



СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| АТОМНО-СИЛОВЫЕ МИКРОСКОПЫ. ПОВЕРКА С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКТА МЕР ВЫСОТЫ СТЕПП-ИФП-1 <i>В.В. Копытов, К.В. Тукмачев, Д.В. Щеглов, С.А. Загарских</i> | 3 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ РЕПЕРНЫХ ТОЧЕК ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ МЕТАЛЛОВ <i>Горбылев Антон Анатольевич, инженер.</i> <i>Федеральное Государственное унитарное предприятие</i> | 5 |
| ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ВОЛНЫ – ПЕРСПЕКТИВНАЯ ОСНОВА СОЗДАНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНДЕНСИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Ивлиев А. Д., Мешков В. В., Гой С. А.</i> | 8 |
| ДВА СПОСОБА ЭЛИМИНИРОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЧЕРНОТЫ <i>Захаренко Владимир Андреевич, Кликушин Юрий Николаевич,</i> <i>Пономарёв Д.Б.</i> | 13 |
| СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ <i>Захаренко Владимир Андреевич, Кликушин Юрий Николаевич</i> | 17 |
| СИСТЕМА ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ГАЗОПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ <i>Голубков К.Ю., Шишкин С.И., Осокин А.Б.</i> | 19 |
| ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ АМПЛИТУДНЫЙ МОДУЛЯТОР ТЕПЛООВОГО (ОПТИЧЕСКОГО) ИЗУЧЕНИЯ (ТЕЗИСЫ) <i>Мешков В. В., Ивлиев А. Д.</i> | 21 |
| ГРАДИЕНТНЫЕ ДАТЧИКИ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА (ТЕЗИСЫ) <i>С.З.Сапожников, В.Ю.Митяков, А.В.Митяков</i> | 21 |
| СПОСОБЫ ОПЕРАТИВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПЛАВА МЕТАЛЛОВ ДЛЯ НУЖД МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ <i>Кропачев Д.Ю., Гришин А.А., Масло А.Д.</i> | 22 |
| СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУР В ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ ДЛЯ НУЖД НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ <i>Е.В. Амосова, Д.Ю. Кропачев (ОАО НПП «Эталон»)</i> <i>Д.С. Паздерин (ООО НПО «Фундаментстройаркос»)</i> | 24 |
| РЕГИСТРАТОРЫ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ <i>Неделько Александр Юрьевич</i> | 28 |



| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ТЕРМОМЕТРЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТЕРМО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРОИЗВОДСТВА ОАО НПП «ЭТАЛОН» <i>Герлах Юлия Ивановна, ведущий инженер.....</i> | 31 |
| ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭНЕРГОАУДИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ <i>Полянский Максим Александрович</i> | 33 |
| ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭНЕРГОАУДИТА <i>Андрей Юрьевич Иванов.....</i> | 35 |
| РЕАЛИЗАЦИЯ РЕПЕРНЫХ ТОЧЕК МТШ-90 В ПЕЧИ ПРТ 50-500. <i>Малышев Юрий Олегович.....</i> | 37 |
| ДАТЧИКИ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ДТП-0924 <i>Смольников Станислав Александрович.....</i> | 43 |
| МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА <i>Вячеслав Викторович Рубанов.....</i> | 45 |



АТОМНО-СИЛОВЫЕ МИКРОСКОПЫ. ПОВЕРКА С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКТА МЕР ВЫСОТЫ СТЕПП-ИФП-1

В.В. Копытов, К.В. Тукмачев, Д.В. Щеглов, С.А. Загарских

В настоящее время широкое применение во многих областях получили применение атомно-силовые микроскопы. Для проведения точных измерений с их помощью, микроскопы требуют поверки и калибровки. Однако в диапазоне размеров менее 100 нм существуют определенные сложности измерений из-за недостаточного количества средств измерений, удовлетворяющих данным точностным характеристикам.

Институтом Физики Полупроводников СО РАН был разработан Комплект меры высоты СТЕПП-ИФП-1, предназначенный для калибровки Атомно-силовых микроскопов по параметру высоты в диапазоне 0,31-31 нм. ГЦИ СИ СНИИМ провел испытания в целях утверждения типа средства измерений «Комплекты мер высоты СТЕПП-ИФП-1» и разработал Методику поверки (калибровки) измерений высот Атомно-силовыми микроскопами в диапазоне 0,31-31 нм с помощью Комплектов мер высоты СТЕПП-ИФП-1.

Комплект представляет собой пластину кремния с шестью разными по высоте в диапазоне (0,31 – 31) нм выделенными участками (далее – мерами), как показано на рис 1. Меры состоят из определенного числа ориентированных в направлении кристаллографической плоскости (111) моноатомных ступеней кремния одинаковой высоты. Единица длины, воспроизводимая мерой, измеряется между поверхностями свободными от моноатомных ступеней размерами не менее (1х5) мкм.

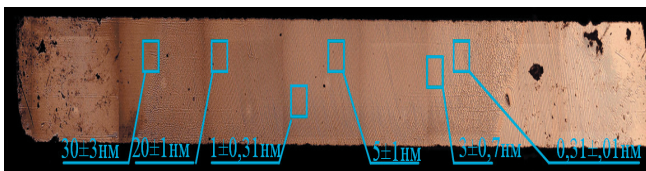


Рис. 1. Поверхность Комплекта с указанием местоположения и размеров мер

Проверяют целостность оптических составляющих АСМ и иглы пьезокерамического сканера.

Снимают крышку с футляра с Комплектом и осторожно с помощью пинцета, предварительно очищенного этиловым спиртом ГОСТ 18300, перемещают Комплект на держатель образцов рабочего столика АСМ. Закрепляют Комплект на держателе образцов рабочего столика АСМ. При этом должно быть обеспечено плотное неподвижное прилегание нижней плоскости пьедестала Комплекта к поверхности держателя образцов рабочего столика АСМ.

Проводят опробование встроенного оптического микроскопа АСМ. Для этого при помощи встроенного оптического микроскопа АСМ последовательно осматривают поверхность каждой меры Комплекта. На участках поверхности, соответствующих мерам Комплекта, рельеф должен соответствовать рельефу на микрофотографиях мер, указанных в приложении А паспорта Комплекта. Микрофотография меры высотой 19,04 нм приведена на рис 2.

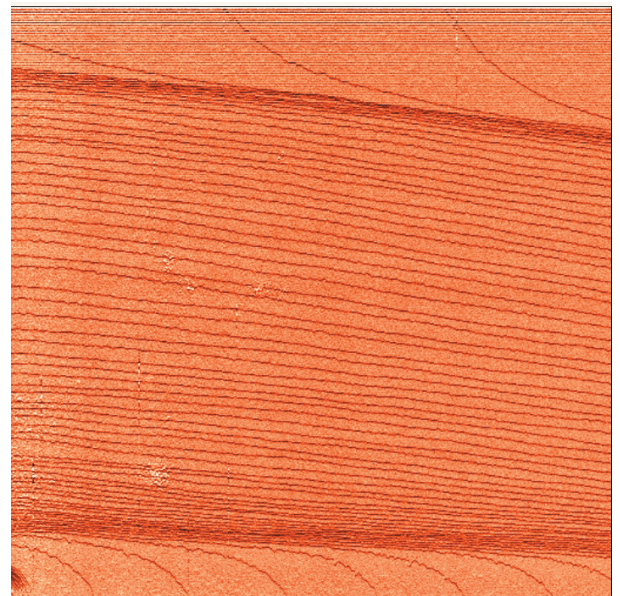


Рис. 2. Микрофотография рельефа поверхности меры номиналом 19,04 нм

Проводят опробование сканера АСМ. Для этого выбирается мера Комплекта, по данным паспорта определяют координаты положения меры на поверхности Комплекта.

С помощью встроенного оптического микроскопа АСМ устанавливают зонд АСМ в положение, соответствующее началу сканирования меры.

Начальное положение сканирования определяют следующим образом: зонд АСМ устанавливают на точку, принадлежащую поверхности меры, при регистрации от которой трехмерного массива пространственных координат меры весь этот массив будет также принадлежать данному рабочему участку поверхности меры (не выходит за ее границы).

