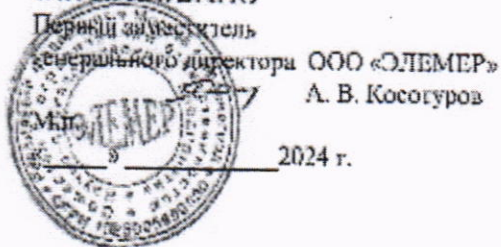


СОГЛАСОВАНО



Первый заместитель

генерального директора ООО «ОЛЕМЕР»

А. В. Косогуров

2024 г.

СОГЛАСОВАНО



Генеральный директор

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

А.Н. Пронин

14 октября 2024 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

**ТЕРМОМЕТРЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЛАТИНОВЫЕ
ВИБРОПРОЧНЫЕ ЭТАЛОННЫЕ**

ПТСВ

Методика поверки
НКГЖ.408717.003-2024МП

Заместитель руководителя
лаборатории термометрии

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'В. Фуксов'.

В.М. Фуксов

Содержание

1 Общие положения.....	3
2 Перечень Операций поверки.....	3
3 Требования к условиям проведения поверки.....	4
4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку.....	4
5 Метрологические и технические требования к средствам поверки.....	4
6 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки.....	7
7 Внешний осмотр средства измерений.....	7
8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений.....	7
9 Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям.....	8
10 Оформление результатов поверки.....	13
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	15
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	16
ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное)	17

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая методика поверки (далее – МП) распространяется на термометры сопротивления платиновые вибропрочные эталонные ПТСВ (далее – термометры), изготовленные и вновь выпускаемые ООО НПП «ЭЛЕМЕР», г. Москва, г. Зеленоград и устанавливает объем и порядок их первичной и периодической поверок.

Действие методики поверки НКГЖ.408717.003-2023МП «ГСИ. Термометры сопротивления платиновые вибропрочные эталонные ПТСВ. Методика поверки» отменяется.

1.2 Методика поверки должна обеспечивать прослеживаемость термометров к государственным первичным эталонам:

- единицы температуры в диапазоне от 0 °С до 3200 °С – ГЭТ 34-2020;
- единицы температуры - кельвина в диапазоне от 0,3 К до 273,16 К – ГЭТ 35-2021, в соответствии с Государственной поверочной схемой (ГПС) для средств измерений (СИ) температуры, ч.1, 2, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19.11.2024 № 2712.

1.3 Методы поверки основаны на непосредственном сличении показаний поверяемого термометра с показаниями СИ, применяемыми в качестве эталонов.

1.4 Проведение поверки в сокращенном объеме настоящей методикой не предусмотрено.

1.5 Определение градуировочной характеристики термометров проводится методом сличения показаний поверяемого термометра с эталонным термометром 1-го разряда в устройствах, реализующих «опорные» значения температуры диапазона измерений поверяемого термометра или реперных точках.

2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ

При проведении поверки термометров должны выполняться операции, указанные в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр	Да	Да	7
Опробование	Да	Да	8
Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия средства измерений			9
Определение нестабильности термометров	Да	Да	9.1
Определение относительного сопротивления в точках контроля чистоты платины	Да	Нет	9.2
Определение градуировочной характеристики	Да	Да	9.3
Определение доверительной погрешности термометров	Да	Да	9.4
Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	Да	Да	9.5

2.2 При отрицательных результатах одной из операций поверка прекращается.

3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

3.1 При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °C от плюс 15 до плюс 25;
- относительная влажность, % от 30 до 80;
- атмосферное давление, кПа от 84,0 до 106,7;
- внешние электрические и магнитные поля должны отсутствовать или находиться в пределах, не влияющих на работу термометров;
- вибрация, тряска, удары, влияющие на работу термометров, должны отсутствовать.

4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ

4.1 К проведению поверки допускаются лица, изучившие эксплуатационную документацию на термометры и средства поверки, имеющие необходимую квалификацию в области теплотехнических измерений и прошедшие инструктаж по технике безопасности.

5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

5.1 При проведении поверки применяют средства измерений, указанные в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п. 8.1 Контроль условий поверки (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)	Средства измерений температуры окружающей среды в диапазоне измерений от +15 °C до +25 °C с абсолютной погрешностью не более 1 °C. Средства измерений относительной влажности воздуха в диапазоне от 30 % до 80 % с погрешностью не более 2 %. Средства измерений атмосферного давления в диапазоне от 84,0 до 106,7 кПа, с абсолютной погрешностью не более 0,5 кПа	Термогигрометр ИВА-6Н-Д, регистрационный № 46434-11, диапазон измерений относительной влажности от 0 % до 98 %, температуры от -20 °C до +60 °C, атмосферного давления от 700 до 1100 гПа; погрешность измерений относительной влажности при температуре +23 °C: ±2 % в диапазоне от 0 % до 90 %; ±3 % в диапазоне от 90 % до 98 %; погрешность измерений температуры ±0,3 °C, погрешность измерений атмосферного давления ±2,5 гПа
п.8.5 Опробование	Средство измерений электрического сопротивления в диапазоне от 0 до 1000 Ом	Прибор комбинированный Ц4312, диапазон от 0 до 500 Ом, погрешность 10 %, ТУ 25-04-3300-77, регистрационный № 2845-72
п.8.6 Проверка электрического сопротивления изоляции	Средство измерений электрического сопротивления в диапазоне от 0 до 100 МОм	Мегаомметр ЭСО0202/1-Г регистрационный № 14883-19, +15 % от значения измеряемого сопротивления
п.9 Определение метрологических характеристик	Эталоны единицы температуры и средства измерений, соответствующие требованиям к эталонам не ниже 1-го разряда по ГПС для СИ температуры, в диапазоне значений температуры от -200 °C (73K)	Термометр сопротивления эталонный ЭТС-25, регистрационный № 19484-09, доверительная погрешность термометра при доверительной вероятности 0,95, не более, °C: -ТТВ (0,01 °C) ±0,002 °C;

