

## Реперные точки в составе калибраторов температуры КТ-500 и КТ-650

А. В. КРЮКОВ, К. В. КУРИЛЁНОК, С. П. ПОЛУНИН, В. М. ОКЛАДНИКОВ

Научно-производственное предприятие «Элемер», e-mail: [elemer@elemer.ru](mailto:elemer@elemer.ru)

Приведены результаты измерения реперных точек затвердевания индия, олова и цинка, входящих в состав калибраторов температуры КТ-500 и КТ-650. Показано, что погрешность воспроизведения температуры не превышает 0,003 °С для индия и олова и 0,014 °С для цинка. Сделан вывод о возможности использования данных точек при поверке эталонных термометров сопротивления 2-го и 3-го разрядов.

**Ключевые слова:** реперные точки, МТШ-90, калибратор температуры.

The measurements results of the fixed points of indium, tin and zinc belonging to temperature calibrators КТ-500 and КТ-650 are described. It was shown that uncertainties of temperature reproduction are less than 0,003 °С for fixed points of indium and tin and 0,014 °С for fixed point of zinc. It was made conclusion that these fixed points are suitable for calibration of the thermometers of 1 and 2 class.

**Key words:** fixed points, ITS-90, temperature calibrator.

В настоящее время твердотельные калибраторы температуры стали обычным средством ее воспроизведения. Широкий спектр как зарубежных, так и отечественных приборов позволяет пользователю осуществить выбор калибратора в соответствии с решаемой задачей. Основной способ воспроизведения температуры в калибраторах — создание в термостатирующем блоке однородного температурного поля, измеряемого высокостабильным термометром и отображаемого на индикаторе. По конструкции калибраторы делятся на два типа: со сменной вставкой и цельноблочные с фиксированным набором отверстий под поверяемые термопреобразователи. Первые позволяют легко модифицировать вставку под новые термопреобразователи, вторые имеют более высокие метрологические характеристики и большую производительность при поверке (калибровке). Из всего многообразия калибраторов лишь некоторые позволяют проводить поверку термометров сопротивления класса А и термопар класса 1 (здесь и далее считается, что при поверке погрешность средств воспроизведения температуры должна быть в три и более раз ниже допускаемой погрешности поверяемого средства измерений температуры). Однако лучшие калибраторы имеют всего лишь двойной запас по точности при поверке термопреобразователей с унифицированным выходным сигналом и допускаемой основной погрешностью 0,1 %. Если принять во внимание, что существует потребность в цифровых (микропроцессорных) измерителях температуры с погрешностью порядка 0,03 ... 0,05 °С, то становится ясно, что требуется средство воспроизведения температуры более высокой точности.

Очевидным способом градуировки термометров повышенной точности является градуировка в основных реперных точках МТШ-90, однако это возможно в весьма ограниченном числе лабораторий, а стоимость градуировки для подобных средств измерений слишком высока. Кроме того, глубина колодца в «классических» реперных точках (до 500 мм) не позволяет проводить измерения более коротких термометров.

Первыми отреагировали на данную ситуацию зарубежные производители калибраторов температуры со сменной вставкой. Ими были разработаны малогабаритные ампулы (диаметром 35 мм) реперных точек затвердевания металлов, которые помещаются в калибратор на место вставки, а сам калибратор становится термостатом для реперных точек плавления галлия и затвердевания индия и олова. Малогабаритные ампулы созданы и в России [1], правда, только для точек галлия и индия.

В цельноблочных калибраторах КТ-500 и КТ-650 производства НПП «Элемер» также появилась как дополнительная опция возможность реализации точек затвердевания металлов. Поскольку данные калибраторы имеют большие размеры и неплохие метрологические характеристики, то в них оказалось возможным реализовать и точку затвердевания цинка.

О погрешности малогабаритных реперных точек можно судить лишь по рекламным материалам. Однако приводимые в них характеристики реперных точек ( $\pm 0,0005$  °С) скорее всего относятся к степени чистоты металла или воспроизводимости температуры и вряд ли учитывают влияние малых габаритных размеров ампулы и термостатирующих свойств калибратора. Можно констатировать, что потребитель не имеет достоверной информации для оценки погрешности градуировки.

Настоящая работа посвящена исследованию малогабаритных реперных точек, которыми могут комплектоваться калибраторы температуры КТ-500 и КТ-650. Основными искажающими факторами, приводящими к отличию температуры реперной точки от стандартной, являются: малая глубина колодца ампулы, из-за чего происходит неполное выравнивание температуры поверяемого термометра, относительно большие градиенты в калибраторах по сравнению со специализированными термостатами и, возможно, меньшая чистота применяемых металлов. Кроме того, небольшой объем содержащегося в ампуле металла не позволяет поверять большое количество термометров при одной реализации плато затвердевания.

