Введен в действие
Приказом Федерального
агентства по техническому
регулированию и метрологии
от 15 декабря 2009 г. N 1121-ст

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗ ПЛАТИНЫ, МЕДИ И НИКЕЛЯ

МЕТОДИКА ПОВЕРКИ

State system for ensuring the uniformity of measurements. Platinum, copper and nickel resistive temperature transducers. Verification methods

ГОСТ 8.461-2009

Группа Т88.2

ОКС 17.200.20

Дата введения
1 января 2011 года

Предисловие

Цели, основные принципы и основной порядок проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0-92 "Межгосударственная система стандартизации. Основные положения" и ГОСТ 1.2-97 "Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Порядок разработки, принятия, применения, обновления и отмены".

Сведения о стандарте

1. Разработан Федеральным государственным унитарным предприятием "Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии имени Д.И. Менделеева" (ФГУП "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева") Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии.

2. Внесен Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии.

3. Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол N 36 от 10 ноября 2009 г.).

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004-97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004-97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Азербайджан	AZ	Азстандарт
Армения	AM	Минэкономики Республики

		Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Кыргызстан	KG	Кыргызстандарт
Молдова	MD	Молдова-Стандарт
Российская Федерация	RU	Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии
Таджикистан	TJ	Таджикстандарт
Узбекистан	UZ	Узстандарт
Украина	UA	Госпотребстандарт Украины

4. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2009 г. N 1121-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 8.461-2009 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации.

5. Взамен ГОСТ 8.461-82.

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта публикуется в указателе "Национальные стандарты".

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в указателе "Национальные стандарты", а текст изменений - в информационных указателях "Национальные стандарты". В случае пересмотра или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована в информационном указателе "Национальные стандарты".

1. Область применения

Настоящий стандарт распространяется на термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля (далее - ТС) по ГОСТ 6651, предназначенные для измерения температуры от минус 200 °С до плюс 850 °С или в части данного диапазона, а также на находящиеся в обращении ТС, выпущенные до введения в действие ГОСТ 6651, и устанавливает методику их первичной и периодической поверок. В соответствии с настоящим стандартом могут быть поверены также чувствительные элементы (далее - ЧЭ) ТС, используемые в качестве средств измерений температуры.

Методика построения индивидуальной зависимости сопротивление - температура для ТС, требования к точности которых отличаются от требований ГОСТ 6651, приведена в Приложении А.

Значения температуры в настоящем стандарте соответствуют Международной температурной шкале 1990 г. МТШ-90 [1].

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 6651-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний

ГОСТ 12.2.007.0-75 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности

Примечание. При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования - на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю "Национальные стандарты", который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменяющим (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором

дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 6651, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1. Поверка термопреобразователя сопротивления: установление пригодности термопреобразователя сопротивления к применению на основании контроля соответствия основных характеристик требованиям ГОСТ 6651 и технических документов изготовителя.

3.2. Градуировка термопреобразователя сопротивления: определение сопротивления термопреобразователя сопротивления при нескольких заданных значениях температуры (в градуировочных точках) в целях построения индивидуальной зависимости сопротивления термопреобразователя сопротивления от температуры.

3.3. Эталонный [образцовый] термометр: термометр любого типа, поверенный путем прямой или опосредованной передачи размера единицы от государственного первичного эталона единицы температуры и предназначенный для передачи размера единицы температуры.

3.4. Термостат: устройство для воспроизведения и поддержания температуры в определенном объеме с нормированной однородностью в пространстве и стабильностью во времени.

3.5. Калибратор: термостат, снабженный встроенным эталонным [образцовым] термопреобразователем и дисплеем для отсчета значений воспроизводимой температуры.

Примечания.

1. Термостаты и калибраторы подразделяют в зависимости от вида термостатируемой среды на жидкостные, сухоблочные и флюидные.

2. Калибраторы могут быть использованы как термостаты для поверки ТС сличением с внешним эталонным [образцовым] термопреобразователем.

3.6. Реперная точка: температура фазового перехода или фазового равновесия вещества, характеризующаяся высокой стабильностью и воспроизводимостью.

Примечание. Перечень веществ, применяемых в качестве реперных точек, и их основные характеристики регламентированы Положением о Международной температурной шкале МТШ-90 [1] и дополняющими документами.

3.7. Неопределенность измерений: параметр, связанный с результатом измерений и характеризующий рассеяние значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине.

Примечания.

1. Термины по 3.7 - 3.10 соответствуют РМГ 43 [2] и стандарту EA-4/02 [3].

2. Сопоставление неопределенности измерений и оценок характеристик погрешности - в соответствии с РМГ 43 [2].

3.8. Стандартная неопределенность; u: неопределенность результата измерений, выраженная как среднее квадратическое отклонение (СКО).

Примечание. Различают два метода оценивания стандартной неопределенности: "по типу А" и "по типу В":

- метод оценивания по типу А - оценивание неопределенности путем статистического анализа результатов многократных измерений;

- метод оценивания по типу В - оценивание неопределенности иным, чем статистический анализ результатов измерений, способом.

3.9. Суммарная стандартная неопределенность; u_c : стандартная неопределенность результата измерений, полученного через значения других величин, равная положительному квадратному корню суммы членов, представляющих собой дисперсии или ковариации этих других величин, взвешенные в соответствии с тем, как результат изменяется при изменении этих величин.

Примечание. Суммарная стандартная неопределенность измерения сопротивления (температуры), оцениваемая в соответствии с настоящим стандартом, равна квадратному корню из суммы квадратов стандартных неопределенностей, входящих в бюджет неопределенности измерения.

3.10. Расширенная неопределенность; U: неопределенность, представляющая собой интервал вокруг результата измерений, в пределах которого находится большая часть значений, с достаточным основанием могущих быть приписанными измеряемой величине.

Примечание. Расширенную неопределенность рассчитывают умножением суммарной стандартной неопределенности на коэффициент охвата k, который в соответствии с настоящим стандартом принят равным двум (k = 2) в предположении нормальности закона распределения возможных значений измеряемой величины при доверительной вероятности P = 0,95.

3.11. Неопределенность поверки термопреобразователя сопротивления: неопределенность результата измерения сопротивления термопреобразователя сопротивления при заданной температуре (в градуировочной точке).

Примечание. Неопределенность поверки ТС в диапазоне температур - максимальная из неопределенностей результатов измерения сопротивления ТС во всех градуировочных точках в пределах диапазона.

3.12. Бюджет неопределенности измерений: сводная таблица составляющих суммарной стандартной неопределенности измерений.

3.13. Нестабильность эталонного [образцового] термопреобразователя сопротивления за межповерочный интервал: изменение сопротивления термопреобразователя сопротивления в температурном эквиваленте при температуре тройной точки воды за интервал времени между двумя последовательными поверками.

3.14. Относительное сопротивление термометра; W: отношение сопротивления термометра в градуируемой точке к сопротивлению термометра при 0 °С.

4. Общие положения

4.1. ТС подвергают первичной и периодической поверкам в аккредитованных в установленном порядке поверочных лабораториях. Первичную поверку совмещают с приемосдаточными испытаниями ТС, если ее выполняют в аккредитованной на право проведения поверки лаборатории предприятия-изготовителя. Периодичность поверки, устанавливаемая техническими документами на ТС конкретного типа, зависит от стабильности ТС и условий его эксплуатации.

4.2. Поверка ТС на соответствие требованиям ГОСТ 6651 должна включать в себя проверку отклонения зависимости сопротивление - температура ТС от номинальной статической характеристики (НСХ). Перечень операций поверки приведен в разделе 5.

4.3. Градуировку ТС в нескольких градуировочных точках в целях построения индивидуальной зависимости сопротивление - температура проводят как составную часть поверки для платиновых ТС, требования к точности которых отличаются от требований ГОСТ 6651. Рекомендуемая методика построения индивидуальной зависимости сопротивление - температура приведена в Приложении А.

4.4. Периодическая поверка ТС, демонтаж которых неосуществим или нежелателен, может быть проведена по специально разработанным и утвержденным в установленном порядке методикам, включающим в себя компьютерный многопараметрический сравнительный анализ показаний группы ТС в процессе эксплуатации, сравнение ТС в условиях эксплуатации с временно вмонтированным в измерительный канал эталонным термопреобразователем и т.п.

Примечание. Методы бездемонтажной поверки настоящий стандарт не рассматривает.

5. Операции поверки

При проведении поверки выполняют операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1

Операции поверки

Наименование операции	Раздел, подраздел ГОСТ 6651 (требования)	Подраздел настоящего стандарта (методика)	Обязательность проведения поверки	
			первичной	периодической
Внешний осмотр, проверка маркировки и комплектности	9, 10	10.1	+	+
Проверка электрического сопротивления изоляции ТС при температуре (20 +/- 5) °С	6.3	10.2	+	+
Проверка отклонения сопротивления ТС от НСХ при температуре от -5 °С до +30 °С	5.5, 5.6	10.3	+	+
Проверка отклонения сопротивления ТС от НСХ при температуре от 90 °С до 103 °С	5.5, 5.6	10.4	+	+
Примечание. Знак "+" указывает на обязательность операции поверки.				