Из аналогичных условий определяют конечное положение сканирования зонда АСМ.

Проверяют возможность сканирования поверхности меры и получения результата измерений.

Проводят те же операции для других мер Комплекта при необходимости.

Определение (контроль) метрологических характеристик

В Комплекте выбирают наименьшую по высоте меру Комплекта. Устанавливают начало отсчета меры таким образом, чтобы состояние середины динамического диапазона смещения (выдвижения-вдвигания) пьезокерамического сканера АСМ соответствовало также наименьшей высоте измеряемой меры.

В соответствии с инструкцией по эксплуатации АСМ осуществляют последовательную регистрацию трехмерного массива пространственных координат рельефа поверхности меры, с количеством пространственных координат не менее чем 256x256 для латеральных направлений (в плоскости XY) и размером области сканирования от 2x2 мкм² до 100x100 мкм². В полученном трехмерном массиве пространственных координат рельефа поверхности меры должна находиться область, представленная на микрофотографии меры, указанной в приложении А паспорта Комплекта.

Проводится математическая обработка трехмерного массива пространственных координат рельефа поверхности меры (в соответствии с инструкцией по эксплуатации АСМ).

В соответствии с инструкцией по эксплуатации АСМ получают зависимость количества точек трехмерного массива пространственных координат рельефа поверхности меры от их высоты, которую представляют в виде двухмерного графика, пример которого приведен на рис 3. При помощи изменения наклона меры относительно плоскости сканирования проводят поворот трехмерного массива пространственных координат таким образом, чтобы плоскости поверхностей, ограничивающих меру, были параллельны плоскости сканирования АСМ. Для этого добиваются максимального значения количества точек соответствующих значениям высот плоскости поверхностей, ограничивающих меру. На двумерном графике это выражается в пилообразной форме зависимости с максимальной высотой пиков на соответствующих высотах.

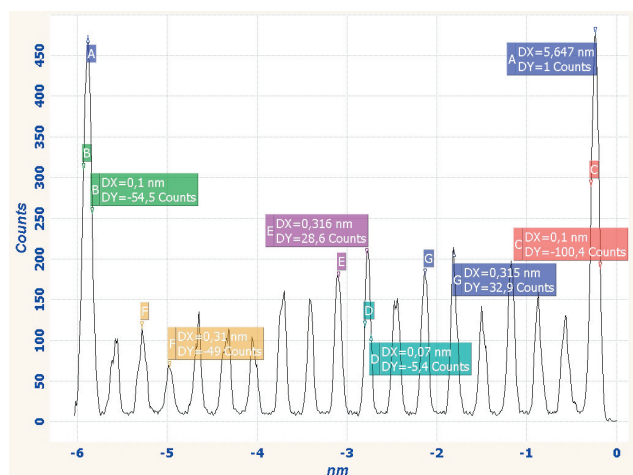


Рис. 3. Пример двумерного графика зависимости количества точек трехмерного массива пространственных координат рельефа поверхности меры от их высоты

Вычисляют значение погрешности выравнивания поверхности Δ_{II} , нм/мкм, по формуле

$$\Delta_{II} = \frac{\frac{\sigma_1}{\sqrt{N_1}} + \frac{\sigma_2}{\sqrt{N_2}}}{L}, \quad (1)$$

где: σ_1 – ширина пика, соответствующего свободной от моноатомных ступеней поверхности, ограничивающей меру снизу, нм;

σ_2 – ширина пика, соответствующего свободной от моноатомных ступеней поверхности, ограничивающей меру сверху, нм;

N_1 – общее количество точек соответствующих пику, соответствующего свободной от моноатомных ступеней поверхности, ограничивающей меру снизу;

N_2 – общее количество точек соответствующих пику, соответствующего свободной от моноатомных ступеней поверхности, ограничивающей меру сверху;

L – расстояние по плоскости сканирования (XY) между серединами свободных от моноатомных ступеней поверхностей, ограничивающих меру, мкм.

По полученному графику зависимости количества точек трехмерного массива пространственных координат рельефа поверхности меры от их высоты вычисляют масштабный безразмерный коэффициент трансляции реального трехмерного массива данных рабочей поверхности в регистрируемый для оси выбранного направления двумерного массива в плоскости (XY) k , нм, по формуле

$$k = \frac{H_B}{H_B - H_H}, \quad (2)$$

где: H_B – действительная высота меры, указанная в свидетельстве о поверке на Комплект;

H_B – координата середины пика, соответствующего верхней свободной от моноатомных ступеней поверхности, ограничивающей меру;

H_H – координата середины пика, соответствующего нижней свободной от моноатомных ступеней поверхности, ограничивающей меру.

Погрешность определения высоты Δ , нм при доверительной вероятности 0,95 определяется по формуле

$$\Delta = \pm k_{0,95} \sqrt{\Delta_M^2 + \Delta_{II}^2}, \quad (3)$$

где: Δ_M – погрешность измерений высоты меры при доверительной вероятности 0,95;

$k_{0,95}$ – коэффициент, определяемый с принятой доверительной вероятностью. Коэффициент k принимают 1,1 при доверительной вероятности $P = 0,95$.

Таким образом, появилась возможность калибровать Атомно-силовые микроскопы в диапазоне высот меньше, чем 20 нм, что позволяет проводить с их помощью более точные измерения.

Литература

- ГОСПЕЕСТР СИ № 48115-11 Комплекты мер высоты СТЕПП-ИФП-1
- Патент № RU 2371674 С1. Способ изготовления ступенчатого высотного калибровочного стандарта для профилометрии и сканирующей зондовой микроскопии / Щеглов Д.В., Косолюбов С.С., Родякина Е.Е., Латышев А.В.



ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ РЕПЕРНЫХ ТОЧЕК ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Горбылев Антон Анатольевич, инженер.

Федеральное Государственное унитарное предприятие

Сибирский научно-исследовательский институт метрологии,

630004, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, тел. (923)149-63-42, e-mail: anton.

gorbylev@mail.ru

В статье приводятся результаты исследования влияния вертикального градиента температуры на границу раздела фаз внутри ампулы реперных точек температуры затвердевания металлов на примере реперной точки затвердевания индия.

Ключевые слова: эталон температуры, ампулы реперных точек затвердевания металлов.

На базе ФГУП «СНИИМ» функционирует вторичный эталон единицы температуры ВЭТ 34-27-99, модернизация которого продолжается с 2009 года. В рамках модернизации был разработан программно-аппаратный комплекс ПТК-РТ, предназначенный для управления эталонами тепловых величин, в том числе для воспроизведения реперных точек затвердевания металлов.

В этом комплексе реализован новый алгоритм, который управляет нагревателями печи с учетом градиента температуры по высоте ампулы. На всех этапах реализации алгоритм работает таким образом, чтобы градиент стремился к нулю. В данной статье приводятся результаты исследований влияния разных величин вертикального градиента температуры по высоте ампулы на границу раздела фаз при воспроизведении реперных точек температуры затвердевания металлов.

В печи комплекса ПТК-РТ градиент температуры по высоте ампулы постоянно измеряется двумя датчиками, расположенными вблизи нижнего и верхнего торцов ампулы. Эти датчики были добавлены в систему после того, как было выяснено, что одинаковая температура нагревателей не гарантирует отсутствия температурного градиента внутри жаровой трубы. Как правило, в районе нижнего нагревателя температура всегда выше, т.к. снизу нет отвода тепла. Поведение градиента температуры по высоте при одинаковой температуре нагревателей проиллюстрировано на рисунке 1.

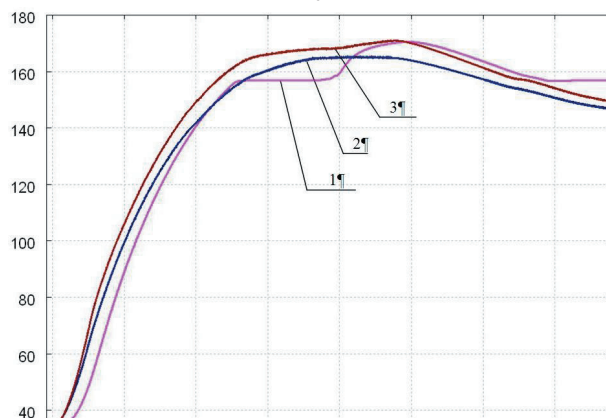


Рисунок 1. Показания градиентных и контрольного датчиков при реализации реперной точки затвердевания индия в режиме одинаковой температуры нагревателей

Здесь цифра 1 обозначает график контрольного датчика температуры, цифра 2 – график датчика верхнего градиента и цифра 3 – график датчика нижнего градиента.

