

## Термостат с флюидизированной средой. Метрологические характеристики и методические возможности.

В.А.Каржавин, А.В.Белевцев  
ПК «Тесей», г. Обнинск

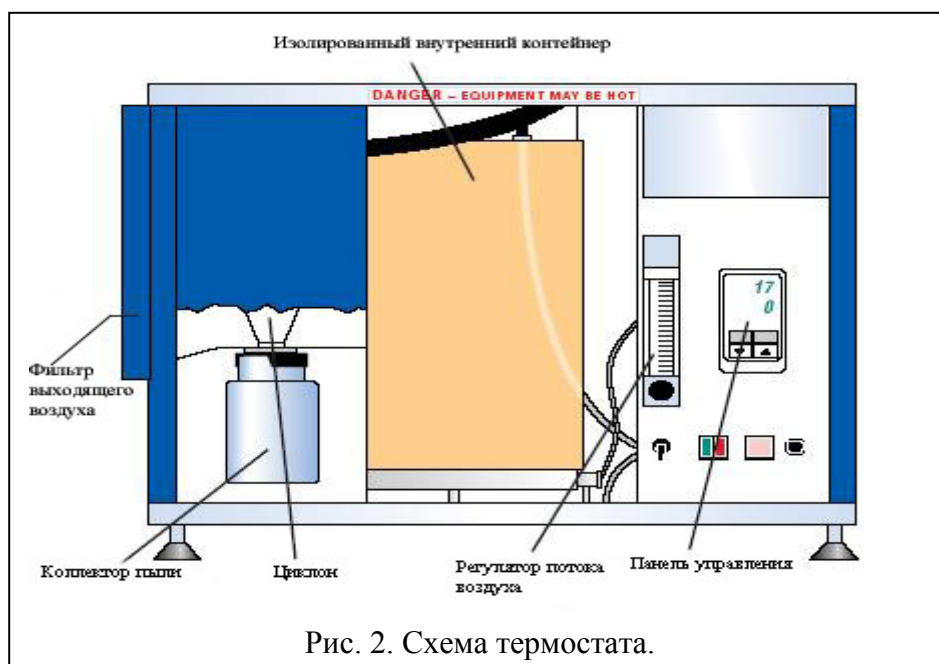
Термостаты с сухой флюидизированной средой рекомендуются международными нормативными документами, в частности стандартом ASTM E 220-02 «Стандартные методы испытаний при калибровке термодатчиков методом сравнения», в качестве средства калибровки в диапазоне температур от -70 до 980 °С и достаточно широко распространены за рубежом. В России флюидизированные термостаты практически не известны и даже не упоминаются в действующих стандартах как одно из средств поверки.

В настоящей работе определялось соответствие кратковременной и долговременной стабильности FB-08 заявленной, измерялся радиальный и осевой градиент температуры на различной глубине погружения и профиль температуры над поверхностью среды. Основной целью исследований являлось определение возможности использования термостата при проведении поверки различных средств измерения температуры, для чего полученные результаты сопоставлялись с требованиями ГОСТов на их поверку [1-5]. Также рассматривалась возможность поверки термоэлектрических преобразователей длиной менее 250 мм и использование термостата для поверки средств измерения температуры поверхности твердых тел.

Термостат с флюидизированной средой представляет собой цилиндрическую ванну, заполненную прогреваемым омическими нагревателями мелкодисперсным порошком окиси алюминия, через который с заданной скоростью прокачивается поток воздуха. Система подачи воздуха обеспечивает перемещение порошка в осевом и радиальном направлениях, что приводит к его активному перемешиванию во всем рабочем объеме ванны термостата, создавая псевдожидкостную или флюидизированную среду. Для удобства эксплуатации ванна снабжена циклонным коллектором пыли и фильтром, что обеспечивает сбор выдуваемого из ванны порошка и нормальные условия работы персонала. Внешний вид и схема термостата представлены на рис 1 и 2 соответственно.



Рис. 1. Внешний вид термостата.



Паспортные характеристики термостата.

