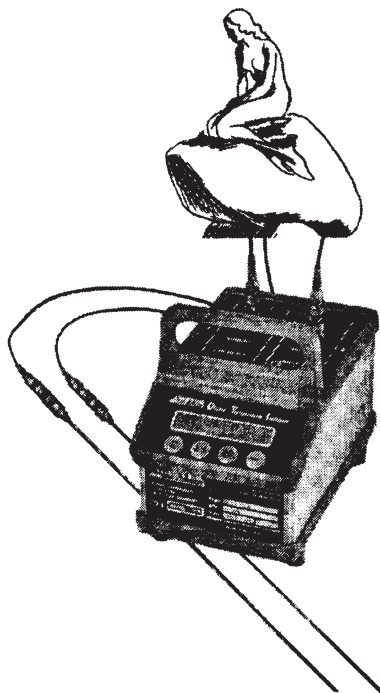


Статья
из журнала
"Законодательная и
прикладная метрология"
№3 1998г.

In the article the results of research of 140SE, 250SE-2, 650SE calibrators conducted with the aim of definition of the factors influencing on the accuracy of verification and calibration of temperature measuring instruments are brought.



То, что производят в Дании, - не самое лучшее в мире, но то, что в Дании продают, - самое лучшее, что в мире производят.

К.Мелихан "И я там был"

О ПОВЫШЕНИИ ТОЧНОСТИ ПОВЕРКИ И КАЛИБРОВКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ С ПОМОЩЬЮ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ КАЛИБРАТОРОВ И ТЕРМОМЕТРОВ

Е.В.Васильев, С.Н.Кузнецов

Основными методами поверки и градуировки СИ температуры в соответствии с [1] является метод реперных точек и метод непосредственного сличения с эталонными термометрами. Первый метод применяется для градуировки эталонных платиновых термометров сопротивления и предусмотрен Международной температурной шкалой МТШ-90. Метод непосредственного сличения является основным методом поверки рабочих средств измерений температуры. Этот метод поверки признан оптимальным с точки зрения обеспечения необходимой точности и экономичности поверки. Для реализации этого метода разработаны и внесены в Государственный Реестр термостаты и криостаты с жидкими теплоносителями, а также электропечи, применяемые при поверке термопреобразователей сопротивления, преобразователей термоэлектрических, датчиков температуры и термометров различных принципов действия. Нулевой термостат типа ТН и паровой термостат типа ТП включены в комплект поверочных установок типа УТТ-6 и УПСТ-2. Указанные поверочные установки, термостаты и печи являются стационарным метрологическим оборудованием, предназначенным для поверки термопреобразователей сопротивления и преобразователей термоэлектрических в лабораторных условиях.

В 90-х годах появился новый класс портативного переносного метрологического оборудования, позволяющего проводить поверку (калибровку) определенной номенклатуры средств измерений температуры как в лабораторных, так и в цеховых условиях. Таким метрологическим оборудованием являются сухоблочные микропроцессорные калибраторы температуры серии SE фирмы AMETEK Denmark A/S, Дания. В настоящее время в Государственный Реестр внесены следующие калибраторы температуры данной фирмы: D55SE, 140SE, 250SE, 650SE, 1200SE. Значения погрешности воспроизведения температуры у данных калибраторов составляют: $\pm 0,3$ °C у калибраторов серии 140SE и D55SE, $\pm 0,5$ °C у калибраторов 250SE, ± 1 °C у калибраторов 650SE, $\pm (2...3)$ °C у калибраторов температуры 1200SE. Глубина погружения первичных преобразователей температуры стержневого типа в металлический термостатируемый блок в зависимости от типа калибратора составляет примерно 100, 120 и 200 мм. Несмотря на высокий технический уровень микропроцессорных калибраторов серии SE область их применения для поверки и калибровки ограничивается средствами измерений температуры, основная погрешность которых превышает $\pm 0,5$ °C.

В данной статье приведены результаты экспериментальных исследований калибраторов температуры 140SE 250SE и 650SE, проведенных ВНИИМС с целью обоснования возможности повышения точности поверки, калибровки и градуировки термометров за счет применения метода непосредственного сличения. Предпосылками для возможной реализации метода непосредственного сличения средств измерений температуры в калибраторах температуры серии SE послужили объективные условия, сложившиеся на данный момент времени.