По рисунку видно, что в процессе плавления градиент температуры постепенно растет вместе с увеличением температуры внутри печи. В процессе плавления градиент постепенно выравнивается, в процессе перегрева снова растет и на площадке затвердевания опять уменьшается. На рисунке четко видно, что нижний конец ампулы всегда горячее верхнего. На практике величина градиента во многом зависит от конфигурации нагревателей, положения ампулы относительно них и тепловой изоляции.

Согласно документу Supplementary Information for ITS-90, в процессе реализации реперных точек затвердевания металлов, также как и в процессе реализации тройной точки воды, необходимо наличие двух границ раздела фаз – внешней и внутренней. Внешняя граница формируется за счет понижения температуры нагревателей ниже температуры затвердевания. Внутренняя граница формируется, например, за счет охлаждения канала ампулы погруженным термометром, за счет теплоотвода по подводящим проводам и за счет конвекции внутри измерительного канала.

Наличие обеих границ обязательно для стабильной площадки затвердевания. В процессе воспроизведения реперной точки движение внутренней границы обуславливается постоянным теплоотводом по поверяемому или контрольному термометру. Кроме того, в процессе поверки внутрь канала опускаются термометры с температурой ниже площадки затвердевания, что ускоряет движение внутренней границы. Чтобы увеличить длительность площадки затвердевания, необходимо максимально снизить скорость движения внешней границы раздела фаз. Это достигается за счет поддержания температуры нагревателей, максимально близкой к температуре затвердевания.

Наличие градиента может спровоцировать смещение внешней границы раздела фаз таким образом, что металл с одного конца ампулы уже затвердеет полностью, в то время как с другого конца будет находиться в расплавленном состоянии. Такое смещение приведет к возникновению существенного градиента температуры внутри измерительного канала, что может привести к погрешности при поверке платиновых термометров сопротивления, у которых есть требование к минимальной глубине погружения.

Смещение границ влияет также и на повторяемость площадки затвердевания, т.к. со временем поведение нагревателей и теплоизоляции меняется, что приводит к изменению градиента температуры по высоте ампулы в процессе реализации.



Важным моментом является то, что ампулы чистых металлов получают размер единицы на оборудовании ВНИИМ, т.е. в отрыве от оборудования для реализации, в котором используются эти ампулы. Ампула может пройти поверку, но при неверном алгоритме реализации температура реперной точки может не соответствовать той, что указана в свидетельстве на ампулу.

В любом случае, использование алгоритма управления по градиенту температуры по высоте ампулы существенно увеличивает длительность площадки затвердевания за счет того, что границы раздела фаз двигаются параллельно друг другу.

Чтобы проследить влияние градиента на площадку затвердевания, необходимо непрерывно измерять температуру внутри измерительного канала на разной высоте. Для этого были использованы четыре малогабаритных платиновых термометра Pt100 Heraeus M220 Class B, предназначенные для измерения температуры в диапазоне от -70 до +500 °С. Для измерения сопротивления и преобразования сопротивления в температуру использовался специализированный многоканальный измеритель температуры ТМ-4.

Перед началом исследований термометры вместе с прибором были отградуированы сначала в тройной точке воды, потом в точке затвердевания индия, после этого еще раз в тройной точке воды, для проверки стабильности.

В процессе градуировки было выяснено, что датчики обладают отличной стабильностью. Прибор ТМ-4 имеет постоянное смещение измеряемой температуры между каналами в диапазоне от -0,1 °С до +0,1 °С. Однако это смещение постоянно для каждого из датчиков, а значит оно не может повлиять на результаты исследования.

Так как в процессе измерения датчики в любом случае проходят через этап площадки затвердевания, мы всегда можем в реальное время оценить погрешность измерения температуры каждым датчиком. В любом случае, в данном исследовании наибольшую ценность представляет не абсолютное значение температуры, измеряемое каждым датчиком, а градиент температуры внутри измерительного канала, т.е. смещение температуры относительно контрольного датчика.

Датчики были помещены в стеклянную пробирку, засыпанную мелкодисперсным порошком оксида алюминия (имитатор термометра). Датчики были расположены на расстоянии 5,5 см друг от друга так, как показано на рисунке 2.

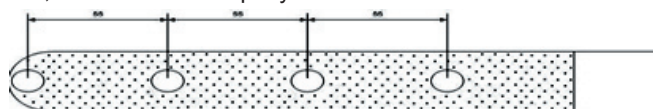


Рисунок 2. Положение датчиков температуры внутри пробирки.

Высота измерительного канала в ампуле индия составляет 200 мм, расстояние между крайними датчиками – 165 мм. Благодаря такому расположению возможно получить информацию о поведении границы раздела фаз в процессе фазового перехода.

В процессе исследования было выполнено 4 эксперимента – 2 с минимальным градиентом температуры, 1 с градиентом 7 градусов при горячем нижнем конце ампулы и 1 с градиентом 7 градусов при горячем верхнем конце ампулы. Во всех экспериментах средняя температура градиентных датчиков поддерживалась одинаковой.

Ниже представлены графики экспериментов. На всех графиках цифра 1 – это самый нижний датчик, цифра 2 – на расстоянии 55 мм от первого, цифра 3 – на расстоянии 55 мм от второго и цифра 4 – на расстоянии 55 мм от третьего, который расположен ближе всех к концу измерительного канала.

По оси X отложена ось времени, по оси Y – температура.

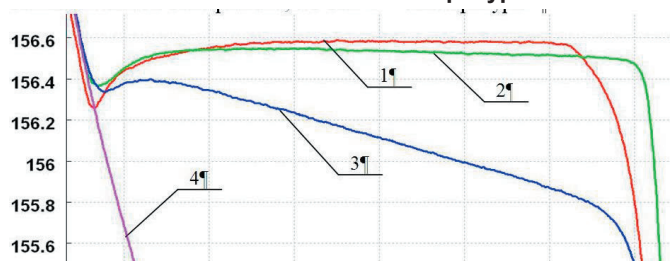


Рисунок 3. Эксперимент 1 с минимальным градиентом (28.02.2012)

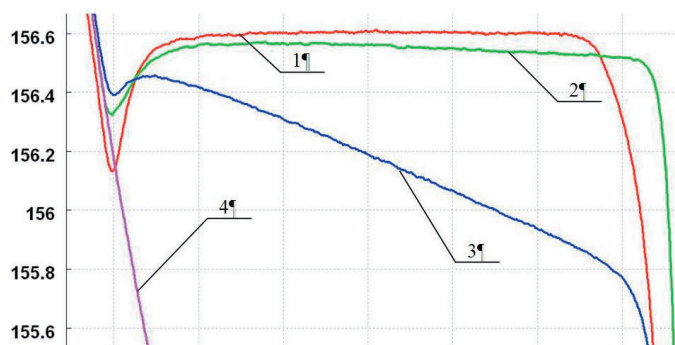


Рисунок 4. Эксперимент 2 с минимальным градиентом (05.03.2012)

По рисункам 3 и 4 видно, что площадка затвердевания держится стабильно по всей длительности площадки на расстоянии как минимум 60 мм от дна измерительного канала.