6. Средства поверки

6.1. Для поверки ТС применяют следующие основные средства поверки:

- эталонные (образцовые) термометры;
- термостаты;
- калибраторы;
- установки для реализации реперных точек;
- приборы для измерения сопротивления ТС и регистрации показаний эталонных термометров;
- приборы для измерения электрического сопротивления изоляции между выводами и защитным корпусом ТС.

6.2. Вспомогательное оборудование, такое как штативы, защитные экраны, защитные очки, перчатки, стеклянные и кварцевые пробирки, сосуды Дьюара и т.п., должно быть использовано при необходимости для обеспечения удобства и безопасности проведения измерений и в соответствии с инструкциями по применению средств измерений конкретных типов.

6.3. Эталонные [образцовые] термометры

Должны быть использованы отечественные и импортные термометры, внесенные в Государственный реестр средств измерений и имеющие действующие свидетельства о поверке, расширенная неопределенность градуировки которых, указанная в свидетельстве о поверке (или в нормативных и технических документах), не превышает 1/3 допуска поверяемых ТС при температурах поверки. При выборе эталонного термометра следует учитывать его нестабильность за межповерочный интервал, используемую при расчете расширенной неопределенности поверки.

Примечание. Если в свидетельстве о поверке эталонного термометра указана доверительная погрешность при доверительной вероятности 95%, то она не должна превышать 1/3 допуска поверяемых ТС.

6.4. Термостаты и калибраторы

6.4.1. Для поверки ТС должны быть применены жидкостные переливные термостаты или жидкостные и флюидные термостаты других типов, имеющие действующие свидетельства о поверке и 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.

Примечание. В Приложении Б представлены рекомендуемые заполняющие среды для жидкостных термостатов в зависимости от диапазона температур (по стандарту АСТМ Е 644-04 [4]).

6.4.2. Для поверки ТС при температуре 0 °С допускается применять сосуды Дьюара и нулевые термостаты, наполненные смесью льда и воды. Неравномерность температуры в рабочем объеме термостата не должна превышать +/- 0,01 °С.

6.4.3. Для поверки ТС допускается применять сухоблочные термостаты и калибраторы, соответствующие следующим требованиям:

- каналы в выравнивающем блоке должны иметь изотермическую зону (зону с нормированным температурным градиентом) длиной не менее длины чувствительного элемента поверяемого ТС, в любом случае не менее 40 мм. Точное расположение зоны должно быть указано в документах на термостат;

- нестабильность поддержания температуры в канале блока за время не менее 30 мин после установления стационарного режима термостата должна быть не более 1/5 допуска поверяемых ТС;

- расхождение значений температуры между каналами блока (горизонтальный перепад температуры) должно быть не более 1/5 допуска поверяемых ТС;

- вертикальный перепад температур в изотермической зоне блока не должен превышать 1/3 допуска поверяемых ТС, неравномерность температуры на длине ЧЭ - не более 1/5 допуска поверяемых ТС;

- расширенная неопределенность воспроизведения температуры калибратором (установленная при поверке калибратора) не должна превышать 1/3 допуска поверяемых ТС.

При применении сухоблочного термостата для поверки ТС должны быть выполнены также следующие требования (соответствующие международному стандарту ЕА-10/13 [5]):

- в диапазоне температур от минус 80 °С до плюс 660 °С внутренний диаметр канала в блоке должен отличаться от внешнего диаметра поверяемого термопреобразователя не более чем на 0,5 мм. В диапазоне температур свыше 660 °С допускается различие диаметров до 1 мм. Для улучшения теплового контакта рекомендуется использовать различные теплопроводящие вещества, указанные в документах на термостат;

- глубина погружения ТС в блок должна быть по крайней мере в 15 раз больше, чем диаметр ТС плюс длина ЧЭ. Сухоблочные термостаты (калибраторы) рекомендуется использовать для поверки ТС, диаметр которых не более 6 мм. Если термостат используют для поверки ТС диаметром более 6 мм, необходимы дополнительные исследования неопределенности, вызванной теплоотводом по корпусу термопреобразователя в окружающую среду, которые должны быть проведены при поверке калибратора по требованию заказчика для всех предполагаемых диаметров поверяемых ТС;

- условия поверки ТС должны быть максимально приближены к условиям, в которых была проведена поверка термостата (теплопроводящие вещества, средства для изоляции выравнивающего блока сверху, число одновременно поверяемых ТС).

6.5. Аппаратура для реализации реперных точек

6.5.1. Для поверки ТС в диапазоне температур от минус 5 °С до плюс 30 °С рекомендуется использовать следующие реперные точки МТШ-90 [1]:

- тройную точку воды (0,01 °С);

- точку плавления галлия (29,7646 °С).

6.5.2. Для реализации тройной точки воды должна быть использована ампула тройной точки воды, установленная в нулевой термостат или сосуд Дьюара. Допускается использовать жидкостные термостаты, имеющие действующее свидетельство о поверке, для которых нестабильность поддержания температуры и неравномерность температуры в рабочем объеме не превышают +/- 0,01

°C.

6.5.3. Для реализации точки плавления галлия должна быть использована установка, включающая в себя ампулу с заплавленным галлием (чистота галлия не менее 99,9999% по весу), установленную в термостат или калибратор. Ампула должна быть поверена с помощью эталонных ТС. Термостат должен иметь действующее свидетельство о поверке. Установка должна обеспечить воспроизводимость температуры фазового перехода не более +/- 0,001 °C.

Примечание. Основные принципы реализации фазовых переходов изложены в документе Международного бюро мер и весов "Дополнительная информация к шкале МТШ-90" [6].

6.5.4. Для поверки в диапазоне температур от 90 °C до 103 °C допускается применять паровой термостат, имеющий действующее свидетельство о поверке, для которого нестабильность поддержания температуры составляет не более +/- 0,03 °C.

6.6. Измерительная аппаратура

6.6.1. Для измерения сопротивления поверяемых ТС должны быть применены мосты постоянного и переменного токов, цифровые мультиметры, многоканальные прецизионные измерители температуры, установки типа автоматизированного рабочего места для поверки термопреобразователей сопротивления (АРМ ПТС), внесенные в Государственный реестр средств измерений. При выборе измерительной установки следует учесть, что расширенная неопределенность поверки ТС должна быть в два раза меньше требуемого допуска ТС по ГОСТ 6651 (раздел 5).

6.6.2. Для измерения сопротивления поверяемых ТС могут быть также применены электроизмерительные установки, включающие в себя прецизионные вольтметры и потенциометры, источники тока, образцовые меры сопротивления, коммутирующие средства и переключатели.

6.6.3. Если для поверки применяют измерители температуры со встроенной программой, позволяющей отсчитывать показания в единицах температуры или отклонения температуры от НСХ, то неопределенность измерения, выполненного с использованием таких измерителей, не должна превышать 1/10 допуска поверяемых ТС.

6.7. Для измерения электрического сопротивления изоляции между выводами и защитным корпусом ТС должны быть применены мегомметры типов Ф4102/01-1М, Е6-17 или другие измерительные приборы с верхним пределом измерения не ниже 500 МОм и пределом погрешности, не превышающим +/- 5%.

6.8. Перед использованием средств поверки ТС необходимо провести расчет ожидаемой расширенной неопределенности поверки ТС по данным свидетельств о поверке термостата или калибратора и о поверке всех остальных используемых средств измерений по методике, изложенной в разделе 11. Рассчитанная расширенная неопределенность поверки ТС должна быть в два раза меньше требуемого допуска ТС по ГОСТ 6651. Пример оценивания расширенной неопределенности поверки ТС класса А при температуре 95 °C в лаборатории с использованием жидкостного термостата приведен в Приложении В. Пример оценивания расширенной неопределенности градуировки ТС в сухоблочном термостате при температуре 400 °C приведен в Приложении Г.

7. Условия поверки и требования к квалификации поверителей

7.1. При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура воздуха в помещении, предназначенном для поверки, должна быть (20 +/- 5) °C; относительная влажность не более 80%; атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа;

- вибрация, тряска, удары, магнитные поля, кроме земного, влияющие на работу эталонных ТС и других средств поверки, должны быть исключены;

- напряжение питания сети должно быть в пределах, установленных эксплуатационными документами на средства поверки.

7.2. К проведению поверки должны быть допущены лица, имеющие необходимую квалификацию и аттестованные в качестве поверителей.

8. Требования безопасности

8.1. Должны быть соблюдены требования ГОСТ 12.2.007.0.

8.2. Следует соблюдать осторожность при работе с масляными и солевыми термостатами, не допускать попадания влаги в рабочую среду.

8.3. Запрещается трогать нагретый ТС руками и класть его на легковоспламеняющиеся поверхности.

8.4. При использовании сжиженных газов необходимо соблюдать осторожность и не допускать попадания жидких газов на открытые участки тела. При извлечении охлажденных ТС из сосудов Дьюара необходимо пользоваться хлопчатобумажными перчатками.