За последние годы в метрологической практике все более широкое применение получают микропроцессорные цифровые двухканальные прецизионные термометры с высокими метрологическими характеристиками и многообразными дополнительными функциями, характерными для нового поколения микропроцессорной измерительной техники. К их числу относится прецизионный двухканальный цифровой термометр DTI-1000 производства фирмы AMETEK Denmark A/S, Дания, внесенный в Госреестр СИ. Абсолютная погрешность данного термометра в диапазоне $-50...+300$ °C не более $\pm 0,03$ °C, в диапазоне свыше $+300$ °C до 650 °C - не более $\pm 0,1$ °C. В качестве первичных преобразователей температуры в этом термометре используются два платиновых термопреобразователя с защитной арматурой, выполненной в виде тонкостенной трубки из нержавеющей стали диаметром 4 мм длиной 250, 350 или 500 мм с минимальной глубиной погружения 80 мм. Габаритные размеры платиновых термопреобразователей сопротивления цифрового термометра DTI-1000 обеспечивают конструктивную совместимость с калибраторами температуры серии SE, а метрологические характеристики данного термометра позволяют использовать его в качестве эталонного термометра при поверке и калибровке СИ температуры методом непосредственного сличения.

В таблице 1 приведены основные технические характеристики и параметры внесенных в Госреестр СИ конкретных типов эталонных термометров отечественного и зарубежного производства, которые могут быть применены при поверке термометров и термопреобразователей методом сличения в калибраторах температуры серии SE.

В качестве эталонных термометров могут применяться также платиновые термопреобразователи сопротивления, отобранные по критерию стабильности и индивидуально градуируемые в соответствующем диапазоне измерений в аккредитованных лабораториях Государственной метрологической службы. Следует отметить, что при выборе

эталонного термометра для поверки средств измерений методом непосредственного сличения минимальный уровень методической погрешности сличения обеспечивается при сличении однотипных термометров. Однако это условие соблюдается не во всех случаях по причине многообразия типов поверяемых средств измерений температуры.

В таблице 2 приведены типы калибраторов температуры и геометрические размеры металлических вставок, на основе которых изготавливают термостатируемые блоки с соответствующими диаметрами каналов для погружения первичных преобразователей поверяемых СИ температуры при их поверке и калибровке.

Таблица 1

Тип эталонного термометра	Номинальное сопротивление, Ом	Длина ЧЭ, мм	Диаметр защитной оболочки, мм	Доверительная погрешность, * °С	
				1 разр.	2 разр.
ТСПН-5В	100	39	3,7	0,01	0,05
ТСПН-4В	50	29	3,7	0,01	0,05
ПТС-10М	10	29	6,0	0,01	0,03
DTI-1000	100	40	4,0	-	0,03-0,1

* Приведены предельные значения погрешностей для термометров типа ТСПН и ПТС.

Таблица 2

Тип калибратора температуры	Диапазон воспроизводимых температур, °С	Габаритные размеры вставки, мм	
		Длина	Диаметр
D55, 140SE с внешним термостатом T2	-40...+140 (-40 при помещении термостата в холодильник)	200	19
D55, 140SE	-15...+140	100	25,4
250SE	+50...+250	120 и 200	25,4
650SE	+50...+650	120 и 200	25,4

Как видно из данных, приведенных в таблицах 1 и 2, геометрические размеры и метрологические характеристики известных эталонных термометров обеспечивают конструктивную совместимость с калибраторами температуры серии SE, что позволяет использовать их в качестве эталонных термометров при поверке СИ температуры методом непосредственного сличения в калибраторах серии SE и более ранних модификаций.

К вопросу о конструктивной совместимости относится и возможность одновременного погружения в блок сравнения поверяемого и эталонного термометров без риска повреждения последнего при поверке термопреобразователей стержневого типа с клеммной головкой сферической и иной форм. При поверке термопреобразователей такого типа в качестве эталонного термометра должны применяться платиновые термопреобразователи сопротивления стержневого типа с защитной арматурой в виде тонкостенной герметичной трубки из нержавеющей стали длиной 500 мм. Такими термопреобразователями сопротивления комплектуются прецизионные цифровые термометры DTI-1000.