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
	до +660 °С.	-Ga (29,7646 °С) ±0,002 °С; -In (156,5985 °С) ±0,005 °С; -Sn (231,928 °С) ±0,005 °С; -Zn (419,527 °С) ±0,01 °С; -Al (660,323 °С) ±0,01 °С. Термометр цифровой эталонный ТЦЭ-005/М2, регистрационный № 40719-15, диапазон измерений эл. сопротивления от 0 до 375 Ом, пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений сопротивления, °С - термометр $R_0 = 25$ Ом: - ±0,0003 в диапазоне от 0 до 25 Ом; - $\pm(0,0003 \cdot R/25)$ в диапазоне от 25 до 100 Ом; - термометр $R_0 = 100$ Ом: - ±0,001 в диапазоне от 0 до 100 Ом; - $\pm(0,001 \cdot R/100)$ в диапазоне от 100 до 375 Ом. Ампула тройной точки воды (ТТВ), воспроизводимая температура 0,01 °С, ПГ: ±0,2 мК. Устройство реализации тройной точки ртути (234,3156 К), ПГ: ±1 мК. Устройство реализации точки плавления галлия (29,7646 °С), ПГ ±0,1 мК. Устройство реализации точки затвердевания индия (156,5985 °С), ПГ ±0,5 мК. Устройство реализации точки затвердевания олова (231,928 °С), ПГ ±0,3 мК. Устройство реализации точки затвердевания цинка (419,527 °С), ПГ ±0,5 мК. Устройство реализации точки затвердевания алюминия (660,323 °С), ПГ ±2,0 мК; Вольтметр универсальный цифровой В7-22А, регистрационный № 5595-76, ПГ ±0,1 %. Термостат азотный ТА-200, воспроизводимая температура -196 °С, нестабильность поддержания температуры в термостате ±0,01 °С за 10 мин. Термостат U-15С с блоком сравнения ТГЛ 32386, диапазон от -60 °С до +260 °С; нестабильность ±0,01 °С. Калибратор температуры «ЭЛЕМЕР-КТ-650Н», диапазон воспроизводимой темпе-

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
		ратуры от +50 °С до +680 °С, нестабильность поддержания температуры за 30 мин (в режиме термостата) не более $\pm(0,005 + 0,003 \cdot t/100)$ °С. Печь для реализации реперных точек, ТУ 4381-109-13282997-2012, диапазон от +50 °С до +660 °С, нестабильность температуры не более 0,002 К/мин, градиент 0,01 К/см. Малоинерционная трубчатая печь МТП-2М, ТУ П 50-239-84, диапазон от +200 °С до +1200 °С, градиент 0,8 °С/м. Измеритель температуры двухканальный прецизионный МИТ 8.20, регистрационный № 74918-19, пределы допускаемой абсолютной погрешности: - $\pm(0,000002 + 2 \cdot 10^{-6} \cdot R)$ Ом для верхнего предела измерений сопротивления 5 Ом; - $\pm(0,000004 + 2 \cdot 10^{-6} \cdot R)$ Ом для верхнего предела измерений сопротивления 50; 400; 570; 1000 Ом. Набор однозначных мер электрического сопротивления термостатированных МС3050Т, регистрационный № 85372-22, значения сопротивлений: 10; 25; 100; 150 Ом; класс точности: 0,0005
Примечание – Допускается применение средств поверки с метрологическими и техническими характеристиками, обеспечивающими требуемую точность передачи единиц величин поверяемому средству измерений.		

5.2 Работа с указанными средствами измерений должна проводиться в соответствии с документацией по их эксплуатации.

5.3 Указанные средства поверки должны иметь актуальные сведения о положительных результатах поверки или аттестации в Федеральном информационном фонде обеспечения единства измерений (ФИФ ОЕИ).

6 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

6.1 При подготовке и проведении поверки необходимо соблюдать требования ГОСТ Р 52319-2005.

6.2 Требования безопасности при проверке сопротивления изоляции – в соответствии с ГОСТ Р 52931-2008 и ГОСТ Р 52319-2005.

6.3 При проведении поверки необходимо также соблюдать меры безопасности, изложенные в НТД на поверяемый термометр и средства поверки.

6.4 При работе с термометром, с использованием сжиженных газов, необходимо пользоваться средствами индивидуальной защиты (очки и перчатки) и соблюдать осторожность, так как попадание сжиженных газов на незащищенные участки кожного покрова и слизистые оболочки приводит к тяжелым обморожениям.

