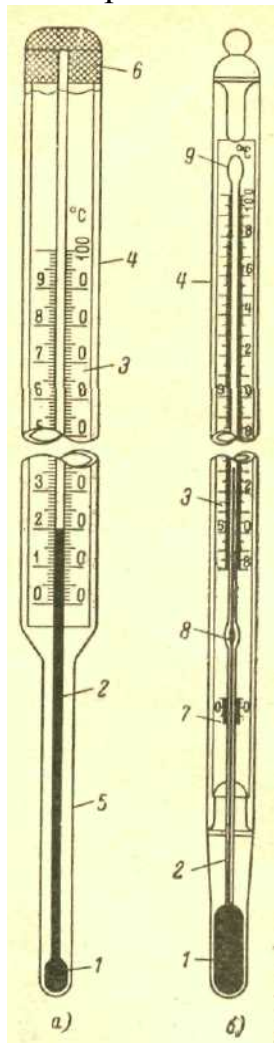
Принимая во внимание способ определения предшествующих температурных шкал, сохранена практика выражения температуры в виде разности ее значения относительно температуры $273,15$ К – точки плавления льда. Выраженная таким образом термодинамическая температура T известна как температура Цельсия, символ t , и определяется как

$$t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273,15 \quad (1.2)$$

Единицей температуры Цельсия является градус Цельсия, символ $^{\circ}\text{C}$, размер которого равен кельвину по определению. Разность температур может быть выражена в кельвинах или в градусах Цельсия.

1.3 Поверка стеклянных жидкостных термометров

Термометры расширения основаны на свойстве тел изменять под действием температуры объем, а следовательно и линейные размеры. На этом принципе основано устройство жидкостных стеклянных и механических термометров.



Наиболее широко используются жидкостные стеклянные термометры. Для заполнения жидкостных термометров применяют ртуть, толуол, этиловый спирт, керосин, пентан и т.д.

Термометры стеклянные жидкостные по назначению и области применения могут быть разделены на следующие группы: эталонные, лабораторные и специального назначения, технические, метеорологические термометры для сельского хозяйства, термометры бытовые.

Конструктивные формы стеклянных жидкостных термометров разнообразны, однако, можно выделить два основных типа: палочные и со вложенной шкалой.

Палочные термометры имеют массивный капилляр с внешним диаметром 6-8 мм. Шкала наносится непосредственно на внешней поверхности капилляра.

У термометров со вложенной шкалой шкала сделана на прямоугольной пластине из стекла молочного цвета, помещенной позади капиллярной трубки, припаянной к резервуару цилиндрической формы.

В зависимости от метода градуировки и применения стеклянные жидкостные термометры делятся на две группы: термометры градуируемые и применяемые при полном погружении; термометры градуируемые и применяемые при неполном погружении. Основные элементы термометров приведены на рисунке 1.1.

Рисунок 1.1

где а – технический; б – лабораторный с безнулевой шкалой (рабочее вещество – ртуть); 1 – резервуар; 2 – капилляр; 3 – шкала; 4 – оболочка; 5 – нижняя часть; 6 – пробка, залитая гипсом; 7 – дополнительная шкала; 8 и 9 – расширения капилляра.

Существует три категории стеклянных термометров, различающихся глубиной погружения при измерении. Это, во-первых, термометры полного погружения, у которых погружается резервуар и корпус до уровня, например, ртути. У этих термометров погружение меняется с температурой и поэтому термометр устанавливается перед каждым отсчетом. Во-вторых, это термометры частичного погружения, у которых погружается резервуар и заданная часть корпуса. Для этих термометров вводится поправка на "выступающий столбик".

Она зависит от температуры части ртути, выступающей над отметкой погружения. Такую поправку нужно вводить и для термометров полного погружения, если ртутный столбик оказывается выше уровня жидкости. И, в-третьих, это термометры для работы при полном погружении ниже уровня жидкости целиком.

Термометры эталонные, лабораторные погружаются до отсчитываемого деления. Допускаемые погрешности показаний лабораторных термометров нормируются в зависимости от цены деления и температурного интервала шкалы.

Ртутные технические термометры предназначены для области измерений температуры от 243 К (-30 °С) до 600 °С, а термометры с органической жидкостью от 183 К (-90 °С) до 30 °С и от 213 К (-60 °С) до 200 °С. Их изготавливают только со вложенной шкалой, прямыми и угловыми. Нижняя часть выполняется от 66 до 2000 мм. Технические термометры градуируются и поверяются при погружении всей нижней части. Основная погрешность – в зависимости от цены деления.

К термометрам расширения относятся также термометры стеклянные медицинские, требования к которым устанавливает СТБ EN 12470-1-2014 Термометры медицинские. Часть 1. Термометры жидкометаллические стеклянные максимальные. Требования и методы испытаний. Подлежат первичной поверке при выпуске из производства.

Среди термометров специального назначения особое место занимают термометры, предназначенные для точных измерений малых температурных разностей в относительно широком температурном интервале. Чтобы избежать применения чрезмерно длинных термометров с вытекающими из этого трудностями конструирования и работы, изготавливаются термометры с изменяемыми пределами измерения.

Наиболее распространённым прибором такого типа является термометр Бекмана, но существуют также термометры пипеточного типа. В этих приборах на верхнем конце капилляра имеется резервуар, куда переливается большее или меньшее количество ртути, что изменяет нуль термометра. В результате растянутая шкала, перекрывающая пять или шесть градусов Цельсия, может использоваться в широком интервале температур. Такие шкалы могут наноситься с интервалом в 0,01 °С и обеспечивают точность измерения разностей температур в 2 мК.

1.3.1 Методы и средства поверки

Поверка термометров стеклянных жидкостных рабочих проводится согласно ГОСТ 8.279-78.

При проведении поверки необходимо применять следующие эталонные средства поверки:

– измеритель температуры эталонный, эталонные ртутные стеклянные термометры 1-го, 2-го, 3-го разрядов.

Вспомогательные средства поверки:

- паровой термостат типа ТП-5;
- нулевой термостат ТН-12;
- криостат (от 193 К (-80 °С) до 0 °С);
- водяной термостат (от 273 К (-5 °С) до 95 °С);
- масляные термостаты (от 95 °С до 300 °С);
- термостат высокотемпературный (от 300 °С до 600 °С).

1.3.2 Подготовка и условия поверки

Поверяемые и эталонные термометры перед поверкой должны находиться при температуре 20 ± 5 °С не менее 24 ч.

1.3.3 Операции поверки

➤ **Определение метрологических характеристик.** При определении поправок поверку проводят, переходя от более низких температур к высоким, начиная с первой числовой отметки шкалы.

Проверяемые градусные отметки в зависимости от цены деления шкалы выбирают по таблице 1.1.

Таблица 1.1

Цена деления шкалы, °С	Числа, целыми кратными которым выбирают числа, соответствующие проверяемой градусной отметке шкалы
0,01	1
0,02	2
0,05	5
0,1	10
0,2	10
0,5	50
1,0; 2,0; 5,0; 10,0	100

Вид и разряд эталонного термометра выбирают в соответствии с поверочными схемами по ГОСТ 8.558-2009.

Цена деления эталонного термометра должна быть меньше или равна цене деления поверяемого.

Положение нулевой точки определяют при температуре тройной точки воды до и после проведения поверки.

При отсчитывании показаний эталонных и поверяемых термометров глаз поверителя должен находиться на уровне горизонтальной, касательной к мениску, так, чтобы штрих шкалы в точке отсчитывания был видим прямолинейным.

Отсчитывание показаний ртутных термометров проводят по касательной к вершине выпуклого мениска, а термометров с органическим наполнителем – по касательной к низшей точке вогнутого мениска.

При поверке в термостате поверяемый термометр погружают в рабочую

среду на глубину, указанную на нем. Если указание о глубине погружения на термометре отсутствует, то поверку проводят при высоте выступающего столбика не более 10 мм. В тех случаях, когда невозможно обеспечить требуемую глубину погружения, при измерениях учитывают поправку на выступающий столбик

$$\Delta t_{ст} = \gamma(t - t_1) n, \quad (1.3)$$

где γ – коэффициент видимого теплового расширения термометрической жидкости в стекле;

t – температура в термостате, определенная образцовым термометром, °С;

t_1 – средняя температура выступающего столбика жидкости, определенная вспомогательным термометром;

n – число градусных отметок, соответствующее высоте выступающего столбика

Для термометров, предназначенных для работы с неполным погружением, если средняя температура при поверке отличается от средней температуры выступающего столбика при градуировке, то поправку вычисляют по формуле

$$\Delta = \gamma(t' - t'')n \quad (1.4)$$

где t' – температура выступающего столбика при градуировке;

t'' – температура выступающего столбика при поверке.

При поверке в термостате показания поверяемого термометра отсчитывают после выдержки его не менее 10 мин при температуре не ниже температуры, соответствующей каждой поверяемой отметке, более чем на пятикратное значение цены деления шкалы эталонного термометра. Отсчитывание проводят при постоянной температуре или равномерном повышении температуры в термостате.

Для каждой поверяемой отметки у термометров с ценой деления 0,05 °С и менее проводят шесть отсчетов с точностью до 0,1 цены деления, у остальных термометров – два отсчитывания с точностью до 0,2 цены деления шкалы.

К техническим термометрам относятся также электроконтактные, которые применяются для целей сигнализации и регулирования (в простейших схемах) температуры в лабораторных и промышленных условиях.

Электроконтактные термометры изготавливают с постоянными впаянными контактами или с одним подвижным контактом, который можно перемещать внутри капилляра при помощи специального магнитного устройства. Допускаемая погрешность показаний по шкале термометра не должна превышать цены наименьшего деления.

Результаты измерений заносят в протокол в соответствии с Приложением 3 ГОСТ 8.279-78.

1.4 Поверка механических термометров

К механическим термометрам относятся дилатометрические (стержневые) и биметаллические термометры, действие которых основано на относительном удлинении под влиянием температуры двух твердых тел, имеющих различные температурные коэффициенты линейного расширения.

Зависимость длины L твердого тела от его температуры t выражается равенством

$$L = L_0(1 + \alpha t), \quad (1.5)$$

где L_0 - длина тела при температуре 0°C ;

α - средний температурный коэффициент линейного расширения тела, град^{-1} .

В качестве материалов с большим коэффициентом линейного расширения наиболее часто применяются медь, латунь, алюминий, с малым коэффициентом расширения инвар, кварц, фарфор.

Принцип действия биметаллических термометров основан на различии температурных коэффициентов линейного расширения металлических пластин (например, из инвара и латуни, из инвара и стали), сваренных (спаянных, склепанных) между собой по всей плоскости соприкосновения. Нагревание приводит к деформации такой термобиметаллической пластины; последняя изгибается в сторону металла с меньшим коэффициентом линейного расширения (инвара) (рисунок 1.2).

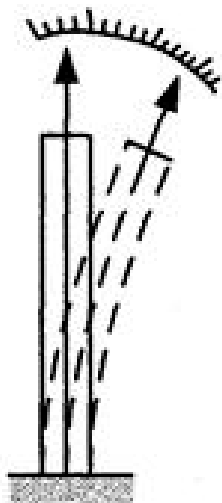


Рисунок 1.2.

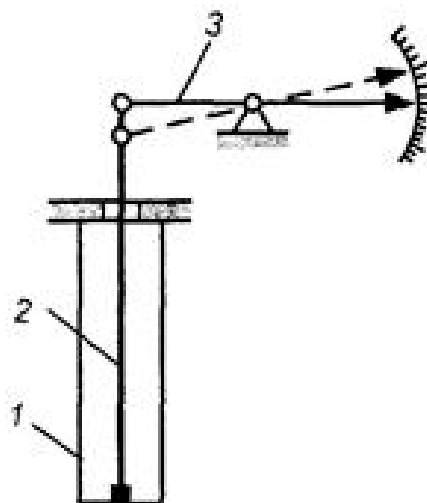


Рисунок 1.3

Схема дилатометрического термометра представлена на рисунке 1.3. Термометр состоит из трубки 1, изготовленной из металла с большим коэффициентом линейного расширения (меди, латуни, алюминия), и стержня 2 из материала с малым коэффициентом линейного расширения (инвара, фарфора). Один конец трубки крепится неподвижно к корпусу прибора, а к другому жестко прикреплен стержень. Сама трубка помещается в среду, температуру кото-

рой измеряют. Изменение температуры среды приводит к изменению длины трубки, а длина стержня остается практически постоянной. Это приводит к перемещению стержня, который с помощью рычага 3 перемещает стрелку по шкале прибора.