8.5. При работе со стеклянными сосудами Дьюара необходимо пользоваться защитными очками. Не допускается уплотнять лед в стеклянных сосудах металлическими и остроконечными предметами.

9. Подготовка к поверке

9.1. Проверка документации

Перед проведением поверки проверяют наличие: инструкций по эксплуатации средств поверки, аттестатов испытательного оборудования, свидетельств о поверке средств измерений, паспорта, клейма или свидетельства о предыдущей поверке ТС.

9.2. Подготовка средств поверки

Все средства поверки, такие как термостаты, калибраторы, установки для реализации реперных точек, измерительные приборы, должны быть подготовлены к работе в соответствии с инструкциями по их эксплуатации. Должно быть обеспечено правильное заземление приборов и должны быть выполнены все требования безопасности.

9.3. Экспериментальная оценка неопределенности единичного измерения сопротивления в условиях конкретной поверочной лаборатории

9.3.1. Неопределенность единичного измерения сопротивления определяют при температурах, близких к градуировочным точкам, отдельно для ТС различных номинальных сопротивлений, поверяемых в данной лаборатории. Допускается использовать термостатированные меры сопротивления с номинальными значениями, близкими к номинальным значениям поверяемых ТС.

9.3.2. Рекомендуется проводить измерения в реперной точке, в нулевом термостате при 0 °С или в высокостабильном жидкостном термостате (нестабильность не более +/- 0,002 °С). Проводят не менее 50 отсчетов сопротивления и рассчитывают СКО результата измерения. Для автоматических цифровых мостов необходимо использовать те же параметры при проведении каждого измерения (время интегрирования, время отсчета и т.п.), что и при проведении поверки. Значение СКО $u\left(r_{lab}\right)$ рассчитывают либо автоматически измерительным мостом, либо, при регистрации поверителем отдельных отсчетов, по формуле

$$u\left(r_{lab}\right)=\sqrt{\sum_{i=1}^{N_{lab}}\frac{\left(R_i-R_s\right)^2}{N_{lab}-1}}\ , \quad (1)$$

где N_{lab} - число отсчетов сопротивления ТС;

R_i - результат i-го отсчета;

R_s - среднее значение сопротивления.

10. Проведение поверки и обработка результатов поверки

10.1. Внешний осмотр, проверка маркировки и комплектности

10.1.1. Визуальный осмотр ТС должен показать, что защитный корпус, внешние клеммы и внешние провода ТС не имеют видимых разрушений, резьба на клеммах, клеммных головках и штуцерах не имеет механических повреждений. ТС с загрязненной поверхностью защитной арматуры

к поверке не допускают.

10.1.2. При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие ТС требованиям ГОСТ 6651 в части маркировки и комплектности.

10.1.3. При невыполнении требований 10.1 ТС к дальнейшей поверке не допускают.

10.2. Проверка электрического сопротивления изоляции термопреобразователей сопротивления при температуре (20 +/- 5) °С

10.2.1. Подключают клеммы прибора для измерения электрического сопротивления к выводам и защитному корпусу ТС. Подают измерительное напряжение 100 В.

10.2.2. Показания снимают в течение 10 с после подачи напряжения и фиксируют минимальное значение сопротивления. Сопротивление изоляции ТС должно соответствовать требованиям ГОСТ 6651. ТС, не удовлетворяющие требованиям ГОСТ 6651, к дальнейшей поверке не допускают.

10.3. Проверка отклонения сопротивления термопреобразователей сопротивления от номинальной статической характеристики при температуре от минус 5 °С до плюс 30 °С

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

10.3.1. Сличение с эталонным [образцовым] термометром в жидкостном термостате

10.3.1.1. Эталонный термометр и поверяемые ТС помещают в рабочий объем термостата на глубину не менее минимальной глубины погружения, указанной в паспорте на ТС. Если монтажная длина поверяемых ТС более минимальной глубины погружения эталонного [образцового] термометра или равна ей, то ЧЭ всех ТС должны находиться на одном уровне. Если монтажная длина поверяемых ТС менее минимальной глубины погружения эталонного [образцового] термометра, то ТС погружают в термостат на монтажную длину и в результат измерения вводят поправку на перепад температур между средними точками ЧЭ поверяемых и эталонного [образцового] ТС (по 11.7).

Примечание. При поверке ТС монтажной длиной менее 50 мм рекомендуется использовать переливной жидкостный термостат и специальные средства для герметизации контактной головки.

10.3.1.2. Поверяемые ТС подключают к измерительной установке в соответствии со схемой соединения внутренних проводов ТС и схемами внешних электрических подключений приборов. Необходимо строго соблюдать инструкцию по подключению и заземлению электроизмерительной аппаратуры. Подключение ТС к переключателям должно обеспечивать надежный электрический контакт. Поверхность наконечников и выводных проводов ТС должна быть очищена от пленки оксидов. Измерительный ток должен соответствовать указанному в спецификации на ТС. При использовании электроизмерительной установки постоянного тока должна быть обеспечена компенсация паразитных термоэлектродвижущих сил (ТЭДС) во время измерений, например путем переключения направления тока.

10.3.1.3. После достижения стабильного состояния (сопротивление ТС не изменяется более чем на 1/10 допуска за 5 мин) проводят цикл измерений: измеряют температуру эталонным термометром, затем последовательно измеряют сопротивление поверяемых ТС и вновь повторяют измерение эталонным термометром. При использовании автоматических мостов результат каждого измерения должен быть получен как среднее арифметическое значение не менее чем из пяти отсчетов. Цикл измерений повторяют не менее двух раз. Показания эталонного термометра за все время измерений не должны измениться более чем на 1/5 допуска поверяемых ТС.

Примечания.

1. При использовании двухпроводной схемы соединения внутренних выводов и подключения к измерительной установке необходимо из результата измерения сопротивления ТС вычесть значение сопротивления соединительных проводов и сопротивления внутренних выводов (если оно указано на термопреобразователе или в сопроводительной документации).

2. При использовании трехпроводной схемы соединения внутренних выводов необходимо измерить сопротивление между двумя контактами, соединенными с цепью, включающей в себя ЧЭ, и двумя контактами, соединенными с парой проводников, идущих из одной точки ЧЭ, и затем вычесть значение второго сопротивления из значения первого.

10.3.1.4. По данным измерений рассчитывают среднее арифметическое значение и размах температуры в термостате, средние значения сопротивлений поверяемых ТС. Допускается использовать самостоятельное или входящее в комплект поставки средств поверки аттестованное программное обеспечение, предназначенное для автоматизации процессов градуировки и поверки ТС, обработки и хранения результатов.

10.3.1.5. Расчет расширенной неопределенности результата измерения проводят по методике, изложенной в разделе 11.

10.3.2. Сличение с эталонным [образцовым] термометром при температуре 0 °С

10.3.2.1. Для определения сопротивления ТС при температуре 0 °С рекомендуется использовать термостат или сосуд Дьюара, заполненный смесью мелкодробленого льда и охлажденной воды. Лед должен быть увлажнен и уплотнен по всей массе, чтобы в смеси льда и воды не было пузырей воздуха и излишка воды.

10.3.2.2. Условия погружения ТС и подключения к измерительной установке - по 10.3.1.1 и 10.3.1.2. Толщина слоя льдо-водяной смеси, окружающей термопреобразователи, не должна быть менее 30 мм.

10.3.2.3. После достижения стабильного состояния проводят измерение температуры эталонным термометром, затем последовательно измеряют сопротивление поверяемых ТС. Необходимо провести не менее 10 отсчетов сопротивления для каждого ТС. По полученным данным рассчитывают среднее арифметическое значение сопротивления ТС и СКО среднего арифметического значения.

10.3.2.4. Расчет расширенной неопределенности результата измерений проводят по методике, изложенной в разделе 11.

10.3.3. Сличение с образцовым термометром в сухоблочном термостате (калибраторе)

10.3.3.1. Сухоблочные термостаты рекомендуется применять для поверки и градуировки ТС, диаметр корпуса которых не превышает 6 мм. Необходимо точно соблюдать условия загрузки блока, зазоры между ТС и каналами блока и условия тепловой изоляции блока, при которых была проведена поверка калибратора.

10.3.3.2. Перед использованием термостата необходимо проверить чистоту каналов металлического блока и размер кольцевых зазоров между ТС и внутренними стенками каналов, которые должны быть не более 0,1 мм. Допускается использование блока с кольцевым зазором до 0,5 мм при условии заполнения зазора сухим мелкодисперсным порошком оксида алюминия.

10.3.3.3. При поверке ТС с погружаемой частью переменного диаметра необходимо использовать медные и латунные трубки соответствующего диаметра, обеспечивающие плотную посадку на утонченную часть поверяемого ТС.

10.3.3.4. Методика проведения измерений - по 10.3.1. Расчет неопределенности результата градуировки проводят по методике, изложенной в разделе 11.

