

# Новое метрологическое оборудование на основе твердотельных микропроцессорных термостатов для контактной термометрии

*Е.В.Васильев, начальник отдела ВНИИМС*

В последние годы наблюдается тенденция к более широкому применению современных твердотельных микропроцессорных калибраторов температуры в качестве термостатирующих устройств при поверке (калибровке) и испытаниях средств измерений температуры в диапазоне от минус 40 до 650°C.

Это объясняется тем, что за прошедшие десять лет со времени появления на российском рынке сертифицированных твердотельных калибраторов температуры фирмы JOFRA, Дания, значительно увеличилось количество утвержденных типов калибраторов температуры, освоено производство твердотельных термостатов отечественными предприятиями (завод "Эталон", Омск; "ЭЛЕМЕР", Менделеево, Московская область). Однако главными причинами возрастающего интереса к твердотельным микропроцессорным калибраторам является быстрый темп повышения их технического уровня, расширение функциональных возможностей при более полном учете в новых разработках требований, предъявляемых к современному метрологическому оборудованию для контактной термометрии.

Современные твердотельные калибраторы температуры компактны, могут эксплуатироваться как в лабораторных, так и в цеховых условиях, обладают высокой скоростью достижения заданной температуры, хорошей стабильностью, микропроцессорным управлением, цифровой индикацией температуры, совместимы с персональными компьютерами, снабжены программным обеспечением для выполнения поверки в автоматическом режиме с оформлением протоколов и архивированием измерительной информации. Твердотельные калибраторы температуры становятся все более универсальными средствами поверки, что способствует расширению сферы их применения в метрологической практике. Особенно эффективно применение их для воспроизведения температуры в интервалах, не перекрываемых жидкостными термостатами.

Как известно, большинство средств измерений температуры поверяются непосредственным сравнением. Этот метод поверки является наиболее эффективным с экономической точки зрения и для большинства случаев обеспечивает необходимую точность поверки. Реализация такого метода при поверке и

градуировке термопреобразователей и термометров предполагает наличие термостатирующих устройств, обеспечивающих одинаковые условия термостатирования эталонного и поверяемого термометров. В качестве таких термостатирующих устройств в термометрии применяются классические стационарные термостаты для диапазонов температур от минус 80 до 300°C. Однако, производство термостатов для воспроизведения температур ниже 0°C до настоящего времени не освоено отечественными предприятиями. В связи с этим большинство поверочных и измерительных лабораторий не имеют возможности выполнять поверку и калибровку средств измерений температуры в интервале от минус 80 до 0°C.

Твердотельные калибраторы температуры восполнили имеющийся пробел в номенклатуре термостатирующих устройств, применяемых при поверке и калибровке средств измерений температуры в низкотемпературном диапазоне от минус 24 до 0°C. Одна из моделей твердотельных калибраторов температуры фирмы АМТЕК, Дания (140SE) комплектуется внешним термостатом Т2, обеспечивающим возможность воспроизведения низких температур от минус 40°C при помещении его в обычный бытовой холодильник после несложной механической его модернизации. В ближайшее время ожидается появление твердотельных калибраторов с нижним пределом воспроизводимых температур от минус 50°C.

Долгое время существовал пробел в ряду термостатирующих устройств, обеспечивающих возможность поверки термопреобразователей и термометров в интервале температур от 300 до 650°C. С появлением твердотельных калибраторов температур с диапазоном воспроизводимых температур от 50 до 650°C не только был ликвидирован этот пробел, но и частично решена проблема поверки и калибровки термопреобразователей температуры с монтажной длиной менее 250 мм. Трубочатые электропечи, применяемые для поверки термоэлектрических преобразователей в диапазоне температур от 300 до 1200°C, непригодны для поверки термопреобразователей, датчиков температуры и электротермометров с длиной погружения менее 250 мм.

Это одно из существенных достоинств термостатирующих устройств на основе твердотельных

термостатов. Кроме этого, современные твёрдотельные калибраторы температуры обладают и другими функциями, обеспечивающими возможность их применения при поверке, калибровке, индивидуальной градуировке и испытаниях средств измерений температуры стержневого типа различного уровня точности.