Данные термометры находят широкое применение в качестве датчиков в системах регулирования температуры, но в последнее время биметаллические термометры все более широко применяются в качестве средств измерения температуры, для которых нормируется класс точности (приведенная погрешность).

Поверка биметаллических термометров производится по конкретным методикам поверки, разработанным и утвержденным по результатам испытаний. Значение приведенной погрешности определяется на пяти отметках шкалы, включая начальную и конечную, методом сличения с эталонным термометром в термостатирующих устройствах.

1.5 Поверка манометрических термометров

Принцип действия манометрических термометров основан на зависимости давления термометрического вещества в герметически замкнутом объеме от температуры.

Термометры манометрические классифицируются на:

– газовые манометрические термометры (от 73 К (-200 °С) до 600 °С). Газовые термометры заполняются азотом, имеют равномерную шкалу, т.к. изменение давления газа при постоянном объеме пропорционально изменению его температуры;

– жидкостные манометрические термометры (от 123 К (-150°С) до 300°С). Заполняются ртутью, пропиловым спиртом, метаксином и др.;

– конденсационные манометрические термометры. Заполняются низкокипящими органическими жидкостями (хлористый метил ацетон, фреон), имеют узкий диапазон и неравномерную шкалу.

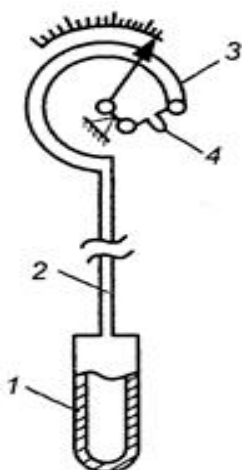


Рисунок 1.4

Основные части термосистемы (рисунок 1.4): термобаллон 1, капиллярная трубка 2 и деформационный манометрический преобразователь 3 (например, трубка Бурдона). Преобразователь связан со стрелкой прибора (манометра) через передаточный механизм, который на рис. 10 не показан. Компенсация погрешности, возникающей из-за влияния температуры окружающей среды на показания манометра, осуществляется биметаллическим компенсатором 4.

Первичным измерительным преобразователем манометрического термометра является термобаллон — элемент термосистемы, воспринимающий температуру измеряемой среды и преобразующий ее в давление рабочего вещества.

При нагреве термобаллона увеличение в нем давления

рабочего вещества передается через капилляр трубчатой пружине и вызывает раскручивание последней до тех пор, пока действующее на нее усилие, пропорциональное разности давлений в системе и окружающем воздухе, не уравновесится силой упругой деформации трубки. В качестве упругого элемента в термометрах применяется одновитковая или многовитковая трубчатая пружина, имеющая овальное сечение.

Манометрическим термометрам свойственен ряд погрешностей измерения. Кроме основной погрешности, эти приборы имеют также дополнительные: барометрическую, связанную с отклонением атмосферного давления от нормального значения, температурную, возникающую при изменении температуры окружающего воздуха, и гидростатическую, появляющуюся при установке термобаллона и пружины на разных высотах.

1.5.1 Методы и средства поверки

Поверка манометрических термометров осуществляется согласно ГОСТ 8.305-78.

При проведении поверки необходимо применять следующие эталонные средства поверки:

- эталонные цифровые измерители температуры или ртутные стеклянные термометры 2 и 3-го разрядов;
- эталонный платиновый термометр сопротивления 2-го разряда типа ПТС-10;
- эталонный платинородий-платиновый термоэлектрический термометр 3-го разряда типа ППО;
- эталонная измерительная катушка сопротивления 2-го разряда, тип Р-331.

Вспомогательные средства измерений:

- нулевой термостат, воспроизводимая температура 0,01 °С, градиент температуры в рабочем пространстве не более 0,03 К/м;
- паровой термостат, воспроизводимая температура 100 °С, градиент температуры в рабочем пространстве не более 0,1 К/м;
- водяной термостат, диапазон температур от минус 5 до плюс 95 °С, градиент температуры в рабочей камере не более 0,1 К/м;
- масляный термостат, диапазон температуры от 95 до 300 °С, градиент температуры в рабочем пространстве не более 0,1 К/м;
- криостат, диапазон температур от 193 К до 20 °С, градиент температуры в рабочем пространстве не более 0,1 К/м.

1.5.2 Подготовка и условия поверки

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающего воздуха 20 ± 5 °С для термометров классов

1,5; 2,5; 4,0 и 20 ± 2 °С – для термометров класса 1,0 и более точных;

- относительная влажность воздуха 30-80 %;
- барометрическое давление 100000 ± 3300 Па.

Термометры перед поверкой выдерживают при температуре 20 ± 2 °С не менее 24 ч.

Помещения, где установлены термостаты, должны быть оборудованы противопожарными средствами. Температура масла в термостате должна быть ниже температуры вспышки масла не менее чем на 10 °С.

1.5.3 Операции поверки

➤ **Проверка самопишущего устройства.** Привод лентопотяжного механизма или диска отключают. Нагревают термобаллон термометра, помещая его в термостат, до температуры, равной верхнему пределу шкалы. Затем охлаждают до температуры, равной нижнему пределу шкалы.

Проверку совпадения линии, записываемой неподвижным пером по движущейся диаграммной бумаге, с отсчетной линией температуры проводят при температуре, равной верхнему пределу шкалы. Дисковая диаграммная бумага должна совершить полный оборот, а ленточная – передвижение не менее чем на 200 мм.

➤ **Определение погрешности хода диаграммной бумаги.** Диаграммную бумагу приводят в движение, ставят на нее отметку и проводят отсчет показаний хронометра. Через 24 ч (по хронометру) наносят вторую отметку (на дисковой диаграммной бумаге отметки наносят на отсчетной линии верхнего предела измерений). Погрешность хода диаграммной бумаги Δ_D за 24 ч для приборов с часовым приводом определяют по формуле

$$\Delta_D = T_D - 1440, \quad (1.6)$$

где T_D – промежуток времени по диаграммной бумаге, мин.

Погрешность хода диаграммной бумаги Δ_D за 24 ч для приборов с электрическим приводом определяют по формуле

$$\Delta_D = T_D \cdot \frac{f}{50} - 1440, \quad (1.7)$$

где f – среднее значение частоты тока за 24 ч, Гц.

➤ **Определение основной погрешности показаний, записи и выходных сигналов** проводят, выполняя следующие требования:

– у приборов с сигнальным устройством сигнальные стрелки должны быть отведены в крайнее положение;

– у приборов с регулирующим устройством указатель пределов пропорциональности устанавливают на отметку 100 %, ручку настройки времени изодрома – на отметку 0,1 мин;

– у самопишущих приборов отключают привод лентопротяжного механизма или диска.

При обратном ходе поверку допускается проводить на трех отметках шкалы диаграммной бумаги. Показания поверяемого термометра отсчитывают с погрешностью не более 0,2 наименьшего деления шкалы термометра.

При определении основной погрешности и вариации показаний конденсационных приборов время выдержки термобаллона в термостате перед снятием показаний допускается увеличить до 20 мин.

Основную погрешность показаний или записи прибора Δ_n определяют как наибольшую разность по абсолютному значению.

Основную приведенную погрешность в процентах показаний или записи прибора δ_n определяют по формуле

$$\gamma_n = \frac{\Delta_n}{t_k - t_n} \cdot 100, \quad (1.8)$$

где t_k и t_n - значения температуры, соответствующие конечной и начальной отметкам шкалы термометра.

Основную погрешность выходных сигналов Δ_c определяют как наибольшую разность по абсолютному значению.

Основную приведенную погрешность δ_c выходных сигналов в процентах определяют по формуле

$$\gamma_c = \frac{\Delta_c}{x_k - x_n} \cdot 100, \quad (1.9)$$

где $x_k - x_n$ - диапазон выходного сигнала.

Вариацию показаний, записи b_n и выходных сигналов b_c прибора определяют как разность показаний, записи и значений выходных сигналов при прямом и обратном ходах температуры.

Погрешность и вариация срабатывания сигнального устройства не должна превышать предела основной допускаемой погрешности низшего класса точности.

1.6 Термопреобразователи сопротивления

С момента появления первых термометров сопротивления и работы Каллендара по платиновым термометрам данная область термометрии претерпела существенные изменения. Наряду с классическими платиновыми термометрами сопротивления, применяемыми для измерений с большой точностью и во все возрастающем диапазоне температур, в настоящее время в промышленном масштабе используются проволочные элементы из платины, меди или никеля, а также печатные толстопленочные платиновые элементы. В научных исследованиях при низких температурах используются термометры сопротивления с чувствительными элементами из сплава родия с железом, германия, углерода и

стеклоуглерода. Во многих случаях промышленных применений термометры сопротивления как основной инструмент контроля процесса вытесняют термопары. При температурах ниже 700°C большинство промышленных термометров сопротивления сейчас более компактны и надежны, чем термопары. Кроме того, все более широкое применение микропроцессоров в составе приборов позволяет быстрее и эффективнее, чем было возможно прежде, использовать информацию, содержащуюся в сигнале термометра.

Для измерения температуры широкое применение получили термометры сопротивления, основанные на изменении электрического сопротивления металлических проводников в зависимости от температуры. Металлы, как известно, увеличивают при нагреве свое сопротивление. Следовательно, располагая зависимостью сопротивления проводника от температуры и определяя это сопротивление при помощи электроизмерительного прибора, можно судить о величине температуры проводника.

Номинальные статические характеристики преобразования термопреобразователей сопротивления (ТС) рассчитываются по уравнениям раздела 5 ГОСТ 6651-2009 "Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля".

Для платиновых ТС:

– в диапазоне от минус 200°C до 0 °C: $R_t = R_0 [1 + At + Bt^2 + C(t - 100^\circ\text{C})t^3]$;

– в диапазоне от 0°C до 850 °C: $R_t = R_0 (1 + At + Bt^2)$.

Для медных ТС:

– в диапазоне от минус 180°C до 0 °C: $R_t = R_0 [1 + At + Bt + (t + 6,7^\circ\text{C}) + Ct^3]$;

– в диапазоне от 0°C до 200 °C: $R_t = R_0 (1 + At + Bt^2)$,

где R_t – сопротивление ТС, Ом, при температуре t , °C;

R_0 – сопротивление ТС, Ом, при температуре 0, °C;

A, B, C – постоянные по ГОСТ 6651-2009.

Для платиновых ТС температурный коэффициент α , может иметь 2 значения 0,00385 °C⁻¹ и 0,00391°C⁻¹, для медных ТС: $\alpha = 0,00428$ °C⁻¹, никелевых $\alpha = 0,00617$ °C⁻¹.

Термопреобразователи сопротивления могут быть сконструированы с различными конфигурациями внутренних соединительных проводов.

Предпочтительные схемы соединений внутренних проводников ТС с чувствительным элементом:

- двухпроводная схема;
- трехпроводная схема;
- четырехпроводная схема;

Наилучшим материалом для термометров сопротивления считается платина, которая обладает большой химической инертностью в окислительной среде и может быть легко получена в чистом виде. Она имеет достаточно боль-

шой температурный коэффициент электрического сопротивления и высокое удельное сопротивление. Широко используются также медные термопреобразователи сопротивления. Медь обладает рядом положительных свойств, позволяющих использовать ее для изготовления технических термометров сопротивления.

В связи с тем, что в настоящее время в эксплуатации находится значительное количество термопреобразователей сопротивления, произведенных в соответствии с ГОСТ 6651-2004, таблице 2.2 приведены основные отличия метрологических характеристик, приведенных в стандартах ГОСТ 6651-2004 и ГОСТ 6651-2009.

Таблица 1.2

Класс	Допускаемое отклонение, °С	Диапазон измерений ТС, °С			
		1994		2009	
		Проволочный	Плёночный	Проволочный	Плёночный
АА	$\pm(0,1+0,0017 t)$	нет		от -50 до +250	от 0 до +150
А	$\pm(0,15+0,002 t)$	от -200 до +650		от -100 до +450	от -30 до +300
В	$\pm(0,3+0,005 t)$	от -200 до +850		от -196 до +660	от -50 до +500
С	$\pm(0,6+0,01 t)$	нет		от -196 до +660	от -50 до +600

1.6.1 Методы и средства поверки

Поверка термопреобразователей сопротивления проводится в соответствии с ГОСТ 8.461-2009 "Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Методика поверки".

При проведении поверки необходимо применять следующие эталонные и вспомогательные средства поверки:

- эталонные термометры, погрешность (расширенная неопределенность) которых не превышает 1/3 допуска поверяемых термометров сопротивления;
- термостаты, отвечающие следующим требованиям:
 - неравномерность температуры в рабочем объеме термостата – не более 1/5 допуска поверяемых ТС;
 - нестабильность поддержания температуры как минимум за 30 мин - не более 1/5 допуска поверяемых ТС;
- мосты постоянного и переменного токов, цифровые мультиметры, установки типа автоматизированного рабочего места для поверки термопреобразователей сопротивления (АРМ ПТС), обеспечивающие расширенную неопределенность поверки ТС в два раза меньше требуемого допуска ТС по ГОСТ 6651.