10.3.4. Поверка термопреобразователя сопротивления в реперных точках

10.3.4.1. Поверка в тройной точке воды

Предварительно охлажденный ТС погружают в ампулу тройной точки воды, установленную в термостате или сосуде Дьюара. Измерения сопротивления ТС начинают не ранее чем через 15 мин после погружения и продолжают не менее 5 мин. Проводят не менее 10 отсчетов сопротивления. Измерительный ток должен быть равен указанному в документах на термопреобразователь конкретного типа. Показания измерительной установки не должны регистрировать тенденции к увеличению или уменьшению сопротивления ТС. По полученным данным рассчитывают среднее арифметическое значение сопротивления ТС и СКО среднего арифметического значения. Расчет расширенной неопределенности результата градуировки проводят по методике, изложенной в разделе 12.

10.3.4.2. Поверка в точке плавления галлия

ТС погружают в ампулу с галлием после того, как зафиксировано начало температурной площадки фазового перехода. ТС подключают к установке для измерения сопротивления. Измерительный ток должен быть равен указанному в документах на термопреобразователь конкретного типа. После стабилизации показаний проводят измерение сопротивления ТС в течение не менее 5 мин. Необходимо зафиксировать результаты не менее 10 отсчетов. Не должно быть выявлено тенденции к увеличению или уменьшению сопротивления ТС в процессе измерений. По полученным

данным рассчитывают среднее значение сопротивления ТС и СКО среднего значения. Расчет расширенной неопределенности результата градуировки проводят по методике, изложенной в разделе 12.

10.3.5. 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:

$$\left(R_k\left(t_x\right)-R_{\text{НСХ}}\left(t_x\right)+U\right)/\frac{dR}{dt}\le+\Delta t_x,$$

$$\left(R_k\left(t_x\right)-R_{\text{НСХ}}\left(t_x\right)-U\right)/\frac{dR}{dt}\ge-\Delta t_x, \quad (2)$$

где $R_k\left(t_x\right)$ - среднее значение сопротивления поверяемого ТС, Ом;

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

$R_{\text{НСХ}}\left(t_x\right)$ - значение сопротивления ТС по НСХ при температуре t_x, Ом;

U - расширенная неопределенность результата измерения сопротивления ТС, рассчитанная по методике, изложенной в разделе 11, Ом;

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

$\pm\Delta t_x$ - допуск ТС по ГОСТ 6651 при температуре t_x, °С.

10.4. 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 [образцовым] ТС в жидкостном, сухоблочном или паровом термостате по методике, изложенной в 10.3.1. Критерий годности - по 10.3.5.

Примечание. Использование паровых термостатов, реализующих точку кипения воды, - в соответствии с техническим описанием и инструкцией по их применению.

11. Расчет расширенной неопределенности поверки термопреобразователей сопротивления в термостате или калибраторе

11.1. Суммарную стандартную и расширенную неопределенности поверки ТС рассчитывают для каждой температуры поверки. При расчете суммарной неопределенности поверки учитывают неопределенность измерений температуры эталонным [образцовым] термопреобразователем сопротивления и неопределенность измеренного значения сопротивления поверяемого ТС. Для расчета используют данные, полученные при проведении измерений (раздел 10), данные, полученные при предварительной экспериментальной оценке неопределенности, связанной со случайными эффектами при измерении в конкретной поверочной лаборатории (по 9.3), а также данные, приведенные в свидетельствах о поверке средств измерений: термостата, калибратора, реперной точки, эталонного термометра и измерительной установки.

11.2. При использовании сухоблочных термостатов (калибраторов) расчет неопределенности, приведенный в настоящей методике и основанный на данных свидетельства о поверке калибратора, относят только к поверке ТС диаметром, не превышающим 6 мм.

11.3. Значение температуры, определенное по показаниям эталонного термометра, рассчитывают по градуировочной характеристике эталонного термометра

$$t_x = f\left(R_s\right), \text{ (3)}$$

где R_s - среднее арифметическое значение из результатов измерения температуры, определяемое по формуле

$$R_s = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} R_i \text{ , (4)}$$

где N - число измерений сопротивления эталонного термометра, выполненных при градуировке;

R_i - значение, соответствующее i-му измерению сопротивления эталонного термометра.

11.4. Бюджет неопределенности для температуры, измеренной эталонным термометром, включает в себя следующие составляющие:

11.4.1. Стандартную неопределенность, обусловленную случайными эффектами при измерениях и $u\left(r_{lab1-j}\right)$, рассчитывают как СКО среднего значения результатов измерений, выполненных в одном измерительном цикле эталонным термометром, по формуле

$$u\left(r_{lab1-j}\right) = \frac{u\left(r_{lab1}\right)}{\sqrt{N_j}}, \text{ (5)}$$

где $u\left(r_{lab1}\right)$ - СКО единичного измерения температуры эталонного термометра, определенное по 9.3;

N_j - число измерений в одном измерительном цикле.

11.4.2. Стандартную неопределенность, обусловленную нестабильностью температуры в термостате за время всех циклов измерений $u\left(t_s\right)$, рассчитывают методом по типу В по формуле

$$u\left(t_s\right) = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{2\sqrt{3}}, \text{ (6)}$$

где $t_{\max}$, $t_{\min}$ - соответственно максимальная и минимальная температура, измеренная эталонным термометром за время проведения всех измерительных циклов.

11.4.3. Стандартную неопределенность градуировки эталонного термометра $u\left(\delta t_э\right)$ рассчитывают по формуле

$$u\left(\delta t_э\right) = U_э / 2 \text{ , (7)}$$

где $U_э$ - расширенная неопределенность градуировки эталонного термометра при k = 2, приведенная в свидетельстве о его поверке (или доверительная погрешность при доверительной вероятности 95%).

11.4.4. Стандартную неопределенность, обусловленную неточностью электроизмерительной установки $u\left(\delta r_s\right)$, при использовании термопреобразователя сопротивления в качестве эталонного термометра рассчитывают следующим образом:

$$u\left(\delta r_s\right) = U_s / 2 \text{ , (8)}$$

где U_s - расширенная неопределенность измерения при k = 2, приведенная в свидетельстве о поверке установок для измерения сопротивления.

Примечания.

1. Если в свидетельстве о поверке установки указан предел допускаемой погрешности $\pm\Delta_{\text{пр}}$, то стандартную неопределенность рассчитывают методом по типу В (нормальное распределение) по формуле $u\left(\delta r_{\text{s}}\right) = \Delta_{\text{пр}} / 3$.

2. Если мост работает с внешней образцовой мерой сопротивления и известны стандартная неопределенность u_s измеряемого отношения $S = R_{\text{ТС}} / R_{\text{обр}}$, а также стандартная неопределенность градуировки меры $u\left(\delta R_{\text{обр}}\right)$, то стандартную неопределенность измерения сопротивления ТС $u\left(\delta r_s\right)$ определяют по формуле

$$u^2\left(\delta r_s\right) = S^2 \cdot u^2\left(\delta R_{\text{обр}}\right) + R_{\text{обр}}^2 \cdot u_s^2 .$$

11.4.5. Стандартную неопределенность, вызванную ограниченной разрешающей способностью отсчетных устройств электроизмерительной установки $u\left(\delta r_{rs}\right)$, оценивают по типу В по формуле

$$u\left(\delta r_{rs}\right) = \frac{a_{rs}}{\sqrt{3}}, \quad (9)$$

где $\pm a_{rs}$ - разрешающая способность установки для измерения сопротивления эталонного [образцового] термометра.

11.4.6. Стандартную неопределенность, обусловленную нестабильностью эталонного [образцового] термометра за межповерочный интервал $u\left(\delta t_T\right)$, оценивают методом по типу В по формуле

$$u\left(\delta t_T\right) = \frac{a_T}{\sqrt{3}}, \quad (10)$$

где $\pm a_T$ - интервал возможного изменения показаний эталонного термометра в тройной точке воды, определенный экспериментально при периодической поверке эталонного [образцового] термометра и приведенный в свидетельстве о его поверке.

11.5. Составляют бюджет неопределенности измерений температуры эталонным [образцовым] термометром (см. таблицу 2).

Таблица 2

Бюджет неопределенности измерений температуры
эталонным [образцовым] термометром

Источник неопределенности	Оценка стандартной неопределенности, тип, распределение, метод расчета	Коэффициент влияния	Вклад в суммарную стандартную неопределенность
Случайные эффекты при измерении	Тип А, нормальное распределение,	1/C 1	u(r lab1-j)/C 1

	u(r lab1-j), 11.4.1		
Нестабильность температуры в термостате	Тип B, равномерное распределение, u(t s), 11.4.2	1	u(t s)
Градуировка эталонного термометра	Тип B, нормальное распределение, u(дельта t э), 11.4.3	1	u(дельта t э)
Поверка измерительной установки	Тип B, нормальное распределение, u(дельта r s), 11.4.4	1 / C 1	1 / C 1 · u(дельта r s)
Разрешающая способность измерительной установки	Тип B, равномерное распределение, u(дельта r rs), 11.4.5	1 / C 1	1 / C 1 · u(дельта r rs)
Нестабильность эталонного термометра за межповерочный интервал	Тип B, равномерное распределение, u(дельта t T), 11.4.6	1	u(дельта t T)
Примечание. C 1 - коэффициент чувствительности эталонного ТС dR/dt, Ом/°C, определяемый при температуре t s по уравнению, приведенному в свидетельстве о поверке ТС.			