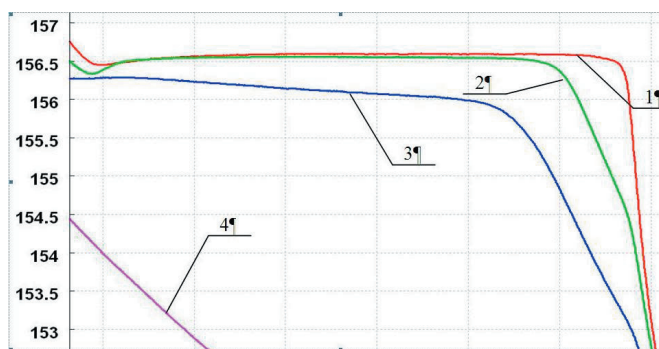


Рисунок 5. Эксперимент 3 с градиентом 7 градусов с более горячей нижней частью (29.02.2012)

На рисунке 5 видно, что уже к началу площадки затвердевания датчик 4 имеет температуру на 2 градуса ниже температуры площадки. Кажется, что площадка затвердевания на этом графике длится дольше (если судить по датчику 1), но на самом деле это не так – длительность площадки меньше на 1-1,5 часа. Кроме того, если поместить один и тот же ПТС 1-го разряда в начале и в конце площадки, он покажет разные значения температуры из-за того, что затвердевание в верхнем конце ампулы закончится раньше.

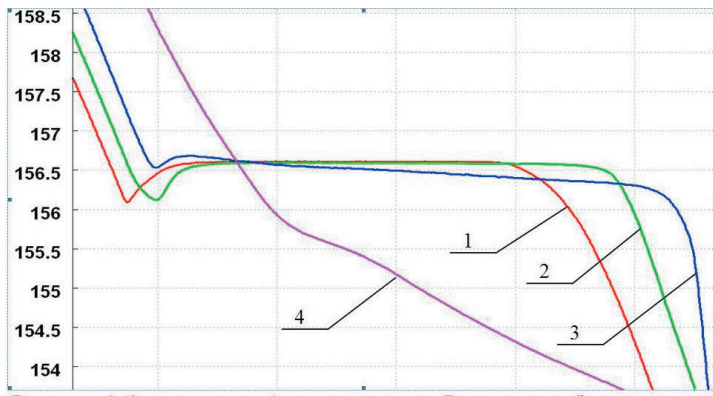


Рисунок 6. Эксперимент 4 с градиентом в 7 градусов с более горячей верхней частью (01.03.2012)

На рисунке 6 видно, что площадка затвердевания на дне измерительного канала кончается значительно раньше, чем в верхней его части, к началу площадки затвердевания температура датчика 4 выше температуры площадки на 2 градуса.

Представленные графики подтверждают существенное влияние градиента температуры по высоте ампулы на границу раздела фазы, как следствие, на градиент температуры внутри измерительного канала. Существенное влияние оказывается и на длительность площадки затвердевания.

Данные эксперименты проводились при градиенте 7 градусов, т.к. такой градиент был зафиксирован в печи при работе «классического» алгоритма – поддержании одинаковой температуры на всех нагревателях. В другой печи при этих же условиях градиент может быть значительно выше, особенно при высоких температурах. В дальнейшем эти исследования будут продолжены на реперных точках затвердевания металлов олова, цинка и алюминия.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ВОЛНЫ – ПЕРСПЕКТИВНАЯ ОСНОВА СОЗДАНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНДЕНСИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ивлиев А. Д., Мешков В. В., Гой С. А.

ФГАОУ ВПО «Российский государственный профессионально-педагогический университет»

Россия, 620012, Екатеринбург, ул. Машиностроителей, 11

E-mail: ad_i@r66.ru

1. Введение. Температурная волна – процесс распространения периодических температурных возмущений через образец. Таким образом, распространение температурных волн – это нестационарный процесс. Практический интерес, однако, вызывает рассмотрение температурных волн в установившемся режиме, когда средние температуры образца достигают стационарных значений. Это так называемый регулярный тепловой режим третьего рода – квазистационарный тепловой процесс [1, 3]. В этом режиме параметры температурной волны определяются такими свойствами вещества, как теплопроводность a и теплоемкость C , причем теплопроводность определяется через другие характеристики вещества по формуле [3, 4]:

$$a = \frac{\lambda}{C_{уд} \gamma}, \quad (1)$$

где λ – теплопроводность, $C_{уд}$ – удельная теплоемкость, γ – плотность вещества.

В данной работе мы будем рассматривать температурные волны, имеющие почти плоские изотермы, возникающие под действием изменяющихся во времени тепловых потоков в плоских образцах.

2. Методика исследований. В основу работы установок положен метод температурных волн [5 – 8] базирующийся на теории распространения модулированного теплового потока в образце. Одной из простейших моделей является распространение плоской температурной волны через бесконечную однородную пластину толщиной l , рис. 1. На первую (левую) поверхность пластины воздействует тепловой поток $q(t)$, изменяющийся по периодическому закону

$$q(t) = \bar{q} + \Delta q(t) \quad (2)$$

где \bar{q} – постоянная и $\Delta q(t)$ – переменная составляющие теплового потока, t – время.

При малых амплитудах колебаний температуры $\Delta q \ll \bar{q}$ уравнение теплопроводности и граничные условия линеаризуются. Благодаря этому возникает возможность анализировать процесс распространения температурной волны на примере гармонического воздействия, имея в виду, что в случае необходимости можно разложить входной сигнал в гармонический ряд и найти результат для каждой из гармоник входного сигнала.

Используя понятия теории гармонических волн, отметим, что на второй (правой) поверхности пластины будут наблюдаться колебания температуры $\Delta \theta(t)$, сдвинутые по фазе на величину φ по отношению к колебаниям теплового потока $\Delta q(t)$ и имеющие амплитуду $\Delta \theta$.

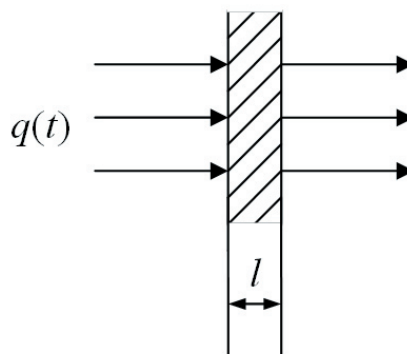


Рис.1. Одномерная тепловая модель

Фазу сигнала можно вычислить по следующей формуле:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Bi_1 Bi_2 (b_1 - b_2) - 2 \frac{k}{\sqrt{2}} (Bi_1 + Bi_2) b_4 - k^2 (b_1 + b_2)}{Bi_1 Bi_2 (b_1 + b_2) + 2 \frac{k}{\sqrt{2}} (Bi_1 + Bi_2) b_3 + k^2 (b_1 - b_2)}, \quad (3)$$

где

$$k^2 = \frac{\omega^2}{a} = Pd \quad (4)$$

– число Предводителява;

$$Bi_1 = \frac{\alpha_1 l}{\lambda} \quad Bi_2 = \frac{\alpha_2 l}{\lambda} \quad (5)$$

– числа Био;

$$\alpha_1 = 4 \varepsilon \sigma \bar{\theta}_1^3(l) + \frac{\lambda_c}{L_1} \quad (6)$$

$$\alpha_2 = 4 \varepsilon \sigma \bar{\theta}_2^3(l) + \frac{\lambda_c}{L_2}$$

коэффициенты теплообмена;

$$b_1 = \operatorname{sh} \frac{k}{\sqrt{2}} \cos \frac{k}{\sqrt{2}} \quad b_2 = \operatorname{ch} \frac{k}{\sqrt{2}} \sin \frac{k}{\sqrt{2}}$$

$$b_3 = \operatorname{ch} \frac{k}{\sqrt{2}} \cos \frac{k}{\sqrt{2}} \quad b_4 = \operatorname{sh} \frac{k}{\sqrt{2}} \sin \frac{k}{\sqrt{2}} \quad (7)$$



– безразмерные коэффициенты; λ – коэффициент теплопроводности пластины (исследуемого образца); λ_c – эффективный коэффициент теплопроводности среды, в которой находится пластина (образец); θ_1 и θ_2 – средние температуры первой и второй поверхностей образца; L_1 и L_2 – расстояния от первой и второй поверхностей образца до соответствующих границ ячейки, в которой находится образец.