1.6.2 Подготовка и условия поверки

Параметры окружающего воздуха в помещении, предназначенном для поверки, должны характеризоваться следующими значениями: температура (20 ± 5) °С, относительная влажность не более 80 %, атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа.

1.6.3 Операции поверки

➤ **Проверка отклонения сопротивления термопреобразователей сопротивления от номинальной статической характеристики при температуре от минус 5 °С до 30 °С.** При поверке термопреобразователей с тремя выводными проводниками необходимо измерить их сопротивление и учесть при обработке измерений.

Проверку отклонения сопротивления ТС от НСХ выполняют сличением с эталонным термопреобразователем при 0 °С в нулевом или сосуде Дьюара, заполненном смесью льда и воды, при другой температуре в диапазоне от минус 5 °С до 30 °С в термостатах (жидкостных, сухоблочных, флюидных) либо измерением в реперных точках (тройной точке воды, точке плавления галлия).

➤ **Проверка отклонения сопротивления термопреобразователя сопротивления от номинальной статической характеристики при температуре от 90 °С до 103 °С.** Проверку проводят для ТС классов АА, А и В сличением с эталонным ТС в жидкостном, сухоблочном или паровом термостате.

➤ **Критерий годности термопреобразователя сопротивления.** ТС считают годным и допускают к дальнейшей поверке в том случае, если отклонение его сопротивления от НСХ с учетом расширенной неопределенности результата измерения не превышает допуск соответствующего класса, т.е. выполнены одновременно два неравенства

$$(R_k(t_x) - R_{НСХ}(t_x) + U) / \frac{dR}{dt} \leq +\Delta t_x, \quad (1.10)$$

$$(R_k(t_x) - R_{НСХ}(t_x) - U) / \frac{dR}{dt} \leq -\Delta t_x, \quad (1.11)$$

где $R_k(t_x)$ – среднее значение сопротивления поверяемого ТС, Ом;

t_x – средняя температура, измеренная эталонным термометром, °С;

$R_{НСХ}(t_x)$ – значение сопротивления ТС по НСХ при температуре t_x , Ом;

U – расширенная неопределенность результата измерения сопротивления ТС;

$\frac{dR}{dt}$ – чувствительность ТС по НСХ при температуре t_x , Ом/°С;

$\pm\Delta t_x$ – допуск ТС.

➤ **Расчет расширенной неопределенности поверки термопреобразователей сопротивления в термостате.** Суммарную стандартную и расширенную неопределенности поверки ТС рассчитывают для каждой температуры поверки. При расчете суммарной неопределенности поверки учитывают неопределенность измерений температуры эталонным термопреобразователем сопротивления и неопределенность измеренного значения сопротивления поверяемого ТС. Для расчета используют данные, полученные при проведении измерений, данные, полученные при предварительной экспериментальной оценке неопределенности, связанной со случайными эффектами при измерении в конкретной поверочной лаборатории, либо установленные в процессе измерений, а

также данные, приведенные в свидетельствах о поверке средств измерений: термостатирующих устройств, реперной точки, эталонного термометра и измерительной установки.

1.7 Поверка комплектов термопреобразователей сопротивления

1.7.1 Методы и средства поверки

Поверка комплектов термопреобразователей сопротивления производится в соответствии с СТБ 8039-2014 "Комплекты термопреобразователей сопротивления платиновых для теплосчетчиков".

При проведении поверки необходимо применять следующие эталонные и вспомогательные средства поверки:

- эталонные термометры, погрешность (расширенная неопределенность) которых не превышает $1/3$ допуска поверяемых термометров сопротивления;
- термостаты, отвечающие следующим требованиям:
- неравномерность температуры в рабочем объеме термостата – не более $1/5$ допуска поверяемых ТС;
- нестабильность поддержания температуры как минимум за 30 мин - не более $1/5$ допуска поверяемых ТС;
- мосты постоянного и переменного токов, цифровые мультиметры, установки типа автоматизированного рабочего места для поверки термопреобразователей сопротивления (АРМ ПТС), обеспечивающие расширенную неопределенность поверки ТС в два раза меньше требуемого допуска ТС по ГОСТ 6651.

1.7.2 Подготовка и условия поверки

При выполнении поверки должны быть выдержаны следующие условия:

- температура окружающего воздуха $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$;
- относительная влажность окружающего воздуха до 80 %;
- атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа.

1.7.3 Операции поверки

➤ **Определение сопротивлений ТС.** Определение сопротивления термопреобразователей в термостатах должно выполняться после установления состояния теплового равновесия между термопреобразователями и термостатирующей средой термостата (сопротивление ТС не изменяется более чем на $1/10$ допуска за 5 минут).

По трем полученным парам значений сопротивление-температура для каждого ТС комплекта из системы трех линейных уравнений рассчитывают значения коэффициентов ИСХ – R_0 , A и B

$$R_t = R_0 * (1 + A * t + B * t^2) \quad (1.12)$$

Здесь R_t - сопротивление ТС (чувствительного элемента ТС) при температуре t .

$$(1.13)$$

$$(1.14)$$

$$(1.15)$$

Цифры 1,2,3, выраженные в виде индексов, соответствуют номеру точек поверки.

➤ **Определение отклонений ИСХ ТС комплекта от НСХ.** Соответствие ТС комплекта установленному в технической документации пределу допускаемого отклонения от НСХ ("идеальной" кривой) определяют, рассчитывая отклонения ИСХ в температурном эквиваленте от номинальной статической характеристики по ГОСТ 6651-2009, ЕН 60751 в начале, в середине и в конце температурного диапазона измерения. температурного диапазона измерения.

Вычисленные отклонения не должны превышать значений для соответствующего класса допуска или установленным в технической документации допустимым значениям.

➤ **Определение относительной погрешности комплекта ТС при измерении разности температур.** Значения относительной погрешности комплекта ТС при измерении разности температур определяют по формуле

$$(1.16)$$

t_{u1} , t_{u2} - измеренные значения температур теплопроводящей жидкости соответственно в подающем и обратном трубопроводах;

t_1 и t_2 - действительные значения температур теплопроводящей жидкости соответственно в подающем и обратном трубопроводах.

Значения температур t_d определяют по формуле

$$(1.17)$$

R_0 - номинальное значение сопротивления ТС при 0°C ,

A_n и B_n - номинальные значения температурных коэффициентов сопротивления платинового ТС по ГОСТ 6651-2009, ЕН 60751 для градуировки соответствующего типа ($W100=1,385$ или $W100=1,391$).

Сопротивление R_t для температуры t рассчитывается для каждого ТС по уравнению (1.1) с использованием коэффициентов ИСХ.

Значения погрешности $\delta(\Delta t)$ вычисляют для достаточного количества точек внутри области, определяемой диапазоном температур и диапазоном

разности температур комплекта ТС. При этом для температур обратного потока выше 80°C учитывают только разности температур выше 10°C.

Значения погрешности комплекта ТС при измерении разности температур не должны превышать пределов, установленных в технической документации комплекта ТС. Максимальное значение погрешности не должно превышать

$$E = (0,5+3\Delta\Theta_{\min}/\Delta\Theta) \quad (1.18)$$

1.8 Проверка термоэлектрических преобразователей (термопар)

Термопара представляет собой два разнородных проводника, соединенных между собой.

Термопара обладает свойством развивать термоэлектродвижущую силу – ТЭДС при разности температур в местах соединения проводников. Величина ТЭДС возрастает при увеличении разности температур спаев, а при равенстве их температур равна нулю. На рисунке 2.5 дана схема преобразователя термоэлектрического, состоящего из термоэлектродов А и В с температурами спаев t_1 и t_2 .

Если $t_1 > t_2$, то спай, имеющий температуру t_1 , называется рабочим концом термопары, а второй рабочим концом. Термоэлектрод, от которого в холодном спае ток идет к другому термоэлектроду, условились, считать положительным, а второй – отрицательным.

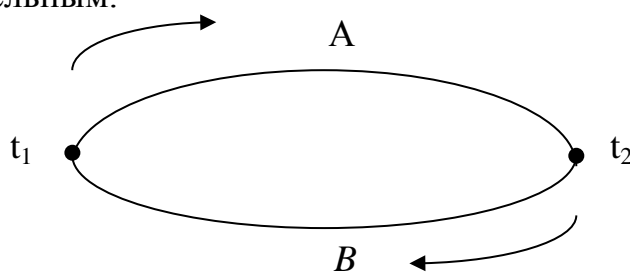


Рисунок 1.5

Наиболее распространенными для изготовления промышленных типов термопар получили материалы: платина, платинородий, хромель, алюмель и копель. Для измерений в лабораторных установках находят применение такие металлы как медь, железо и константан.

Требования к материалам: стабильность градуировочной характеристики и воспроизводимость.

Для получения сравнительно высоких значений ТЭДС выбор термоэлектродов при изготовлении термопар производится таким образом, чтобы в паре с платиной один из них создавал положительную, а другой отрицательную ТЭДС.

Термопары, получившие практическое применение, разделяются в основном на две группы: из драгоценных и недорогих металлов или сплавов.

При названии первым указывается положительный термоэлектрод.

Несмотря на относительно малые значения развиваемой ТЭДС платинородий-платиновые термопары благодаря исключительному постоянству термоэлектрических свойств и большому пределу измерения получили широкое распространение не только как технические, но главным образом как лабораторные, эталонные.

Количество разнообразных сплавов и их комбинаций, применяемых на практике, огромно, однако широко используются сравнительно немногие. Для интервала температур от 20 К до 2000 К существует семь различных комбинаций сплавов, для которых разработаны международные таблицы зависимости термо-э.д.с. от температуры. Кроме термопар этих типов, нашедших широкое применение в науке и технике, отметим еще ряд других, которые либо разработаны для важных специфических областей применения, таких, как измерения в ядерных реакторах, либо созданы недавно и еще не стандартизованы, например, нихросил/нисил.

1.8.1 Методы и средства поверки

Поверка преобразователей термоэлектрических проводится в соответствии с ГОСТ 8.338-2002.

При проведении поверки используют следующие средства поверки:

эталонные 2-го разряда ртутные стеклянные термометры с погрешностью по ГОСТ 8.558 в диапазоне температуры от 0 °С до 300 °С;

эталонные 1, 2, 3 го разрядов платинородий-платиновые ТП типа ППО с погрешностью по ГОСТ 8.558 в диапазоне температуры от 300 °С до 1200 °С;

эталонные 2-го и 3-го разрядов платинородий-платинородиевые ТП типа ПРО с погрешностью по ГОСТ 8.558 в диапазоне температуры от 600 до 1800 °С;

поверочная установка, включающая в себя двухрядный или однорядный потенциометр постоянного тока класса точности не ниже 0,01 по ГОСТ 9245 с верхним пределом измерений не ниже 100 мВ и ценой ступени младшей измерительной декады не более 10⁻⁶ В;

автоматизированная система поверки пределами допускаемой погрешности ±0,2 °С и 0,4 °С.

1.8.2 Операции поверки

➤ **Внешний осмотр.** При внешнем осмотре чувствительные элементы градуировок типов ХА(К) и ХК(L) должны быть без защитной арматуры, иметь чистую электрическую изоляцию. Длина термопреобразователей должна быть не менее 250 мм. Чувствительные элементы с термоэлектродами диаметром 1 мм и более должны иметь клеммные колодки, закрепленные на термоэлектродах. Термоэлектроды чувствительных элементов должны иметь ровную поверхность без трещин, раковин, расслоений, загрязнений. Места сварки рабочих концов не должно быть пористым.

Чувствительные элементы могут иметь не более двух сварок по длине каждого термоэлектрода на расстоянии не менее 250 мм от рабочего конца.

➤ **Определение ТЭДС чувствительного элемента термомпары при заданных значениях температуры.** Градуировочные характеристики чувствительных элементов должны соответствовать их стандартным градуировочным характеристикам. При проверке этого требования определяют ТЭДС при нескольких заданных значениях температуры его рабочего конца и температуры свободных концов, равной 0 °С.

При поверке чувствительных элементов преобразователей термоэлектрических их ТЭДС должна быть определена не менее, чем при четырех значениях температуры, указанных в таблице 1.3.

