

**Е.В. ВАСИЛЬЕВ**

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ДИАПАЗОНЕ – 40...650 °С ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ КОМПАРАТОРОВ**

С каждым годом во многих индустриально развитых странах расширяется применение твердотельных калибраторов температуры при выполнении различных метрологических работ в широком диапазоне температур от – 40 до 650 °С. В настоящее время в Государственный реестр средств измерений внесено порядка 30 различных моделей твердотельных калибраторов температуры и поверочных устройств на их основе известных зарубежных фирм, таких как АМТЕК (Дания), Isotech (Великобритания), Тек-Know (Дания), а также несколько типов твердотельных термостатов отечественного производства – Омского завода «Эталон» и

НПП «ЭЛЕМЕР» (Менделеево, Моск. обл.). Интерес к ним возрастает в связи с быстрыми темпами повышения технического уровня выпускаемых твердотельных калибраторов температуры. Можно сказать, что указанными выше фирмами и другими зарубежными фирмами, например, Hart Scientific (США), Fluke (США), разработана гамма современного метрологического оборудования для термометрии, в том числе термостатирующих устройств на основе твердотельных термостатов для поверочных, калибровочных и измерительных лабораторий, выполняющих метрологические работы различного уровня точности в области термометрии.

Как известно, внедрение новых средств поверки и калибровки приборов для измерений температуры должно сопровождаться решением ряда важных с точки зрения обеспечения единства измерений температуры вопросов, главный из которых сводится к определению и оценке характеристик твердотельных термостатов, влияющих на качество выполнения метрологических работ. Это так называемые инструментальные погрешности, которые зависят от конструктивных особенностей твердотельных калибраторов температуры конкретных типов. От полноты и качества определения инструментальных погрешностей твердотельного термостата зависит правильность его выбора для выполнения определенных видов метрологических работ. При этом следует учитывать, что применение твердотельных калибраторов для поверки и калибровки термопреобразователей предопределяет соблюдение техники измерений температуры в твердом теле и необходимость оценки возможности обеспечения качества поверки в калибраторе конкретного типа с учетом типа и размера чувствительного элемента, конструкции, металлоемкости и габаритных размеров защитной арматуры поверяемых приборов. В связи с этим, для избежания ошибок первого и второго рода при поверке (калибровке) термометров в твердотельных термостатах необходимо разрабатывать методики поверки различных групп средств измерений температуры в калибраторах конкретных типов. Однако, этим вопросам, как и всему комплексу вопросов метрологического обеспечения твердотельных термостатов и средств поверки на их основе, уделяется недостаточное внимание. Говоря о метрологическом обеспечении нового поколения термостатирующих устройств и их месте в ряду известных термостатов, следует сказать несколько слов о терминологии, пришедшей к нам от зарубежных изготовителей вместе с первыми образцами калибраторов температуры. Встречающиеся термины: «калибратор температурь», «сухой термостат», «сухоблочный калибратор температурь» не отражают существенную новизну термостатирующих устройств нового типа. Более правильными терминами применительно к данному виду термостатирующих устройств являются термины: «твердотельный термостат», «твердотельный калибратор температурь» и «твердотельный компаратор». В предлагаемых терминах содержится классификационный признак, отражающий принципиальное отличие термостатов нового типа от известных классических жидкостных термостатов с точки зрения техники измерений температуры твердого тела. В связи с предложенной терминологией уместно рассмотреть разновидности термостатирующих устройств на основе твердотельных термостатов.

В зависимости от реализуемых методов поверки средств измерений температуры различаются:

- термостатирующие устройства прямых измерений, когда за действительную температуру в металлическом термостатируемом блоке с одним или несколькими глухими каналами принимается температура, измеряемая в автоматическом режиме с помощью встроенного термопреобразователя сопротивления и измерительной схем;

- термостатирующие устройства, использующие метод сравнения, когда за действительную температуру в металлическом блоке сравнения с двумя или более глухими каналами принимается температура, измеренная внешним эталонным термометром.

Оба метода могут быть реализованы в твердотельных калибраторах температуры и в универсальных портативных поверочных устройствах на основе твердотельных термостатов. Последние могут иметь входные каналы для измерений аналоговых электрических сигналов от эталонных термометров сопротивления, а также от поверяемых термопреобразователей сопротивления, термоэлектрических преобразователей и датчиков температуры с унифицированными выходными сигналами постоянного тока и напряжения.