11.6. Суммарную стандартную неопределенность результата измерения температуры эталонным термометром $u_c(t_x)$ рассчитывают по формуле

$$u_c(t_x) = \sqrt{\frac{1}{C_1^2}u^2(r_{lab1-j}) + u^2(t_s) + u^2(\delta t_э) + \frac{1}{C_1^2}u^2(\delta r_s) + \frac{1}{C_1^2}u^2(\delta r_{rs}) + u^2(\delta t_T)}\,. \quad (11)$$

Примечание. Расчет неопределенности измерения температуры при использовании эталонных термометров, для которых характерны другие функции преобразования, проводят аналогично вышеизложенному.

11.7. Значение сопротивления градуируемого ТС при температуре $t_x - R_k(t_x)$ рассчитывают по формуле

$$R_k(t_x) = R_{ks}(t_x) + C_2\delta t_{F1} + C_2\delta t_{F2}\,, \quad (12)$$

где C_2 - коэффициент чувствительности ТС dR/dt, определяемый по уравнению НСХ ТС при температуре t_x;

δt_{F1} - поправка, равная изменению температуры по вертикальной оси рабочего объема термостата или калибратора между средней точкой ЧЭ поверяемого ТС и эталонного ТС;

δt_{F2} - поправка, равная изменению температуры по горизонтальной оси между ЧЭ поверяемого ТС и эталонного ТС (или между каналами блока сухоблочного калибратора).

Среднее значение сопротивления градуируемого ТС при температуре $t_x - R_{ks}\left(t_x\right)$ рассчитывают как среднее арифметическое значение результатов измерения сопротивления ТС при градуировке по 10.3.1 по формуле

$$R_{ks}\left(t_x\right) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} R_{ki} \text{ , (13)}$$

где N - число измерений сопротивления ТС;

R_{ki} - результат i-го измерения сопротивления ТС.

Примечание. Поправки на вертикальный и горизонтальный градиенты температуры вводят по результатам исследований термостата в поверочной лаборатории. Если при поверке термостата или калибратора градиент температуры был определен только в виде пределов отклонения температуры от среднего значения $\pm a_{F1}$, $\pm a_{F2}$ либо если неизвестна длина ЧЭ поверяемых термопреобразователей, то поправки принимают равными нулю. Градиент учитывают только введением неопределенности по 11.8.4.

11.8. Бюджет неопределенности измерений сопротивления ТС включает в себя следующие составляющие:

11.8.1. Стандартную неопределенность, обусловленную случайными эффектами при измерениях, выполненных в одном измерительном цикле поверяемым ТС, $u\left(r_{lab2-j}\right)$ оценивают по формуле

$$u\left(r_{lab2-j}\right) = \frac{u\left(r_{lab2}\right)}{\sqrt{N_j}} \text{ , (14)}$$

где $u\left(r_{lab2}\right)$ - СКО единичного измерения сопротивления ТС, определенное по 9.3;

N_j - число измерений сопротивления ТС в каждом цикле.

11.8.2. Стандартную неопределенность измерений при поверке электроизмерительной установки $u\left(\delta r_k\right)$ рассчитывают следующим образом:

$$u\left(\delta r_k\right) = U_k / 2 \text{ , (15)}$$

где U_k - расширенная неопределенность измерения при k = 2, приведенная в свидетельстве о поверке установки для измерения сопротивления ТС.

Примечание. Если в свидетельстве о поверке установки указан предел допускаемой погрешности $\pm\Delta_{\text{пр}}$, то стандартную неопределенность рассчитывают методом по типу В (нормальное распределение) по формуле $u\left(\delta r_k\right) = \Delta_{\text{пр}} / 3$.

11.8.3. Стандартную неопределенность, обусловленную ограниченной разрешающей способностью отсчетных устройств электроизмерительной установки $u\left(\delta r_{rk}\right)$ рассчитывают по формуле

$$u(\delta r_{rk}) = \frac{a_{rk}}{\sqrt{3}}, \quad (16)$$

где $\pm a_{rk}$ - разрешающая способность установки для измерения сопротивления ТС.

11.8.4. Стандартные неопределенности, обусловленные вертикальным и горизонтальным градиентами температуры в термостате или калибраторе $u(\delta t_{F1})$, $u(\delta t_{F2})$, рассчитывают по формулам

$$u(\delta t_{F1}) = \frac{a_{F1}}{\sqrt{3}}, \; u(\delta t_{F2}) = \frac{a_{F2}}{\sqrt{3}}, \quad (17)$$

где $\pm a_{F1}$, $\pm a_{F2}$ - диапазон изменения поправок к температуре, оцениваемый экспериментально при поверке термостата или калибратора. Для использования значений $\pm a_{F1}$, $\pm a_{F2}$ в оценках необходимы данные о том, как и с помощью каких по размерам термометров они были получены.

11.9. Бюджет неопределенности измерения сопротивления ТС представлен в таблице 3.

Таблица 3

Бюджет неопределенности измерения сопротивления градуируемого термопреобразователя сопротивления

Источник неопределенности	Оценка стандартной неопределенности, тип, распределение, методика расчета	Коэффициент влияния	Вклад в суммарную стандартную неопределенность
Случайные эффекты при измерении	Тип А, нормальное распределение, u(r lab2-j), 11.8.1	1	u(r lab2-j)
Поверка измерительной установки	Тип В, нормальное распределение, u(дельта r k), 11.8.2	1	u(дельта r k)
Разрешающая способность измерительной установки	Тип В, равномерное распределение, u(дельта r rk), 11.8.3	1	u(дельта r rk)
Перепад температур по вертикальной оси рабочего объема	Тип В, равномерное распределение, u(дельта t F1), 11.8.4	C 2	C u(дельта t F1) 2
Перепад температур по горизонтальной оси рабочего объема (либо между каналами в блоке)	Тип В, равномерное распределение, u(дельта t F2), 11.8.4	C 2	C u(дельта t F2) 2

11.10. Суммарную стандартную неопределенность измерения сопротивления ТС $u_c(R_k)$ оценивают по формуле

$$u_c(R_k) = \sqrt{u^2(r_{lab2-j}) + u^2(\delta r_k) + u^2(\delta r_{rk}) + C_2^2 u^2(\delta t_{F1}) + C_2^2 u^2(\delta t_{F2})}\,. \quad (18)$$

11.11. Суммарную стандартную неопределенность $u_c(R)$ и расширенную неопределенность U поверки ТС в каждой температурной точке рассчитывают по формулам

$$u_c(R) = \sqrt{C_2^2 u_c^2(t_x) + u_c^2(R_k)}\,; \quad (19)$$

$$U = k u_c(R)\,, \quad (20)$$

где k - коэффициент охвата.

11.12. Результат поверки

При k = 2 сопротивление градуируемого термопреобразователя при температуре t_x находится в интервале $R_k(t_x) \pm U$ вероятностью 95% в предположении нормального закона распределения. Неопределенность поверки ТС в единицах температуры рассчитывают делением U на коэффициент чувствительности C_2.

12. Расчет расширенной неопределенности поверки термопреобразователей сопротивления в реперной точке

12.1. Значение температуры реперной точки t_{fp} и расширенная неопределенность этого значения $U(t_{fp})$ должны быть приведены в свидетельстве об аттестации установки с ампулой для реализации реперной точки. Стандартную неопределенность температуры $u(t_{fp})$ рассчитывают по формуле

$$u(t_{fp}) = U(t_{fp})/2\,. \quad (21)$$

12.2. Бюджет неопределенности измерения сопротивления ТС составляют аналогично 11.8 - 11.9. Стандартную неопределенность, обусловленную случайными эффектами при измерениях, рассчитывают по формуле (14) как СКО среднего значения результатов измерений сопротивления ТС в реперной точке. Суммарную стандартную неопределенность $u_c(R_k)$ рассчитывают по формуле (18). В бюджет неопределенности не включают стандартные неопределенности, обусловленные вертикальным и горизонтальным градиентами температуры в блоке.

12.3. Суммарную стандартную неопределенность $u_c(R_{fp})$ и расширенную неопределенность U_{fp} поверки ТС в реперной точке определяют по формулам

$$u_c(R_{fp}) = \sqrt{C_2^2 u_c^2(t_{fp}) + u_c^2(R_k)}\,; \quad (22)$$

$$U_{fp} = k u_c(R_{fp})\,, \quad (23)$$

где k - коэффициент охвата.

12.4. Результат поверки

При k = 2 значение сопротивления градуируемого ТС при температуре t_{fp} находится в интервале $R_k \pm U$ с вероятностью 95% в предположении нормального закона распределения вероятности. Неопределенность поверки ТС в единицах температуры рассчитывают делением U на коэффициент чувствительности C_2.