6.5 При работе с термометром запрещается прикасаться к нагретым и охлажденным его частям, имеющим температуру выше 50 °С и ниже минус 30 °С во избежание получения ожогов и обморожений, а также запрещается помещать нагретые термометры на легковоспламеняющуюся поверхность во избежание возгораний.

6.6 При проведении поверки средства поверки должны быть надежно заземлены. Сопротивление заземления не должно превышать 0,1 Ом.

6.7 Все работы по обслуживанию и ремонту термометра проводить только при достижении всеми его частями температуры (25 ± 15) °С.

7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

7.1 При проведении внешнего осмотра необходимо убедиться в:

- соответствии внешнего вида описанию типа,
- соответствии комплектности, упаковки, маркировки и габаритных размеров требованиям нормативной документации,
- целостности термометра (отсутствии трещин или вмятин на корпусе);
- наличии эксплуатационного документа (паспорт).

7.2 Результат внешнего осмотра считают положительным, если выполняются вышеуказанные требования. При наличии дефектов термометр подлежит ремонту или бракуется.

8 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

8.1 Проверить наличие всех средств измерений, необходимых для поверки, согласно разделу 5 и нормативным документам, устанавливающим методику их эксплуатации.

8.2 Проверить соответствие условий поверки требованиям раздела 3.

8.3 Подготовить к работе средства измерений и поверяемый термометр согласно эксплуатационным документам на них.

8.4 Протереть погружаемую часть термометра этанолом.

8.5 Опробование заключается в проверке целостности электрических цепей термометра. Опробование электрической схемы проводят с помощью прибора комбинированного Ц4312.

Результат опробования считают положительным, если нет нарушения электрической цепи термометра.

8.6 Проверка электрического сопротивления изоляции термометра

Проверку проводят при температуре (20 ± 5) °С и относительной влажности воздуха (60 ± 15) % с помощью мегомметра с напряжением от 10 до 100 В.

Электрическое сопротивление изоляции между выводами и корпусом термометра должно быть не менее 100 МОм. В противном случае термометр бракуется.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

8.1 Определение нестабильности термометров

Нестабильность термометров определяют по изменениям их сопротивлений в тройной точке воды после нагрева и охлаждения до температуры границ рабочего диапазона. Методика определения нестабильности аналогична приведенной в ГОСТ Р 8.571-98.

Нестабильность термометров определяют в следующем порядке.

9.1.1 Проводят измерение сопротивления термометра в тройной точке воды ($R_{\text{ТТВ}}$). Методика измерения следующая.

Ампула тройной точки воды должна быть предварительно подготовлена к работе согласно технической документации на данный прибор.

Термометр предварительно погружают в сосуд Дьюара с водо-ледяной смесью при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выдерживают там не менее 15 мин. Затем термометр извлекают и погружают в канал ампулы тройной точки воды и через 15 мин начинают измерения.

За результат измерений сопротивления термометра ($R_{\text{ТТВ1}}$) принимают среднее арифметическое из результатов пяти отсчетов.

Полученное значение сопротивления термометра $R_{\text{ТТВ1}}$ не должно отличаться от номинального более чем на 0,2 Ом.

9.1.2 После проверки $R_{\text{ТТВ1}}$ термометры помещают в печь или калибратор температуры при температуре верхнего предела рабочего диапазона измерений согласно таблицам описания типа для соответствующего исполнения термометра. Допускаемое отклонение температуры печи от верхнего предела диапазона измерений термометра $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. После выдержки при этой температуре в течение 5 ч термометры помещают на 0,5 ч в среду с нормальной температурой (см. п. 3.1) и затем повторно измеряют сопротивление в тройной точке воды ($R_{\text{ТТВ2}}$).

9.1.3 Значения модуля разности сопротивлений термометра $|\Delta R_{\text{ТТВ}}| = |R_{\text{ТТВ1}} - R_{\text{ТТВ2}}|$ не должны быть более $0,004\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $0,007\text{ }^{\circ}\text{C}$, в температурном эквиваленте, для термометров 2-го и 3-го разрядов соответственно.

П р и м е ч а н и е – Значения $\Delta R_{\text{ТТВ}}$ в температурном эквиваленте определяются по выражению $\Delta R_{\text{ТТВ}}/(dR/dT)_{\text{ТТВ}}$, где $(dR/dT)_{\text{ТТВ}}$ при температуре тройной точки воды для термометров с номинальным сопротивлением при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

- $(100,0 \pm 0,2)\text{ Ом}$ $0,4\text{ Ом}/^{\circ}\text{C}$;
- $(25,0 \pm 0,2)\text{ Ом}$ $0,1\text{ Ом}/^{\circ}\text{C}$.

9.1.4 Термометры, не удовлетворяющие требованиям стабильности, бракуют или их переводят в более низкий разряд.

8.2 Определение относительного сопротивления в точках контроля чистоты платины

9.2.1 Относительное сопротивление термометра в точке плавления галлия W_{Ga} определяют при первичной поверке перед градуировкой термометра.

Методика измерений сопротивления термометров в указанных реперных точках должна соответствовать приведенной в ГОСТ Р 8.571-98, п.п. 9.7.2 – 9.7.5.

9.2.2 После определения значения сопротивления термометра в реперной точке галлия R_{Ga} , определяют значение сопротивления термометра в тройной точке воды по методике, изложенной в п. 9.1.1.