В процессе экспериментальных исследований калибраторов температуры определялось влияние на погрешность поверки калибровки заполнения воздушного кольцевого зазора между стенками канала сменного блока сравнения и защитной арматуры поверяемого термометра диэлектрической жидкостью (трансформаторным маслом) в калибраторах с диапазоном воспроизводимых температур от -40 до +140 °С и мелкодисперсным порошком Al_2O_3 и калибраторах с более высоким верхним пределом воспроизводимых температур.

Выявить влияние кольцевого зазора на погрешность калибровки термометров в термостатируемом блоке с одним каналом невозможно, т.к. результаты сравнительных измерений температуры внешним термометром при заполнении кольцевого зазора между стенками канала и защитной трубки термометра веществами с хорошей теплопроводностью и без них будут искажены влиянием нестабильности поддержания температуры в калибраторе и повторяемостью воспроизводимых значений температур в разных сериях измерений.

С целью устранения влияния этих факторов для проведения экспериментальных исследований были изготовлены металлические двухканальные блоки с каналами, обеспечивающими кольцевой зазор 0,1, 0,5 и 0,15 мм (соответственно в калибраторах 140SE, 250SE-2 и 650SE) при погружении в них термопреобразователей диаметром 4 мм и эталонных термометров диаметром 6 мм, а также блок с двумя одинаковыми каналами, обеспечивающими минимальный зазор при погружении в них двух эталонных термометров диаметром 6 мм.

Экспериментальные исследования проводились с использованием следующих средств измерений и калибраторов:

1. Калибратор температуры 140SE, 250SE, 650SE.
2. Цифровой двухканальный микропроцессорный термометр DTI-1000.
3. Термопреобразователи сопротивления стержневого типа к термометру DTI-1000:

- канал 1 - штатный платиновый термометр сопротивления DTI-1000 в экспериментах с калибраторами 140SE, 250SE и эталонный платиновый термометр сопротивления в экспериментах с калибратором 650SE.

- канал 2 - эталонный платиновый термометр сопротивления ПТС-10М.

Экспериментальная проверка проводилась при температурах: 0, 100, 140 °С в калибраторе 140SE; 50, 150 и 250 °С в калибраторе 250SE-2; 300, 400 и 500 °С в калибраторе 650SE.

В экспериментах эталонный и поверяемый термометры помещались в двухканальный блок сравнения калибратора и проводились одновременные измерения температур по двум каналам цифрового термометра DTI-1000 при указанных выше температурах и следующих условиях эксперимента:

1. Кольцевой зазор канала с эталонным термометром в калибраторе 140SAE заполнен трансформаторным маслом, а в калибраторах 250SE-2 и 650SE порошком Al_2O_3 .

Канал, в который погружался поверяемый термометр, имел воздушный кольцевой зазор.

2. Кольцевые зазоры каналов с эталонным и поверяемым термометрами заполнены трансформаторным маслом в блоке сравнения калибратора 140SE и порошком Al_2O_3 в блоках сравнения калибраторов 250SE-2 и 650SE.

В качестве оценки влияния заполнения кольцевого зазора на точность калибровки термометров использовались значения разностей температур, измеренных с помощью двухканального микропроцессорного термометра DTI-1000 в экспериментах с калибраторами при описанных выше условиях эксперимента.

Полученные результаты экспериментальных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Заполнение воздушного кольцевого зазора между стенками канала блока и корпусом термометра трансформаторным маслом в калибраторе температуры 140SE улучшает условия передачи тепла к чувствительному элементу термопреобразователя, что обеспечивает повышение точности измерений воспроизводимой температуры калибратором на 0,1 °С и, следовательно, повышение точности калибровки средств измерений температуры.

2. Учитывая, что 0,1 °С составляет 1/3 основной погрешности калибратора 140SE, применение его без заполнения кольцевого зазора теплопроводящей жидкостью может привести к следующим ошибкам:

а) При периодической проверке калибратора 140SE вероятность признания забракованным, на самом деле годного калибратора возрастает на 30%.