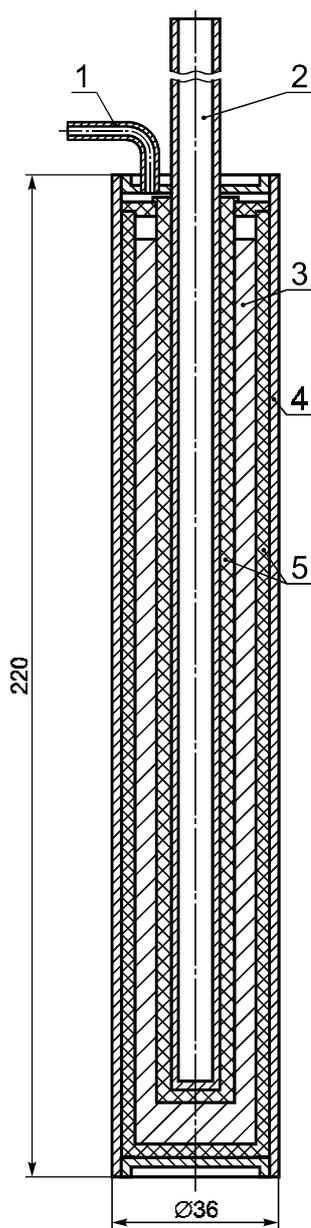


Рис. 1. Схема реперной точки производства НПП «Элемер»: 1 — трубка для откачки; 2 — нержавеющая трубка; 3 — металлический образец; 4 — нержавеющая труба; 5 — графитовый стакан

ру калибратора устанавливали на  $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  ниже точки затвердевания и поддерживали постоянной в течение всего времени реализации плато затвердевания с погрешностью  $\pm 0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В качестве примера на рис. 2 приведен типичный температурный ход на плато затвердевания олова (для индия и цинка наблюдается абсолютно такая же картина). Указанное на графике время отсчитывается с момента включения калибратора на нагрев. Таким образом, для олова выход на плато реализуется уже через 80 мин после включения. Для цинка это время составляет порядка 110 мин, а для индия 70—80 мин. В значения температуры внесена поправка, учитывающая отклонение давления от  $101,3\text{ кПа}$ .

В настоящее время в НПП «Элемер» созданы основные реперные точки диапазона  $0\text{—}420\text{ }^{\circ}\text{C}$  индия, олова и цинка. Общий вид и габаритные размеры реперной точки показаны на рис. 1. Ампула выполнена из нержавеющей стали, предохраняемой графитовым стаканом от соприкосновения с металлом точки, откачена и заварена. Вследствие этого в результате измерений необходимо вносить поправку, учитывающую отличие давления в ампуле от значения  $101,3\text{ кПа}$  (атмосферное давление). Для увеличения однородного температурного поля на калибратор надевается дополнительный защитный тепловыравнивающий цилиндр, позволяющий снизить тепловые нагрузки на ампулу и корпус поверяемого термометра.

При реализации точек использовались рекомендации Консультативного комитета по термометрии [2]. Перед измерениями температуру калибратора устанавливали на  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  выше точки затвердевания и поддерживали в течение 10 мин, в результате чего происходило полное плавление и хорошее перемешивание жидкого металла. Затем температуру калибратора изменяли до некоторого значения ниже температуры реперной точки ( $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  для индия и цинка и  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$  для олова). Температура в колдце ампулы, контролируемая платиновым термометром сопротивления, начала понижаться, в некоторый момент времени останавливалась, а затем начинала возрастать. Это свидетельствовало о начале образования твердой фазы. После этого температу-

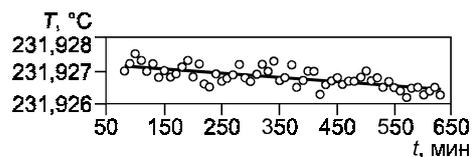


Рис. 2. Плато затвердевания олова

Измерения проводили эталонными термометрами ПТС-25, при этом использовали метод сравнения с реперными точками, изготовленными в соответствии с инструкциями, приведенными в документах Консультативного комитета по термометрии [2]. Данные точки принадлежат НПП «Элемер» и аттестованы ВНИИМ в качестве рабочего эталона температуры. Приписанные погрешности составляют  $0,0004$ ,  $0,001$  и  $0,002\text{ }^{\circ}\text{C}$  для точек индия, олова и цинка, соответственно.

Обобщенные результаты многократных измерений для всех трех реперных точек приведены в таблице. Здесь  $T_{\text{КТ}}$  — температура малогабаритной реперной точки из состава КТ-500, соответствующая началу плато затвердевания;  $T_{\text{АТ}}$  — температура аттестованной точки. Из таблицы следует, что погрешность воспроизведения  $T_{\text{КТ}}$  не превышает  $0,001\text{ }^{\circ}\text{C}$  для всех точек, а ее отклонение от  $T_{\text{АТ}}$  менее  $0,001\text{ }^{\circ}\text{C}$  для индия и олова и  $0,009\text{ }^{\circ}\text{C}$  для цинка. Относительно большое отклонение для цинка объясняется, в первую очередь, тем, что его чистота ниже, чем у индия и олова. Кроме того, сказываются большие неоднородности температурного поля в калибраторе вследствие более высокой температуры плавления цинка.