Диапазон регулирования, °С	50 .. 700
Кратковременная температурная стабильность – при 50°С	± 0.2
при 600°С	± 0.3
Долговременная температурная стабильность – при 50 °С	± 0.5
при 600 °С	± 0.5
Рабочая зона, Диаметр x Глубина, мм	165 x 385

На рис 3-5 представлены результаты изменения температуры на оси термостата по времени, глубина погружения датчика 200 мм. Изменение температуры регистрировалось малоинерционной термопарой с временем термической реакции  $\tau_{063}$  0.2 сек. с помощью измерителя температуры МИТ 8.10 с погрешностью  $(0.001+10^{-4}U)$  мВ, со скоростью 10 изм/мин. после оптимизации расхода воздуха через ванну. СКО среднего значения рассчитывалось по 50 измерениям, обязательно захватывающим участок с максимальным дрейфом температуры. Максимальная величина СКО составила 0.0051 °С на температуре 600 °С.

Как показала практика эксплуатации термостата, динамика температуры в ванне термостата зависит не столько от настройки параметров ПИД-регулирования температуры, сколько от величины расхода газа через ванну и, как следствие, его оптимизации на каждом уровне температуры. Характерные кривые динамики температуры в ванне термостата для температур 670, 400 и 200 С представлены на рис 3, 4, 5. Динамические характеристики для температур 300, 500 и 600 С аналогичны.

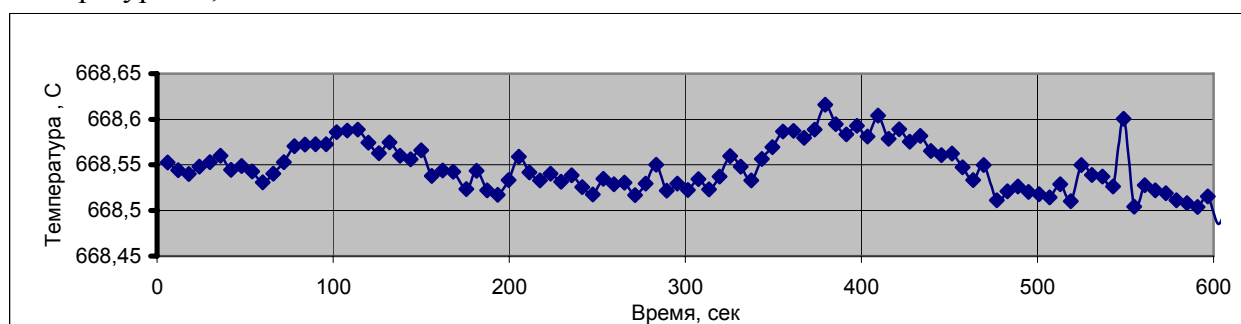


Рис. 3. График изменения температуры в ванне термостата при 670 °С.

Максимальный дрейф температуры 0.06 °С/мин,  
СКО среднего 0.0038 °С.

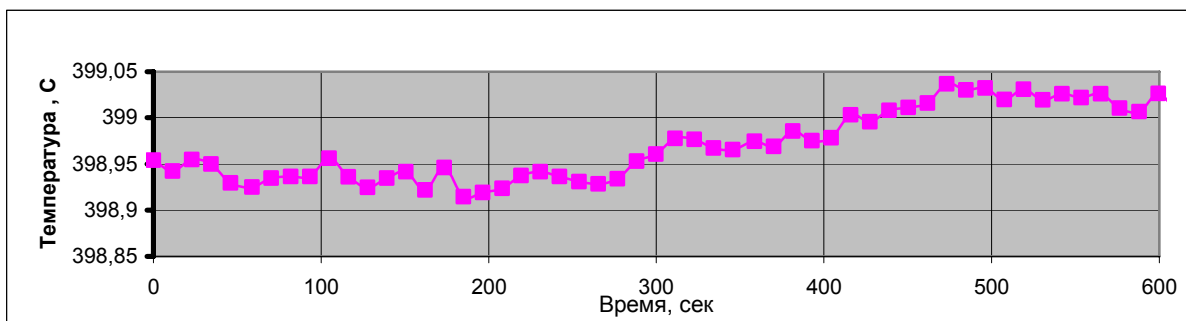


Рис. 4. График изменения температуры в ванне термостата при 400 °С.  
 Максимальный дрейф температуры 0.03 °С/мин,  
 СКО среднего 0.0034 °С.