Рассчитывают относительное сопротивление термометра в точке плавления галлия W_{Ga} по формуле

$$W_{\text{Ga}} = \frac{R_{\text{Ga}}}{R_{\text{ТТВ}}}. \quad (9.1)$$

Значение относительного сопротивления термометра W_{Ga} должно быть не менее значений, приведенных в таблицах описания типа для соответствующего исполнения термометра.

П р и м е ч а н и е – Термометры ПТСВ-2-2, ПТСВ-2-3, ПТСВ-6м-3, ПТСВ-7м-2, ПТСВ-7м-3 помещают во влагозащитные гильзы при измерении электрического сопротивления термометров ПТСВ-2-2, ПТСВ-2-3, ПТСВ-6м-3, ПТСВ-7м-2, ПТСВ-7м-3 в точке плавления галлия и в тройной точке воды, в азотной ванне.

9.2.3 Допускается заменить определение относительного сопротивления термометра в точке плавления галлия на определение относительного сопротивления $W_{100}=R_{100}/R_0$ термометра при температуре 100 °С.

Определение сопротивления термометра R_{100} проводят, измеряя сопротивление термометра $R_{изм}(t_{термост})$ в термостате или в калибраторе температуры (в режиме термостата) и вводя поправку на отличие действительного значения температуры от 100 °С

$$R_{100} = R_{изм}(t_{термост}) + \left(\frac{dR}{dt} \right)_{100} \cdot (100 - t_{термост}). \quad (9.2)$$

$$\text{Принимают } \left(\frac{dR}{dt} \right)_{100} = R_0 \cdot 0,00357.$$

Значение $t_{термост}$ температуры в термостате или в калибраторе определяют по показанию термометра сопротивления эталонного ЭТС-25.

Сопротивление R_0 определяют по п. 9.1.1.

Полученное значение относительного сопротивления W_{100} должно быть не менее значений, указанных в таблицах описания типа для соответствующего исполнения термометра.

Значение R_0 заносят в протокол поверки.

8.3 Определение градуировочной характеристики

9.3.1 Градуировочная характеристика эталонного термометра представляет собой один или два полинома $\Delta W = f(W - 1)$ отклонения относительного сопротивления термометра W от одной из двух стандартных функций $W_r(T)$ (в области $W > 1$ и в области $W < 1$) МТШ-90, так что необходимое для расчета температуры стандартное значение относительного сопротивления рассчитывают по формуле

$$W_r(t) = W - \Delta W. \quad (9.3)$$

Для термометров с диапазоном измерений от минус 50 °С и верхней границей диапазона температуры выше 60 °С градуировку проводят только при значениях температуры выше 0 °С и функция отклонения ΔW экстраполируется в область температуры от 0 °С до минус 50 °С из области $W > 1$.

Для термометров ПТСВ-2К-2 с диапазоном измерений от минус 60 °С до плюс 60 °С и термометров ПТСВ-7м-2, ПТСВ-7м-3 с диапазоном измерений от минус 50 °С до плюс 50 °С градуировку проводят в одной точке выше 0 °С и в одной точке ниже 0 °С и представляют двумя линейными функциями отклонения в области $W > 1$ и в области $W < 1$.

Для термометров ПТСВ-2-2, ПТСВ-2-3, ПТСВ-9-2 с диапазоном измерений, включающим точку минус 200 °С, градуировку проводят как в области температуры выше 0 °С, так и при температуре минус 196 °С (77 К) и представляют двумя функциями отклонения в области $W > 1$ и в области $W < 1$.

В зависимости от исполнения и диапазона измерений термометра предусмотрены значения температуры и последовательность градуировки, указанные в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Последовательность реализации «опорных» точек температуры в цикле измерений при градуировке термометров для различных диапазонов измерений температуры

Диапазон измерений температуры, °С	Градуировочные точки, °С
от -50 до +50	-39; ттв; 30; ттв
от -60 до +60	-39; ттв; 30; ттв
от -50 до +150	ттв; 156; ттв
от -50 до +160	ттв; 156; ттв
от -50 до +232	156; ттв; 232; ттв
от -50 до +250	156; ттв; 232; ттв
от -50 до +450	420; ттв; 232; ттв
от -50 до +500	420; ттв; 232; ттв
от 0 до +660	660; ттв; 420; ттв; 232; ттв
от -200 до +160	-196; ттв; 156; ттв
от -200 до +200	-196; ттв; 156; ттв
от -200 до +450	-196; ттв; 420; ттв; 232; ттв

Каждый цикл измерений проводят трижды.

Градуировку термометров допускается проводить по ГОСТ Р 8.571-98.

9.3.2 Градуировка термометров 3-го разряда

Градуировку термометров 3-го разряда проводят методом сличения с эталонным термометром 1-го или 2-го разряда в устройствах, реализующих «опорные» точки температуры диапазона измерений градуируемого термометра, и измерения сопротивления непосредственно в тройной точке воды (ттв). Для значений температуры, которые могут быть реализованы в ампулах реперных точек, допускается использовать реперные точки в качестве эталонов.

Сопротивление градуируемого термометра в тройной точке воды измеряют так же, как при определении стабильности (п. 9.1).

Значения температуры градуировки не должны отличаться от значений, указанных в таблице 9.1, более чем на ± 2 °С.