Таблица 1.3

Тип ТП (буквенное обозначение НСХ)	Диаметр термо-электродов, мм	Рабочий диапазон температуры, °С	Температура при измерениях ТЭДС, °С
ТХК(L) ТХКн(Е) ТЖК(Ј) ТСС(І)	От 3,2 до 1,2 " 0,7 " 0,1	От 0 до 800 " 0 " 800	300, 400, 500, 600, (800) 100, (200), 300, 400, 500, (600)
ТХА(К) ТНН(Н)	От 3,2 до 1,2 " 0,7 " 0,5 " 0,3 " 0,1	От 0 до 1300 " 0 " 1300 " 0 " 800	300, 500, 700, 900, (1000) 100, (200), 300, 500, 700, 800, (900) 100, (200), 300, 400, 500, 600, (700)
ТПП13 (R) ТПП10 (S)	От 0,5 и более	От 300 до 1600	300, 600, 900, 1200
ТПР (В)	От 0,5 и более	От 60 до 1800	600, 900, 1200, 1500, (1700)

Цикл измерений осуществляют непрерывным отсчетом показаний: в прямой последовательности (от отсчета показаний эталонного ТП до отсчета показаний ЧЭ последнего поверяемого ТП), затем в обратной последовательности (от отсчета показаний ЧЭ последнего поверяемого ТП до отсчета показаний эталонного ТП) и т.д. до получения четырех отсчетов показаний эталонного термометра и ТЭДС ЧЭ каждого поверяемого ТП.

Интервалы времени между отсчетами показаний средств измерений во всем измерительном цикле должны быть примерно одинаковыми.

По показаниям ртутных стеклянных термометров определяют и вносят в протокол поверки значения температуры свободных концов $t_{c.k}$ ЧЭ поверяемых ТП и эталонного ТП, помещенных в термостат для свободных концов. Погрешность измерений температуры свободных концов ЧЭ ТП не должна превышать $\pm 0,1$ °С.

➤ **Обработка результатов измерений ТЭДС ЧЭ при поверке ТП типов ТХК (L), ТХКн (E), ТЖК (J), ТХА (K), ТНН (N), ТСС (I), ТПП13 (R) методом прямых измерений.** Из результатов измерений вычисляют среднеарифметические значения температуры в термостате по показаниям эталонного термометра и среднеарифметические значения ТЭДС ЧЭ поверяемых ТП, а также при

поверке ТП в печи — среднеарифметические значения ТЭДС ЧЭ эталонного ТП и ЧЭ каждого из поверяемых ТП.

Среднеарифметические значения ТЭДС ЧЭ эталонного ТП и ЧЭ каждого из поверяемых ТП приводят к значениям ТЭДС ЧЭ ТП $E_{нов}$ и $E_{эм}$ при температуре свободных концов, равной 0 °С, внося поправку $E(t_{c.k.})$ на температуру свободных концов ЧЭ. Поправку определяют в каждом случае по соответствующей НСХ для ТП типов ТПП13 (R), ТХК (L), ТХКн (E), ТЖК (J), ТХА (K), ТНН (N), ТСС (I). Значение поправки имеет знак "плюс" и равно табличному значению ТЭДС ЧЭ ТП при такой температуре, какую при поверке имели свободные концы. Приведенные значения ТЭДС $E_{нов}$ и $E_{эм}$ вносят в протокол поверки.

В среднеарифметические значения показаний эталонного термометра вносят поправки, значения которых указаны в свидетельстве о поверке, и действительное значение температуры $t_{эм}$ вносят в протокол поверки.

По приведенному значению ТЭДС эталонного ТП определяют температуру t , °С, рабочих концов ЧЭ поверяемых ТП по формуле

$$t = t_{свид} + \frac{E_{np} - E_{свид}}{(\Delta E / \Delta t)_i}, \quad (1.19)$$

где $t_{свид}$ - значение температуры, соответствующее значению $E_{свид}$, °С;

E_{np} - приведенное значение ТЭДС эталонного ТП, мВ;

$E_{свид}$ - значение ТЭДС ТП, взятое из свидетельства на эталонный ТП, ближайшее к E_{np} , мВ;

$(\Delta E / \Delta t)_i$ - чувствительность эталонного ТП типа ППО на единицу температуры, мВ/°С (указана в таблице 1.4).

Таблица 1.4

Тип ТП	$(\Delta E / \Delta t)_i \cdot 10^3$, мВ/°С, при значениях температуры $t_{свид}$, °С									
	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
ТПП10	9,1	9,6	9,9	10,2	10,5	10,9	11,2	11,5	11,8	12,1

По НСХ для ЧЭ поверяемых ТП типов ТПП13 (R), ТХК (L), ТХКн (E), ТЖК (J), ТХА (K), ТНН (N), ТСС (I) находят нормированное значение ТЭДС ЧЭ ТП $E_{нсх}$, соответствующее показаниям эталонного ртутного стеклянного термометра t_{np} или температуре t , вычисленной по формуле (1), по показаниям эталонного ТП типа ППО.

Для ЧЭ каждого поверяемого ТП определяют разность Δ между приведенным $E_{нов}$ и нормированным $E_{нсх}$ значениями ТЭДС при каждом значении температуры t , вычисленной по формуле (1).

Разность Δ указанных значений для ТП соответствующего типа не должна превышать предела допустимого отклонения от НСХ.

ЧЭ поверяемых ТП, не удовлетворяющие этому требованию хотя бы при одном из заданных значений температуры, должны быть переведены в более низкий класс точности или указанные ЧЭ должны быть забракованы.

Результаты измерений ТЭДС ТП разборных конструкций, поверяемых в арматуре, и ТП неразборных конструкций обрабатывают аналогично.

➤ **Обработка результатов измерений ТЭДС ЧЭ при поверке ТП по электродным сличением.** Из результатов измерений вычисляют среднеарифметическое значение ТЭДС эталонного ТП и приводят его к значению ТЭДС ТП при температуре свободных концов, равной 0 °С, внося поправку $E(t_{c.k})$ на температуру свободных концов ЧЭ. Поправку определяют в каждом отдельном случае по соответствующей НСХ (в значения ТЭДС ТП типа ТПР эталонного термометра поправку на температуру свободных концов не вносят).

По формуле находят значение температуры t , при которой проведено по электродное сличение. Значения $(\Delta E / \Delta t)_i$ берут из таблицы при поверке ЧЭ ТП типа ТПП10 и из таблицы 1.5 при поверке ЧЭ ТП типа ТПР.

Таблица 1.4

Тип ТП	$(\Delta E / \Delta t)_i \cdot 10^3$, мВ/°С, при значениях температуры $t_{своб}$, °С											
	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700
ТПР	6,0	6,8	6,7	8,4	9,1	9,8	10,4	10,9	11,3	11,6	11,7	11,7

Из результатов измерений, вычисляют среднеарифметические значения ТЭДС термоэлектродов ЧЭ каждого поверяемого ТП относительно одноименных термоэлектродов ЧЭ эталонного ТП Δe_{1j} ; Δe_{2j} , где $j = 1, 2, 3, \dots$ - порядковый номер поверяемого ТП.

Определяют отклонение ТЭДС ЧЭ j -го поверяемого ТП от ТЭДС ЧЭ эталонного ТП ΔE_j по формуле

$$\Delta E_j = \Delta e_{1j} - \Delta e_{2j}, \quad (1.20)$$

где Δe_{1j} - ТЭДС пары, образованной положительными термоэлектродами ЧЭ эталонного ТП и ЧЭ поверяемого ТП при температуре t , мВ;

Δe_{2j} - ТЭДС пары, образованной отрицательными термоэлектродами ЧЭ эталонного ТП и ЧЭ поверяемого ТП при температуре t , мВ.

Вычисляют значение ТЭДС ЧЭ поверяемых ТП $E_{новj}$ при температуре t по формуле

$$E_{новj} = E_{пр} + \Delta E_j \quad (1.21)$$

По НСХ для ЧЭ поверяемых ТП типов ТПП10 и ТПР находят нормированное значение их ТЭДС, соответствующее температуре t .

Для ЧЭ каждого поверяемого ТП определяют разность Δ между вычисленным значением ТЭДС ЧЭ ТП $E_{нов}$ и нормированным значением ТЭДС ЧЭ ТП при каждой заданной температуре. Разность Δ указанных значений не должна превышать пределов допускаемого отклонения от НСХ ТП.

ЧЭ поверяемых ТП, не удовлетворяющие этому требованию хотя бы при одном из заданных значений температуры, должны быть переведены в более низкий класс точности или указанные ЧЭ должны быть признаны непригодными к применению.

1.9 Термисторы

В настоящее время все более широкое применение начинает находить

класс полупроводниковых приборов, выполненных на основе смешанных окислов переходных металлов, которые известны под общим названием термисторов. Термин "термистор" происходит от слов "термочувствительный резистор". Толчком к разработке термисторов послужила необходимость компенсировать изменение параметров электронных схем под влиянием температуры. Первые термисторы изготавливались на основе двуокиси урана UO_2 , но затем начали использовать шпинель $MgTiO_3$. Современные термисторы почти всегда представляют собой нестехиометрические смеси окислов и изготавливаются путем спекания микронных частиц компонентов в контролируемой атмосфере.

Наиболее стабильными термисторами при температурах ниже $250\text{ }^\circ\text{C}$ и поэтому представляющими наибольший интерес для термометрических целей в этом диапазоне являются термисторы на основе смешанных окислов магния и никеля или магния, никеля и кобальта, имеющие отрицательный ТКС. Особенно привлекательным свойством термисторов является большое разнообразие размеров и форм.

Термисторы, в основном, можно разделить на бусинковые и дисковые.

Соотношение между сопротивлением термисторов и температурой записывается в виде

$$R_T = R_0 \exp [-B (1/T - 1/T_0)], \quad (1.22)$$

где B – постоянная, R_0 – сопротивление при T_0 .

Значения B и ТКС α связаны соотношением

$$\alpha = - B/T^2 \quad (1.23)$$

Термисторы, используемые при температурах выше $300\text{ }^\circ\text{C}$ изготавливаются из более термостойких окислов, чем окись магния или никеля – окислов редкоземельных металлов. Термисторы представляют особый интерес для измерения низких температур благодаря своей относительной нечувствительности к магнитным полям, такие термисторы обычно изготавливаются на основе нестехиометрических окислов железа.

В настоящее время сложилась практика калибровки термисторов.

1.10 Приборы электрические прямого преобразования для измерения неэлектрических величин (вторичные показывающие средства измерения температуры)

К вторичным показывающим средствам измерения температуры относятся милливольтметры, логометры, потенциометры и мосты автоматические.

Общие технические требования к приборам электрическим прямого преобразования установлены в ГОСТ 9736-91 "Приборы электрические прямого преобразования для измерения неэлектрических величин". В данном стандарте установлены требования к нормируемым метрологическим характеристикам, к входным и выходным сигналам, сопротивлению входных и выходных

цепей, конструкции и т.д.

Для измерения сигналов термоэлектрических преобразователей применяются пирометрические милливольтметры и автоматические потенциометры, термопреобразователей сопротивления – логометры и мосты.

В связи с тем, что данные средства измерений в настоящее время находят все меньшее применение информация о методах поверки представлена в общем виде со ссылкой на конкретные стандарты.

1.10.1 Пирометрические милливольтметры

Принцип действия милливольтметров основан на использовании сил взаимодействия между постоянным током, протекающим по проводнику (обмотке подвижной рамки), и магнитным полем постоянного неподвижного магнита. Сила, действующая на проводник, направлена всегда нормально к направлению тока и к направлению магнитного поля. Каждому повороту рамки соответствует определенный угол поворота измерительного механизма.

Пирометрические милливольтметры градуируются в градусах Цельсия и предназначены для работы с термопарами стандартной градуировки, указанной на шкале, и при определенном сопротивлении внешней линии: 5 или 15 Ом.

На рисунке 1.6 представлена схема подвижной рамки милливольтметра.

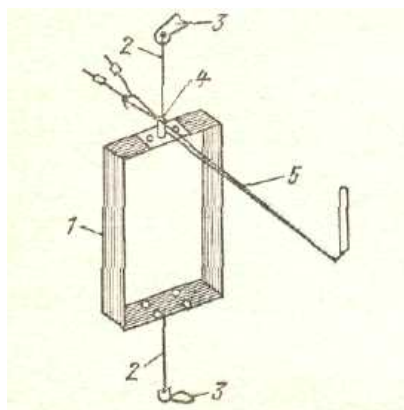


Рисунок 1.6

1-рамка; 2-растяжки; 3-пружины; 4-букса; 5-стрелка

1.10.1.1 Методы и средства поверки

Поверка милливольтметров проводится согласно ГОСТ 8.012-72 "Методы и средства поверки милливольтметров пирометрических". При проведении поверки применяют, в основном, потенциометры постоянного тока классов точности 0,05.