б) При проверке и калибровке средств измерений температуры с использованием калибратора 140SE без заполнения кольцевого зазора трансформаторным маслом имеет место систематическая погрешность на уровне 0,1 °С.

3. Заполнение воздушного кольцевого зазора шириной не более 0,5 мм в блоке сравнения калибратора 250SE-2 порошком окиси алюминия приводит к повышению точности измерений температуры, воспроизводимой калибратором на 0,01 °С.

4. Заполнение воздушного кольцевого зазора шириной до 0,15 мм в блоке сравнения калибратора 650SE порошком окиси алюминия приводит к повышению точности измерений температуры, воспроизводимой калибратором на 0,01 °С.

5. Применение в экспериментах эталонного термометра и заполнение воздушного кольцевого зазора трансформаторным маслом и порошком окиси алюминия позволило

измерить действительную температуру, воспроизводимую калибраторами.

Кроме влияния воздушного кольцевого зазора на качество поверки термометров существует второй источник погрешности, связанный с наличием теплоотвода по выступающей части защитной арматуры термометра при наличии градиента температуры по ее длине.

Как известно, при проверке (калибровке) средств измерений температуры методом непосредственного сличения необходимо обеспечить калибровочную глубину погружения эталонного и поверяемого термометров, т.к. несоблюдение этого требования может повлиять на качество поверки. Минимальная глубина погружения термопреобразователей и термометров стержневого типа при контроле их метрологических характеристик для различных сред должна устанавливаться изготовителями данных СИ в зависимости от конструктивных особенностей, габаритных размеров защитной арматуры и чувствительного элемента и других факторов.

Согласно [2] глубина (L) погружения термометров сопротивления при определении их метрологических характеристик в жидкостных и воздушных средах с известными скоростями потоков должна соответствовать следующим соотношениям: $L > 5d + l_{\text{вз}}$ (для жидкости) и $L > 15d + l_{\text{вз}}$ (для воздушной среды), где d и $l_{\text{вз}}$ - диаметр защитной арматуры термометра сопротивления и длина применяемого в нем чувствительного элемента согласно технической документации на конкретные типы термометров.

Применительно к условиям измерений температуры в каналах твердых тел соответствующих соотношений не установлено.

Для определения влияния глубины погружения на точность поверки в калибраторах были проведены эксперименты с измерением разностей температур в калибраторе 250SE-2 с помощью двухканального микропроцессорного термометра DTI-1000 при изменении глубины погружения исследуемого термопреобразователя сопротивления и неизменной глубине погружения опорного.

По изменению разностей выходных сигналов исследуемого и опорного термопреобразователей сопротивления можно определить глубину погружения, при которой разности значений температур по двум термометрам будут минимальными и сохранятся постоянными при дальнейшем изменении глубины погружения. Полученное значение глубины погружения исследуемого термопреобразователя является минимальной при проверке и калибровке данного типа термопреобразователей, т.к. при этой и больших глубинах погружения термопреобразователей в блоке калибратора температуры 250SE-2 обеспечиваются условия, при которых можно пренебречь погрешностью от теплоотвода по корпусу термопреобразователей. Учитывая конструктивные особенности и размеры термочувствительных элементов поверяемых средств измерений температуры, необходимо перед началом их поверки определить калибровочную глубину, обеспечивающую качество поверки в калибраторе температуры конкретного типа.

Полученные результаты экспериментальных исследований влияния на погрешность поверки условий передачи тепла к чувствительному элементу термопреобразователей сопротивления в калибраторах температуры 140SE, 250SE-2 и 650SE подтверждают возможность внедрения в метрологическую практику применения калибраторов температуры серии SE более эффективного метода поверки, каким является метод непосредственного сличения поверяемого термометра с эталонным, что позволит существенно повысить точность поверки и калибровки средств измерений температуры.

Как отмечалось выше, для измерений температуры и сопротивления в процессе экспериментальных исследований применялся двухканальный цифровой микропроцессорный термометр DTI-1000 с программным обеспечением для работы с персональным компьютером, снабженным интерфейсом RS232C. Программное обеспечение DTI-1000 позволяет сохранять измерительную информацию, проводить калибровку и градуировку платиновых преобразователей сопротивления.