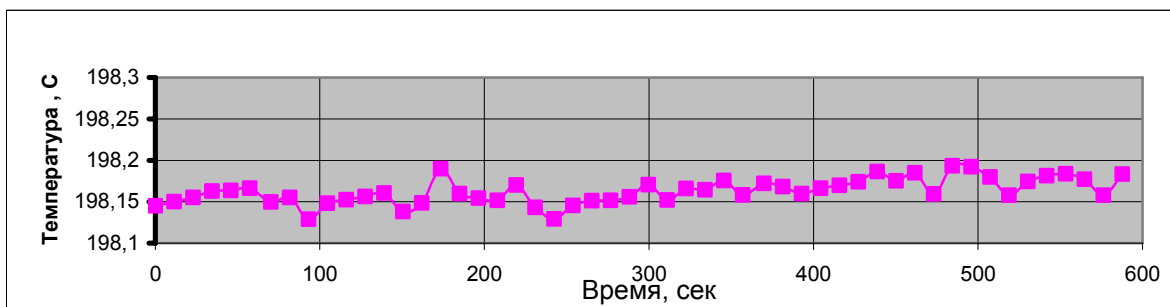


Рис. 5. График изменения температуры в ванне термостата при 200 °С.  
 Максимальный дрейф температуры 0.02 °С/мин,  
 СКО среднего 0.0024 °С.

Из представленных данных следует, что фактическая кратковременная температурная стабильность термостата составляет 0.1 °С за 10 мин при максимальной величине дрейфа 0.06 °С/мин. (500 – 670 °С) Максимальная величина СКО среднего за 50 измерений составляет 0.0051 °С. Как и следовало ожидать, при более низких температурах термостат более стабилен – изменение температуры за 30 мин при уровне температуры 200 °С составило менее 0.05 °С при дрейфе менее 0.02 °С/мин.

В таблицах 1, 2, 3 представлены данные измерения радиального и осевого градиентов температуры в ванне и сравнение их с требованиями ГОСТ по градуировочным печам. Измерения проводились 5-ю предварительно отградуированными в диапазоне 200 – 600 °С термометрами сопротивления на трех уровнях температуры (200, 400 и 600 °С) при трех глубинах погружения (100, 200 и 300 мм). 4 датчика расположены по осям окружности диаметром 120 мм, т.е. на расстоянии 20 мм от края ванны, 5-й – по центральной оси ванны. Чувствительные элементы датчиков расположены в одной плоскости. Измерения проводились в стабилизированных режимах и после оптимизации расхода воздуха. Данные, представленные в таблице 1, соответствуют максимальной разнице температур из 10 зафиксированных между 5 датчиками.

Таблица 1. Радиальный градиент температуры в ванне термостата.

Глубина погружения мм.	Радиальный градиент температуры в ванне термостата, °С/см		
	Уровень температуры, °С		
	200	400	600
100	0.003	0.01	0.07
200	0.003	0.005	0.07
300	0.007	0.02	0.07

В таблице 2 представлены результаты расчета осевого градиента температуры в ванне термостата. Градиент рассчитывался по каждому из 5 датчиков при изменении глубины его

погружения. Также, как и в таблице 1, представлены данные, соответствующие максимальной измеренной величине осевого градиента.

Таблица 2. Осевой градиент температуры в ванне термостата.

Уровень температуры, °С	Осевой градиент температуры в ванне термостата, °С/см
200	0.003
400	0.005
600	0.010

В таблице 3 представлены требования к градуировочным печам для градуировки термопар по ГОСТ 8.461-82, термометров сопротивления по ГОСТ 8.338-2002 и к печам для реализации реперных точек по ГОСТ 8.611-2005 в сравнении с фактическими данными по исследуемому термостату.

Таблица 3. Требования к градуировочным печам.