13. Оформление результатов поверки

13.1. В процессе поверки поверитель должен вести протокол поверки, включающий в себя следующие данные: наименование и тип ТС, серийный номер ТС (или партии ТС), рабочий диапазон температур ТС, условное обозначение НСХ, наименование заказчика, данные измерений, заключение о годности, дату поверки, фамилию поверителя. Допускаются компьютерные записи и хранение протокола поверки.

13.2. При положительных результатах поверки на соответствие допускам по ГОСТ 6651 на корпус ТС наносят клеймо или оформляют свидетельство о поверке, в котором указывают наименование и тип ТС, серийный номер ТС (или партии ТС), рабочий диапазон температур ТС, условное обозначение НСХ, класс допуска и срок действия свидетельства. Подпись поверителя удостоверяют оттиском поверительного клейма.

13.3. По согласованию с заказчиком в свидетельстве о поверке допускается указывать результаты измерений, полученные при проведении поверки, и их неопределенность.

13.4. При поверке, включающей в себя градуировку термопреобразователя сопротивления, выдают свидетельство о поверке, содержащее следующие данные:

- тип ТС, серийный номер ТС (или партии ТС), диапазон температур;
- таблицу значений сопротивления ТС при всех температурах градуировки;
- расширенную неопределенность измерения сопротивления ТС в каждой градуировочной точке либо в различных диапазонах температур;
- интерполяционную зависимость сопротивление - температура, определенную по результатам градуировки с указанием всех коэффициентов полинома Каллендара - Ван Дюзена (КВД) либо МТШ-90;
- срок действия свидетельства;
- подпись и клеймо поверителя.

13.5. При отрицательных результатах поверки оттиск поверительного клейма гасят или аннулируют свидетельство о поверке и выдают извещение о непригодности ТС с указанием причин.

Приложение А
(рекомендуемое)

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЕ - ТЕМПЕРАТУРА ДЛЯ ПЛАТИНОВЫХ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ

А.1. Градуировку ТС и построение индивидуальной зависимости сопротивление - температура проводят как составную часть поверки для платиновых ТС, требования к точности которых отличаются от требований ГОСТ 6651.

А.2. Градуировку ТС проводят сличением с эталонным ТС в термостатах или калибраторах или

измерением сопротивления ТС в реперных точках.

Примечание. В Приложении Г приведен пример оценивания неопределенности градуировки ТС в сухоблочном калибраторе при температуре 400 °С.

А.3. Для построения индивидуальной зависимости сопротивление - температура платиновых ТС применяют две основные модели: функцию Каллендара - Ван Дюзена (КВД) и методику МТШ-90. Данные модели реализованы в большинстве современных вторичных измерительных термопреобразователей.

А.4. Для платиновых ТС моделью, наиболее точно реализующей международную температурную шкалу, считают методику МТШ-90. Функция Каллендара - Ван Дюзена (функция КВД) представляет собой аппроксимирующую модель, которая имеет неустранимое систематическое отклонение от МТШ-90, ограничивающее точность измерения температуры платиновым ТС. Систематическое отклонение функции КВД от МТШ-90 для различных диапазонов температур представлено на рисунке Д.1 Приложения Д.

А.5. Построение функции Каллендара - Ван Дюзена

А.5.1. Функция КВД имеет следующий вид:

Для диапазона температур от минус 200 °С до 0 °С:

$$R_t = R_0\left[1 + At + Bt^2 + C\left(t - 100\ ^\circ\mathrm{C}\right)t^3\right]. \quad \text{(А.1)}$$

Для диапазона температур от 0 °С до 850 °С:

$$R_t = R_0\left(1 + At + Bt^2\right), \quad \text{(А.2)}$$

где R_t - сопротивление ТС, Ом, при температуре t °С;

R_0 - сопротивление ТС, Ом, при температуре 0 °С.

Для определения четырех неизвестных коэффициентов R_0, А, В, С в формулах (А.1), (А.2) необходимы результаты градуировки ТС по крайней мере в трех точках выше 0 °С и в одной точке ниже 0 °С.

А.5.2. Точность интерполяционной функции зависит от неопределенности градуировки ТС в температурных точках, от числа точек и интервала температур между точками.

А.5.3. Метод построения функции КВД при минимальном числе температурных точек рекомендуется использовать только при градуировке ТС в реперных точках либо при градуировке в высокостабильном жидкостном термостате в узком диапазоне температур. Рекомендуется провести градуировку при температуре 0 °С и в двух точках рабочего диапазона выше 0 °С с примерно равным интервалом температур и при температуре нижнего предела ТС, если этот предел ниже 0 °С. Неопределенность измеренной температуры быстро возрастает при экстраполяции интерполяционной функции. Поэтому экстраполяция допустима не более чем на 20 °С за пределы градуировочного диапазона.

А.5.4. При использовании для градуировки ТС калибраторов или термостатов в диапазоне температур свыше 300 °С рекомендуется провести градуировку не менее чем в пяти температурных точках с интервалом не более 50 °С. В данном случае интерполяционную функцию рассчитывают с помощью аппроксимации по методу наименьших квадратов.

А.5.5. В диапазоне температур от 0 °С до 160 °С кривизна функции КВД очень мала. Для получения интерполяционной функции рекомендуется применять в этом диапазоне более экономичный метод МТШ-90 (см. А.6) с использованием одной градуировочной точки, кроме 0 °С, на конце диапазона и, если это необходимо, затем аппроксимировать полученный полином функцией КВД.

А.6. Метод МТШ-90

А.6.1. Метод построения интерполяционной зависимости для платиновых ТС по МТШ-90 основан на использовании двух стандартных функций относительных сопротивлений $W_r\left(T_{90}\right)$, определенных

в интервалах температур от 13,8033 до 273,16 К и от 0,01 °С до 961,78 °С и представляющих собой полиномы высоких степеней с известными коэффициентами [1]:

$$\text{от } 13,8033 \text{ до } 273,16 \text{ К: } \ln\left[W_r\left(T_{90}\right)\right] = A_0 + \sum_{i=1}^{12} A_i \left[\frac{\ln\left(T_{90} / 273,16 \text{ К}\right) + 1,5}{1,5}\right]^i, \quad \text{(А.3)}$$

$$\text{от } 0 \text{ °С до } 961,78 \text{ °С: } W_r\left(T_{90}\right) = C_0 + \sum_{i=1}^{9} C_i \left[\frac{T_{90} / \text{К} - 754,15}{481}\right]^i, \quad \text{(А.4)}$$

коэффициенты функций имеют следующие значения:

$A_0 = -2,13534729$; $C_0 = 2,78157254$;
$A_1 = 3,1832472$; $C_1 = 1,64650916$;
$A_2 = -1,80143597$; $C_2 = -0,1371439$;
$A_3 = 0,71727204$; $C_3 = -0,00649767$;
$A_4 = 0,50344027$; $C_4 = -0,00234444$;
$A_5 = -0,61899395$; $C_5 = 0,00511868$;
$A_6 = -0,05332322$; $C_6 = 0,00187982$;
$A_7 = 0,28021362$; $C_7 = -0,00204472$;
$A_8 = 0,10715224$; $C_8 = -0,00046122$;
$A_9 = -0,29302865$; $C_9 = 0,00045724$.
$A_{10} = 0,04459872$;
$A_{11} = 0,11868632$;
$A_{12} = -0,05248134$;

А.6.2. Относительное сопротивление платинового ТС при температуре T_{90} определяют как отношение сопротивления термопреобразователя при температуре T_{90} к сопротивлению в тройной точке воды по формуле

$$W\left(T_{90}\right) = R\left(T_{90}\right) / R\left(273,16 \text{ К}\right). \quad \text{(А.5)}$$

Интерполяционную зависимость относительного сопротивления ТС от температуры рассчитывают как сумму стандартной функции (А.3) или (А.4) и функции отклонения по формуле

$$W\left(T_{90}\right) = W_r\left(T_{90}\right) + \Delta W\left(T_{90}\right). \quad \text{(А.6)}$$

Вид функции $\Delta W\left(T_{90}\right)$ определен для каждого температурного диапазона МТШ-90 и приведен в таблице А.1. Коэффициенты функции рассчитывают по результатам градуировки в основных реперных точках МТШ-90. Перечень реперных точек и значения их температур приведены в 6.5.1.