При проведении поверки используют эталонные средства измерений с классом точности не превышающим 1/5 класса точности поверяемого милливольтметра.

1.10.1.2 Операции поверки

- Внешний осмотр
- Опробование
- Определение: внутреннего сопротивления, основной погрешности и вариации показаний, невозвращения указателя на нулевую отметку
- Определение погрешности влияния наклона и времени успокоения, электрической прочности изоляции и сопротивления изоляции
- Для регулирующих пирометрических милливольтметров: определение погрешности срабатывания контактов

1.10.2 Логометры магнитоэлектрические

Логометры широко используются в практике технологического контроля для измерения и записи температуры в комплекте с термометрами сопротивления. Кроме того, логометры могут быть использованы для измерения, записи и регулирования или сигнализации температуры.

В этом случае они должны быть снабжены дополнительным регулирующим или сигнальным устройством. Логометры выпускаются обычно с градуировкой шкалы в градусах Цельсия. При этом необходимо иметь в виду, что температурная их шкала действительна только для определенной градуировки термопреобразователя сопротивления и заданного значения сопротивления внешних соединительных линий.

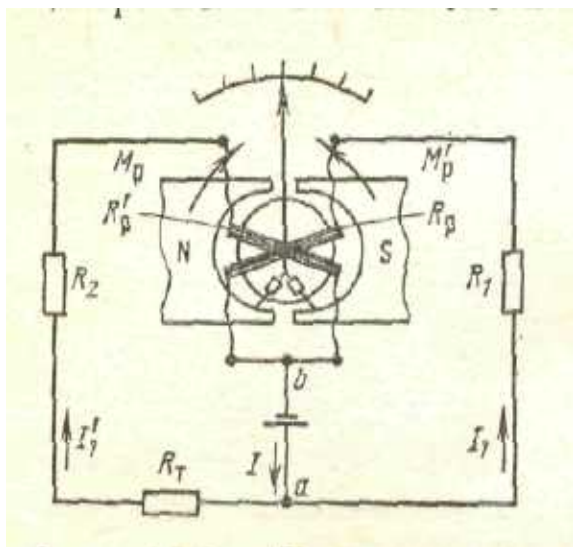


Рисунок 1.7

Логометры находят также применение для измерения других величин, изменение значения которых может быть преобразовано в изменение активного электрического сопротивления. На рисунке 1.7 представлена принципиальная схема логометра с внешним постоянным магнитом.

1.10.2.1 Методы и средства поверки

Поверка логометров проводится согласно ГОСТ 8.209-76 "Логометры магнитоэлектрические. Методы и средства поверки".

При проведении поверки применяются эталонные магазины сопротивления, мосты постоянного тока, два резистора, имитирующие сопротивление линии $R_{л}$, соединяющей термометры сопротивления с логометрами. Значение сопротивления $R_{л}$ указано на шкале логометра. Номинальное сопротивление каждого резистора ($R_{л}$ или $0,5R_{л}$) берут в зависимости от схемы измерения.

При проведении поверки используют эталонные средства измерений с

классом точности не превышающим 1/5 класса точности поверяемого милливольтметра.

1.10.2.2 Операции поверки

- *Внешний осмотр*
- *Проверка отклонения указателя логометра за начальную отметку шкалы или наличия сигнала при отключении питания логометра;*
- *Определение электрического сопротивления изоляции и электрической прочности изоляции;*
- *Определение времени успокоения подвижной части;*
- *Определение погрешности установки указателя логометра на контрольную отметку;*
- *Определение основной погрешности и вариации показаний;*
- *Определение влияния наклона логометра на его показания;*
- *Определение основной погрешности записи и качества записи самопишущих логометров;*
- *Определение отклонения скорости движения диаграммной бумаги от заданной;*
- *Определение погрешности срабатывания регулирующего прибора;*
- *Определение зоны нечувствительности для регулирующих приборов;*
- *Определение влияния изменения напряжения питания логометра на его показания.*

1.10.3 Автоматические потенциометры и мосты

Автоматические потенциометры широко применяются в различных отраслях промышленности для измерения и записи температуры в комплекте с термоэлектрическими преобразователями. Они одновременно могут быть использованы для измерения, записи и сигнализации или регулирования температуры. В этом случае потенциометры снабжаются дополнительным устройством для сигнализации и регулирования температуры.

Автоматические потенциометры в зависимости от их назначения выпускаются с градуировкой шкалы в градусах Цельсия и в единицах напряжения, обычно в милливольтмах. При применении потенциометров с температурной шкалой необходимо иметь в виду, что их шкала действительна только для указанного на циферблате обозначения градуировки, а, следовательно, и для определенного термоэлектрического преобразователя. Поверка проводится согласно ГОСТ 8.280-78.

Автоматические уравновешенные мосты широко применяются в различных отраслях промышленности для измерения и записи температуры в комплекте с термометрами сопротивления.

Они могут быть использованы для измерения, записи и сигнализации или регулирования температуры. В этом случае автоматические уравновешенные

мосты, так же, как и автоматические потенциометры, снабжаются дополнительным устройством для сигнализации или регулирования температуры. Автоматические уравновешенные мосты находят также применение для измерения других величин, изменение значений которых может быть преобразовано в изменение активного электрического сопротивления.

Автоматические уравновешенные мосты и потенциометры являются техническими приборами высокого класса точности. Они бывают показывающие, показывающие и самопишущие с записью на дисковой и ленточной диаграмме. Приборы с дисковой диаграммной бумагой служат для измерения и записи температур в одной точке и называются односточечными. Уравновешенные мосты с ленточной диаграммой изготавливаются как односточечные, так и многоточечные, т.е. для измерения и записи температуры в одной или нескольких точках.

1.10.3.1 Методы и средства поверки

Поверка проводится согласно ГОСТ 8.280-78 "Государственная система обеспечения единства измерений. Потенциометры и уравновешенные мосты автоматические. Методы и средства поверки".

1.10.3.2 Операции поверки

- *Внешний осмотр;*
- *Проверка рабочего тока в измерительной цепи потенциометров;*
- *Проверка характера успокоения указателя прибора;*
- *Определение соответствия времени прохождения указателем всей шкалы допускаемым значениям;*
- *Определение соответствия основной погрешности показаний допускаемым значениям;*
- *Определение соответствия вариации показаний допускаемым значениям;*
- *Определение соответствия основной погрешности записи допускаемым значениям;*
- *Проверка качества записи;*
- *Проверка отклонения скорости продвижения диаграммных лент и скорости вращения диаграммных дисков от номинальных значений;*
- *Определение соответствия метрологических характеристик каналов с выходными устройствами допускаемым значениям.*

1.10.4 Измерители – регуляторы температуры цифровые

В настоящее время все более широкое применение находят цифровые измерители-регуляторы температуры, к которым относятся, например, измерители-регуляторы "Сосна".

ИР предназначены для ногоканального измерения параметров контроли-

руемого объекта (температуры, давления, расхода, уровня и др.) с использованием в качестве первичных измерительных преобразователей термопреобразователей сопротивления, термоэлектрических преобразователей или измерительных преобразователей с унифицированными токовыми выходными сигналами передачи результатов измерения по каналу последовательного интерфейса и управления регулирующими устройствами (реле, тиристоры).

ИР могут применяться в составе комплексных многоуровневых систем контроля и регулирования в химической, пищевой, машиностроительной и других отраслях промышленности.

1.10.4.1 Методы и средства поверки

Поверка проводится согласно МП. МН 865-2000 (изм.1,2,3,4).

Настоящая методика поверки распространяется на измерители-регуляторы "Сосна-002", "Сосна-003", "Сосна-004" (далее по тексту - ИР), технические требования которых регламентируются ТУ РБ 37418148.003-2000, и устанавливает методику первичной и периодической поверок.

При проведении поверки используют следующие средства поверки:

- магазин сопротивления Р 4831, класс точности 0,02;
- прибор для поверки вольтметров программируемый В1-13, класс точности 0,005;
- термометр ртутный ТЛ-4, от 0 до плюс 50 °С, цена деления 0,1 °С;
- цифровой мультиметр ЦР-04, основная погрешность не более 0,1 %.

1.10.4.2 Операции поверки

➤ *Внешний осмотр.* При проведении внешнего осмотра должно быть установлено наличие:

- чёткой маркировки;
- пломбы на задней крышке;
- отсутствия механических повреждений корпуса и незакреплённых предметов внутри;
- отсутствие подгорания контактов и неудовлетворительного крепления присоединительных устройств.

➤ *Опробование прибора в работе;*

➤ *Определение приведенной погрешности преобразования ИР термопреобразователя сопротивления (ТС).* Определение приведенной погрешности преобразования ИР ТС выполняется методом сравнения показаний прибора с номинальными значениями температуры, соответствующими заданным значениям сопротивления, воспроизводимыми образцовой мерой.

Погрешность преобразования определяется для каждого измерительного канала. Вход поверяемого канала подключается по четырехпроводной схеме согласно приложения А методики поверки к магазину сопротивления и выполняется

определение приведенной погрешности в точках диапазона преобразования. Сопротивление линий связи не более 1 Ом.

Определение приведенной погрешности преобразования ИР ТС выполняется в следующей последовательности:

- установить нормированное значение сопротивления на магазине сопротивления;
- после выдержки не менее 1 минуты произвести не менее четырех отсчетов и за результат $A_{изм}$ принять значение, имеющее максимальное отклонение от номинального значения в поверяемой точке;
- вычислить приведенную погрешность преобразования ИР ТС в каждой контролируемой точке в процентах по формуле

$$(1.24)$$

где $A_{ном}$ - номинальное значение температуры в поверяемой точке;

$A_{изм}$ - значение температуры, измеренное поверяемым каналом ИР;

N - нормирующее значение, равное разности верхнего и нижнего предельных значений температуры;

γ - значение приведенной погрешности преобразования температуры ИР ТС. Результаты испытаний считаются положительными, если приведенная погрешность преобразования ИР ТС не превышает значения $\pm 0,25\%$.

➤ *Определение приведенной погрешности преобразования ИР термоэлектрического преобразователя (ТП).* Определение приведенной погрешности преобразования ИР ТП выполняется методом сравнения показаний прибора с номинальными значениями температуры, соответствующими заданным значениям электродвижущей силы (э.д.с), воспроизводимыми образцовой мерой.

Погрешность определяется для каждого измерительного канала. Вход поверяемого канала подключается к образцовой мере э.д.с. согласно приложению А. методики поверки. Приведенная погрешность определяется в точках диапазона измерения.

Для определения величины погрешности устройства компенсации температуры свободных концов ТП необходимо:

- подключить эталонный источник э.д.с. к входу измерительного канала ИР, установить на нем значение э.д.с, равной нулю и выждать не менее 1 минуты
- установить в непосредственной близости от клемм ИР лабораторный термометр (температура свободных концов), выждать не менее 10 минут и произвести отсчет показаний;
- определить погрешность устройства компенсации температуры свободных концов, вычитая из показаний лабораторного термометра показания на дисплее ИР;
- величина погрешности компенсации не должна превышать 3°C .

Для определения величины приведенной погрешности измерения температуры необходимо:

- подать с помощью эталонного источника на вход ИР такое значение э.д.с.

($E_{изм}$), чтобы на дисплее ИР индицировалось значение температуры (в °С), соответствующее поверяемой температурной точке, выждать не менее 1 минуты;

– вычислить приведенную погрешность измерения температуры в каждой поверяемой температурной точке по формуле

(1.25)

где $E_{изм}$ - действительное значение э.д.с. в поверяемой температурной точке;

$E_{ск}$ - э.д.с, соответствующая температуре свободных концов;

$E_{табл}$ - стандартное значение э.д.с. для поверяемой температурной точки;

N - нормирующее значение, равное разности верхнего и нижнего табличных значений э.д.с. для измеряемого диапазона температур;

γ - значение приведенной погрешности измерения температуры.

Результаты испытаний считаются положительными, если приведенная погрешность измерения температуры не превышает значения $\pm 0,5\%$.

➤ *Определение приведенной погрешности измерения ИР с унифицированными токовыми выходными сигналами (НС).* Определение приведенной погрешности измерения ИР НС выполняется методом сравнения показаний прибора с соответствующими заданными значениями тока, воспроизводимыми образцовой мерой.

Приведенная погрешность измерения ИР НС определяется для каждого измерительного канала. Вход поверяемого канала подключается к прибору для проверки вольтметров и выполняется определение погрешности в точках диапазона измерения. Диапазон преобразования канала рекомендуется задавать соответствующим диапазону изменения входного сигнала.