Результат (3) достаточно сложен для практического использования. Однако при малых теплообменах

$$Bi_1 \approx Bi_2 = Bi \leq 0,01 \quad (8)$$

$$\text{и при } k \geq 1,6 \quad (9)$$

величина сдвига фаз практически не зависит от теплообмена на границах образца. Изменение числа Био от 0 до 0,01 при условии (9) приводит к изменению сдвига фаз не более, чем на 1%. В этих условиях можно вместо (3) использовать простую аппроксимацию [8]

$$\varphi = -\left(\frac{\pi}{4} + \frac{k}{\sqrt{2}}\right) \quad (10)$$

Отрицательный знак φ свидетельствует о запаздывании температурной волны. Обычно знак не принципиален, потому формулу (10) записывают

$$k = \sqrt{2} \left(|\varphi| - \frac{\pi}{4} \right) \quad (11)$$

откуда, зная взаимосвязь (4) можно вычислить температуропроводность

$$a = \frac{\omega l^2}{k^2} \quad (12)$$

Экспериментально наиболее сложно измерить сдвиг фазы φ между колебаниями температуры второй поверхности образца и колебаниями теплового потока.

Амплитуду колебаний температуры второй поверхности образца можно определить по формуле [6 – 8]

$$\Delta \theta = \Delta \theta_0 F(k, Bi_1, Bi_2) \quad (13)$$

где

$$\Delta \theta_0 = \frac{\Delta q}{C^{уд} \omega l \gamma} \quad (14)$$

а функция $F(k, Bi_1, Bi_2)$ для случая малого теплообмена ($Bi_1 = Bi_2 = 0$) есть

$$F(k, 0, 0) = \frac{k}{\sqrt{\operatorname{sh}^2 \frac{k}{\sqrt{2}} + \sin^2 \frac{k}{\sqrt{2}}}} \quad (15)$$

Полученные соотношения позволяют по величине амплитуды колебаний температуры $\Delta\theta$ и по величине фазового запаздывания φ (11) рассчитать теплоемкость

$$C^{уд} = \frac{\Delta q (\sqrt{2} (|\varphi| - \frac{\pi}{4}))}{\Delta \theta \gamma \omega \sqrt{\operatorname{sh}^2 (|\varphi| - \frac{\pi}{4}) + \sin^2 (|\varphi| - \frac{\pi}{4})}} \quad (16)$$

Одномерная теория предполагает наличие образца и теплового потока с бесконечными поперечными размерами. Практически это требование выполнить не удастся. Поэтому представляет интерес выяснение вопроса о том, как распространяется температурная волна в двумерной системе.

Нами была рассмотрена двумерная тепловая модель [8 – 10].

Ее анализ показал, что и в двумерном случае возможно применение рассмотренной выше адиабатной одномерной теории, если

$$Bi < 0,012; \quad k > 2,5. \quad (17)$$

Введенное ограничение на величину числа Био является причиной того, что толщина образца должна быть достаточно малой (5). Данное обстоятельство само по себе не является помехой при построении измерительных систем. Наоборот, часто исследуемое вещество изготавливается в таких количествах и формах, что использование стационарных методов становится принципиально невозможным. Однако, существуют и такие случаи, когда это ограничение создает существенные проблемы, например, в случае исследования свойств веществ с крупными неоднородностями.

Адиабатная модель позволяет существенно упростить процесс измерения. Практически она становится такой же, что и в рамках одномерной модели. Для вычисления a и $C^{уд}$ необходимо экспериментальным путем найти значения φ и $\Delta\theta$ в одной (центральной) точке второй поверхности образца. В этом случае измерения будут сопровождаться и наименьшей аппаратной ошибкой.

Двухмерная методика [8 – 10] позволяет провести измерения и тогда, когда адиабатное приближение будет неоправданным. В общем случае эти измерения следует сделать на нескольких частотах теплового потока. Таким образом, будет получена система линейно независимых уравнений, решив которую, можно определить искомые теплофизические параметры. Естественно, что подобные измерения будут сопровождаться большей аппаратной погрешностью.

Анализ показал, также, что источником информации, позволяющим установить значения теплофизических характеристик исследуемого вещества, может быть и первая (левая на рис. 1) поверхность цилиндрического образца [11]. Так по фазе колебаний температуры первой поверхности может быть рассчитана температуропроводность. Данный вариант представляет интерес потому, в частности, что может быть реализован на образцах, которые в рамках рассматриваемой модели могут считаться полубесконечными средами.

Иными словами, для этого метода нет необходимости изготавливать специальный образец, имеющий форму плоскопараллельной пластины, а можно проводить измерения на любой открытой поверхности образца. Данный вариант метода температурных волн оказался полезен при изучении свойств жидкостей, а также веществ, свойства которых могут изменяться на весьма малых расстояниях (например, наноматериалов).

Следует отметить, что кроме рассмотренных моделей, большое значение имеют и модели вещества, свойства которого могут изменяться во времени, например, за счет протекания фазовых превращений. Параметры протекания фазовых переходов определяются температурой, и следовательно, температурной волной. В этом случае за счет проведения измерений на различных частотах температурных волн можно получить уникальную информацию об особенностях протекания данных превращений. В настоящей работе мы не будем останавливаться на этих вопросах.

3. Принципы построения экспериментальных установок. Анализ методических проблем позволил определить структуру экспериментальной установки и сформулировать требования к ее отдельным узлам [8]. На рис. 2 представлена обобщенная блок-схема экспериментальной установки.

На этой схеме блок 1 – источник теплового потока; блок 2 – амплитудный модулятор теплового потока и формирователь опорного напряжения, блок 3 – исследуемый образец, блок 4 – преобразователь теплового сигнала в электрический (фотодатчик, термопара), блок 5 – устройство обработки сигнала и расчета теплофизических характеристик. Естественно, что кроме блоков, рассмотренных выше и предназначенных непосредственно для проведения измерений теплофизических характеристик, в установках имеются и многие другие системы (в частности система изменения средней температуры образца). Эти вспомогательные системы в данной работе не рассматриваются.

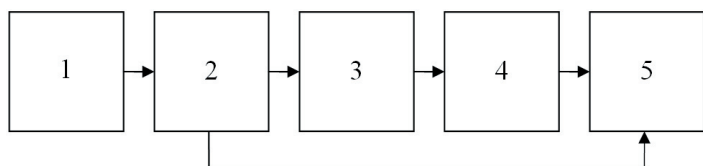


Рис. 2. Обобщенная блок-схема экспериментальной установки

В настоящее время существуют установки, в которых возбуждение температурных волн создается либо с помощью модулированного излучения оптических квантовых генераторов (ОКГ) – лазеров, либо с помощью модулированного электронного потока.

Рассмотрим в общих чертах конструкцию установок, использующих ОКГ для возбуждения температурной волны в плоскопараллельном образце [8]. Температурная волна может быть возбуждена при помощи импульсного лазера, однако такое решение сопряжено со значительными потерями точности.

В частности, из-за нестабильной величины мощности излучения в каждом из импульсов. Поэтому, наиболее надежным решением представляется использование непрерывного лазера и амплитудного модулятора. Рабочая частота (длина волны) излучения лазера должна быть такой, чтобы обеспечивалась развязка передающего и приемного каналов, т.е. чтобы излучение лазера не могло воздействовать непосредственно на преобразователь теплового сигнала в электрический (блок 4).

Модуляцию излучения ОКГ можно осуществить по гармоническому закону, однако при этом невозможна работа с коэффициентом модуляции, равным единице. Иными словами, в этом случае лазер функционирует неэффективно. Используя механические модуляторы можно создать импульсную модуляцию (меандр) с глубиной модуляции 100 %. Несмотря на то, что на образец воздействует тепловой поток, изменяющийся во времени скачкообразно (импульсно), полезная информация заключается в гармонической температурной волне, определяемой первой гармоникой модулирующей функции. Остальные гармоники в рамках линейного приближения распространяются независимо, и в дальнейшем отфильтровываются в процессе обработки полезного сигнала.

Исследуемый образец (блок 3) в данных установках может быть как проводником, так и изолятором, но он должен быть непрозрачен для излучения ОКГ. Кроме того, благодаря применению лазера, образец может находиться как в вакууме, так и в атмосфере благородных газов. Образец – пластина, расположенная перпендикулярно тепловому потоку. Толщина образца определяется соотношениями (5) и (17), и составляет величину от десятых долей мм до нескольких мм.

Преобразователь температуры в электрический сигнал (блок 4) в установках с лазерным возбуждением температурной волны может быть в принципе любого типа. Важно, чтобы он был безынерционным. Как правило, практически в установках используются либо фотодатчики, либо термопары, приваренные к образцу без спая [12].