Таблица А.1

Вид функции отклонения и градуировочные точки
в различных диапазонах температур

Диапазон температур, °C	Градуировочные точки	Вид функции отклонения
-189,3442 - 0,01	Ar, Hg, TTB	$a[W(T_{90}) - 1] + b[W(T_{90}) - 1] \ln W(T_{90})$
-38,8344 - 29,7646	Hg, TTB, Ga	$a[W(T_{90}) - 1] + b[W(T_{90}) - 1]^2$
0,01 - 29,7646	TTB, Ga	$a[W(T_{90}) - 1]$
0,01 - 156,5985	TTB, In	$a[W(T_{90}) - 1]$
0,01 - 231,928	TTB, In, Sn	$a[W(T_{90}) - 1] + b[W(T_{90}) - 1]^2$
0,01 - 419,527	TTB, Sn, Zn	$a[W(T_{90}) - 1] + b[W(T_{90}) - 1]^2$
0,01 - 660,323	TTB, Sn, Zn, Al	$a[W(T_{90}) - 1] + b[W(T_{90}) - 1]^2 + c[W(T_{90}) - 1]^3$
0,01 - 961,78	TTB, Sn, Zn, Al, Ag	$a[W(T_{90}) - 1] + b[W(T_{90}) - 1]^2 + c[W(T_{90}) - 1]^3 + d[W(T_{90}) - W(660{,}323\ ^\circ C)]^2$

Примечание. В таблице применены следующие обозначения:

TTB - тройная точка воды; Hg - тройная точка ртути; Ga - точка плавления галлия; In - точка затвердевания индия; Sn - точка затвердевания олова; Zn - точка затвердевания цинка; Al - точка затвердевания алюминия; Ag - точка затвердевания серебра; a, b, c, d - коэффициенты функции отклонения.

А.6.3. Допускается использовать для расчета коэффициентов функций отклонения относительные сопротивления, полученные сличением в термостатах с эталонным [образцовым] ТС в пределах заданного диапазона температур.

Приложение Б
(справочное)

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ СРЕДЫ ДЛЯ ЖИДКОСТНЫХ ТЕРМОСТАТОВ

Таблица Б.1

Рабочая среда в термостатах и характерный
для нее рабочий диапазон температур

Среда	Диапазон температур в градусах Цельсия
Галогенсодержащие углеводороды	От -150 до -70
Силиконовые масла	От -10 до 315
Легкие минеральные масла	От -75 до 200
Вода	От 0 до 95
GIT (Ga - 62%; In - 21,5%; Sn - 16%)	От 15
Сухие флюиды	От 75 до 850
Расплавленные соли	От 200 до 620
Жидкое олово	От 315 до 540
Примечание. GIT не закипает примерно до 2000 °С, но может повредить некоторые материалы, т.к. смачивает поверхность и снимает с нее оксид. Алюминий и серебро подвергаются эрозии медленно при комнатной температуре и быстро при температуре свыше 100 °С. Сталь марок 304 и 316 может находиться в контакте с GIT на воздухе при 406 °С в течение 520 сут без повреждений. Максимальная температура контакта со сталью марок 304 и 316 должна быть 650 °С.	

Приложение В
(справочное)

ПРИМЕР ОЦЕНКИ РАСШИРЕННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПОВЕРКИ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ КЛАССА А ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 95 °С С ПРИМЕНЕНИЕМ ЖИДКОСТНОГО ТЕРМОСТАТА

В.1. Информация о поверяемом термопреобразователе сопротивления

Термопреобразователь сопротивления типа ТСП. Условное обозначение НСХ - Pt 100. Класс А по ГОСТ 6651. Допуск при 95 °С +/- 0,34 °С.

В.2. Средства измерений, используемые при поверке

В.2.1. Водяной термостат

Нестабильность температуры $\Delta_{ст} = \pm 0,02$ °С.

Неравномерность температуры в рабочем объеме $a_F = \pm 0,01$ °С.

Глубина погружения ТС 350 мм.

В.2.2. Эталонный термопреобразователь сопротивления

Расширенная неопределенность (или доверительная погрешность при доверительной вероятности 95%) при температуре 100 °С $U_э = \pm 0,12$ °С (1/3 допуска ТС).

Нестабильность за межповерочный интервал $a_э = \pm 0,05$ °С.

В.2.3. Мост постоянного тока

Предел основной допускаемой погрешности $\Delta_{пр} = \pm 0,002$ Ом.

СКО результата измерения сопротивления 100-омного ТС в поверочной лаборатории при температуре 95 °С и $u(r_{lab}) = 0,005$ Ом.

В.3. Бюджет неопределенности

Бюджет неопределенности измерения температуры в термостате представлен в таблице В.1. Бюджет неопределенности измерения сопротивления поверяемого ТС представлен в таблице В.2.

Таблица В.1

Бюджет неопределенности измерения температуры в термостате

Источник неопределенности и метод расчета	Оценка стандартной неопределенности	Коэффициент влияния	Вклад в суммарную стандартную неопределенность
Случайные эффекты при измерении (по пяти измерениям) u(r lab-5) = u(r lab)/\/5	0,0022	1/0,385	0,0058
Нестабильность температуры в термостате u(t s) = Дельта ст /\/3	0,0116	1	0,0116
Градуировка эталонного термопреобразователя u(дельта t э) = U э /2	0,06	1	0,06
Электроизмерительная установка u(дельта r s) = Дельта пр /3	0,00067	1/0,385	0,0017
Нестабильность эталонного термопреобразователя за межповерочный интервал u(дельта t T) = a э /\/3	0,0289	1	0,0289
Суммарная стандартная неопределенность температуры u (t c x), °С	0,068		

Таблица В.2

Бюджет неопределенности измерения сопротивления поверяемого термопреобразователя сопротивления

Источник неопределенности	Оценка стандартной неопределенности	Коэффициент влияния	Вклад в суммарную стандартную неопределенность
Случайные эффекты при измерении u(r lab-5) = u(r lab)/\/5	0,0022	1	0,0022
Электроизмерительная установка u(дельта r k) = Дельта пр /3	0,00067	1	0,00067
Перепад температур в рабочем объеме u(дельта t F) = a F /\/3	0,0058	0,385	0,0022
Суммарная стандартная неопределенность сопротивления u (R), Ом c k	0,0032		

В.4. Расчет суммарной стандартной неопределенности поверки

Суммарную стандартную неопределенность поверки рассчитывают по формуле (19) при $C_2 = 0,385$ Ом / °С.

$u_c(R) = 0,0262$ Ом.

В.5. Расширенная неопределенность поверки

При k = 2 расширенная неопределенность поверки U = 0,0524 Ом. Расширенная неопределенность поверки в температурном эквиваленте $U_t = 0,136$ °С.

Вывод:

Комплекс средств поверки пригоден для поверки ТС класса А при температуре (95 +/- 3) °С (по 6.8 расширенная неопределенность поверки должна быть по крайней мере в два раза меньше допуска поверяемых ТС). Заключение о годности ТС должно быть выдано при условии выполнения соотношений

$$\left(R_k(t_x) - R_{\text{НСХ}}(t_x) + U\right) / \frac{dR}{dt} \le +\Delta t_x;$$

$$\left(R_k(t_x) - R_{\text{НСХ}}(t_x) - U\right) / \frac{dR}{dt} \le -\Delta t_x, \quad \text{(В.1)}$$

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

t_x - средняя температура, измеренная эталонным ТС, °С;

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

U - расширенная неопределенность результата измерения сопротивления ТС, равная для данной лаборатории 0,0524 Ом;

$\frac{dR}{dt}$ - чувствительность ТС по НСХ при температуре 95 °С, равная 0,385 Ом/°С;

Δt_x - допуск ТС по ГОСТ 6651 при температуре t_x, °С.

Приложение Г
(справочное)

ПРИМЕР РАСЧЕТА РАСШИРЕННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ГРАДУИРОВКИ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ В СУХОБЛОЧНОМ ТЕРМОСТАТЕ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 400 °С

Г.1. Информация о градуируемом термопреобразователе сопротивления

Термопреобразователь сопротивления модели TE 065 типа Pt 100, фирма Rosemount, диаметр корпуса 6,35 мм, длина погружаемой части 350 мм.

Требования к расширенной неопределенности измерений при температуре 400 °С: +/- 0,46 °С.

Г.2. Средства измерений, используемые при градуировке

Г.2.1. Сухоблочный термостат модели 9173, фирма Hart Scientific:

- блок D при температуре 400 °С,
- нестабильность температуры в блоке в стационарном режиме $\Delta_{\text{ст}} = \pm 0,01\ ^\circ\text{C}$;
- перепад температур между каналами блока (радиальный градиент температуры) $a_{F1} = \pm 0,025\ ^\circ\text{C}$;
- изменение температуры в изотермической зоне блока (вертикальный градиент температуры на длине 60 мм от дна канала) $a_{F2} = \pm 0,25\ ^\circ\text{C}$;
- глубина погружения термопреобразователя сопротивления в блок термостата 203 мм.

Г.2.2. Эталонный термопреобразователь сопротивления типа ЭТС-100 3-го разряда, "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева", доверительная погрешность при доверительной вероятности 95% при 420 °С $U_э = \pm 0,07\ ^\circ\text{C}$, нестабильность за межповерочный интервал $a_э = \pm 0,01\ ^\circ\text{C}$.

Г.2.3. Мост постоянного тока "Super Thermometer 1590", фирма Hart Scientific. По спецификации изготовителя для входного сопротивления от 25 до 400 Ом при использовании опорной меры 100 Ом и измерительного тока 1 мА относительная погрешность нормирована как $6 \cdot 10^{-6}$ (6 ppm), что приводит к расширенной неопределенности измерений для сопротивления 250 Ом (соответствующего 400 °С) $U_s = \pm 0,0015$ Ом.