Определение приведенной погрешности измерения ИР НС выполняется в следующей последовательности:

– вывести страницу "ПОВЕРКА" на индикатор ИР и установить значение тока на приборе для проверки вольтметров;

– после выдержки не менее 1 минуты произвести отсчет показаний прибора (серия измерений должна содержать не менее четырех отсчетов, за результат измерения $A_{изм}$ принимается значение, имеющее наибольшее отклонение от номинального значения тока в поверяемой точке);

– вычислить приведенную погрешность измерения ИР НС в каждой контролируемой точке в процентах по формуле

(1.26)

где A_N - номинальное значение тока в проверяемой точке;

N - нормирующее значение, равное разности верхнего и нижнего значения диапазона измерения;

γ - приведенная погрешность измерения ИР НС.

Результаты испытаний считаются положительными, если приведенная погрешность измерения ИР НС не превышает значения $\pm 0,25\%$.

➤ *Определение приведенной погрешности срабатывания регулирующих устройств.* Определение приведенной погрешности срабатывания регулирующего устройства (РУ) выполняется методом сравнения номинального значения параметра регулирования с измеренным (преобразованным) значением входной величины, воспроизводимым образцовой мерой.

Погрешность определяется для каждого канала. Собрать схему в зависимости от типа входного сигнала. К выходным клеммам РУ ИР подключить индикаторное устройство для контроля состояния срабатывания.

Определение приведенной погрешности срабатывания РУ проводится в начальной средней и конечной точках диапазона измерения (преобразования).

Установить значения параметров регулирования срабатывания РУ на индикаторе ИР (в зависимости от типа входного сигнала).

Установить на входе поверяемого прибора значение входного сигнала выше (ниже) соответствующего значения параметра регулирования (в зависимости от типа входного сигнала).

Добиться срабатывания РУ изменением входного сигнала, с шагом, равным значению единицы младшего разряда. Выдержка показания на каждом шаге должна быть не менее 10 секунд.

За результат измерения параметра принимается значение, имеющее наибольшее отклонение от номинального.

Вычислить приведенную погрешность срабатывания регулирующего устройства в каждой контролируемой точке в процентах по формуле

$$(1.27)$$

где A_N - номинальное значение параметра регулирования срабатывания РУ;

$A_{изм}$ – значение входного сигнала срабатывания РУ, измеренное проверяемым каналом ИР, имеющее наибольшее отклонение от номинального;

N - нормирующее значение, равное диапазону измерения;

γ – значение приведенной погрешности срабатывания регулирующего устройства.

Результаты испытаний считаются положительными, если приведенная погрешность срабатывания РУ не превышает значения 1,5 погрешности преобразования ИР.

1.11 Поверка пирометров

Излучением называется передача энергии одного тела другому посредством лучистой энергии.

Тепловое излучение представляет собой один из видов теплообмена.

Носителем лучистой энергии являются электромагнитные колебания. Основными характеристиками энергии электромагнитных колебаний служат: скорость распространения c , равная 3 000 000 км/с; частота ν ; длина волны λ и амплитуда, изменяющиеся в широких пределах.

Нагретые тела испускают волны различной длины. Видимое человеческим глазом электромагнитное излучение, называемое светом, представляет собой лишь весьма узкий участок спектра шириной 0,35 мкм при длине волн 0,4—0,75 мкм. Волны длиной от 0,75 до 400 мкм относятся к участку инфракрасного спектра излучения. При еще большей длине волны они относятся к радиоволнам. Волны длиной менее 0,4 мкм относятся к ультрафиолетовому участку спектра излучения, еще меньшей — это уже диапазоны рентгеновских и гамма-лучей. В области температурных измерений используют в основном диапазон инфракрасных и видимых лучей.

Предположим, что на некоторое тело падает поток излучаемой энергии A , тогда часть этой энергии A_1 будет поглощена телом, часть A_2 отражена от его поверхности и часть A_3 пропущена телом сквозь себя.

Тогда

$$A_1 + A_2 + A_3 = A \quad (1.28)$$

Деля обе части этого равенства на A , получим

$$\frac{A_1}{A} + \frac{A_2}{A} + \frac{A_3}{A} = 1 \quad (1.29)$$

Первый член соотношения A_1/A называют коэффициентом поглощения тела α (он характеризует поглощательную способность тела), второй A_2/A — коэффициентом отражения ρ (он характеризует отражательную способность тела), третий A_3/A — коэффициентом пропускания τ (характеризует пропускательную способность тела). Очевидно, что

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (1.30)$$

Величина A называется полным, или интегральным, потоком энергии, который представляет собой суммарное количество энергии, излучаемое телом, на всех длинах воли в единицу времени.

Поток лучистой энергии при определенной длине волны λ называется монохроматическим. Для такого потока приняты монохроматические коэффициенты: поглощения α_λ , отражения ρ_λ и пропускания τ_λ . Каждый из этих коэффициентов у одного и того же тела при разных длинах волн может иметь разное значение, что характеризует избирательность — селективность поглощения, отражения и пропускания тела по отношению к различным длинам волн.

Рассмотрим, например, в области видимой части спектра монохроматические коэффициенты некоторых тел.

У плоскопараллельного стекла наибольшее значение имеет коэффициент пропускания $\tau_\lambda = 0,96—0,98$; коэффициент отражения $\rho_\lambda = 0,02-0,04$; а коэффициент поглощения $\alpha_\lambda = 0,00$; т. е. практически весь поток видимых лучей пропускается сквозь стекло, в то время как для ультрафиолетовых и тепловых инфракрасных лучей оно почти непрозрачно. У красного стекла для лучей красного цвета $\tau_\lambda = 0,8$; а для желтых, зеленых и синих лучей этот коэффициент практически равен нулю, но очень высок коэффициент поглощения α_λ . Полирован-

ные металлы отражают большую часть падающих на них лучей.

Тело, полностью поглощающее излучение всего спектра излучения, т.е. имеющее коэффициенты поглощения $\alpha = 1,0$ ($\tau = 0$, и $\rho = 0$), называется абсолютно черным телом. В природе таких тел не существует, однако, его можно имитировать.

Свойством абсолютно черного тела может обладать полое тело с отверстием, имеющим малые размеры по сравнению с этим телом (рисунок 1.8), когда само тело выполнено из материала, имеющего коэффициент пропускания $\tau = 0$. Для этого отверстия $\alpha = 1,0$, так как можно считать, что энергия луча, попавшего в это отверстие, полностью поглощается внутри полого тела.

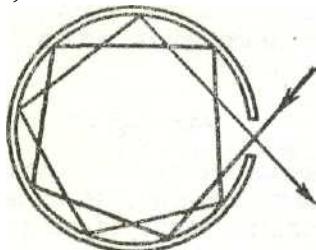


Рисунок 1.8

1.11.1 Классификация пирометров излучения

Пирометрами называются приборы, измеряющие температуру по тепловому излучению тел, независимо от величины температуры.

Классифицировать пирометры можно по различным признакам. Основные признаки, от которых зависят свойства и возможности пирометров – принцип действия, используемая область спектра излучения, особенности конструкции, а также технические и метрологические характеристики. От температуры тела зависят различные параметры его теплового излучения, а именно, энергетическая яркость и спектральное распределение энергетической яркости.

1.11.2 Основные типы пирометров излучения

Пирометры, предназначенные для измерения яркостной температуры в определенное (достаточно узкой) области длин волн, называются обычно яркостными. Если пирометры работают в узком спектральном интервале, их называют монохроматическими. Если же действующий спектральный интервал сравнительно широк, употребляют термин "пирометр частичного излучения".

Оптическими пирометрами называются приборы, использующие излучение видимой области спектра.

Пирометрами с исчезающей нитью называются приборы, действие которых основано на уравнивании яркостей специальной нити сравнения пирометрической лампы и изображения объекта.

Инфракрасные (ультрафиолетовые) термометры (пирометры) - приборы, использующие излучение инфракрасной (ультрафиолетовой) области спектра.

В автоматических яркостных пирометрах в качестве приемника излучения применяются фотоэлементы, фотодиоды, фотосопротивления и т.п., поэтому они часто называются фотоэлектрическими пирометрами (фотопирометрами).

Монохроматический пирометр с плавно изменяющейся действующей длиной волны представляет собой спектральный пирометр (спектропирометр).

Пирометры, измеряющие радиационную температуру, называются пирометрами суммарного излучения.

Для измерения цветовой температуры служат цветные пирометры. Визуальные цветные пирометры непосредственно уравнивают цвет поля сравнения с цветом объекта.

Автоматические электронные пирометры часто работают в невидимой части спектра. В этом случае говорить о цвете бессмысленно, и такие пирометры называются пирометрами отношения.

Очень важной разновидностью яркостных пирометров являются визуальные пирометры с исчезающей нитью. Так как они исторически были первыми пирометрами излучения, за ними сохранилось название оптические пирометры. В отличие от визуальных, все другие пирометры, которые могут работать без участия наблюдателя, называются объективными пирометрами.

Кроме классификации по принципу действия, пирометры различаются:

- по назначению (промышленные, лабораторные, прецизионные, для измерения температуры малых тел и т.п.);
- измеряемой температуре (низкотемпературные, высокотемпературные, многопредельные);
- области длин волн (инфракрасные, ультрафиолетовые и т.п).

Последнюю группу составляют пирометрические регуляторы. По принципу действия это могут быть как пирометры суммарного излучения, так и пирометры частичного излучения, или спектрального отношения. Их отличительной особенностью является то, что их показания зависят не от абсолютного значения измеряемой температуры, а от разности между заданной для регулирования величиной и ее фактическим значением.

В эту же группу включены пирометры специального назначения: радиопирометры, измеряющие температуру по излучению в радиочастотном диапазоне.

Наиболее широко в настоящее время применяются инфракрасные термометры.

1.11.2.1 Методы и средства поверки инфракрасного термометра (пирометра)

Поверка проводится согласно методикам поверки на пирометры.

При проведении поверки используют следующие средства поверки:

- излучатели эталонные "Черное тело" с диапазоном воспроизводимых температур от минус 40 °С до 2300 °С и погрешностью воспроизведения температуры от 0,05 °С до 6,8 °С;
- эталонные пирометры: TRIRAT LT, диапазон измерений от минус 50 °С

до 300 °С, погрешность от 0,15 °С до 0,5 °С; TRIRAT MT, диапазон измерений от 200 °С до 800 °С, погрешность от 0,2 °С до 1 °С; IS 12-TSP диапазон измерений от 600 °С до 2500 °С, погрешность от 0,2 °С до 2,2 °С.

2.11.2.2 Операции поверки

➤ *Внешний осмотр.* При внешнем осмотре должно быть установлено:

- отсутствие механических повреждений в виде сколов, вмятин, влияющих на работоспособность поверяемого термометра;
- комплектность и маркировка должна соответствовать эксплуатационной документации.

➤ *Опробование.* Опробование термометра проводится при включенном состоянии проверкой функционирования в соответствии с эксплуатационной документацией. Термометр должен реагировать на нажатие кнопок управления, отображать на ЖКИ значения температуры и другие параметры в зависимости от режима измерений и модификации термометра.

➤ *Определение абсолютной погрешности измерения температуры.* Абсолютную погрешность измерения температуры определяют сравнением показаний поверяемого термометра с температурой эталонного излучателя в четырех точках, равномерно распределенных по диапазону измерений, включая верхний и нижний пределы измерений.

Эталонный излучатель подбирают таким образом, чтобы рабочие спектральные диапазоны излучателя и поверяемого термометра совпадали, или можно было ввести соответствующую коррекцию. При поверке используют излучатель, диаметр выходного отверстия, которого как минимум в 1,5 раза больше диаметра измерительного пятна поверяемого термометра. Измерения температуры при помощи как эталонного, так и поверяемого термометра, проводят на расстоянии, соответствующем фокусному, таким образом, чтобы оптическая ось термометра совпадала с осью излучателя и проходила через центр полости излучателя. Соблюдение данных условий контролируют при помощи измерительной линейки.

Последовательно устанавливают значения температуры излучателя в соответствии с точками поверки. После стабилизации поверяемый термометр визируют на отверстие излучающей полости и измеряют температуру излучателя в точках поверки до получения не менее пяти отсчетов. Одновременно контролируют температуру эталонного излучателя с помощью встроенного прецизионного датчика температуры. За результаты измерений принимают средние арифметические температуры.

Абсолютную погрешность измерения температуры определяют по формуле

$$\Delta_i = t_{uz} - t_{э} \quad (1.31)$$

где t_{uz} - среднее арифметическое показаний поверяемого термометра, °С,
 $t_{э}$ - среднее арифметическое температуры эталонного излучателя, °С.

Результаты поверки считают положительными, если абсолютная погреш-

ность измерения температуры не превышает значений, установленных для термометра.