ПЕЧЬ	Осевой градиент, °С/см	Дрейф температуры °С/мин
Для градуировки термометров по ГОСТ 8.461-82	При 600 °С – 0.1 на участке не менее 50 мм.	0.1 °С/мин
Для градуировки термопар по ГОСТ 8.338-2002	При 1000 °С – 0.8 на участке не менее 50 мм.	0.4 °С/мин
Для реализации реперных точек по ГОСТ 8.611-2005	0.2 °С по длине ампулы цинка, 0.5 °С по длине ампулы алюминия	--
<i>Фактические данные по исследуемому термостату</i>	<u>Перепады температуры:</u> При 600 С – 0.05 С на участке 50 мм. <u>Для ампулы реперной точки длиной около 25 см</u> 0.12 °С при 400 С. 0.25 °С при 600 С.	0.06 °С/мин при 600 С.

Исходя из полученных данных исследования характеристик термостата была проверена теоретически возможность поверки и градуировки с его использованием эталонных термометров сопротивления 3 разряда. В приложении дан расчет расширенной неоднородности градуировки эталонного термометра сопротивления ЭТС 100 3 р. по эталонному термометру сопротивления ПТС 10 2р. Результаты расчета показывают, что расширенная неоднородность такой градуировки для температуры затвердевания алюминия (660 С) составляет 0.14 С при требуемой доверительной погрешности ЭТС 100 0.15 С.

Сопоставление данных приведенных выше с требованиями ГОСТов регламентирующих методы и средства поверки [1-5] позволяет сделать однозначный вывод о возможности использования термостата с флюидизированной средой ФВ-08 при поверке таких средств измерения температуры как термометры стеклянные жидкостные, эталонные и рабочие термоэлектрические преобразователи и термопреобразователи сопротивления.

Особенно хотелось бы подчеркнуть возможность использования термостата для реализации реперных точек индия, олова, цинка и алюминия. А также то, что он

практически незаменим при определении термоэлектрического эффекта в термометрах сопротивления.

На рис 6 представлены результаты измерения температурного поля в ванне термостата в зоне зеркала псевдокипящей жидкости. Профиль температуры регистрировался малоинерционной термопарой с временем термической реакции  $\tau_{063}$  0.2 сек. с помощью милливольтметра типа ТЕРКОН со скоростью 60 изм/мин. после оптимизации расхода воздуха через ванну и стабилизации температуры на каждом уровне.

Измерения производились в режиме непрерывного перемещения датчика со скоростью 10 мм/мин с глубины погружения 250 мм до уровня 100 мм над зеркалом псевдожидкости.

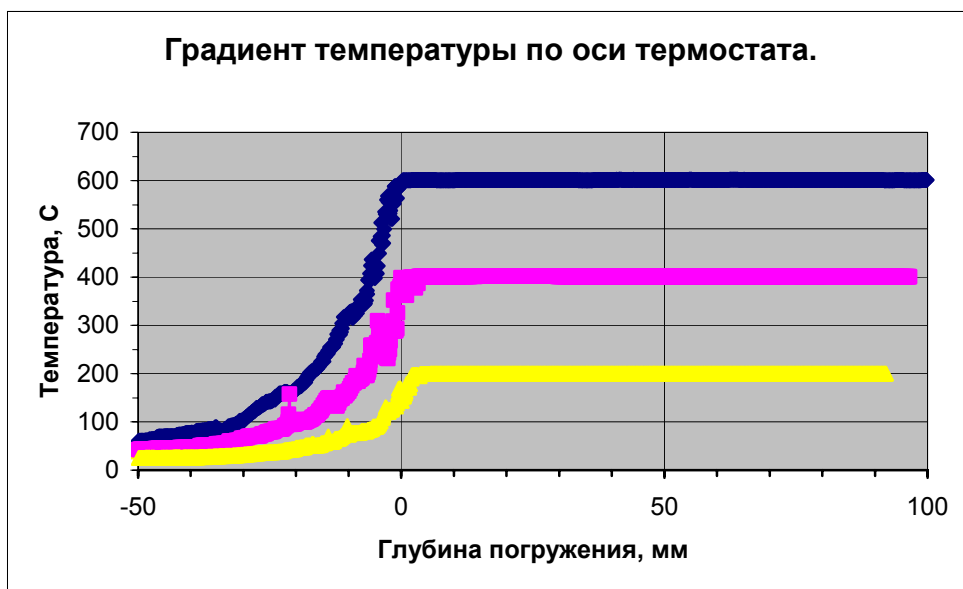


Рис. 6.