СКО результата измерения сопротивления в поверочной лаборатории "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева" для ТС номинальным сопротивлением 100 Ом при температуре 420 °С, рассчитанного по результатам 100 измерений в реперной точке затвердевания цинка (время интегрирования 12 с, время каждого отсчета при двух направлениях тока 2 с), и $u\left(r_{lab}\right) = 0,004$ Ом.

Г.3. Результаты измерений

Эталонный термопреобразователь сопротивления ЭТС-100 был подключен к одному из каналов измерительного моста, и в программу были введены коэффициенты интерполяционной зависимости сопротивление - температура по МТШ-90. Таким образом, ЭТС-100 регистрировал температуру калибратора в градусах Цельсия. К другому каналу моста был подключен поверяемый ТС. Время интегрирования было установлено на 12 с, время каждого отсчета при двух направлениях тока - на 2 с. Таким образом, каждый результат, приведенный в таблице, получен как среднее значение из результатов шести измерений. Проведен попеременный отсчет показаний эталонного и поверяемого ТС. Результаты приведены в таблице Г.1.

Таблица Г.1

Результаты измерений

Термопреобразователь	ЭТС-100	ТЕ 065 Pt 100
Измеряемая величина	T, °C	R, Ом
Результаты измерений	400,0152	247,0673
	400,0186	247,0692
	400,0203	247,0705
	400,0196	247,0689
Среднее арифметическое значение	400,0184	247,0681
$t_{max} - t_{min}$, °C	0,0051	

Г.4. Бюджет неопределенности

Бюджет неопределенности измерения температуры в блоке представлен в таблице Г.2.

Таблица Г.2

Бюджет неопределенности измерения температуры в блоке

Источник неопределенности и метод расчета	Оценка стандартной неопределенности	Коэффициент влияния	Вклад в суммарную стандартную неопределенность
Случайные эффекты при измерении (по шести измерениям) $u(r_{lab-6}) = u(r_{lab})/\sqrt{6}$	0,0016	1/0,35	0,0047
Нестабильность температуры в блоке $u(t_s) = (t_{max} - t_{min})/2\sqrt{3}$	0,0015	1	0,0015
Градуировка эталонного ТС $u(\text{дельта } t_э) = U_э/2$	0,035	1	0,035
Электроизмерительная установка (по спецификации) $u(\text{дельта } r_s) = U_s/2$	0,0008	1/0,35	0,0023
Нестабильность эталонного ТС $u(\text{дельта } t_T) = a_э/\sqrt{3}$	0,0058	1	0,0058
Суммарная стандартная неопределенность измерения	0,036		

температуры u (t), °C c x	

Бюджет неопределенности измерения сопротивления поверяемого ТС представлен в таблице Г.3.

Таблица Г.3

Бюджет неопределенности измерения
сопротивления поверяемого термопреобразователя

Источник неопределенности	Оценка стандартной неопределенности	Коэффициент влияния	Вклад в суммарную стандартную неопределенность
Случайные эффекты при измерении (по шести измерениям) u(r) = u(r)/\/6 lab-6 lab	0,0016	1	0,0016
Электроизмерительная установка u(дельта r) = U /2 k s	0,0008	1	0,0008
Перепад температур по вертикальной оси u(дельта t) = a /\/3 F1 F1	0,1471	0,35	0,0515
Перепад температур между каналами в блоке u(дельта t) = a /\/3 F2 F2	0,01471	0,35	0,0051
Суммарная стандартная неопределенность сопротивления u (R), Ом c k	0,0518		

Г.5. Расчет суммарной стандартной неопределенности градуировки

Суммарную стандартную неопределенность градуировки рассчитывают по формуле (19) при $C_2 = 0,35$ Ом / °С.

$u_c(R) = 0,0532$ Ом.

Г.6. Расширенная неопределенность градуировки и результат градуировки

При k = 2 расширенная неопределенность градуировки U = 0,1064 Ом. В температурном эквиваленте $U_t = 0,304$ °С.

Вывод:

Сопротивление градуируемого ТС при температуре 400,02 °С находится в интервале (247,068 +/- 0,106) Ом с вероятностью 95% в предположении нормального закона распределения вероятности. Расширенная неопределенность градуировки термопреобразователя сопротивления в температурном эквиваленте составляет 0,30 °С, что соответствует требованиям к расширенной

неопределенности измерения температуры термопреобразователем сопротивления ТЕ 065 Pt 100 при 400 °С.

Приложение Д
(справочное)

ОТКЛОНЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КАЛЛЕНДАРА - ВАН ДЮЗЕНА
ОТ СТАНДАРТНОЙ ФУНКЦИИ МТШ-90 В РАЗЛИЧНЫХ
ДИАПАЗОНАХ ТЕМПЕРАТУР

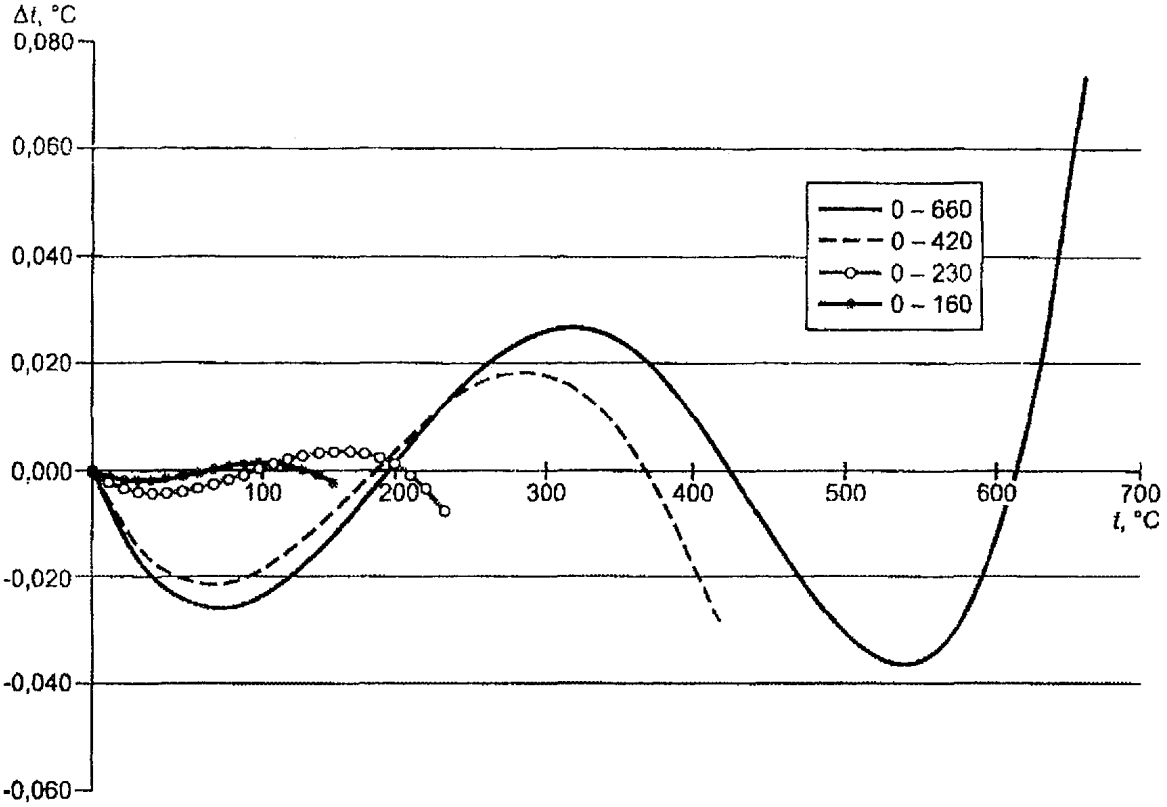

Рисунок Д.1. Отклонение зависимости
Каллендара - Ван Дюзена от стандартной функции
МТШ-90 в различных диапазонах температур

БИБЛИОГРАФИЯ

[1] Международная температурная шкала, 1990 г. (The International Temperature Scale of 1990) (текст опубликован: Metrologia, 1990, v. 27, pp. 3 - 10)

[2] Рекомендации по межгосударственной стандартизации РМГ 43-2001 — Государственная система обеспечения единства измерений. Применение "Руководства по выражению неопределенности измерений"

[3] Стандарт Европейской ассоциации по аккредитации лабораторий EA-4/02 — Выражение неопределенности измерения при калибровке (Expression of the Uncertainty of Measurement In Calibration)

[4] Стандарт АСТМ Е 644-04 — Стандартные методы испытаний для промышленных термопреобразователей сопротивления (Standard Test Methods for Testing Industrial Resistance Thermometers)

[5] Стандарт Европейской ассоциации по аккредитации лабораторий EA-10/13 (Приложение В) — Руководство по калибровке температурных калибраторов, Приложение В: Рекомендации по использованию температурных калибраторов (Guidelines on the calibrations of temperature block calibrators, Annex B: Recommendations for the use of temperature block calibrators)

[6] Дополнительная информация к Международной температурной шкале 1990 г. (Supplementary information for the International Temperature Scale of 1990), документ Международного бюро мер и весов 1990 г.