В зависимости от конструктивного исполнения термостатируемого блока твердотельные термостаты могут быть как со сменным, так и с несменным металлическим блоком сравнения.

В зависимости от геометрических размеров металлического блока сравнения:

- отвечающие требованию по обеспечению оптимальной глубины погружения эталонного и поверяемого термометров,

- не отвечающие этому требованию.

В зависимости от количества, размеров и симметрии расположения глухих каналов в металлическом блоке сравнения твердотельные термостаты могут быть:

- с одним центральным каналом;

- с двумя симметрично расположенными каналами;

- с несколькими одинаковыми по диаметру каналами;

- с несколькими каналами разных диаметров.

Перечисленные выше разновидности твердотельных калибраторов температуры и металлических блоков сравнения придают им особые свойства, которые в термостатирующих устройствах различных типов по своему оказывают влияние на качество поверки термометров.

ВНИИМС в течение последних пяти лет проводит исследования с целью разработки унифициро-

ванных методов определения технических характеристик твердотельных калибраторов и способов повышения точности поверки средств измерений температуры в калибраторах температуры фирмы АМТЕК (Дания). В [1] отражены результаты экспериментальных исследований влияния воздушного кольцевого зазора на погрешность измерений температуры в металлическом блоке калибратора и обоснована возможность реализации поверки термопреобразователей сопротивления методом сравнения в твердотельных термостатах данной фирмы с существенным повышением точности поверки.

Проведенные позднее дополнительные исследования позволили разработать и апробировать методики поверки [2, 3, 4, 5, 6] различных групп промышленных средств измерений температуры методом сравнения с помощью твердотельных калибраторов температуры и двухканального прецизионного цифрового термометра DTI-1000 этой же фирмы. В последующем этот метод поверки средств измерений температуры был предусмотрен в твердотельных калибраторах температуры серии АТС-R модели В фирмы АМТЕК путем введения канала измерений температуры по эталонному термометру сопротивления и разработки соответствующего программного обеспечения.

Однако потребности науки и отраслей промышленности не ограничиваются термопреобразователями общепромышленного применения. Во многих отраслях науки и техники, а также в поверочных, калибровочных, измерительных и испытательных лабораториях возрастает потребность в индивидуально градуируемых средствах измерений температуры повышенной точности. Зарубежными фирмами изготавливаются современные микропроцессорные цифровые двухканальные и многоканальные прецизионные термометры сопротивления с метрологическими характеристиками, соответствующими эталонным 3-го разряда термометрам [7]. В их числе микропроцессорные двухканальные и многоканальные прецизионные термометры сопротивления DTI-1000 фирмы АМТЕК, F-250 фирмы ASL (Великобритания). В качестве первичных термопреобразователей в указанных термометрах применяются термопреобразователи сопротивления на основе промышленных платиновых чувствительных элементов с повышенной стабильностью и устойчивостью к механическим воздействиям. Первичная градуировка данных термопреобразователей осуществляется национальными калибровочными службами по реперным точкам МТШ-90. Периодическая поверка и градуировка прецизионных термопреобразо-

вателей сопротивления по реперным точкам МТШ-90 является сложной, трудоемкой и дорогостоящей метрологической работой и, к тому же, не всегда реализуемой по причине несовместимости термопреобразователей длиной 250...350 мм, а также термопреобразователей углового типа с ячейками реперных точек, применяемых в метрологических лабораториях России.

Учитывая эти обстоятельства в лаборатории термометрии ВНИИМС были проведены дополнительные исследования твердотельных микропроцессорных цифровых калибраторов температуры серии АТС-R с диапазонами воспроизведений температуры – 24...155 °С, 50...320 °С и 50...650 °С фирмы АМТЕК, с целью определения возможности градуировки термопреобразователей сопротивления повышенной точности длиной от 350 мм и более с помощью данных калибраторов температуры. Результаты исследований позволили разработать методику градуировки платиновых термопреобразователей сопротивления повышенной точности [8], а также методику поверки канала эталонного штатного платинового термометра сопротивления калибратора температуры АТС-R методом сравнения с эталонным 1-го разряда платиновым термометром сопротивления.