Наиболее простые модели портативных твёрдотельных калибраторов представляют собой устройства для воспроизведения и поддержания температуры с известной точностью в термостатируемом металлическом сменном блоке с глухим центральным каналом для поверяемого (калибруемого) термометра. Разрешающая способность цифрового отсчётного устройства 0,1 или 1,0°C. По данному устройству контролируют заданную и установившуюся температуру в термостате, принимаемую за действительную при поверке (калибровке) средств измерений температуры. Погрешность установления заданной температуры в таких термостатах составляет  $\pm(0,2-1,0)^\circ\text{C}$ . Стабильность поддержания заданной температуры на уровне  $\pm(0,1-0,02)^\circ\text{C}$ . Две или три модели твёрдотельных калибраторов обеспечивают воспроизведение температуры в диапазоне от минус 24 до 650°C. Длина металлических сменных блоков в зависимости от типов твёрдотельных термостатов составляет от 100 до 200 мм, диаметр – от 19 до 35 мм. Возможности применения твёрдотельных термостатов в режиме “калибровки”, т.е. при поверке средств измерений температуры без использования внешнего эталонного термометра, ограничиваются низким уровнем точности установления заданной температуры. В этом режиме можно поверять и калибровать промышленные средства измерений температуры низкого класса точности. В 1998 г. в лаборатории метрологического обеспечения термометрии ВНИИМС были проведены исследования [1] твёрдотельных калибраторов температуры типов 140SE, 250SE и 650SE фирмы АМТЕК, Дания, с целью определения возможности повышения точности поверки и калибровки средств измерений температуры за счёт применения непосредственного сличения. Результаты исследований подтвердили возможность применения этого метода при поверке термопреобразователей и термометров с применением твёрдотельных калибраторов температуры. В качестве эталонного термометра при непосредственных сличениях термопреобразователей сопротивления в твёрдотельных калибраторах температуры применялся микропроцессорный двухканальный цифровой прецизионный термометр DTI-1000 фирмы АМТЕК, Дания.

В последующие годы применение непосредственного сличения при поверке средств измерений температуры было предусмотрено данной фирмой в

конструкции твёрдотельных термостатов серии АТС-Р модели В.

Ниже приводятся более подробные технические данные твёрдотельных калибраторов температуры серии АТС-Р, позволяющие оценить возможности современных поверочных устройств на основе твёрдотельных термостатов. Калибраторы температуры этой серии представляют собой портативные микропроцессорные, многофункциональные поверочные устройства, позволяющие воспроизводить и поддерживать температуру в твёрдотельном блоке в диапазоне температур от минус 24 до 650°C с известной точностью и стабильностью, измерять выходные электрические сигналы термопреобразователей сопротивления, термоэлектрических преобразователей, а также датчиков температуры с унифицированными выходными сигналами и, что особенно важно, калибраторы данной серии модели В позволяют выполнять поверку (калибровку) термопреобразователей и термометров непосредственным сличением. Для выполнения последней функции в калибраторе впервые предусмотрен канал для подключения штатного платинового термопреобразователя сопротивления повышенной точности, отличающегося повышенной устойчивостью к механическим воздействиям. Основные метрологические характеристики твёрдотельных термостатов калибраторов температуры серии АТС-Р приведены в таблице.

Кроме основной функции термостатирования, твёрдотельные калибраторы позволяют измерять выходные сигналы поверяемых термопреобразователей. Пределы допускаемой основной погрешности каналов для измерений сигналов от поверяемых термопреобразователей не превышают следующих значений:

- канал для измерений сопротивления штатного эталонного термометра в диапазоне от 0 до 360 Ом:  $\pm(0,003\%$  от показания  $+0,005\%$  от диапазона);

- канал для измерений сопротивления поверяемых термопреобразователей сопротивления в диапазоне от 0 до 2900 Ом:  $\pm(0,005\%$  от показания  $+0,005\%$  от диапазона);

- канал для измерений термо э.д.с. поверяемых термоэлектрических преобразователей и термопар в диапазоне измерений от –78 до 78 мВ:  $\pm(0,010\%$  от показания  $+0,005\%$  от диапазона);

- канал для измерений унифицированных выходных токовых сигналов термопреобразователей в диапазоне от 0 до 24 мА:  $\pm(0,01\%$  от показания  $+0,015\%$  от диапазона);

- канал для измерений выходных сигналов напряжения постоянного тока термопреобразователей в диапазоне от 0 до 12 В:  $\pm(0,005\%$  от показания  $+0,015\%$  от диапазона).

