

# Применение международных норм в новом национальном стандарте на методику поверки рабочих термометров сопротивления

Н. П. МОИСЕЕВА

*Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии Д. И. Менделеева,*

*e-mail: [N.P.Moiseeva@vniim.ru](mailto:N.P.Moiseeva@vniim.ru)*

Рассмотрены положения нового стандарта России на методику поверки рабочих термометров сопротивления, связанные с изменениями в международных стандартах, в частности, в последней редакции МЭК 60751. Обоснована необходимость перехода при поверке от оценки погрешностей к оценке неопределенностей.

**Ключевые слова:** термометр сопротивления, методика поверки, неопределенность.

В 2007 г. в России выпускаются в обращение новые национальные стандарты, устанавливающие технические требования к рабочим термометрам сопротивления (ТС) и методике их поверки. Разработку стандартов проводили в 2005 – 2006 гг. одновременно с пересмотром международного стандарта МЭК 60751 [1], касающегося платиновых термометров сопротивления, что позволило своевременно учесть все новые тенденции в изменении требований, а не «догонять» международные нормы, как это часто происходит в нашей национальной стандартизации. В разработке участвовали ведущие специалисты по термометрии – Российская группа экспертов по международным стандартам МЭК и члены ПК6/ТК2006.

Особое место в статье уделяется понятию «неопределенность измерений», которое введено в стандарты в области температурных измерений впервые. Дискуссии о необходимости применения новых методов оценки точности результатов поверки на основе Руководства [2], проходят с конца 90-х годов прошлого века. До сих пор существует много про-

тивников введения неопределенностей в практику поверки рабочих средств измерений. Их аргументы связаны со сложностью перевода всей промышленности и поверочных служб России на новые методики оценки точности, и поэтому обычно предлагают оставить старую систему поверки внутри страны и применять новые методы только при проведении международных работ. Иногда критика носит более конструктивный характер, и авторы критических статей не соглашались с принципами оценивания точности результатов измерения, предлагаемыми в [2]. Однако ситуация в 2006 г. сложилась так, что игнорировать внедрение новых методов стало просто невозможно. Двусмысленность результатов поверки, выполненных в России и других странах, не отвечает принципам «Соглашения о взаимном признании эталонов» (MRA) и принципам аккредитации поверочных центров на соответствие международному стандарту ИСО/МЭК 17025 [3]. Для включения метрологических центров в международную базу данных об измерительных возможностях лабораторий (СМС) необходимо указывать неопределенности измерений, характерные для каждого центра поверки и рассчитанные по общепринятым правилам. Страны бывшего СССР, такие как Белоруссия, Эстония, Латвия, опередили Россию и уже ввели стандарты поверки, включающие оценку неопределенности. Защищая сам принцип применения Руководства [2], хочется отметить, что в нем дается универсальный способ оценивания неопределенности измерений на основе стандартных неопределенностей входных величин уравнения измерений. Именно принцип универсальности вычисления неопределенности, позволяющий повторить вычисления в любой лаборатории и получить те же результаты (не допускающий различных толкований) важен при регламентировании оценок точности измерений в нормативных документах.

Как уже отмечалось, разработка стандарта, устанавливающего технические требования к ТС, шла одновременно с пересмотром междуна-

родного аналога – стандарта [1]. В 2005 г. по инициативе ВНИИМ была создана Российская группа экспертов, принимающая участие в работе МЭК по приборам для температурных измерений в рамках Национального комитета МЭК Российской Федерации. Благодаря этому в новых Российских стандартах были учтены все изменения международных требований к термометрам и методам их испытаний.

**Основные технические требования к ТС.** Термометры сопротивления в настоящее время являются самыми точными средствами измерений температуры в диапазоне от  $-200$  до  $+660$  °С. Международный стандарт МЭК 60751 [1] устанавливает требования к платиновым ТС и чувствительным элементам (ЧЭ) с температурным коэффициентом  $0,00385$  °С<sup>-1</sup>, согласно которому изготавливаются большинство ТС в мире. Также действует американский стандарт ASTM E 1137 [4], который аналогичен [1], но имеет небольшие отличия в нормировании допусков. Из национальных стандартов других стран наиболее известен японский стандарт JIS для ТС с температурным коэффициентом  $0,00392$  °С<sup>-1</sup>. Чтобы расширить номенклатуру ТС, используемых нашей промышленностью, и сделать возможным экспорт отечественных ТС, основой для национального российского стандарта должен быть международный стандарт [1].