Влияние чистоты металла оценивали, измеряя температуру затвердевания  $T_{\text{ТРТ}}$  при размещении точки в высококачественном термостате, предназначенном для больших (стандартных) реперных точек. Для точек индия и олова это значение ( $T_{\text{ТРТ}} - T_{\text{АТ}}$ ) было в пределах погрешности измерений  $\pm 0,0005\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а для точки цинка составляло  $-0,003\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Разницу между значениями  $T_{\text{КТ}} - T_{\text{АТ}}$  и  $T_{\text{ТРТ}} - T_{\text{АТ}}$ , равную  $0,006\text{ }^{\circ}\text{C}$ , следует отнести на счет неоднородности температуры в калибраторе. Таким образом, при использовании более чистого металла возможно снижение погрешности реализации температуры затвердевания цинка до  $0,006\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Дальнейшее уменьшение погрешности требует значительного улучшения характеристик калибратора и в настоящее время трудно реализуемо.

#### Характеристики реперных точек из состава калибраторов КТ-500 и КТ-650

Параметр	Реперная точка (температура реперной точки по МТШ-90)		
	In 156,5985 °C	Sn 231,928 °C	Zn 419,527 °C
Чистота металла, %	99,999 <sub>8</sub>	99,998	99,98
$T_{\text{КТ}} - T_{\text{АТ}},\text{ }^{\circ}\text{C}$	-0,0005	-0,001	-0,009
$T_{\text{ТРТ}} - T_{\text{АТ}},\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,0005$	$\pm 0,0005$	-0,003
Воспроизводимость, °C	0,0005	0,0005	0,001
Наклон плато, °C	0,001	0,001	0,0025
Продолжительность плато, ч	9	10	7
Количество поверяемых термометров	8	8	6

В заключение отметим следующее:

погрешность воспроизведения температуры в малогабаритных реперных точках из состава калибраторов КТ-500 и КТ-650 не превышает 0,002...0,003 °С для индия и олова и 0,012...0,014 °С для цинка;

данные точки могут использоваться для градуировки эталонных термометров 2-го и 3-го разрядов;

ампулы реперных точек, предназначенные для работы с определенными калибраторами, должны аттестовываться в составе этих калибраторов.

Л и т е р а т у р а

1. Шевелев Ю. В., Черепанов В. Я. // Измерительная техника. — 2004. — № 2. — С. 39; Shevelev Yu. V. Cherepanov V. Ya. // Measurement Techniques. — 2004. — V. 47. — N 2. — P. 172.

2. **Supplementary** information for the International Temperature Scale of 1990. Pavillon de Breteuil, Sèvres — BIPM, 1990.

Дата одобрения 24.07.2006 г.

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

53.088.7

**Формирование алгоритмов повышения точности измерений электрических величин**

Л. Н. БОНДАРЕНКО, Д. И. НЕФЕДЬЕВ

Пензенский государственный университет, e-mail: iit@stup.ac.ru

*Рассмотрены вопросы, связанные с формированием алгоритмов повышения точности результатов измерений электрических величин. Предложен новый подход к формированию тестовых алгоритмов на основе метода обратной интерполяции, обосновано утверждение о необходимости минимизации тестовых воздействий.*

**Ключевые слова:** алгоритм, тестовый метод, интерполяционный многочлен, обратная интерполяция.

*The questions connected with formation of algorithms for increasing an accuracy of measurement results of electrical quantities are considered. The new approach to formation of test algorithms on the basis of a method of return interpolation is offered. The statement about necessity of minimization of test influences is proved.*

**Key words:** algorithm, test method, interpolating polynomial, return interpolation.

Можно выделить два основных пути повышения точности средств измерений (СИ) электрических величин. Первый заключается в повышении теми или иными способами (в основном конструктивными) точности и стабильности СИ. Отличительная черта такого подхода состоит в отсутствии в составе СИ структурной избыточности, т. е. СИ содержат только те блоки и узлы, которые необходимы для выполнения операций измерений. Однако в настоящее время возможности такого подхода в значительной степени исчерпаны.

Второй путь заключается во введении избыточности измерений, т. е. в результате выполнения дополнительных операций при измерениях и обработке результатов по определенным алгоритмам возникает возможность повышения точности СИ без улучшения метрологических характеристик их отдельных узлов [1]. И именно такой подход представляется наиболее перспективным, так как он позволяет, во-первых, отказаться от применения мер электрических величин высокой точности и использовать меры низшего класса точ-

ности при построении эталонных СИ и, во-вторых, позволяет воспроизводить с высокой точностью единицы величин благодаря специальным алгоритмам обработки результатов измерений.

Среди методов повышения точности измерений наиболее эффективны итерационные, тестовые и основанные на использовании образцовых (эталонных) мер.

Процесс измерения при применении итерационных методов строится по следующему алгоритму. На первом этапе на вход СИ подается измеряемая величина  $x$ . Результат измерения  $y_0$  поступает в вычислительное устройство и на вход обратного преобразователя, градуировочная характеристика которого обратна градуировочной характеристике исходного СИ. Таким образом, на выходе обратного преобразователя будет действовать сумма измеряемого параметра и погрешности, вносимой исходным СИ. На втором этапе от входа СИ отключается измеряемая величина  $x$  и подключается выход обратного преобразователя, тем самым осуще-