Для градуировки термометров ПТСВ их вместе с эталонным термометром помещают в блок сравнения жидкостного термостата или печи (калибратора в режиме блока сравнения) и при значениях температуры, приведенных в таблице 9.1, проводят измерения сопротивлений эталонного и поверяемого термометров. Измерение сопротивления эталонного и поверяемого термометров проводят при установлении температурного режима, когда изменение температуры по показаниям эталонного термометра за 5 мин не превышают 0,01 °С.

За результат измерений сопротивлений в цикле принимают среднее арифметическое из пяти отсчетов. По результатам измерений в трех циклах рассчитывают значение относительного сопротивления градуируемого термометра W при данной температуре.

По показанию эталонного термометра рассчитывают температуру T , определяют стандартное значение $W_r(T)$ и рассчитывают $\Delta W = W - W_r$.

9.3.3 При градуировке в одной точке коэффициенты линейных поправочных полиномов рассчитывают по формулам

Для $W < 1$

$$M = \frac{\Delta W}{W - 1}, \quad (9.4)$$

Для $W > 1$

$$a = \frac{\Delta W}{W - 1}, \quad (9.5)$$

При градуировке в двух точках коэффициенты a и b находят как решение системы двух линейных уравнений

$$\begin{cases} \Delta W_1 = a \cdot (W_1 - 1) + b \cdot (W_1 - 1)^2 \\ \Delta W_2 = a \cdot (W_2 - 1) + b \cdot (W_2 - 1)^2 \end{cases} \quad (9.6)$$

При градуировке в трех точках коэффициенты a , b и c находят как решение системы трех линейных уравнений

$$\begin{cases} \Delta W_1 = a \cdot (W_1 - 1) + b \cdot (W_1 - 1)^2 + c \cdot (W_1 - 1)^3 \\ \Delta W_2 = a \cdot (W_2 - 1) + b \cdot (W_2 - 1)^2 + c \cdot (W_2 - 1)^3 \\ \Delta W_3 = a \cdot (W_3 - 1) + b \cdot (W_3 - 1)^2 + c \cdot (W_3 - 1)^3 \end{cases} \quad (9.7)$$

Системы могут быть решены как методом Крамера, так и методом матричного уравнения $A \cdot X = B$ с использованием операций обращения матрицы и умножения матриц. Матрица-столбец коэффициентов системы рассчитывается как матричное произведение обратной матрицы A^{-1} и матрицы-столбца свободных членов системы B : $X = A^{-1} \cdot B$. Здесь A – основная матрица системы (матрица множителей при искомым коэффициентах).

8.4 Определение доверительной погрешности термометров

8.4.1 Рассчитывают доверительную погрешность результата измерения сопротивления термометра в тройной точке воды в температурном эквиваленте по формуле

$$\delta_T = t_q \cdot S_T, \quad (9.8)$$

$$S_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_{Ti} - R_T)^2}{n \cdot (n - 1)}} \cdot \frac{1}{\left(\frac{dR}{dT}\right)_T}, \quad (9.9)$$

$$R_T = \frac{\sum_{i=1}^n R_{Ti}}{n}, \quad (9.10)$$

где δ_T – доверительная погрешность среднего арифметического значения сопротивления термометра, измеренного в тройной точке воды в температурном эквиваленте;

t_q – коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности 0,95 и числе степеней свободы $(n-1)$;

S_T – среднее квадратическое отклонение (СКО) среднего арифметического значения сопротивления термометра в тройной точке воды в температурном эквиваленте;

R_{Ti} – результат i -го цикла измерений сопротивления термометра в тройной точке воды (п. 8.3), Ом;

n – среднее арифметическое значение сопротивления термометра в тройной точке воды, Ом;

– количество измерений сопротивления термометра в тройной точке воды за все циклы

градуировки;

$\left(\frac{dR}{dT}\right)_T$ – чувствительность термометра при температуре тройной точки воды для термометров с номинальным сопротивлением при 0 °C:

– (100,0±0,2) Ом 0,4 Ом/°C;

– (25,0±0,2) Ом 0,1 Ом/°C.

8.4.2 Рассчитывают относительное сопротивление термометра в каждой реперной точке по формуле

$$W_{pi} = \frac{R_{pi}}{R_{Ti}}, \quad (9.11)$$

где W_{pi} - относительное сопротивление термометра в реперной точке в i -м цикле измерений;
 R_{pi} - результат измерения сопротивления термометра в реперной точке в i -м цикле измерений (п. 8.3), Ом;
 R_{Ti} - результат измерения сопротивления термометра в тройной точке воды, проведенного после измерений в реперной точке в i -м цикле измерений (п. 8.3), Ом.

8.4.3 Рассчитывают среднее арифметическое значение относительного сопротивления термометра в реперной точке и его СКО в температурном эквиваленте по формулам

$$W_p = \frac{\sum W_{pi}}{n}, \quad (9.12)$$

$$S_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (W_{pi} - W_p)^2}{n \cdot (n-1)}} \cdot \frac{1}{\left(\frac{dW_r}{dT}\right)_p}, \quad (9.13)$$

где W_p - среднее арифметическое значение относительного сопротивления термометра в реперной точке по всем циклам измерений;
 W_{pi} - относительное сопротивление термометра в реперной точке в i -м цикле;
 n - число циклов измерения сопротивления термометра в реперной точке;
 S_p - СКО среднего арифметического значения относительного сопротивления термометра в реперной точке в температурном эквиваленте;
 $\left(\frac{dW_r}{dT}\right)_p$ - производная стандартной функции международной температурной шкалы МТШ-90 $W_r(T)$ по температуре в реперной точке.