Система обработки сигнала (блок 5) представляет собой квазиоптимальный измеритель параметров сигналов [8]. Его применение оправдано, поскольку реальные сигналы датчиков имеют малые амплитуды и маскируются значительными помехами, например, от работы нагревателя, изменяющего среднюю температуру образца. Подобные измерители могут быть реализованы как в аналоговой, так и в цифровой форме. В настоящее время, как правило, обработка сигналов осуществляется в ЭВМ. Для оценки параметров сигналов необходима информация о фазе колебаний теплового потока, воздействующего на первую поверхность образца. С этой целью в состав установки включается генератор опорного напряжения (блок 2).

Рассмотрим установку с электронным возбуждением температурной волны. Электронный нагрев представляет большой интерес из-за возможности сравнительно простого управления величиной мощности электронного потока, воздействующего на образец.



Исследуемый образец и катод (источник потока электронов), представляют собой вакуумный диод. Измерения проводятся в вакууме, а образец должен быть хорошим проводником, что необходимо для создания однородного теплового потока. В данной установке блоки 1 и 2 (рис. 2) объединены в один блок создания модулированного электронного потока и формирования опорного напряжения. В этой установке используется модуляция электронного потока двумя сигналами. При этом, во-первых, мощность электронного потока непрерывно возрастает, благодаря чему плавно повышается средняя температура образца. Во-вторых, мощность модулируется по синусоидальному закону, благодаря чему в образце возбуждается гармоническая температурная волна. Такой тепловой поток позволяет организовать измерения в режиме субсекундного нагрева [13], что в рассматриваемых условиях нагрева, осуществляемого в вакууме, существенно. Действительно, измерения в вакууме при высоких температурах сопровождаются сублимацией образца. Скорость сублимации невелика, поэтому, если измерение провести быстро, то масса и геометрические размеры образца останутся практически без изменения. По мнению авторов [13] таким методом можно измерить свойства образца при его плавлении и даже в жидкой фазе. В данной установке применяется фотоэлектрический датчик полезного сигнала (блок 4, рис. 2). Измерительная аппаратура (блок 5) представляет собой персональную ЭВМ. Усреднение сигнала при обработке происходит за один период (при динамическом методе сигнал не повторяется).

Скорость монотонного нарастания температуры в установке может изменяться от 0 до 100 К/с, а частота температурной волны может изменяться от 4 до 400 Гц. Измерения можно проводить в обычном (квазистатическом) и динамическом режимах. Толщины электропроводящих образцов составляют величины от десятых долей до примерно 1,5 мм. Рабочий диапазон температур составляет от 700 К до температуры плавления образца. Средняя квадратичная погрешность измерения теплопроводности равна примерно 2 – 3 %.

4. Конструкция установки, использующей излучение ОКГ. Источник информационного теплового потока - ОКГ (блок 1, рис. 2) (лазер) типа ЛГН-701, который создает непрерывное излучение на длине волны

10,6 мкм мощностью 50 – 80 Вт. Эффективный диаметр теплового потока составляет 7 – 8 мм. Модулятор (блок 2) представляет собой вращающийся диск с двумя отверстиями, на выходе которого излучение превращается в поток импульсов (меандр). Скорость вращения диска, а значит, и частота следования импульсов изменяются с помощью системы регулирования и стабилизации частоты вращения в диапазоне 1 – 100 Гц. Импульсы излучения через вакуумный оптический ввод попадают в вакуумную камеру и воздействуют на первую плоскую поверхность образца (блок 3).

Образец расположен перпендикулярно плоскости чертежа (рис. 2). Он представляет собой пластину с поперечным размером 12 – 15 мм и толщиной в диапазоне 0,3 – 3 мм. Вакуумная камера снабжена системой вакуумных насосов и подачи благородного газа.

Вакуумными насосами создается разряжение до 10-5 Па. Благородный газ (гелий или аргон) запускается с избыточным давлением 105 Па. Вакуумная камера снабжена нагревателем, который представляет собой электрическую печь сопротивления, позволяющую нагревать образец до температуры 2300 К.

Колебания центральной области второй поверхности образца при помощи фотодатчика или термопары (блок 4) превращаются в электрический сигнал. Термопара типа ВР 5/20, используемая в качестве датчика температуры, изготавливается из проводников диаметром 50 мкм и приваривается ко второй поверхности образца без спаивания [12]. Амплитуда температурной волны не превышает 1 К. Электрический сигнал фотодатчика (или термопарного датчика) поступает в устройство обработки сигнала и расчета теплофизических характеристик (блок 5).

Работа модулятора (блок 2) жестко связана с функционированием генератора опорного напряжения (ГОН). В качестве опорного напряжения используется поток импульсов, которые формируются по одному за каждый оборот вала модулятора. Опорное напряжение несет информацию о фазе теплового потока, воздействующего на первую поверхность образца.

Устройство обработки сигнала и расчета теплофизических характеристик (блок 5) представляет собой нормирующий усилитель, аналого-цифровой преобразователь и персональную ЭВМ, которая производит расчет амплитуды и фазы полезного сигнала в соответствии с квазиоптимальными алгоритмами.

Нормирующий усилитель имеет в своем составе режекторный фильтр, подавляющий помеху, действующую на частоте 50 Гц. Квазиоптимальные алгоритмы представляют собой преобразования Фурье, и позволяют определить параметры сигналов в условиях действия значительных помех. Затем в ЭВМ происходит расчет теплофизических характеристик образца. На данной установке производится, как правило, измерение теплопроводности и относительной теплоемкости. Измерения абсолютной теплоемкости не выполняются из-за большой погрешности, с которой может быть оценена величина теплового потока, поглощенного образцом. Установка обеспечивают измерение теплофизических свойств твердых, непрозрачных для излучения лазера веществ в диапазоне температур от 300 до 2300 К. Теплопроводность измеряется с общей погрешностью 2 %, а относительная теплоемкость –

3,2 % (приведены средние квадратичные значения).

Заключение. Метод температурных волн – основа построения прецизионных измерительных систем, обеспечивающих исследование теплопроводности и теплоемкости. Как видно из представленной работы, возможности этого метода достаточно широки. Его можно использовать в диапазоне самых высоких температур, где по уровню методической проработки этому методу нет равных. Исследования методом температурных волн можно проводить на образцах малых размеров. Для этого метода существуют интересные приложения и в области низких температур.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 11-08-00275.



Литература

1. Платунов Е. С. Теплофизические измерения [Текст] : учеб. пособие для вузов / Е. С. Платунов, И. В. Баранов, С. Е. Буравой, В. В. Курепин ; под общ. ред. Е. С. Платунова. – СПб.: СПбГУНИПТ, 2010. – 738 с.
2. Пономарев С. В. Теоретические и практические основы теплофизических измерений [Текст] / С. В. Пономарев, С. В. Мищенко, А. Г. Дивин, В.А. Вертоградский, А. А. Чуриков; под общ. ред. Пономарева С. В. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 408 с.
3. Лыков А. В. Теория теплопроводности [Текст] / А. В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.
4. Михеев М. А. Основы теплопередачи [Текст] / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.
5. Краев О. А. Температуропроводность и теплопроводность металлов при высоких температурах [Текст] / В кн.: Исследования при высоких температурах / О. А. Краев, А. А. Стельмах. – Новосибирск: Наука, 1966. С. 55 – 74.
6. Филиппов Л. П. Измерение тепловых свойств твердых и жидких металлов при высоких температурах [Текст] / Л. П. Филиппов. – М.: Изд-во МГУ, 1967. – 325 с.
7. Филиппов Л. П. Измерения теплофизических свойств веществ методом периодического нагрева [Текст] / Л. П. Филиппов. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 104 с.
8. Ивлиев А. Д. Метод температурных волн в теплофизических исследованиях [Текст] / А. Д. Ивлиев // Теплофизика высоких температур. – 2009. – Т. 47. – № 5. – С. 771 – 792.
9. Поздеев А. Н. Учет размеров плоского образца и теплового потока в методе периодического нагрева. Измерение температуропроводности [Текст] / А. Н. Поздеев, А. Д. Ивлиев, А. А. Куриченко, Л. В. Морилова. – Минск, 1987. 20 с. – Деп. в ВИНТИ 11.12.86, № 8482-В86 // ИФЖ. – 1987. – Т. 52. – № 5. – С. 856.
10. Мориллов В. В. Учет размеров плоского образца и теплового потока в методе периодического нагрева. Измерение теплоемкости [Текст] / В. В. Мориллов, А. Д. Ивлиев, А. Н. Поздеев, А. А. Куриченко // ИФЖ. – 1990. – Т. 59. – № 2. – С. 266 – 269.
11. А. с. 1603271 СССР, ГО 1 № 25/18. Способ измерения коэффициента температуропроводности материалов [Текст] / А. Д. Ивлиев, А. А. Куриченко, А. Н. Поздеев, В. В. Мориллов // БИ, 1990. № 40. 6 с.
12. Кулаков М. В. Измерение температуры поверхности твердых тел [Текст] / М. В. Кулаков, Б. И. Макаров. – М.: Энергия, 1979. – 96 с.
13. Горбатов В. И. Измерение температуропроводности в режиме субсекундного нагрева. Расчет динамической поправки [Текст] / В. И. Горбатов, С. А. Ильных, С. Г. Талуц, В. Е. Зиновьев // ИФЖ. – 1988. – Т. 55. № 3. – С. 485 – 490.

