

## **О ПРИМЕНЕНИИ ЖИДКОСТНЫХ И ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ТЕРМОСТАТОВ ДЛЯ ГРАДУИРОВКИ И ПОВЕРКИ ПРЕЦИЗИОННЫХ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ТЕРМОМЕТРОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ С ПЕРВИЧНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ СТЕРЖНЕВОГО И УГЛОВОГО ТИПОВ С МАЛОЙ ДЛИНОЙ МОНТАЖНОЙ ЧАСТИ.**

Е.В.Васильев, А.А.Игнатов  
ФГУП «ВНИИМС» г.Москва

Повышение точности измерений температуры в исследовательских, измерительных, калибровочных и поверочных лабораториях связано с внедрением современных прецизионных цифровых микропроцессорных термометров сопротивления (далее-микропроцессорных ТС), эффективность эксплуатации которых в значительной мере зависит от возможности их периодического метрологического обслуживания.

Поверка и градуировка прецизионных микропроцессорных термометров принципиально отличается от поверки рабочих термопреобразователей сопротивления, как по составу и уровню применяемого метрологического оборудования, так и по методам выполнения. Поверка микропроцессорных ТС включает в себя индивидуальную градуировку, реализация которой предполагает наличие в аккредитованной лаборатории эталонных платиновых термометров сопротивления высокого разряда, современных микропроцессорных жидкостных термостатов переливного типа, твердотельных термостатов, высокоточных микропроцессорных измерителей температуры и сопротивления, эталонных мер электрического сопротивления, а в ряде случаев и реперных точек температурной шкалы и аппаратуры для их воспроизведения. Техника поверки и градуировки прецизионных микропроцессорных ТС близка к технике выполнения высокоточных измерений температуры и должна включать в себя расчетно-экспериментальные методы оценки неопределенности измерений сопротивления и температуры, расчеты расширенной неопределенности градуировки ТС в термостатах или в реперных точках, а также различные способы построения индивидуальных статических характеристик преобразования сопротивления в температуру платиновых первичных термопреобразователей. Особенность метрологического обслуживания прецизионных микропроцессорных ТС обуславливается многими факторами, к числу которых относятся:

- способы нормирования метрологических характеристик ТС;
- различные диапазоны измерений и уровни погрешности ТС;
- конструктивные особенности микропроцессорных ТС, ограничивающие возможность применения для градуировки ампул реперных точек температурной шкалы, к которым относятся малая длина и угловая форма монтажной части первичного термопреобразователя, а также неразъемное соединение измерительного блока с датчиком, исключающее возможность применения поэлементного метода поверки;
- различный уровень программного обеспечения микропроцессорных ТС;
- неполнота информации о методах и средствах первичной калибровки и поверки микропроцессорных ТС зарубежного производства;
- недостаточное внедрение в поверочную практику малогабаритных ампул реперных точек температурной шкалы.

Перечисленные выше особенности являются существенными при решении вопроса о возможности периодической поверки и градуировки микропроцессорных ТС в условиях конкретной поверочной лаборатории.

В метрологической практике имеют место две группы прецизионных микропроцессорных ТС. К первой группе относятся микропроцессорные ТС, укомплектованные первичным преобразователем температуры при выпуске из производства. Суммарная погрешность их проверяется при утверждении типа и они включаются в Государственный Реестр средств измерений Российской Федерации с

нормируемыми метрологическими характеристиками. Для этой группы термометров имеются утвержденные методики поверки и индивидуальной градуировки. Ко второй группе микропроцессорных ТС относятся термометры, состоящие из прецизионных измерителей сопротивления утвержденных типов, обеспечивающих преобразование сопротивления в температуру, и первичных преобразователей температуры утвержденных типов (эталонных или прецизионных).

Микропроцессорные ТС второй группы комплектуются потребителем самостоятельно, при этом суммарная погрешность таких термометров не нормируется, что вызывает определенные трудности при их практическом применении, когда необходимо подтвердить реальную погрешность термометров этой группы. Метрологическое обслуживание этой группы микропроцессорных ТС осуществляется поэлементной поверкой, что является необходимым, но недостаточным условием для последующей корректной оценки погрешности измерений температуры, выполняемых с использованием микропроцессорных ТС второй группы.