Значения производной стандартной функции МТШ-90 в реперных точках указаны в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Производная стандартной функции МТШ-90 в реперных точках

Реперная точка	$\frac{dW_r}{dT}, ^\circ C$
Тройная точка ртути	0,00401
Точка плавления галлия	0,00395
Точка затвердевания индия	0,00380
Точка затвердевания олова	0,00371
Точка затвердевания цинка	0,00350
Точка затвердевания алюминия	0,00321

8.4.4 Рассчитывают доверительную погрешность результата определения относительного сопротивления термометра в реперной точке в температурном эквиваленте по формуле

$$\delta_p = t_q \cdot S_p, \quad (9.14)$$

где t_q - коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности 0,95 и числе степеней свободы $(n - 1)$. При $n = 3$ $t_q = 4,303$.

8.4.5 Сравнивают рассчитанные по 8.4.1 и 8.4.4 значения доверительной погрешности со значениями, указанными в таблице В.1.

Значения доверительной погрешности результата измерений температуры в тройной точке воды (δ_T) и реперных точках (δ_p) должны быть не более значений, указанных в таблице В.1. В противном случае термометр бракуют или его разряд переводят в более низкий.

8.4.6 Градуировочную характеристику термометров, удовлетворяющих требованиям 8.4.5, определяют по методике п. 8.3.

8.5 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

8.5.1 Для подтверждения соответствия метрологических характеристик термометров сопротивлению платиновых вибропрочных эталонных ПТСВ метрологическим требованиям используют: значения доверительной погрешности при доверительной вероятности 0,95, определенные в соответствии с п. 8.4 настоящей методики.

8.5.2 Критерием подтверждения соответствия считают выполнение требований к метрологическим характеристикам термометров сопротивления платиновых вибропрочных эталонных ПТСВ, установленным в приложении В настоящей методики.

9.5.3 Если значения доверительной погрешности во всех контрольных точках, определенные в соответствии с п. 8.4, удовлетворяют требованию пунктов 9.5.1 и 9.5.2, выполнены требования разделов 4, 7, 8 настоящей методики, то принимают решение о соответствии термометров сопротивления платиновых вибропрочных эталонных ПТСВ метрологическим требованиям.

9.5.4 Если хотя бы одно из значений доверительной погрешности, полученные в соответствии с п. 8.4, не удовлетворяют требованиям пунктов 9.5.1 и 9.5.2 и/или требования разделов 4, 7, 8 настоящей методики не выполнены, то принимают решение о несоответствии термометров сопротивления платиновых вибропрочных эталонных ПТСВ метрологическим требованиям. Выполнение дальнейших операций по поверке прекращают.

9 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

Результаты поверки оформляют протоколом (рекомендуемая форма протокола приведена в приложении А).

Результаты поверки публикуются в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений.

По заявлению владельца термометров сопротивления платиновых вибропрочных эталонных ПТСВ или лица, представившего их на поверку при положительных результатах поверки, выдается свидетельство о поверке установленной формы и (или) в паспорт вносится запись о проведенной поверке, удостоверенная оттиском поверительного клейма; при отрицательных результатах поверки выдается извещение о непригодности к применению.

Знак поверки наносится на свидетельство о поверке (в случае его оформления) и (или) в паспорт.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(рекомендуемое)
Форма протокола поверки

ПРОТОКОЛ ПОВЕРКИ

термометра сопротивления платинового вибропрочного эталонного ПТСВ

№ _____ от «___» _____ 20__ г.

1. Заказ зав. № _____.
2. Термометр ПТСВ, исполнение _____, зав. № _____.
3. Диапазон измерений: от _____ °С до _____ °С.
4. Условия поверки

Температура окружающего воздуха, °С	
Относительная влажность воздуха, %	
Атмосферное давление, кПа	

5. Средства поверки

Наименование, тип	Заводской номер	Номер в ФИФ ЕОИ	№ и дата свидетельства о поверке, кем выдано

6. Результаты поверки

6.1 Внешний осмотр

Замечания по внешнему осмотру	Наличие маркировки
(указать при наличии)	(соответствует/не соответствует ТУ)

6.2 Проверка электрического сопротивления изоляции

Измеренное сопротивление изоляции, МОм	Минимально допускаемое сопротивление изоляции, МОм

6.3 Проверка метрологических характеристик.