ДВА СПОСОБА ЭЛИМИНИРОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЧЕРНОТЫ

Захаренко Владимир Андреевич -

зав.кафедрой «Технология электронной аппаратуры», к.т.н., профессор,

Кликушин Юрий Николаевич - д.т.н., профессор

Пономарёв Д.Б.

Омский государственный технический университет

В пирометрии проблема измерения действительной температуры при неизвестной и изменяющейся излучательной способности поверхности контроля является одной из основных.

В настоящей работе предложены технические решения, позволяющие элиминировать неопределённость при пирометрическом измерении температуры, связанную с изменениями коэффициентов черноты.

Эта задача решается за счёт применения в электрической схеме пирометра измерительной известной схемы со следящим уравниванием. В такой схеме приёмник излучения пирометра служит средством для сравнения двух лучистых потоков, попадающих на его чувствительную к излучению поверхность от двух источников: одного с измеряемой радиационной температурой (объекта контроля), второго с поверхностью излучения идентичной поверхности излучения объекта контроля (калибратора). При этом нагрев поверхности излучения калибратора производится за счёт тока уравнивания по цепи отрицательной обратной связи до такой температуры, при которой лучистые потоки от контролируемой поверхности и от калибратора выравниваются. Таким образом обеспечивается равенство температур излучения поверхностей объекта контроля и калибратора

Функциональная схема пирометра со встроенным калибратором приведена на рис.1. Излучение от объекта ТК 1, через объектив 2, диафрагму 3 модулятора 4 с отверстиями 5 и 6, попадает на приёмник излучения 7, пирометр содержит также автономный источник теплового излучения 8 с калиброванной поверхностью 9, усилитель 10, контактный термометр 11.

Устройство работает следующим образом. Изображение источника излучения (объекта контроля) 1 с помощью объектива 2 создается в плоскости отверстия 5 диафрагмы 3 модулятора 4, расположенной перед приёмником излучения 7. На приёмник излучения 7 через дополнительное отверстие 6 диафрагмы 3 направлен поток, исходящий также от автономного источника теплового излучения 8 с поверхностью 9, идентичной поверхности объекта контроля. Диафрагма 3 модулятора 4 поочередно перекрывает эти потоки, в результате чего на приёмник излучения 7 поочередно поступает то поток излучения Φ_1 от источника излучения (объекта контроля) 1, то поток излучения Φ_2 от автономного источника теплового излучения 8 с идентичной поверхностью 9.

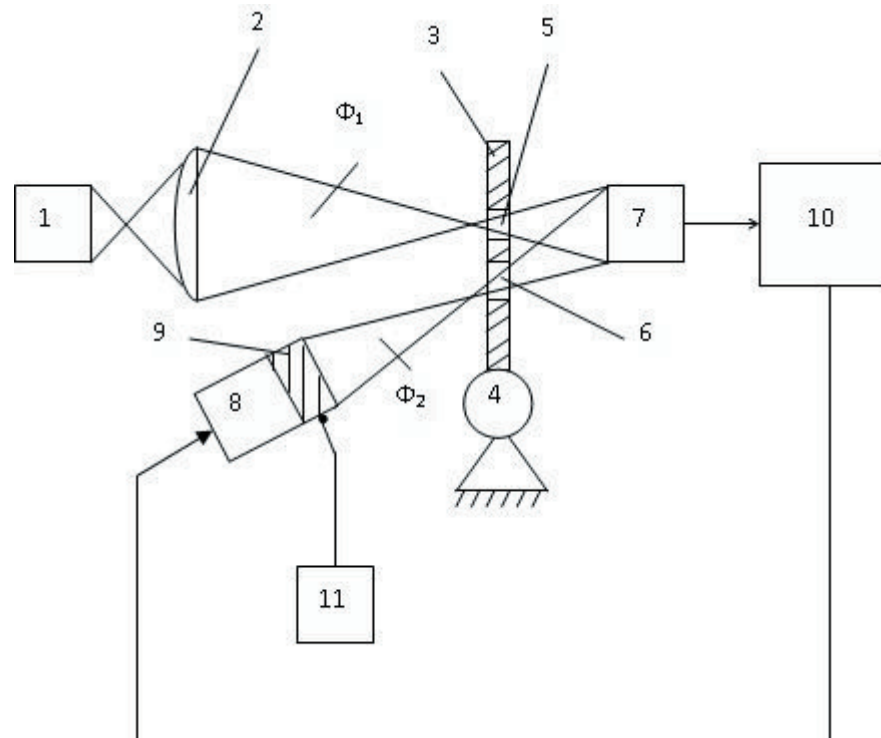


Рис. 1 Функциональная схема пирометра с калибратором

В результате, при неравенстве этих потоков в цепи приемника излучения 7 возникает переменная составляющая фототока, амплитуда которой будет пропорциональна разности облучений приемника излучения обоими источниками излучения. Переменная составляющая фототока интенсифицируется усилителем 10, к выходу которого подключен автономный источник теплового излучения 8 с заменяемыми образцами фрагментов поверхностей излучения 9 идентичных поверхности объекта контроля. Таким образом, в цепи автономного источника теплового излучения 8 ток, а следовательно и температура излучающей поверхности 9, меняется до тех пор, пока на приёмнике излучения не уравниваются потоки Φ_1 от поверхности объекта контроля 1 и Φ_2 от излучающей поверхности 9 автономного источника теплового излучения 8 и пока переменная составляющая фототока вследствие этого не обратится в ноль. В соответствии с законом Стефана-Больцмана потоки Φ_1 и Φ_2 определяются зависимостями (1) и (2).

$$\Phi_1 = \sigma \cdot \epsilon_1 \cdot T_1^4 \cdot A \quad (1)$$

где T_1 — температура излучающей поверхности объекта контроля 1, К;

σ — постоянная Стефана-Больцмана, (5,6697±0,0029)·10⁻¹² Вт/(м²·К⁴);

ϵ_1 — коэффициент черноты нагретой поверхности объекта контроля 1;

A — геометрический параметр визируемой оптической схемой пирометра площади нагретой поверхности, м².

$$\Phi_2 = \sigma \cdot \epsilon_2 \cdot T_2^4 \cdot A \quad (2)$$

где T_2 — температура излучающей поверхности 9 автономного источника теплового излучения 8, К; ϵ_2 — коэффициент черноты излучающей поверхности 9 дополнительного автономного источника теплового излучения 8.

Так как поверхность излучения объекта контроля 1 и излучающая поверхность 9 автономного источника теплового излучения 8 идентичны, то и коэффициенты черноты ϵ_1 и ϵ_2 равны. В этом случае, при равенстве потоков Φ_1 и Φ_2

$$\sigma \cdot \epsilon_1 \cdot T_1^4 \cdot A = \sigma \cdot \epsilon_2 \cdot T_2^4 \cdot A$$

$$\epsilon_1 \cdot T_1^4 = \epsilon_2 \cdot T_2^4$$

$$T_1 = \sqrt[4]{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}} \cdot T_2 = T_2 \quad (3)$$

Таким образом, температура излучающей поверхности объекта контроля 1 однозначно равняется температуре заменяемого образца фрагмента излучающей поверхности излучения 9 автономного источника теплового излучения 8. Измерение температуры заменяемого образца фрагмента излучающей поверхности излучения 9 автономного источника теплового излучения 8 производится контактным термометром 11.