В настоящее время практически завешена работа над новой редакцией МЭК 60751. Что же изменилось в стандарте МЭК и отразилось в новой редакции российского стандарта? Это, прежде всего, введение новых классов точности ТС и нового типа ТС платиновых термометров на основе напыленной на подложку платиновой пленки. Особое внимание уделено критериям годности ТС. Для оценки соответствия допускам стандарт устанавливает требование расчета неопределенности результатов измерений, выполненных на аппаратуре завода–изготовителя ТС.

Остановимся подробнее на этих изменениях.

В табл. 1 приведено сравнение классов допусков и температурных диапазонов платиновых ТС, которые установлены в предыдущей (1995 г.) и проекте новой (2007 г.) редакции стандарта МЭК 60751.

Т а б л и ц а 1

### Диапазоны измерений и классы допуска ТС

Класс допуска	Допуск, °С	Диапазон измерений ТС, °С			
		1995		2007	
		проволочного	пленочного	проволочного	пленочного
AA	$\pm(0,1 + 0,0017   t  )$	Нет		от -100 до +350	от -50 до +250
A	$\pm(0,15 + 0,002   t  )$	от -200 до +650		от -100 до +450	от -50 до +450
B	$\pm(0,3 + 0,005   t  )$	от -200 до +850		от -196 до +660	от -50 до +600
C	$\pm(0,6 + 0,01   t  )$	Нет		от -196 до +660	от -50 до +600

Изменение в стандарте температурных диапазонов для разных классов точности, на первый взгляд, кажется шагом назад, задерживающим технический прогресс в производстве ТС. Однако на самом деле здесь прослеживается новый подход МЭК к нормированию технических требований к ТС. В старых редакциях стандарта МЭК устанавливался максимально возможный диапазон для ТС, и каждый изготовитель мог ограничить этот диапазон для конкретных конструкций термометров. Новый подход состоит в том, что нормироваться должен не максимально возможный диапазон температур, а диапазон, в котором обеспечиваются требования к допускам для большинства выпускаемых в мире ТС. За годы применения стандарта был накоплен опыт производства и эксплуатации ТС, изготовленных по [1]. Исследования стабильности и точности большой партии ТС показали, что более половины ТС не соответствует заявленному изготовителем классу точности при температурах выше 600 °С. Специалисты по термометрии из рабочей группы МЭК ТК65/РГ5

предложили установить для различных классов точности ограниченные диапазоны температур (см. табл. 1), которые легко достижимы для большинства выпускаемых ТС. Важно также было разграничить температурные диапазоны для проволочных и пленочных термометров, что не было сделано в предыдущей редакции стандарта. В то же время в проекте стандарта 2007 г. сохраняется возможность для производителя устанавливать расширенный или суженный диапазон для некоторых типов ТС и определять классы допуска в этих диапазонах. Однако в этом случае ТС не может быть просто квалифицирован, как соответствующий стандарту МЭК 60751: необходимо оговаривать в документации отличия его характеристик от стандартных в дополнительных диапазонах. Новый российский стандарт заимствовал основные принципы деления ТС на классы и диапазоны из нового проекта МЭК 60751.

Критерий годности ТС, правила его приемки производителем и отбраковки потребителем в новой версии МЭК 60751 установлены в соответствии со стандартом ИСО 14253-1 [6], регламентирующим правила подтверждения соответствия и несоответствия средств измерений допускам, приводимым в технических требованиях. Эти правила вводят новый критерий годности: ТС соответствует спецификации, только если полученный при его поверке результат находится в пределах допуска с учетом расширенной неопределенности измерений. При этом ТС может быть забракован, только если результат измерений с учетом расширенной неопределенности измерений лежит полностью вне пределов допуска. Это правило иллюстрирует Рис. 1, из которого следует, что из четырех ТС только ТС № 1 может быть принят изготовителем и только ТС № 4 может быть забракован заказчиком. Такое правило приемки, с одной стороны, снижает риск потребителя ТС, который может приобрести некачественный прибор только по причине больших погрешностей измерений на производстве, а с другой стороны, это правило стимулирует из-

готовителя использовать при приемке приборов высокоточное измерительное оборудование.