Глубина погружения «0» соответствует уровню зеркала псевдокипящего слоя. Из представленных данных следует, что изменение температуры ниже уровня зеркала отсутствует (точнее - соответствует величине осевого градиента температуры), поэтому минимальная глубина погружения градуируемого датчика в ванну определяется только величиной минимальной глубины погружения самого датчика.

Согласно требованиям ГОСТ 8.338 поверке подлежат термоэлектрические преобразователи с длиной погружаемой части не менее 250 мм, что объясняется конструкцией градуировочной печи. Для поверки термоэлектрических преобразователей с длиной погружаемой части менее 250 мм ранее применялись методические указания [6] (на сегодня не действуют), позволяющие поверять короткие датчики до температуры 700 С с применением оловянного термостата. Данная методика не получила широкого распространения из-за отсутствия серийно выпускаемых оловянных термостатов и сложностью работы с ними. При использовании рассматриваемого флюидизированного термостата минимальная длина погружаемой части уменьшается от 250 до 50 мм (для преобразователей диаметром 3...5 мм), при условии обеспечения на переходной втулке (клеммной головке) температуры не выше 100 С. Таким образом замена в МИ 70.32-87 оловянного термостата на флюидизированный или введение необходимых изменений в ГОСТ 8.338-2002 позволит проводить периодическую поверку датчиков с длиной погружаемой части менее 250 мм, что обеспечит их долговременную эксплуатацию

Представляется перспективным и использование флюидизированного термостата для калибровки средств измерения температуры, предназначенных для определения температуры твердых тел по температуре их поверхности. Здесь важно подчеркнуть, что сама по себе температура поверхности, как правило, никого не интересует. Измеряя температуру поверхности, например, с помощью термопарных щупов, пытаются определить истинную температуру поковки, листа и т.п. с целью определить их готовность к

дальнейшему переделу. Для проведения калибровки в контейнер с окисью алюминия достаточно поместить твердое тело, например цилиндр, таким образом, чтобы его торец располагался вровень с уровнем псевдожидкостной среды. В этом случае температура цилиндра будет равна температуре среды, измерив температуру поверхности соответствующим средством измерения и зная температуру среды можно ввести поправку, позволяющую определять истинную температуру тела. При этом нет необходимости определять величину теплового потока по телу, что сделать точно достаточно проблематично, а эталонное средство измерения нет необходимости заделывать в верхний слой твердого тела, что существенно упрощает его поверку.

В заключении хотелось бы подчеркнуть универсальность термостатов с флюидизированной средой, причем универсальность без ущерба для метрологических характеристик. Флюидизированные термостаты обладают безусловными преимуществами как перед масляными термостатами, так и перед сухоблочными калибраторами и трубчатыми печами, что делает их, на наш взгляд, лучшим вспомогательным средством измерения температуры при проведении поверки, калибровки или градуировки в диапазоне температур от 100<sup>0</sup>С до 700<sup>0</sup>С.

#### Литература:

1. ГОСТ 8.338-2002 «Преобразователи термоэлектрические. Методика поверки».
2. ГОСТ 8.461-82, «Термопреобразователи сопротивления. Методы и средства поверки».
3. ГОСТ Р 8.611-2005 «Преобразователи термоэлектрические платиноводий-платиновые и платиноводий-платиноводиевые эталонные 1, 2 и 3 разрядов. Методика поверки».
4. ГОСТ Р 8.571-98 «Термометры сопротивления платиновые эталонные 1-го и 2-го разрядов. Методика поверки».
5. ГОСТ 8.279-78 «Термометры стеклянные жидкостные рабочие. Методы и средства поверки»
6. МИ 70.32-87 «Преобразователи термоэлектрические типа ТХА-0187, ТХА-0286. Методика поверки». Методические указания.