Современные твердотельные калибраторы температуры открывают возможность для совершенствования организации метрологического обслуживания индивидуально градуируемых термопреобразователей и платиновых термометров сопротивления эталонных 3-го разряда с учетом территориальной рассредоточенности научных и промышленных организаций, заинтересованных в повышении точности измерений температуры.

В соответствии с [9] поверка эталонных платиновых термометров сопротивления в диапазоне температур 0...419 °С и выше осуществляется методом градуировки в реперных температурных точках МТШ-90. Это вызывает серьезные трудности для предприятий и организаций, расположенных в районах Сибири, Крайнего Севера и Дальнего Востока, т.к. их периодическая поверка сопряжена с перевозкой эталонных платиновых термометров сопротивления типа ПТС-10М на далекие расстояния с большим риском повреждения и с непременным ущербом от изъятия из эксплуатации эталонных термометров на время поверки и транспортировки. В настоящее время это неизбежная процедура для эталонных платиновых термометров сопротивления. Существенно упростило бы эту ситуацию введение в [10] для платиновых термометров сопротивления типа ПТС-10М эталонных 3-го разряда и разработка соответ-



вующей методики их поверки методом непосредственного сличения в твердотельных компараторах. Это позволило бы применять эталонные 1-го разряда платиновые термометры сопротивления для передачи размера единицы температуры эталонным термометрам 3-го разряда с помощью твердотельных термостатов, а также существенно снизить нагрузку на эталонные 1-го разряда платиновые термометры сопротивления, лежащую на них в связи с широким их применением для поверки рабочих средств измерений температуры.

Для подтверждения этой возможности в лаборатории термометрии ВНИИМС проводятся экспериментальные исследования с целью определения погрешности передачи единицы температуры от платинового термометра сопротивления нулевого порядка нижестоящим эталонным термометрам с помощью твердотельных калибраторов температуры серии АТС-Р. При положительных результатах исследований предполагается опробовать новую форму организации поверки эталонных 3-го разряда платиновых термометров сопротивления, которая позволит исключить транспортировку их на дальние расстояния в центральные регионы к месту поверки. Поверку эталонных 3-го разряда платиновых термометров сопротивления предполагается осуществлять дистанционно с использованием электронных средств передачи информации. Градуировка эталонных 3-го разряда платиновых термометров сопротивления типов ПТС-10М и ЭТС-100 может проводиться в местных аккредитованных поверочных, калибровочных или измерительных лабораториях, оснащенных твердотельными калибраторами температуры серии АТС-Р и двухканальными или многоканальными прецизионными микропроцессорными приборами для измерений сопротивления. При этом алгоритм проведения градуировки эталонных термометров сопротивления будет передаваться в аккредитованные измерительные лаборатории из лаборатории термометрии ВНИИМС по электронной почте или факсу. Таким же образом результаты градуировки эталонных термометров сопротивления, проведенной в указанных лабораториях метрологами, прошедшими стажировку во ВНИИМС, будут направляться для анализа в лабораторию термометрии ВНИИМС. При положительных результатах анализа полученных при градуировке термометров исходных данных специалисты лаборатории термометрии ВНИИМС рассчитают индивидуальные градуировочные коэффициенты эталонного 3-го разряда платинового термометра сопротивления и оформят свидетельство о поверке, копия которого будет направлена "Заказчику" по факсу или электронной почте.

Предполагается, что градуировочные данные эталонных термометров сопротивления, полученные при их первичной поверке по реперным точкам МТШ-90, предприятия и организации, принявшие новую форму метрологического обслуживания, могут направлять во ВНИИМС для использования их в качестве исходных данных для оценки стабильности термометров. Эти данные, вместе с градуировочными данными, полученными при периодических поверках ЭТС в твердотельных калибраторах температуры, станут базой данных, содержащей полную информацию о метрологических характеристиках эталонных термометров и их стабильности, что необходимо для обоснования изменений межповерочных интервалов эталонных 3-го разряда термометров в зависимости от температурных диапазонов применения и количества термоциклов "нагрев-охлаждение" за время эксплуатации после очередной поверки.