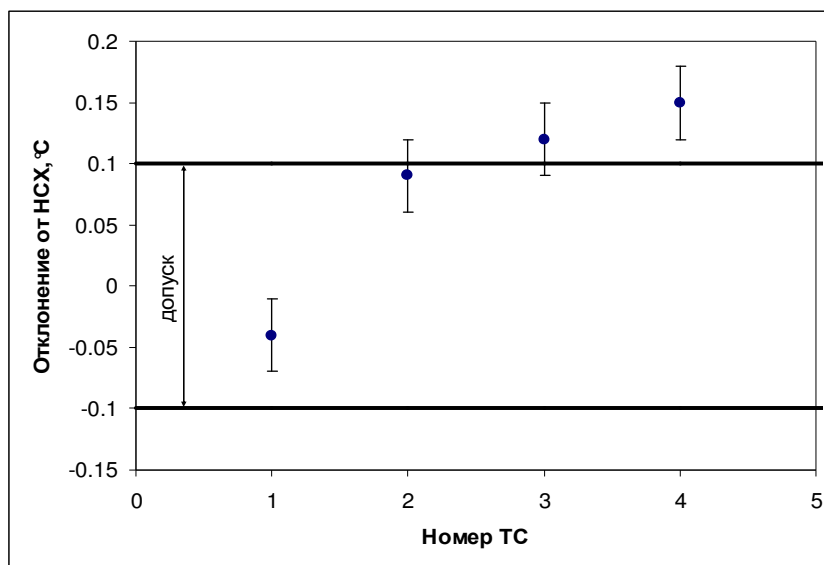


Рис. 1 Иллюстрация к критерию приемки и отбраковки термометров сопротивления (ТС)

Правило также является очень важным при установлении брака заказчиком, так как он также обязан оценить неопределенность своих измерений и уже после этого предъявлять претензии к изготовителю. Очевидно, что введение данного правила приемки в международный и национальный стандарты обуславливает необходимость разработки методики расчета неопределенности измерений сопротивления ТС.

**Методика поверки рабочих ТС.** В предыдущей редакции стандарта ГОСТ 8.461–82 [7] устанавливалась простая процедура поверки рабочих ТС, которая заключалась в измерении сопротивления при температурах 0 и 100 °C в нулевом и паровом термостатах и сравнении полученных результатов с допускаемым отклонением от номинальной статической характеристики. Погрешность результата поверки контролировали по заданным в стандарте предельным погрешностям используемых средств измерений (СИ) – образцовых термометров, термостатов и измерительных установок. Все лаборатории, имеющие СИ, удовлетворяющие

этим стандартным требованиям, были аккредитованы на право поверки, причем при аккредитации не проводилась оценка случайных и систематических погрешностей, характерных для конкретной поверочной лаборатории.

Данный подход не отвечает современным требованиям к аккредитации лабораторий на соответствие ИСО/МЭК 17025 [3], одно из которых состоит в том, что лаборатория должна оценить реальную точность результатов поверки. Международная организация по аккредитации поверочных лабораторий ILAC выпустила специальный документ [8], устанавливающий правила для введения концепции «неопределенность измерения» в поверочную практику в связи с применением стандарта [3]. Согласно [8] базовым документом для расчета неопределенности измерений должно являться Руководство [2], поверка должна проводиться по нормативным документам и стандартам, которые следует переработать так, чтобы они включали полную методику оценки неопределенности результата поверки. Каждый центр поверки должен провести оценку своих измерительных возможностей, вычислив суммарную и расширенную неопределенности поверки на основании характеристик конкретных применяемых СИ. По представленным данным об измерительных возможностях заказчик может выбрать центр поверки. Такой подход стимулирует лаборатории применять самое точное оборудование и способствует, таким образом, техническому прогрессу и повышению качества поверки.

Со времени последнего пересмотра стандарта на методику поверки ТС сильно изменился парк поверочного оборудования. Появилось много новой аппаратуры, в том числе термостатов и калибраторов, которые можно использовать при поверке термометров сопротивления. Отдельные виды СИ, особенно сухоблочные калибраторы, требуют специального подхода для получения оптимальных точностных характеристик. Новая редакция стандарта на методику поверки ТС разработана с целью ус-

тановить универсальный для поверочных лабораторий метод оценки измерительных возможностей и дать рекомендации по использованию средств поверки, опираясь на международный опыт.

