

УДК 536.5

А.Ф. Бродников, В.Я. Черепанов

ИЯФ СО РАН, Новосибирск

СГГА, Новосибирск

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ШКАЛЫ НА ОСНОВЕ МИНИАТЮРНЫХ РЕПЕРНЫХ ТОЧЕК

A.F. Brodnikov, V.Ya. Cherepanov

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

INCREASE OF ACCURACY OF REPRODUCTION AND TRANSFER OF A TEMPERATURE SCALE ON THE BASIS OF TINY CONSTANT OF POINTS

The advantages and opportunities tiny constant of points of a temperature scale are considered.

В последние два десятилетия после принятия Международной температурной шкалы МТШ-90 [1] наметилась тенденция к существенному совершенствованию аппаратуры для реализации реперных точек, основанных на фазовых переходах первого рода в чистых веществах. Эта аппаратура традиционно состоит из теплового блока с ампулой, содержащей, как правило, более 1 кг высокочистого вещества, и устройства задания температурного режима, например, специальной трубчатой печи. Аппаратура содержит также электронные блоки, осуществляющие измерения, автоматическое поддержание и многоканальное регулирование температуры теплового блока [2].

К первому этапу модернизации аппаратуры для реализации реперных точек можно отнести переход от электронных блоков, размещённых в громоздких напольных стойках значительных размеров, к малогабаритным блокам, которые можно установить на обычном лабораторном столе. Это стало возможным благодаря использованию микропроцессорных устройств, выполняющих функции измерений, цифрового регулирования и обработки измерительной информации.

Второй этап заключается в тенденции создания малогабаритных ампул с чистым веществом массой около 300 г [3], и даже миниатюрных ампул, содержащих менее 10 г чистого вещества [4, 5].

Эта тенденция объясняется следующими факторами:

- Намного более низкой стоимостью ампул за счёт малого количества дорогого, высокой чистоты вещества;
- Удобством транспортировки миниатюрных ампул при сличениях эталонов и при передаче шкалы;
- Практически мгновенный (для тепловых процессов) выход на стационарный режим, соответствующий температуре фазового перехода;
- Компактность всего теплового блока с миниатюрной ампулой.

Кроме этого имеется ещё одно важное преимущество миниатюрных ампул, которое авторы этой работы обнаружили при создании новой реперной точки фазового перехода плавления – затвердевания натрия [6]. Это возможность практически безопасного использования для реперных точек химически активных и других опасных веществ. Примером этого является также тройная точка ртути, реализованная в цилиндрической ампуле диаметром около 5 мм и высотой 60 мм, содержащей 7 г ртути [5]. Погрешность воспроизведения единицы температуры в такой ампуле, как показали международные сличения, не превышает 0,1 мК.

В настоящей работе рассмотрены некоторые дополнительные особенности реализации реперных точек на основе миниатюрных ампул. Ранее [5] было показано, что если навеска вещества в ампуле имеет молярную теплоту плавления Δh и молярную теплоёмкость c_{μ} , то период $\Delta\tau$ стабилизации температуры (площадки) плавления (затвердевания) навески равен

$$\Delta\tau = \Delta h / c_{\mu} \nu, \quad (1)$$

где ν – скорость нагревания (охлаждения) вещества до площадки фазового перехода.

Это соотношение показывает важную особенность рассматриваемого процесса – независимость продолжительности площадки на кривой плавления или затвердевания от массы навески чистого вещества. Продолжительность площадки при этом обратно пропорциональна скорости нагревания или охлаждения навески. Поэтому при медленном подходе к температуре перехода площадка может быть достаточно продолжительной и составлять несколько часов. Этот вывод является важным аргументом в пользу перспективности разработки миниатюрных ампул, так как длительность фазового перехода относится к важнейшей характеристике реперных точек.

Скорость ν изменения температуры навески зависит от теплового потока, подводимого к ампуле или отводимого от неё устройством задания температурного режима. Поэтому в традиционных тепловых блоках, содержащих ампулы реперных точек, задают температурный ход нагревания или охлаждения ампулы таким, чтобы перегрев или недогрев её был незначительным по отношению к температуре фазового перехода. Этим обеспечивается медленный (с малой скоростью ν) подход к площадке плавления (затвердевания). Однако при наступлении фазового перехода температура ампулы стабилизируется, а температура, например, печи продолжает изменяться. При этом возникающая разность значений температуры печи и ампулы возрастает, а, следовательно, увеличивается и тепловой поток Q между ними.

Площадка на кривой плавления или затвердевания будет длиться до тех пор, пока количество теплоты, подводимое этим тепловым потоком, не превысит теплоту H плавления вещества в ампуле, то есть пока выполняется условие

$$Q\Delta\tau \leq H. \quad (2)$$

Отсюда следует, что если при наступлении фазового перехода исключить тепловой поток Q , то стабилизация температуры в реперной точке плавления или затвердевания может продолжаться неограниченное время. С другой стороны это обстоятельство показывает, что имеется принципиальная возможность использования в качестве реперных точек ампулы со сколь угодно малой массой навески.

Благодаря этому, появляется возможность создания миниатюрных ампул с химически активными веществами. В частности, в настоящее время авторами ведётся разработка и исследование реперной точки плавления (затвердевания) натрия, имеющего массу навески около 1 г и температуру фазового перехода около 98 °С. Уже достигнута воспроизводимость площадок плавления и затвердевания в пределах ± 3 мК и их длительность около 3 часов. Эти показатели уже близки уровню эталонов температуры 1-ого разряда.

Планируются аналогичные исследования реперных точек на основе других активных щелочных металлов: лития (180 °С), калия (63 °С) и рубидия (39 °С). Эти реперные точки вместе с уже существующими точками МТШ-90 галлия (30 °С) и индия (156 °С) перекрывают наиболее востребованный на практике диапазон температур от 0 до 180 °С. К этому диапазону относится, в частности, температура теплоносителя в водяных системах теплоснабжения, от точности измерений которой зависит достоверность учёта тепла теплоизмерительными приборами и системами [7].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Preston-Thomas, H. The International Temperature Scale of 1990. – Metrologia. – 1990. – № 27. – С. 70–75.
2. Куинн, Т. Температура. – М.: Мир, 1985. – 448 с.
3. Шевелёв, Ю.В., Черепанов, В.Я. Реализация реперных точек температурной шкалы в малогабаритных ампулах. – Измерительная техника. – 2004. – № 2. – С. 39–42.
4. Бродников, А.Ф., Черепанов, В.Я. Анализ возможностей создания новых реперных и постоянных точек температурной шкалы. – Приборы. – 2007. – № 8. – С. 15–19.
5. Szymrka-Grzebik, A., Lipinski, L. Криогенные эталоны в Польше. – Приборы. – 2007. – № 7. – С. 16–19.
6. Бродников, А.Ф., Черепанов, В.Я. Результаты исследования натрия в качестве новой реперной точки температурной шкалы // Сб. материалов международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь – 2008». Т.4. – Новосибирск: СГГА, 2008. – С. 118–121.
7. Черепанов, В.Я. Вопросы метрологического обеспечения измерений температуры в системах учёта количества теплоты. – Приборы. – 2002. – № 6. – С. 63–66.

© А.Ф. Бродников, В.Я. Черепанов, 2009