1.12 Поверка теплосчетчиков

Теплосчетчики назначенные для измерения тепловой энергии, которая поглощается (охлаждение) или отдается (нагревание) в системах теплоснабжения жидкостью, называемой теплоносителем.

Теплосчетчик отображает количество тепловой энергии в единицах измерений, допущенных к применению, в Республике Беларусь – Джоуль.

1.12.1 Уравнение теплопередачи

Передача тепловой энергии от тела или к телу может быть рассчитана, исходя из известных значений массы, удельной теплоемкости и изменения температуры.

В теплосчетчике значение изменения энтальпии между прямым и обратным потоками теплоносителя интегрируется по времени. Уравнение работы теплосчетчика

$$Q = \int_{t_0}^{t_1} q_m \Delta h dt \quad (1.32)$$

где Q – количество отдаваемой или поглощаемой тепловой энергии;
 q_m – массовый расход теплоносителя, проходящего через теплосчетчик;
 Δh – разность значений удельных энтальпий теплоносителя при температуре прямого и обратного потоков теплоносителя системы теплоснабжения;
 t – время.

Если теплосчетчик измеряет объем, а не массу, то имеет место другое уравнение

$$Q = \int_{V_0}^{V_1} k \Delta \Theta dV \quad (1.33)$$

где Q – количество отдаваемой или поглощенной тепловой энергии;
 V – объем прошедшего теплоносителя;
 k – тепловой коэффициент, который является функцией свойств теплоносителя при соответствующих значениях температуры и давления;
 $\Delta \Theta$ – разность температур теплоносителя в прямом и обратном потоках системы теплоснабжения.

Условно истинное значение теплового коэффициента k для воды при использовании ее в качестве теплоносителя рассчитывается для давления 1,6 МПа.

1.12.2 Типы теплосчетчиков

Типы теплосчетчиков установлены в СТБ EN 1434-1-2011 "Теплосчетчики. Общие требования".

В настоящем стандарте теплосчетчики определены как средства измерений, которые являются либо единичными приборами, либо комбинированными

приборами.

Классификация теплосчетчиков:

– единый теплосчетчик – теплосчетчик, который не имеет отдельных составных элементов;

– комбинированный теплосчетчик – теплосчетчик, состоящий из отдельных составных элементов;

– составной теплосчетчик – теплосчетчик, который может рассматриваться первоначально как комбинированный теплосчетчик для проведения испытаний с целью утверждения типа и поверки. После поверки составные элементы данного теплосчетчика считаются неотделимыми.

Составными элементами комбинированного теплосчетчика являются: датчик потока (первичный преобразователь расхода), датчики температуры (пара термопреобразователей сопротивления), вычислитель или их комбинация.

Датчик потока (первичный преобразователь расхода) - составной элемент теплосчетчика, через который протекает теплоноситель в системе теплоснабжения и который вырабатывает сигнал, являющийся функцией объема или массы.

Комплект датчиков температуры (пара термопреобразователей сопротивления) - составной элемент теплосчетчика (устанавливаемый при помощи "гильзы" или без), предназначенный для измерения температуры теплоносителя жидкости в прямом и обратном потоках системы теплоснабжения.

Вычислитель - составной элемент теплосчетчика, принимающий сигналы от датчика потока и датчиков температуры, рассчитывающий и индицирующий значение тепловой энергии.

1.12.3 Метрологические характеристики теплосчетчиков

Максимально допускаемые относительные погрешности составных элементов теплосчетчика:

– **вычислитель**

$$E_c = (0,5 + \Delta\Theta_{\text{мин.}}/\Delta\Theta) \quad (1.34)$$

Максимально допустимая относительная погрешность E_c отражает отношение измеренного значения тепловой энергии к условно истинному значению тепловой энергии.

– **комплект датчиков температуры**

$$E_t = (0,5 + 3\Delta\Theta_{\text{мин.}}/\Delta\Theta) \quad (1.35)$$

Максимально допустимая погрешность E_t отображает отношение отображаемого значения к условно истинному значению отношения между выходным сигналом датчика температуры и разностью температур.

Соотношение между температурой и сопротивлением каждого отдельного из пары датчика температуры не должно отличаться от значений, установленных в ЕН 60751, более чем на величину, эквивалентную 2 К.

– **датчик потока:**

Класс 1: $E_f = (1 + 0,01 q_p/q)$, но не более 3,5 %.

Класс 2: $E_f = (2 + 0,02 q_p/q)$, но не более 5 %.

Класс 3: $E_f = (3 + 0,05 q_p/q)$, но не более 5 %.

Максимально допустимая относительная погрешность E_f отражает отношение отображаемого значения выходного сигнала датчика потока к условно истинному значению массы (объема).

Для комбинации составных элементов максимально допустимая погрешность равна арифметической сумме максимально допустимых погрешностей всех составных элементов.

Погрешность комбинированных приборов не должна превышать арифметической суммы максимально допустимых погрешностей составных элементов.

Значения погрешностей теплосчетчика не должны превышать:

Класс 1: $E = \pm(2+4\Delta\Theta_{\text{мин}}/\Delta\Theta+0,01 q_p/q)$;

Класс 2: $E = \pm(3+4\Delta\Theta_{\text{мин}}/\Delta\Theta+0,02 q_p/q)$;

Класс 3: $E = \pm(4+4\Delta\Theta_{\text{мин}}/\Delta\Theta+0,05 q_p/q)$.

1.12.4 Поверка единого теплосчетчика с диаметром условного прохода до 20 мм

1.12.4.1 Подготовка и условия поверки

Перед началом поверки поверитель должен изучить руководство по эксплуатации поверяемого теплосчетчика, эталонов и других технических средств, используемых при поверке, настоящую методику поверки, правила техники безопасности и строго их соблюдать.

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха от 15 °С до 25 °С;
- температура поверочной жидкости (вода), от 15 °С до 30 °С;
- относительная влажность воздуха не более 80 % при температуре 25°С;
- атмосферное давление от 84,0 до 106,7 кПа;
- питание: литиевая батарея напряжением 3 В.

Перед проведением поверки должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

- теплосчетчик должен быть выдержан в условиях, указанных в пункте б) не менее 4 часов;
- выдержка теплосчетчика перед началом поверки при включенном напряжении питания должна быть не менее 30 мин;
- поверяемый теплосчетчик, применяемые при поверке эталонные средства измерений и оборудование подготавливают к проведению поверки в соответствии с эксплуатационной документацией на них.

1.12.4.2 Операции поверки

➤ *Внешний осмотр.* При проведении внешнего осмотра должно быть установлено соответствие теплосчетчиков следующим требованиям:

– маркировка и комплектность теплосчетчика должна соответствовать эксплуатационной документации. Каждый из термометров сопротивления подобранной пары должен иметь номинальную статическую характеристику в соответствии с ГОСТ 6651-2009 или СТБ EN 60751-20011;

– на составных частях теплосчетчиков не должно быть механических повреждений, влияющих на их работоспособность;

– изоляция соединительных кабелей не должна быть нарушена.

➤ *Опробование.* Опробование проводится при включенном состоянии теплосчетчика проверкой функционирования в соответствии с эксплуатационной документацией. Теплосчетчик должен реагировать на нажатие кнопок управления, отображать на дисплее все параметры в зависимости от режима измерений и выбранного уровня информации.

➤ *Проверка герметичности.* Проверка герметичности теплосчетчика производится с применением гидравлического стенда путем создания в рабочей полости первичного преобразователя расхода, заполненного водой, избыточного давления 2,4 МПа в течение 1 минуты.

Результат проверки считается положительным, если после выдержки под воздействием избыточного давления в течение 1 минуты в местах соединений и на корпусе теплосчетчика не наблюдается локальных отпотеваний, каплепадения или течи воды, а показания манометра гидравлического стенда остаются неизменными.

➤ *Определение относительной погрешности измерения количества тепловой энергии.* При определении метрологических характеристик теплосчетчика применяются проливные расходомерные установки с диапазоном воспроизводимых расходов, обеспечивающим воспроизведение минимального, номинального и максимального расходов теплосчетчика, с соотношением погрешностей измерения объема 1:3, термостатирующие устройства, эталонные измерители температуры, обеспечивающие запас точности 1:3, а также программное обеспечение фирм-изготовителей конкретного средства измерений для получения высокого разрешения измеряемых параметров теплосчетчиком.

Относительные погрешности измерения объема теплоносителя, разности температур теплоносителя $\Delta\Theta$ подающего t_1 и обратного t_2 трубопроводов, тепловой энергии теплосчетчиком определяются при разностях температур и при поверочных расходах, указанных в таблице 1.5.

Таблица 1.5

Номер точки поверки	Температура, разность температур, °С			Значение поверочного расхода, м ³ /ч, при значении постоянного расхода q _p	Значение объема, л
	t ₁	t ₂	ΔΘ		
1	53	50	3	0,9 q _p ≤ q ≤ q _p	50
2	70	50	20	0,1 q _p ≤ q ≤ 0,11q _p	10
3	145	50	95	q _i ≤ q ≤ 1,1 q _i	10

Примечание. Точность задания расходов не более ±5 %, при воспроизведении расхода q_i - не более +5 %.

Определение погрешностей измерения разности температур и количества тепловой энергии должно выполняться после установления теплового равновесия между термометрами сопротивления и термостатирующей средой термостата. Время выдержки термометров сопротивления в термостатах не менее 20 минут.

Возможный вариант значений максимальных q_s, постоянных q_p и минимальных расходов q_i в зависимости от типоразмеров теплосчетчиков и отношения q_i/q_p приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6

Номинальный размер теплосчетчика DN	15	15	20
Постоянный расход, q _p , м ³ /ч	0,6	1,5	2,5
Максимальный расход, q _s , м ³ /ч	1,2	3,0	5,0
Минимальный расход, q _i , м ³ /ч (q _i /q _p =1:25)	0,024	0,060	0,100

Определение относительной погрешности теплосчетчика при измерении объема теплоносителя, погрешности измерения разности температур производится одновременно с определением относительной погрешности измерения тепловой энергии.

➤ **Определение относительной погрешности теплосчетчика при измерении объема теплоносителя.** Относительную погрешность измерения объема теплоносителя определяют сравнением результатов измерения одного и того же объема воды, прошедшим через эталонную установку, и первичный преобразователь поверяемого теплосчетчика. Объем воды, измеренный теплосчетчиком, определяют за каждый пропуск воды по дисплею ПЭВМ.

Относительную погрешность δ_v в % вычисляют по формуле

$$\delta_v = \left(\frac{V_{изм} - V_{эт}}{V_{эт}} \right) \times 100\% \quad (1.36)$$

где V_{изм} – объем воды, л

$$V_{изм} = V_{кон} - V_{нач} \quad (1.37)$$

где V_{нач} – показание счетчика до пропуска объема воды на установке, л;

V_{кон} – показание счетчика после пропуска объема воды на установке, л;

V_{эт} – эталонный объем, воспроизведенный установкой, л;

Результаты проверки считаются положительными, если относительная погрешность измерения объема не превышает значений, вычисленных по фор-

муле (2.38), но не более 5 %

$$\delta_v = (3 + 0,05q_p/q) \quad (1.38)$$

где q - значение расхода, на котором происходит измерение, $\text{м}^3/\text{ч}$.

➤ *Определение относительной погрешности измерения разности температур.* Погрешность измерения разности температур определяют сравнением разности температур в термостатирующих устройствах, измеренной датчиками температуры из состава теплосчетчика и отраженной на дисплее ПЭВМ $\Delta\Theta_{\text{изм}}$ и эталонным значением данной разности $\Delta\Theta$.

Значения температур горячего и холодного трубопроводов задаются с помощью термостатирующих устройств в соответствии с таблицей 1.5. Значение погрешности измерения разности температур $\Delta\Theta$, $^{\circ}\text{C}$ вычисляем по формуле

$$\Delta\Theta = \Delta\Theta_{\text{изм}} - \Delta\Theta \quad (1.39)$$

Допустимое значение погрешности в относительной форме δ_{Θ} не должно превышать

$$\delta_{\Theta} = \pm(0,5 + 3\Delta\Theta_{\text{min}}/\Delta\Theta) \quad (1.40)$$

где $\Delta\Theta_{\text{min}}$ - нижний предел разности температур, 3°C .

➤ *Определение относительной погрешности измерения количества тепловой энергии.* Относительную погрешность измерения количества тепловой энергии определяют сравнением расчетного количества тепловой энергии и тепловой энергии, измеренной теплосчетчиком и отраженной на дисплее ПЭВМ.