На основе Руководства [2] был выпущен ряд европейских стандартов. Так, европейской ассоциацией по аккредитации (EA) разработан стандарт [9], описывающий применение Руководства [2] в практике поверки, а также два документа [10, 11], касающиеся конкретных видов приборов для температурных измерений. Специальный стандарт на поверку ТС отсутствует. Однако поход к поверке термометров должен совпадать с общим подходом, который изложен в международных документах и заключается в следующем. Составляются уравнение измерений и таблица стандартных неопределенностей входных величин (так называемый бюджет неопределенностей), которая включает источник неопределенности, тип распределения, оценку стандартной неопределенности, коэффициент влияния. Суммарную стандартную неопределенность рассчитывают как квадратный корень из суммы всех стандартных неопределенностей, приведенных в таблице, с учетом коэффициентов влияния. Расширенную неопределенность получают умножением суммарной стандартной неопределенности на коэффициент расширения (охвата), который принимают  $k = 2$ . Расширенная неопределенность поверки является показателем измерительных возможностей данной лаборатории, ее оценивают квалифицированные специалисты (инженеры, научные сотрудники) при аттестации рабочего места поверителя. Необходимо отметить, что работа поверителя при этом не усложняется, протоколы поверки практически не изменяются, но заключение о годности ТС делается с учетом характерной для конкретной лаборатории неопределенности поверки.

Приведем пример бюджета неопределенностей, составленного для поверки ТС класса А при температуре 95 °С в водяном термостате.



Предположим, что для этой цели лаборатории используются следующие средства измерений:

термостат водяной (нестабильность температуры  $\Delta_{nc} = \pm 0,02$  °С, неравномерность (градиент) температуры в рабочем объеме  $a_T = \pm 0,01$  °С);

эталонный термометр (расширенная неопределенность при 100 °С составляет  $U_3 = \pm 0,12$  °С, нестабильность за межповерочный интервал  $a_3 = \pm 0,05$  °С);

мост постоянного тока (предел основной допускаемой погрешности  $\Delta_{пр} = \pm 0,002$  Ом);

среднее квадратическое отклонение (СКО) результата измерения сопротивления 100-омного ТС в поверочной лаборатории при 95 °С составляет  $u(r_{\text{лаб}}) = 0,005$  Ом.

Бюджет неопределенности результатов поверки, представленный в табл. 2, включает две части: неопределенность измеряемой эталонным термометром температуры в термостате и неопределенность измерения сопротивления поверяемого ТС.

Т а б л и ц а 2

### Бюджет неопределенности измерений при поверке ТС

Источник неопределенности, распределение, метод расчета	Оценка стандартной неопределенности	Коэффициент влияния	Вклад в суммарную стандартную неопределенность
Бюджет неопределенности измерения температуры в термостате			
Случайные эффекты при измерении, нормальное распределение, $u(r_{\text{лаб-5}}) = u(r_{\text{лаб}}) / \sqrt{5}$ , Ом*	0,0022	1/0,385	0,0058
Нестабильность температуры в термостате, равномерное распределение, $u(t_3) = \Delta_{nc} / \sqrt{3}$ , °С	0,0116	1	0,0116
Градуировка эталонного термометра, нормальное распределение, $u(t_{гр}) = U_3/2$ , °С	0,06	1	0,06
Поверка электроизмерительной установки,	0,00067	1/0,385	0,0017

нормальное распределение, $u(r_3) = \Delta_{пр} / 3$ , Ом			
Нестабильность эталонного термометра за межповерочный интервал, равномерное распределение, $u(t_T) = a_3 / \sqrt{3}$ , °С	0,0289	1	0,0289
Суммарная стандартная неопределенность температуры в термостате $u_c(t_x)$ , °С	—	—	0,068
Бюджет неопределенности измерения сопротивления поверяемого ТС			
Случайные эффекты при измерении, нормальное распределение, $u(r_{\text{лаб-5}}) = u(r_{\text{лаб}}) / \sqrt{5}$ , Ом*	0,0022	1	0,0022
Поверка электроизмерительной установки, нормальное распределение, $u(r_{п}) = \Delta_{пр} / 3$ , Ом	0,00067	1	0,00067
Градиент температуры в рабочем объеме термостата, равномерное распределение, $u(t_T) = a_T / \sqrt{3}$ °С	0,0058	0,385	0,0022
Суммарная стандартная неопределенность измерения сопротивления $u_c(R_{п})$ , Ом	—	—	0,0032

П р и м е ч а н и е. \*СКО рассчитывают по пяти результатам измерений.