На основании обработки результатов измерений температуры, полученных с помощью термометров сопротивления по двум каналам термометра DTI-1000 в калибраторах температуры серии SE при проверке методом калибровки и непосредственного сличения с эталонным термометром были получены сравнительные данные, приведенные в таблице 3.

Таблица 3

Испытуемый калибратор температуры	Температура, задаваемая в калибраторе, t_c , °C	Погрешность поверяемого термометра при методе калибровки, Δ_c , °C	Действительная погрешность термометра при методе сличения Δ_m , °C
140SE	0	-0,3	-0,1
	100	+0,4	+0,12
	140	+0,5	+0,13
250SE-2	50	-0,1	+0,04
	150	-0,1	+0,21
	250	+0,1	+0,45
650SE	300	-0,4	+0,04
	400	-0,5	+0,01
	500	-0,6	-0,03

В качестве поверяемого термометра при проверке в калибраторах 140SE и 250SE-2 применялся штатный термометр канала 1 DTI-1000, а в калибраторе 650SE - термометр сопротивления ПТС-10М, подключенный к каналу 1 DTI-1000. Результаты проверки термометров, приведенные в таблице 3, полученные с помощью конкретных экземпляров калибраторов температуры серии SE методом калибровки и методом сравнения показывают, что при методе калибровки имеют место ошибки до 0,5 °C. Учитывая, что для различных экземпляров калибраторов значения разницы погрешностей двух методов могут колебаться в широких пределах, был проведен сравнительный анализ погрешностей проверки этих методов при одинаковых условиях теплообмена термометра с измеряемой и окружающей наружную часть термометра средами.

Результаты сравнительного анализа погрешностей проверки двух методов для калибраторов 140 SE, 250SE-2 и 650SE показывают, что метод сличения обеспечивает повышение точности проверки в 5 и более раз в зависимости от типа калибратора и конструктивных особенностей поверяемых термометров.

При использовании калибраторов температуры для проверки термометров важно учитывать методическую составляющую общей погрешности проверки, т.к. именно в этом состоит принципиальное отличие калибраторов температуры от калибраторов электрических сигналов.

Известны расчетные методы [3] оценки методической погрешности, обусловленной отводом или подводом тепла по корпусу термопреобразователя стержневого типа. Данные методы расчета носят оценочный характер, т.к. выполняются для идеализированного термопреобразователя при допущениях, что в каждом поперечном сечении термопреобразователя распределение температуры равномерное и температура его изменяется только вдоль оси.

В связи с этим, на практике с целью снижения влияния методической погрешности применяют

различные экспериментальные методы и устройства, с помощью которых можно устранить источники методической погрешности или минимизировать их влияние.

В заключение следует отметить, что введение в практику применения калибраторов температуры метода непосредственного сличения с эталонным термометром в двухканальных блоках сравнения позволяет значительно расширить номенклатуру поверяемых и калибруемых средств измерений температуры в широком диапазоне температур -40...+650 °C, при этом:

1. Появляется возможность создания компьютеризированного рабочего места для проверки и калибровки средств измерений температуры на базе микропроцессорных калибраторов температуры серии SE, двухканального цифрового микропроцессорного термометра DTI-1000.

2. Значительно повышается точность проверки средств измерений температуры.

3. Появляется возможность индивидуальной градуировки термопреобразователей сопротивления и их чувствительных элементов по трем и более температурным точкам с автоматическим вычислением коэффициентов А, В и С в известных уравнениях, устанавливающих зависимость сопротивления платиновых термометров от температуры.

4. Калибраторы температуры серии SE становятся метрологически диагностируемыми при эксплуатации их в режиме проверки средств измерений методом сличения т.к. при этом воспроизводимая калибратором температура измеряется внешним эталонным термометром.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 8.558-93 "ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений температуры".
- Публикация МЭК 751. Термометры сопротивления платиновые промышленные.
- Гордов А.Н., Малков Я.В., Эргардт Н.Н., Ярышев Н.А. Точность контактных методов измерения температуры. М. Изд. стандартов, 1976.