Нестабильность термометра: _____

Результаты измерений приведены для тока 1 мА

Реперная точка	Температура, °С	$W(t)=R(T)/R(0,01)$
N ₂	-196	
R(0,01)	0,01	100,1317
Sn	231,928	1,888727
Zn	419,527	2,561748
Al	660,323	3,364889

Коэффициенты функции отклонения от МТП-90 в диапазоне от 0,01 °С до +660,323 °С:

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a [W(T_{90}) - 1] + b [W(T_{90}) - 1]^2 + c [W(T_{90}) - 1]^3,$$

где $a = -0,001363$; $b = 0,000124$; $c = -0,000618$;

Доверительная погрешность при доверительной вероятности 0,95 градуировки термометра в точках, °С:

в тройной точке воды	0,02	в точке затвердевания цинка	0,06
в точке затвердевания олова	0,03	в точке затвердевания алюминия	0,12

7 Выводы:

Термометр ПТСВ, исп. _____ зав. № _____ на основании результатов первичной (периодической) поверки признан годным в качестве рабочего эталона 2-го разряда

(годен/не годен, в случае непригодности к применению указать причину)

Поверка выполнена _____
(знак поверки) (подпись) (Фамилия И.О.) (дата)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

Оценка неопределенности результатов поверки

Б.1 Неопределенность результатов поверки оценивают в точках градуировки и выражают в единицах сопротивления для $R_{\text{ТТВ}}$ и единицах температуры в точках градуировки. При расчетах принимают равномерное распределение вероятностей.

Б.2 Стандартную неопределенность результата измерений сопротивления термометра $R_{\text{ТТВ}}$ в тройной точке воды по типу А рассчитывают по формуле

$$u_{\text{stA}} = S \cdot \alpha, \quad (\text{Б.1})$$

где S - СКО ряда измерений сопротивления;

α - коэффициент Стьюдента, принимаемый при доверительной вероятности $p = 0,95$.

Для $n = 5$ $\alpha = 2,776$.

Б.3 Стандартную неопределенность результата измерений сопротивления $R_{\text{ТТВ}}$ термометра по типу В в тройной точке воды рассчитывают по формуле

$$u_{\text{stB}} = \sqrt{u_R^2 + \left(\frac{dR}{dt} \cdot u_{0,01} \right)^2}, \quad (\text{Б.2})$$

где $u_R = \frac{\Delta_{R100}}{\sqrt{3}};$

Δ_{R100} - предел погрешности прибора для измерений сопротивлений термометров при использовании эталонного резистора 100 Ом;

- стандартная неопределенность для ампулы тройной точки воды.

Б.4 Суммарную стандартную неопределенность измерений $R_{\text{ТТВ}}$ рассчитывают по формуле

$$u_{\text{st}} = \sqrt{u_{\text{stA}}^2 + u_{\text{stB}}^2}. \quad (\text{Б.3})$$

Расширенную неопределенность рассчитывают по формуле

$$U = k \cdot u_{\text{st}}, \quad (\text{Б.4})$$

где $k = 2$.

Б.5 Стандартную неопределенность результата измерений сопротивления термометра по типу А в точке поверки рассчитывают по формуле

$$u_{\text{stA}} = S \cdot \alpha, \quad (\text{Б.5})$$

где S - СКО ряда измерений,

α - коэффициент Стьюдента, принимаемый при доверительной вероятности $p = 0,95$.

Для $n = 5$ $\alpha = 2,776$.

Б.6 Стандартную неопределенность результата измерений сопротивления термометра по типу В в точке поверки при поверке в блоке сравнения калибратора методом сличения с эталонным термометром рассчитывают по формуле

$$u_{\text{stB}} = \sqrt{u_R^2 + \left(\frac{dR}{dt} \cdot u_t \right)^2}, \quad (\text{Б.6})$$

$$u_R = \frac{\Delta_{R100}}{\sqrt{3}}, \quad (\text{Б.7})$$

$$u_t = \sqrt{\left(\frac{\Delta_{терм_{пов}}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left\{\frac{1}{\left(\frac{dR}{dt}\right)_{25}} \cdot \left(\frac{\Delta_{R25}}{\sqrt{3}}\right)\right\}^2 + \left(\frac{\Delta_{канал}}{\sqrt{3}}\right)^2}. \quad (Б.8)$$

Индексы 100 и 25 при Δ_R означают пределы погрешностей (доверительные границы погрешностей) измерителя сопротивлений термометров, при использовании эталонных резисторов 100 Ом и 25 Ом. Производные dR/dt для поверяемого и эталонного термометров отмечены индексами «пов» и «25».

Составляющая $\Delta_{канал}$ – предельная неоднородность температуры в каналах одинакового диаметра блока сравнения.

9.4.7 Производные dR/dt формулах (Б.2), (Б.6), (Б.8) рассчитывают по уравнению

$$\frac{dR}{dt} = R_{ТТВ} \cdot (A + 2 \cdot B \cdot t), \quad (Б.8)$$

где $A = 0,003969 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $B = -5,841 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, t – температура, $^\circ\text{C}$.

9.4.8 Суммарную стандартную неопределенность измерений R_t рассчитывают по формуле (Б.2).

Расширенную неопределенность рассчитывают по формуле $U_R = k \cdot u_{st}$, где $k = 2$.