Таким образом, твёрдотельные калибраторы серии АТС-Р представляют собой не просто микропроцессорный термостат, но и являются переносным универсальным поверочным устройством.

Наименование характеристики	Ед. изм.	АТС-155 А АТС-155 В	АТС-320 А АТС-320 В	АТС-650 А АТС-650 В
Диапазон воспроизводимых температур	°С	-24...+155	50 ... 320	50 ... 650
Дискретность показаний	°С	0,01	0,01	0,01
Погрешность установления заданной температуры в режиме "калибровки"	°С	±0,2	±0,3	±0,4
Погрешность установления заданной температуры по штатному эталонному термометру углового типа	°С	±0,06	±0,07	±0,11
Стабильность поддержания температуры	°С	±0,02	±0,02	±0,03
Неравномерность температуры по высоте блока в зоне измерений (40 мм от дна блока)	°С	±0,1	±0,2	±0,3
Время нагрева от 23°С (50°С) до максимальной температуры	мин	23 (от 23°С)	7 (от 50°С)	27 (от 50°С)
Время охлаждения от максимальной температуры до 23 °С (50°С), не более	мин	13 (до 23°С)	42 (до 50°С)	68 (до 50°С)

Широкими возможностями применения в метрологической практике обладают твёрдотельные термостаты и устройства на их основе, разработанные и другими известными зарубежными фирмами, такими как Isotech, Великобритания; Hart Scientific, США и др. В данной статье не представляется возможным провести анализ метрологического оборудования для термометрии производства указанных выше фирм. Можно лишь констатировать, что на сегодняшний день этими фирмами разработана гамма современного метрологического оборудования для термометрии, которая достаточно полно отвечает потребностям поверочных и измерительных в лабораторий в поверочном оборудовании различного уровня точности.

Однако, при использовании твёрдотельных калибраторов температуры для поверки (калибровки) средств измерений температуры необходимо учитывать, что качество поверки термопреобразователей или термометров будет определяться не только метрологическими характеристиками применяемого калибратора конкретного типа, но и рядом других факторов, влияющих на качество поверки. В отличие от поверки средств измерений температуры методом сравнения в жидкостных термостатах, поверка в твёрдотельных калибраторах температуры имеет свою специфику, которая выражается в необходимости минимизации зазоров между стенками глухих каналов металлического блока и стержневой частью поверяемого термометра, соблюдения правила симметрии расположения каналов в сменных металлических блоках, обеспечения необходимой глубины

погружения в зону нормируемым градиентом температуры, а также в необходимости учета влияния конструкции и размеров защитной арматуры на качество поверки.

При экспериментальных исследованиях твёрдотельных 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 методическая база и метрологическое обеспечение испытаний твёрдотельных калибраторов температуры.

Как уже отмечалось выше, в настоящее время в России отсутствуют нормативные документы, регламентирующие методы исследований метрологических и технических характеристик твёрдотельных термостатов.

Известна 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 программы и методик сертификационных испытаний твёрдотельных термостатов новых типов.

На основании результатов исследований твёрдотельных микропроцессорных калибраторов температуры фирмы АМТЕК, Дания, появилась возможность разработки методик поверки отдельных групп средств измерений температуры с

использованием этого нового вида метрологического оборудования. В настоящее время разработаны рекомендации по поверке термопреобразователей сопротивления [2, 3], датчиков температуры с унифицированным выходным сигналом [4], электронных термометров [5], манометрических термометров [6].

В России за последнее десятилетие создана производственная база и освоено производство широкой номенклатуры рабочих термопреобразователей сопротивления и термоэлектрических преобразователей для атомной энергетики, металлургии, нефтяной, газовой и других отраслей промышленности.

Однако, потребности науки и отраслей промышленности не ограничиваются термопреобразователями общепромышленного применения. В электронике, энергетике, метеорологии, океанографии, а также во всех измерительных, поверочных и испытательных лабораториях возрастает потребность в средствах измерений температуры повышенной точности на основе платиновых термопреобразователей сопротивления. Зарубежными фирмами разработаны современные микропроцессорные цифровые двухканальные и многоканальные прецизионные термометры сопротивления с метрологическими характеристиками, соответствующими эталонным 3-го разряда термометрам согласно ГОСТ 8.558-93 [7]. В их числе микропроцессорные двухканальные и многоканальные прецизионные термометры сопротивления DTI-1000 фирмы АМТЕК, Дания; F-250 фирмы ASL, Великобритания. В качестве первичных термопреобразователей в указанных термометрах применяются термопреобразователи сопротивления на основе промышленных платиновых чувствительных элементов с повышенными точностью и устойчивостью к механическим воздействиям. Первичная градуировка данных термопреобразователей осуществляется национальными калибровочными службами по реперным точкам МТШ-90. Периодическая поверка и градуировка прецизионных термопреобразователей 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 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 воспроизведения температуры от минус 24