В докладе рассматриваются реальные проблемы метрологического обслуживания микропроцессорных ТС первой группы, для которых имеются утвержденные методики поверки, базирующиеся на одном методе поверки и градуировки - методе реперных точек. Этот метод обеспечивает наиболее высокую точность градуировки платиновых термометров сопротивления, но применение его для поверки микропроцессорных ТС может быть обосновано только высокими метрологическими характеристиками поверяемых термометров. С технической точки зрения этот метод поверки применим только для микропроцессорных ТС с платиновыми термопреобразователями сопротивления стержневого типа длиной не менее 500 мм. Реально микропроцессорные ТС комплектуются датчиками температуры меньшей длины, а также датчиками углового типа с длиной монтажной части 160 мм.

Рассмотрим, какие возможности имеются в настоящее время для совершенствования метрологического обслуживания прецизионных микропроцессорных ТС с малой длиной монтажной части и угловой формы, предназначенных для измерений температуры в диапазоне от минус 50 до 250 °С и в диапазоне от 0 до 650 °С.

Диапазон температур от минус 50 до 250 °С характеризуется несколькими особенностями:

1. Более 50 % всех температурных измерений выполняются в данном диапазоне.
2. В узких интервалах этого диапазона имеются реальные потребности в повышении точности измерений температуры.
3. Любые температуры этого диапазона, воспроизводятся с высокой стабильностью в современных микропроцессорных жидкостных термостатах с хорошей однородностью температурного поля.
4. В этом диапазоне имеются пять первичных реперных точек Международной температурной шкалы 1990г. ( тройная точка ртути минус 38,8344 °С , тройная точка воды 0,01 °С, точка плавления галлия 29,7646 °С, точка затвердевания индия 156,5985 °С и точка затвердевания олова 231,928 °С) и несколько вторичных реперных точек (низкотемпературные этектики и другие).

Для поверки термометров и выполнения точных измерений температуры широкое применение получили микропроцессорные ТС с диапазонами измерений от минус 50 до 650 °С и пределами допускаемой абсолютной погрешности  $\pm(0,03...0,1)$  °С. В состав микропроцессорных ТС входят первичные преобразователи температуры резистивного типа с различными длинами, в том числе с малой длиной монтажной части, а также и с угловой формой монтажной части. Для поверки таких термометров в лаборатории термометрии ВНИИМС применяется метод непосредственного сличения с эталонными 1-го разряда платиновыми термометрами сопротивления в современных отечественных жидкостных термостатах переливного типа ( в диапазоне от минус 50 до 250 °С) и в твердотельных калибраторах температуры (в диапазоне от минус 0 до 650 °С)

зарубежного производства. При этом следует отметить, что для обеспечения качества поверки и градуировки прецизионных микропроцессорных ТС в условиях конкретной поверочной лаборатории недостаточно наличие в лаборатории современных термостатов и эталонного 1-го разряда термометра сопротивления. Кроме этого, необходимо обеспечить соблюдение ряда правил выполнения измерений при компарировании термометров. Одним из них является обязательное применение металлического блока сравнения, обеспечивающего улучшение условий компарирования термометров с разными тепловыми характеристиками. Вторым необходимым условием обеспечения качества градуировки и поверки микропроцессорных ТС является наличие в лаборатории нескольких эталонных 1-го разряда платиновых термометров сопротивления, один из которых должен применяться для целей проверки качества градуировки прецизионных микропроцессорных ТС методом сравнения показаний в точках, расположенных между точками, в которых они градуировались. В лаборатории термометрии ВНИИМС для этой цели применяются эталонные 1-го разряда платиновые термометры сопротивления и термометры из состава рабочего эталона единицы температуры ВНИИМС. Говоря о поверке и градуировке микропроцессорных ТС в следует сказать, что в лаборатории термометрии ВНИИМС постоянно проводятся работы по совершенствованию техники проведения высокоточных измерений температуры в процессе выполнения поверки и градуировки микропроцессорных ТС и индивидуально градуируемых термометров сопротивления. В результате этих работ были разработаны и изготовлены миниатюрные ампулы реперных точек, предназначенные для воспроизведения их в переносных калибраторах температуры с твердотельными термостатами, универсальный узел для монтажа сменных металлических блоков сравнения в жидкостные термостаты, пассивный термостат с эталонными мерами электрического сопротивления, позволяющими периодически контролировать и подстраивать каналы измерений сопротивления эталонных измерителей температуры. Для обеспечения качества проведения метрологических работ, связанных с измерениями температуры, в лаборатории термометрии ВНИИМС существуют определенные правила внутреннего метрологического контроля собственных эталонных термометров сопротивления и термостатирующих устройств, предусматривающие:

- ежеквартальный контроль стабильности эталонных платиновых термометров сопротивления в реперной точке плавления галлия, входящей в состав рабочего эталона единицы температуры ВНИИМС (ВЭТ 34-29-02);

- контроль и регистрацию стабильности поддержания температуры в термостатирующих устройствах в процессе градуировки и поверки прецизионных средств измерений температуры;

- при первичной поверке микропроцессорных ТС зарубежного производства, имеющих зарубежные сертификаты о калибровке, проверяется сходимость результатов поверки с результатами калибровки.

Расчеты расширенной неопределенности градуировки платиновых первичных преобразователей температуры, входящих в комплект микропроцессорных термометров, в диапазоне от минус 50 до 250 °С и от 0 до 650 °С подтверждают обоснованность применения метода непосредственного сличения микропроцессорных ТС в современных жидкостных и твердотельных термостатах (см. табл. 1 и 2). Этот вывод многократно подтверждался экспериментально проверкой результатов градуировки и поверки цифровых прецизионных термометров ДТИ-1000 сравнением с показаниями эталонных платиновых термометров сопротивления, градуированных по ППЭ температуры ВНИИМ им. Д.И. Менделеева.

Таблица 1. Результаты градуировки ТС типа STS100 А350 в диапазоне 0...250 °С в жидкостных термостатах переливного типа с использованием двухканальных блоков сравнения и результаты проверки градуировки

Заводские №	534828-03	5354828-05	203
Коэффициенты ИСХ ТС по МТШ-90: R <sub>ттв</sub> , Ом a b	100,03734 -0,017660872 -1,1286796e-04	100,02862 -0,017400638 -1,6669288e-04	99,96255 -0,0188697612 8,78853657e-05
Результаты проверки по ЭТС-25 (1 разряд): t <sub>ДТИ-100</sub> , °С t <sub>эТС</sub> , °С t <sub>ДТИ-100</sub> - t <sub>эТС</sub> , °С	150,001 150,004 -0,001	150,026 150,021 +0,005	150,031 150,027 +0,004
Расширенная неопределенность градуировки, не более, °С	0,009 (0 °С) 0,007 (100 °С) 0,006 (250 °С)		

Таблица 2. Результаты градуировки ТС типа STS100 А350 в диапазоне 0...650 °С в твердотельных термостатах - калибраторах температуры и результаты проверки градуировки

Заводской №	515221-04		
Коэффициенты ИСХ ТС по МТШ-90: R <sub>ттв</sub> , Ом a b c	100,07557 -0,017593199 -1,282293e-07 -5,04484678e-05		
Результаты проверки по ЭТС-25 (1 разряд): t <sub>ДТИ-100</sub> , °С t <sub>эТС</sub> , °С t <sub>ДТИ-100</sub> - t <sub>эТС</sub> , °С	100,158 100,161 -0,003	300,552 300,558 -0,006	500,812 500,825 -0,013
Расширенная неопределенность градуировки, не более, °С	0,010 (0 °С) 0,013 (100 °С) 0,015 (250 °С) 0,025 (450 °С) 0,030 (650 °С)		