Относительную погрешность измерения тепловой энергии определяют по формуле

$$\delta_Q = \left(\frac{Q_{\text{изм}} - Q_{\text{расч}}}{Q_{\text{расч}}} \right) \times 100\% \quad (1.41)$$

где $Q_{\text{изм}}$ – измеренное значение тепловой энергии, Дж,

$Q_{\text{расч}}$ – расчетное значение тепловой энергии.

Расчетное значение тепловой энергии определяется по формуле

$$Q_{\text{расч}} = K \Delta\Theta V, \text{ Дж} \quad (1.42)$$

где K – тепловой коэффициент, зависящий от свойств воды при соответствующих температуре и давлении, $\text{МДж}/\text{м}^3 \cdot \text{K}$ в соответствии с Приложением А СТБ EN 1434-1-2011;

V - объем воды, м^3 .

Результаты поверки считаются положительными, если относительная погрешность теплосчетчика не превышает значений, вычисленных по формуле

$$\delta = \pm(4 + 4\Delta\Theta_{\text{min}}/\Delta\Theta + 0,05q_p/q) \quad (1.43)$$

Список рекомендуемой литературы

1. Артемьев, Б.Г. Справочное пособие для работников метрологических служб: В 2-х кн./ Б.Г. Артемьев, С.М. Голубев — М.: Изд-во стандартов, 1990. — Кн. 1. — 582 с.
2. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С.Вентцель - М.: Наука, 1969. - 564 с.
3. Брянский, Л.Н. Краткий справочник метролога. / Л.Н. Брянский, А.С. Дойников — М.: Изд-во стандартов, 1991. — 79 с.
4. Брянский, Л.Н. Шкалы, единицы и эталоны / Л.Н. Брянский, А.С. Дойников, Б.Н. Крупин - Измерительная техника, — 1992. – №6.
5. Бурдун, Г.Д. Основы метрологии./ Г.Д. Бурдун, Б.Н. Марков — М.: Изд-во стандартов, 1985. —286 с.
6. Грановский, В.А., Методы обработки экспериментальных данных при измерениях./В.А. Грановский, Т.Н. Сирая — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 288с.
7. Деньгуб В.М., Смирнов В.Г. Единицы величин. Словарь-справочник. — М.: Изд-во стандартов, 1990. — 240 с.
8. Долинский Е.Ф. Обработка результатов измерений./ Е.Ф.Долинский — М.: Изд-во стандартов,1973. – 192 с.
9. Исаев Л.К., Малинский В.Д. Метрология и стандартизация в сертификации. / Л.К.Исаев, В.Д.Малинский — М.: Изд-во стандартов, 1996. — 179с.
10. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии./ Г.Д.Крылова — М.: Аудит ЮНИТИ, 1998. – 479 с.
11. Куликовский К.Л., Купер В.Я. Методы и средства измерений./ К.Л.Куликовский, В.Я.Купер — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 448 с.
12. Назаров Н.Г. Измерения: планирование и обработка результатов./ Н.Г.Назаров — М.: Изд-во стандартов, 2000. — 304 с.
13. Рабинович С.Г. Погрешности измерений./ С.Г.Рабинович — Л.: Энергия, 1978. — 262 с.
14. Рейх, Н.Н., Метрологическое обеспечение производства / Н.Н. Рейх, А.А. Тупиченков., В.Г. Цейтлин; под. ред. Л.К. Исаева. — М.: Изд-во стандартов, 1987. — 248 с.
15. Селиванов М.Н., Фридман А.Э., Кудряшова Ж.Ф. Качество измерений. Метрологическая справочная книга./ М.Н.Селиванов, А.Э.Фридман, Ж.Д. Кудряшова — Л.: Лепиздат, 1987.—295с.
16. Харт Х. Введение в измерительную технику. / Х.Харт — Пер. с нем. — М.: Издательство «Мир», 1999.-391 с.
17. Исаев Л.К., Мардин В.В. Русско-англо-французско-немецко-испанский словарь основных и общих терминов в метрологии./ Л.К.Исаев, В.В.Мардин — М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998.
18. Фридман А.Э. Основы метрологии. Современный курс./А.Э. Фридман -С.-Пб.:НПО «Профессионал», 2008.-284 с.
19. Балалаев В.А., Слаев В.А., Синяков А.И. Теория систем воспроизведения единиц и передачи их размеров/ В.А.Балалаев, В.А.Слаев, А.И.Синяков: Науч.

издание – Учеб. Пособие/ Под ред. В.А.Слаева.- С Пб.: АНО НПО «Профессионал», 2004._160с.: ил.

20. Кузнецов В.А., Ялунина Г.В. Общая метрология./ В.А.Кузнецов, Г.В.Ялунина - М.:ИПК Издательство стандартов, 2001. - 272 с.

21. Астафьева Л.Е., Ефремова Н.Ю., Ленъко Е.М «Единицы измерений. Методическое пособие»/ Л.Е.Астафьева, Н.Ю.Ефремова, Е.М.Ленъко - под общ.ред. Н.А. Жагоры – Минск : БелГИМ, 2008.– 64 с. ISBN 978-985-6726-31-9.

22. Жагора Н.А. Методы оценки и прогнозирования стабильности функционирования системы обеспечения единства измерений в РБ. Доклад диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук./ Н.А.Жагора. – Мн.: 2005. – 133с.

23. Национальные и исходные эталоны Беларуси. Каталог./ Корешков В.Н [и др.] - Мн.: БелГИМ, 2004 – 28 с.

24. GUM «Руководство по выражению неопределенности измерения» перевод с англ. под науч. ред. проф. Слаева В.А. – ГП ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, С.-Петербург, 1999.

25. Закон Республики Беларусь от 20 июля 2006 г. № 163-З О внесении изменений и дополнений в Закон Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений».

26. Закон Республики Беларусь от 5 января 2004г. №262-З «О техническом нормировании и стандартизации».

27. Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 13 февраля 2007 г. №6 **«Об утверждении Положения о Государственном реестре национальных эталонов единиц величин Республики Беларусь».**

28. Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 15 февраля 2007 г. №7 **«Об утверждении Положения о государственной метрологической службе».**

29. Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 6 марта 2007 г. №13 **«Об утверждении Положения о Государственном реестре средств измерений Республики Беларусь».**

30. Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 27 мая 2008 г. №29 **«О внесении дополнений и изменений в постановление Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 7 марта 2007 г. №14».**

31. Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 7 марта 2007 г. №14 **«Об утверждении Инструкций о порядке применения знака утверждения типа средств измерений, знака поверки средств измерений, знака маркировки фасованных товаров и их формах».**

32. Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 15 марта 2007 г. №16 **«Об утверждении Инструкции о порядке осуществления метрологического контроля».**

33. Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 16 марта 2007 г. №17 **«Об утверждении Перечня областей в сфе-**

ре законодательной метрологии».

34. Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 10 марта 2010 г. № 7 «**О внесении изменений и дополнений в инструкцию о порядке осуществления метрологического контроля**».

35. Технический регламент Республики Беларусь ТР 2007/003/ВУ «Единицы измерений, допущенные к применению на территории Республики Беларусь».

36. ТКП 8.000-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Основные правила организации и функционирования

37. ТКП 8.001-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Государственные испытания средств измерений. Правила проведения работ.

38. ТКП 8.002-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Эталоны единиц величин. Порядок разработки, утверждения, регистрации, хранения и применения.

39. ТКП 8.003-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Поверка средств измерений. Правила работ.

40. ТКП 8.004-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Метрологическая аттестация средств измерений. Правила проведения работ.

41. ТКП 8.005-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Стандартные образцы. Основные положения.

42. ТКП 8.006-2011 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Метрологическое подтверждение пригодности методик выполнения измерений. Правила проведения работ.

43. ТКП 8.014-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Калибровка средств измерений. Правила проведения работ.

44. СТБ 8011-99 Методика поверки спирометров и спирографов

45. СТБ 8017-2004 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Статистическая оценка метрологических характеристик эталонных средств измерений и адаптивное определение их межповерочных интервалов. Основные положения.

46. СТБ 8018-2004 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Аналитическая оценка стабильности метрологических характеристик эталонов.

47. СТБ 8025-2005 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Поверочные схемы. Построение и содержание. Порядок разработки, утверждения, регистрации и применения.

48. СТБ ЕН 1434-1-2011 Теплосчетчики. Общие требования.

49. СТБ ЕН 1434-2-2011 Теплосчетчики. Требования к конструкции.

50. СТБ ЕН 1434-3-2011 Теплосчетчики. Обмен данными и интерфейсы.

51. СТБ ЕН 1434-4-2011 Теплосчетчики. Испытания утверждения типа.

52. СТБ ЕН 1434-5-2011 Теплосчетчики. Первичная поверка.

53. СТБ ЕН 1434-6-2011 Теплосчетчики. Установка, ввод в эксплуатацию, контроль, техническое обслуживание.

54. СТБ ЕН 60751 Термопреобразователи сопротивления платиновые промышленные.
55. СТБ ГОСТ Р 8.585-2004 Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования.
56. СТБ ИСО 5725-1-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Общие принципы и определения.
57. СТБ ИСО 5725-2 –2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений.
58. СТБ ИСО 5725-3 –2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 3. Промежуточные меры прецизионности стандартного метода измерения
59. СТБ ИСО 5725-4-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 4. Основной метод определения правильности стандартного метода измерений.
60. СТБ ИСО 5725-5-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 5. Альтернативные методы определения прецизионности стандартного метода измерений.
61. СТБ ИСО 5725-6-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике.
62. ГОСТ 8.009-84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
63. ГОСТ 8.012-72 ГСИ. «Методы и средства поверки милливольтметров пирометрических».
64. ГОСТ 8.017-79 «Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений избыточного давления до 250 МПа».
65. ГОСТ 8.140-2009 «Государственная поверочная схема для средств измерений теплопроводности твердых тел в диапазоне от 0,02 до 20 Вт/(м·К) при температуре от 90 до 1100К».
66. ГОСТ 8.176-85 «ГСИ. Государственный специальный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений удельной теплоемкости твердых тел в диапазоне температур 1800 - 3000 К».
67. ГОСТ 8.177-85 «ГСИ. Государственный специальный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений теплопроводности твердых тел в диапазоне температур 90-300 К».
68. ГОСТ 8.207-76 Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.
69. ГОСТ 8.279-78 Термометры стеклянные жидкостные рабочие. Методы и средства поверки.
70. ГОСТ 8.305-78 Термометры манометрические. Методы и средства поверки.
71. ГОСТ 8.335-96 Пирометры визуальные с исчезающей нитью. Общие технические условия.
72. ГОСТ 8.324-2002 Государственная система обеспечения единства измере-

- ний. Счётчики газа. Методики поверки.
73. ГОСТ 8.338-2002 Термопреобразователи технических термоэлектрических термометров. Методы и средства поверки.
74. ГОСТ 8.395-80 ГСИ. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования
75. ГОСТ 8.401-80 Государственная система обеспечения единства измерений. Классы точности средств измерений. Общие требования.
76. ГОСТ 8.461-2009 Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Методика поверки.
77. ГОСТ 8.511-84 «ГСИ. Государственный специальный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений теплопроводности твердых тел в диапазоне температур 4,2-90 К».
78. ГОСТ 8.558-2009 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений температуры».
79. ГОСТ 12.2.007.0-75 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.
80. ГОСТ 12.4.009-83 Система стандартов безопасности труда. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание.
81. ГОСТ 6651-2009 Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний.
82. ГОСТ 28498-90 Термометры жидкостные стеклянные. Общие технические требования. Методы испытаний.
83. ГОСТ 30232-94 Термопреобразователи с унифицированным выходным сигналом. Общие технические требования.
84. ГОСТ 9736-91 Приборы электрические прямого преобразователя для измерения неэлектрических величин. Общие технические требования и методы испытаний.
85. ГОСТ 28243-96 Пирометры. Общие технические требования.
86. ГОСТ 30686-2000 Пирометры. Методы испытаний.
87. ГОСТ Р 51649-2004 Теплосчетчики для водяных систем теплоснабжения. Общие технические условия.
88. СТБ ГОСТ Р 8.585-2004 Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования
89. СТБ ГОСТ Р 8.619-2009 Приборы тепловизионные измерительные. Методика поверки.
90. СТБ ГОСТ Р 8.667-2012 «Государственный поверочная схема для средств измерений энергии сгорания, удельной энергии сгорания и объёмной энергии сгорания (колориметров сжигания)».
91. СТБ ИСО/МЭК 17025-2007 «Общие требования к компетентности калибровочных и испытательных лабораторий».
92. ISO/IEC Guide 98-1:2009 «Неопределенность измерения. Часть 1. Введение к выражению неопределенности измерения».
93. ISO/IEC Guide 98-3:2008 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения (GUM:1995)».