до 155°C, от 50 до 320°C и от 50 до 650°C фирмы АМТЕК, Дания с целью определения возможности градуировки термопреобразователей сопротивления повышенной точности длиной от 250 до 500 мм с помощью таких калибраторов. Результаты исследований позволили разработать рекомендацию на методику градуировки термопреобразователей сопротивления повышенной точности [8], а также методику поверки канала эталонного термометра (вместе с штатным эталонным термометром сопротивления) калибратора температуры методом сравнения с платиновым термометром сопротивления эталонным 1-го разряда.

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 от 0 до 660 °С осуществляется методом градуировки в реперных температурных точках МТШ-90.

Это вызывает серьезные трудности для большинства предприятий и организаций, особенно для тех, которые расположены в районах Сибири, Крайнего Севера и Дальнего Востока, т. к. периодическая поверка их 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. Учитывая эти сложности, в лаборатории термометрии ВНИИМС проводятся исследования с целью определения возможности применения твердотельных калибраторов температуры для поверки платиновых термометров сопротивления эталонных 3-го разряда типа ПТС-10М непосредственным сличением.

При положительных результатах исследований предполагается опробование новой формы организации поверки индивидуально градуируемых термометров, которая позволит исключить транспортировку поверяемых термометров на дальние расстояния в центральные регионы к месту поверки. Поверку эталонных термометров и термометров повышенной точности предполагается осуществлять дистанционно с использованием электронных средств передачи информации в местных аккредитованных поверочных, калибровочных или измерительных лабораториях, оснащенных

твердотельными калибраторами температуры серии АТС-R и двухканальными или многоканальными микропроцессорными приборами для измерений выходного сигнала эталонных термометров сопротивления.

При этом алгоритм проведения поверки и индивидуальной градуировки эталонных термометров сопротивления будет передаваться в аккредитованные измерительные лаборатории из лаборатории термометрии ВНИИМС по электронной почте или по факсу. Таким же образом результаты индивидуальной градуировки термометров сопротивления будут направляться для анализа во ВНИИМС. При положительных результатах анализа полученных данных специалисты лаборатории термометрии ВНИИМС рассчитывают индивидуальные градуировочные коэффициенты и оформляют свидетельство о поверке, копия которого будет направляться "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, будут 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, образуют базу данных, содержащую полную информацию о метрологических характеристиках эталонных термометров и их стабильности, что необходимо для обоснования изменений межповерочных интервалов эталонных термометров в зависимости от температурных диапазонов применения и количества термоциклов "нагрев-охлаждение" за время эксплуатации после очередной поверки.

Говоря о новом поколении термостатирующих устройств, следует сказать несколько слов о терминологии, пришедшей к нам от зарубежных изготовителей вместе с первыми образцами калибраторов температуры. Термин "калибратор температуры" является неудачным, т. к. в нём не отражается существенная новизна термостатирующих устройств нового типа. Встречаются и другие термины: "сухой термостат", "сухоблочный калибратор температуры". В этих терминах подчёркивается лишь отсутствие жидкого теплоносителя в термостатах нового типа. Более правильным термином применительно к данному виду термостатирующих устройств являются термины: "твердотельный термостат" и "твердотельный компаратор", в которых отражаются

отличительные особенности термостата как с точки зрения классификации термостатов, так и с точки зрения техники измерений температуры твердого тела.

В заключение следует отметить, что парк твердотельных термостатов и поверочных устройств на их основе с каждым годом будет увеличиваться. В связи с этим необходимо в ближайшее время разработать комплекс нормативных документов, обеспечивающих основу для внедрения твердотельных калибраторов температуры в метрологическую практику.

#### Список литературы

1. Васильев Е.В., Кузнецов С.Н. О повышении точности поверки и калибровки средств измерений температуры с помощью микропроцессорных калибраторов и термометров. "Законодательная и прикладная метрология", № 3, 1998.
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-R 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-R 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".