9.4.9 Расширенную неопределенность в единицах температуры (в градусах) рассчитывают по формуле

$$U_t = \frac{U_R}{\left(\frac{dR}{dt}\right)_{пов}}. \quad (Б.9)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное)

Таблица В.1 – Диапазон измерений, доверительная погрешность при доверительной вероятности 0,95, разряд по ГПС

Термометр	Разряд по ГПС	Диапазон измерений, °C	Доверительная погрешность ¹⁾ при доверительной вероятности 0,95, °C, в контрольной точке, °C (K)								
			-200 (73) (N ₂)	-50 (223) ²⁾ (TTHg)	0 (ттв)	30 (Ga)	160 (In)	232 (Sn)	420 (Zn)	500	660 (Al)
ПТСВ-1-2	2	от -50 до 450	-	0,01	0,01	-	0,02	0,02	0,02	-	-
ПТСВ-1-3	3	от -50 до 450	-	0,02	0,02	-	0,03	0,04	0,04	-	-
ПТСВ-2-2	2	от -200 до 160	0,01		0,01	-	0,02	-	-	-	-
ПТСВ-2К-2	2	от -60 до 60	-	0,01	0,01	0,01		-	-	-	-
ПТСВ-2-3	3	от -200 до 200	0,02	-	0,02	-	0,03	-	-	-	-
ПТСВ-2К-3	3	от -50 до 150	-	0,02	0,02	-	0,03	-	-	-	-
ПТСВ-3-3	3	от -50 до 500	-	0,02	0,02	-	0,03	0,04	0,04	0,04	-
ПТСВ-4-2	2	от -50 до 232	-	0,01	0,01	-	0,02	0,02	-	-	-
ПТСВ-4-3	3	от -50 до 232	-	0,02	0,02	-	-	0,04	-	-	-
ПТСВ-5-3	3	от -50 до 250	-	0,02	0,02	-	-	0,04	-	-	-
ПТСВ-6К-3	3	от -50 до 160	-	0,02	0,02	-	0,03	-	-	-	-
ПТСВ-6М-3	3	от -200 до 200	0,03		0,02	-	0,03	-	-	-	-
ПТСВ-6КМ-3	3	от -50 до 150	-	0,02	0,02	-	0,03	-	-	-	-
ПТСВ-7М-2	2	от -50 до 50	-	0,01	0,01	0,01	-	-	-	-	-
ПТСВ-7М-3	3	от -50 до 50	-	0,02	0,02	0,02	-	-	-	-	-
ПТСВ-4Г-2	2	от -50 до 232	-	0,01	0,01	-	0,02	0,02	-	-	-
ПТСВ-3Г-3	3	от -50 до 500	-	0,02	0,02	-	0,03	0,04	0,04	0,04	-
ПТСВ-8-3	3	от 0 до 660	-	-	0,02	-	-	0,03	-	-	0,15
ПТСВ-9-2	2	от -200 до 450	0,02	0,01	0,01	-	-	0,02	0,02	-	-
ПТСВ-10-2	2	от -50 до 450	-	0,02	0,01	-	-	0,02	0,02	-	-
ПТСВ-11-2	2	от -50 до 232	-	0,01	0,01	-	0,02	0,02		-	-
ПТСВ-12-3	3	от -50 до 450	-	0,02	0,02	-	-	0,03	0,04	-	-

1) Интерполяция и экстраполяция значений погрешности в диапазоне температуры – линейная.

2) При поверке ПТСВ может использоваться тройная точка ртути (-38,84 °C)

3) Измерительный ток 1,0±0,1 мА

Таблица В.2 – Относительное сопротивление, номинальное сопротивление ПТСВ

Термометр	Относительное сопротивление, не менее, при температуре			Номинальное сопротивление при 0 °С, Ом
	плавления галлия W _{Ga}	тройной точки ртути W _{Hg}	100 °С W ₁₀₀	
ПТСВ-1-2	1,11795	0,844235	1,3924	100,0±0,2
ПТСВ-1-3	1,11795	0,844235	1,3924	
ПТСВ-2-2	1,11795	0,844235	1,3924	
ПТСВ-2К-2	1,11795	0,844235	1,3923	
ПТСВ-2-3	1,11795	0,844235	1,3924	
ПТСВ-2К-3	1,11760	0,844990	1,3923	
ПТСВ-3-3	1,11795	0,844235	1,3924	
ПТСВ-4-2	1,11795	0,844235	1,3924	
ПТСВ-4-3	1,11795	0,844235	1,3924	
ПТСВ-5-3	1,11795	0,844235	1,3924	
ПТСВ-6м-3	1,11760	0,844990	1,3923	
ПТСВ-6К-3	1,11760	0,844990	1,3923	
ПТСВ-6Км-3	1,11760	0,844990	1,3923	
ПТСВ-7м-2	1,11760	0,844990	1,3923	
ПТСВ-7м-3	1,11760	0,844990	1,3923	
ПТСВ-4Г-2	1,11795	0,844235	1,3924	
ПТСВ-3Г-3	1,11795	0,844235	1,3924	
ПТСВ-8-3	1,11795	0,844235	1,3924	25,0±0,2
ПТСВ-9-2	1,11795	0,844235	1,3924	100,0±0,2
ПТСВ-10-2	1,11795	0,844235	1,3924	
ПТСВ-11-2	1,11795	0,844235	1,3924	
ПТСВ-12-3	1,11795	0,844235	1,3924	

Таблица В.3 – Технические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Электрическое сопротивление изоляции, МОм, не менее	
- при температуре 0 °С	100
- при температуре +200 °С	50
- при температуре +500 °С	20
- при температуре +600 °С	10
Условия эксплуатации	
- температура окружающей среды, °С	от +1 до +35
- относительная влажность воздуха, не более, %	80
- атмосферное давление, кПа	от 84,0 до 106,7