Суммарную стандартную неопределенность  $u_c(R)$  и расширенную неопределенность  $U$  поверки термометра в каждой температурной точке рассчитывают по формулам:

$$u_c(R) = \sqrt{C_2^2 u_c^2(t_x) + u_c^2(R_{п})}; \quad U = k u_c(R),$$

где  $k$  – коэффициент охвата,  $k = 2$  при вероятности 0,95 нахождения результата в интервале  $\pm U$  в предположении нормального закона распределения.

Таким образом, результат поверки должен содержать сведения о неопределенности поверки, характерной для конкретной поверочной лаборатории. При этом ТС признается годным, только если измеренное сопротивление с учетом неопределенности ( $R_{п}(t_x) \pm U$ ) лежит полностью в пределах допуска соответствующего класса. В данном примере расширенная неопределенность поверки  $U = 0,0524$  Ом или в температурном

эквиваленте  $0,136\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Поскольку допуск ТС класса А при  $95\text{ }^{\circ}\text{C}$  равен  $0,34\text{ }^{\circ}\text{C}$ , лаборатория может проводить поверку ТС, используя данное оборудование.

При рассмотрении методов оценки точности поверки важно иметь в виду, что оценка стандартных неопределенностей поверки (также как и используемых ранее случайных и систематических погрешностей) – это задача, которая может быть решена неоднозначно. Каждый поверитель в принципе может предложить свой подход к систематизации влияющих факторов и, следовательно, результаты оценки точности поверки могут быть разными в различных лабораториях. Именно поэтому сейчас выпускаются стандарты, которые предлагают унифицированную методику оценки расширенной неопределенности поверки СИ, устанавливающую на базе обобщения опыта поверки основные влияющие факторы и соответствующие им стандартные неопределенности. При расчете и суммировании стандартных неопределенностей ключевая задача – выбрать метод оценки и тип распределения случайной величины. В случае поверки рабочих ТС предлагается упрощенный подход: случайные величины, оцениваемые «по типу А» статистическим методом, имеют нормальное распределение; случайные величины, оцениваемые «по типу В» методом анализа характеристик средств поверки имеют либо нормальное, либо равномерное распределение в зависимости от данных, указанных в свидетельстве о поверке СИ.

Таким образом, новый стандарт на методику поверки рабочих ТС должен стать необходимым инструментом для проведения аттестации поверочных центров и оценки их измерительных возможностей. Стандарт позволит сделать шаг вперед к международному признанию результатов поверки средств измерений температуры в российских метрологических центрах.

## Л и т е р а т у р а

1. **МЭК 60751** Промышленные термометры сопротивления и чувствительные элементы из платины
2. **Guide** to the Expression of Uncertainty in Measurement. – Geneva: ISO, 1993; **Руководство** по выражению неопределенности измерения / Пер. с англ. – СПб: ВНИИМ, 1999.
3. **ИСО/МЭК 17025:2005**. Общие требования для оценки компетенции испытательных и поверочных лабораторий.
4. **ASTM E 1137– 04** Стандартная спецификация (технические требования) для промышленных платиновых термометров сопротивления.
5. **ГОСТ 6651–94**. Термопреобразователи сопротивления. Общие технические требования и методы испытаний.
6. **ИСО 14253-1:1998(E)**. ГПС. Проверка посредством мер и измерительных приборов. Часть1: Правила для подтверждения соответствия и несоответствия спецификации.
7. **ГОСТ 8.461–82**. ГСИ. Термопреобразователи сопротивления. Методика поверки.
8. **ILAC-G17:2002**. Введение концепции «неопределенность измерения» в поверочную практику в связи с применением стандарта ИСО/МЭК 17025.
9. **EA-4/02**. Выражение неопределенности измерения при калибровке.
10. **EA-10/13**. Руководство по калибровке температурных калибраторов. Приложение В: Рекомендации по использованию температурных калибраторов.
11. **EA-10/08**. Градуировка термопар.