Совершенствование метрологического обслуживания индивидуально градуируемых термопреобразователей повышенной точности и эталонных 3-го разряда платиновых термометров сопротивления типа ПТС-10М и других типов в диапазоне температуры – 40...650 °С связано с внедрением в поверочную практику современных твердотельных термостатов и решением ряда задач по их метрологическому обеспечению. Первоочередными задачами метрологического обеспечения этого вида поверочного оборудования является разработка нормативных документов, регламентирующих методы определения и контроля метрологических и технических характеристик этого оборудования, методик поверки средств измерений температуры с применением твердотельных калибраторов температуры конкретных типов, а также методов оценки погрешности поверки.

При экспериментальных исследованиях твердотельных калибраторов температуры конкретных типов, проводимых в процессе их испытаний, определяют метрологические и технические характеристики, которые в дальнейшем используются для оценки погрешности поверки средств измерений температуры, поэтому особо важное значение имеет метрологическое обеспечение испытаний твердотельных калибраторов температуры.

В процессе испытаний новых типов калибраторов температуры не всегда удавалось провести необходимый объем исследований всех факторов, влияющих на качество поверки и калибровки средств измерений температуры в твердотельных термостатах, из-за отсутствия нормативных документов, регламентирующих методы исследований метрологических и технических характеристик

твердотельных термостатов, а также специальных средств измерений для их определения, таких как термопреобразователи сопротивления с размерами чувствительного элемента не более 5 мм, и двухканальные микропроцессорные термометры для определения пространственного распределения температуры по вертикальной и горизонтальной осям металлического блока сравнения.

В настоящее время известны рекомендация 5-4 Немецкой Калибровочной службы (DKD) под названием «Калибровка сухоблочных термостатов», являющаяся обязательной для всех лабораторий в системе DKD, а также международная рекомендация Европейской ассоциации по аккредитации EA 10/13 (ноябрь 1999 г.) с таким же названием и аналогичного содержания. Данные рекомендации могут служить основой для разработки программ и методик испытаний твердотельных термостатов новых типов. С целью гармонизации методов испытаний твердотельных термостатов в рамках КОOMET ВНИИМС с 2001 г. проводит работу совместно с РТВ (Германия) и Институтом физики полупроводников (Литва) по разработке Рекомендации КОOMET «Методика исследований и контроля метрологических и технических характеристик твердотельных термостатов в диапазоне температур – 40...650 °С».

Параллельно с этой работой во ВНИИМСе продолжают исследования, направленные на совершенствование и развитие методов и средств передачи единицы температуры в диапазоне – 40...650 °С в твердотельных компараторах.

Список литературы:

1. Васильев Е.В., Кузнецов С.Н. О повышении точности поверки и калибровки средств измерений температу-

ры с помощью микропроцессорных калибраторов и термометров // Законодательная и прикладная метрология. 1998. № 3.

2. МИ 2469-98 «ГСИ. Термопреобразователи сопротивления платиновые, медные, никелевые. Методика поверки с помощью микропроцессорных калибраторов температуры и термометра фирмы «АМТЕК», Дания».

3. МИ 2653-2001 «ГСИ. Термопреобразователи сопротивления. Методика поверки с помощью цифровых калибраторов температуры серии АТС-Р фирмы «АМТЕК», Дания».

4. МИ 2672-2001 «ГСИ. Датчики температуры с унифицированным выходным сигналом. Методика поверки с помощью микропроцессорных калибраторов температуры и термометра фирмы «АМТЕК», Дания».

5. МИ 2671-2001 «ГСИ. Термометры электронные. Методика поверки с помощью микропроцессорных калибраторов температуры и термометра фирмы «АМТЕК», Дания».

6. МИ 2567-2001 «ГСИ. Термометры манометрические. Методика поверки с помощью микропроцессорных калибраторов температуры и термометра фирмы «АМТЕК», Дания».

7. ГОСТ 8.558-93 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений температуры».

8. МИ 2623-2000 «ГСИ. Термопреобразователи сопротивления платиновые повышенной точности. Методика градуировки с помощью микропроцессорных калибраторов температуры серии АТС-Р фирмы «АМТЕК», Дания, и многоканальных микропроцессорных термометров».

9. ГОСТ 8.571-98 «ГСИ. Термометры сопротивления платиновые эталонные 1-го и 2-го разрядов. Методика поверки».

10. ГОСТ Р 51233-98 «Термометры сопротивления платиновые эталонные 1-го и 2-го разрядов. Общие технические требования».