Второй способ элиминирования относится к пирометрии спектральных отношений и заключается в следующем:

Исследования и анализ характеристик фотодиодных ПИ, а так же анализ литературных источников позволили предложить новое техническое решение по использованию фотодиодов в качестве 2-х спектральных приёмников. Предложение основано на изменении спектральной чувствительности ФД при изменении напряжения на р-п-переходе. Из классических представлений физики работы р-п-перехода известно, что с увеличением обратного напряжения, приложенного к диоду, растёт ширина области объёмного заряда, высота потенциального барьера и увеличивается ширина р-п-перехода. Для фотодиодов, включённых в фотодиодном режиме это приводит к увеличению коэффициента собирания γ , который учитывает ту часть, генерированных потоком облучения неравновесных носителей заряда, которая разделяется р-п-переходом и в конечном итоге создаёт фототок.

На рис. 2 по литературным данным представлен пример изменений спектральной чувствительности кремниевое ФД при изменении приложенного обратного напряжения.

Представленные рассуждения и пример позволили предложить простое и практическое решение по реализации 2-х спектральных приёмников на базе одного фотодиода путём переключения фотодиода из фотогальванического режима в режиме короткого замыкания, когда напряжение на р-п-переходе равно "0", в фотодиодный режим с максимально допустимым обратным напряжением.

I/Φ , мкА/мВт

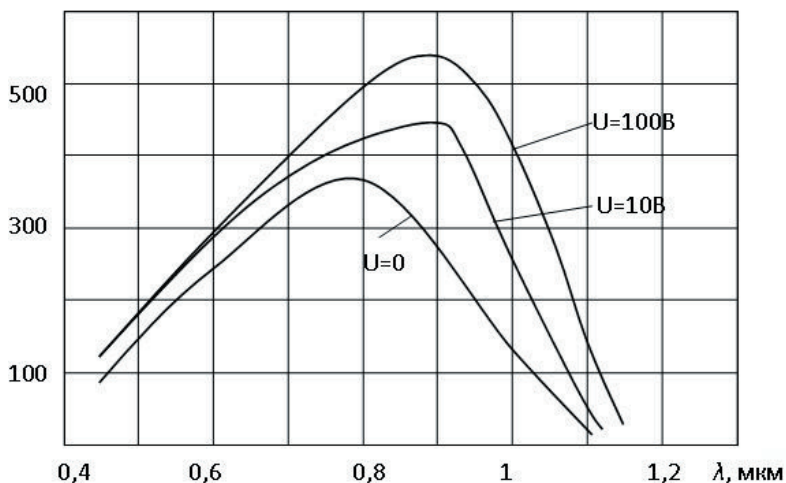


Рис.2. Изменения спектральной чувствительности кремниевое ФД при изменении приложенного обратного напряжения

При помощи электронной схемы включения ФД, приведённой на рис. 3 был исследован кремниевый ФД типа ФД256. При замыкании ключа S1 и ключа S2 в положение 2 при разомкнутом ключе S3 фотодиод в режиме короткого замыкания подключается к преобразователю ток-напряжения, выполненном на операционном усилителе ОУ1.



. При размыкании ключа S1, замыкании ключа S3 и подключении к фотодиоду ключом S2 в положении 2 внешнего источника обратного напряжения +Eп фотодиод переводится в режим фотодиодного включения, а операционный усилитель ОУ1 переводится в режим повторителя напряжения с большим входным сопротивлением.

Изменения выходного напряжения при облучении ФД от источника излучения типа модели АЧТ измеряются через буферный усилитель на операционном усилителе ОУ2 вольтметром V

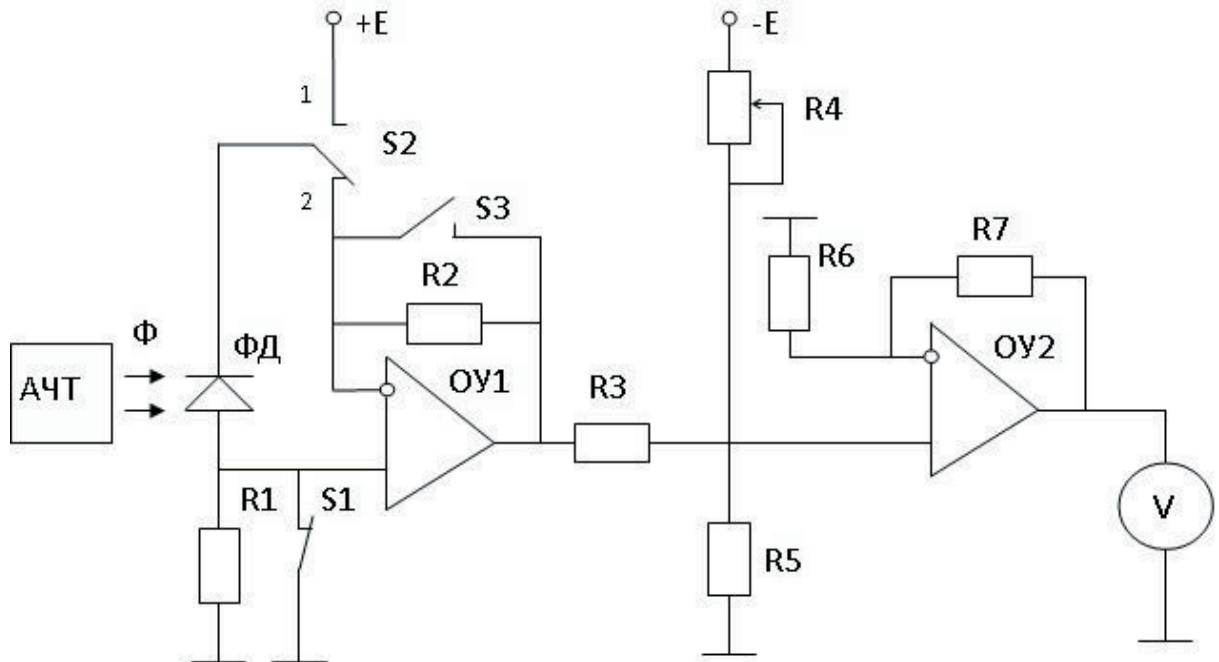


Рис. 3 Электронная схема включения ФД для экспериментальных исследований двухспектральных режимов

На рис 4 приведены экспериментальные зависимости выходных сигналов схемы для фотодиодного с обратным напряжением 12В и фотогальванического включения в режиме К3 при изменении температуры полости АЧТ от 800 до 1000 °С.

На рис 5 приведён график отношений напряжений в режиме К3 к напряжениям в фотодиодном режиме, из которого видно, что это отношение зависит от температуры полости источника излучения.

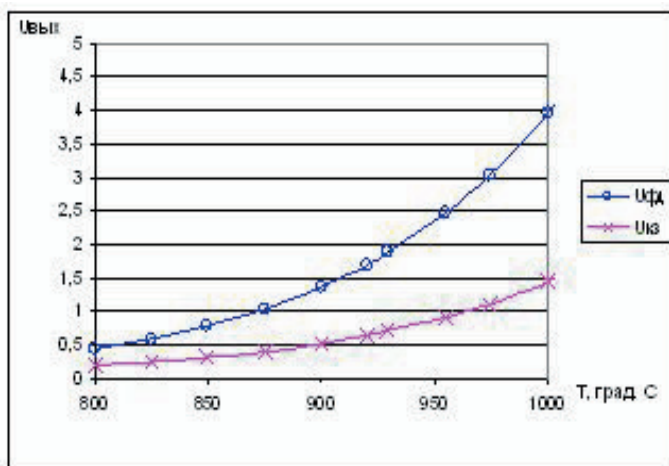


Рис. 4 Выходные сигналы при фотодиодном включении и в режиме

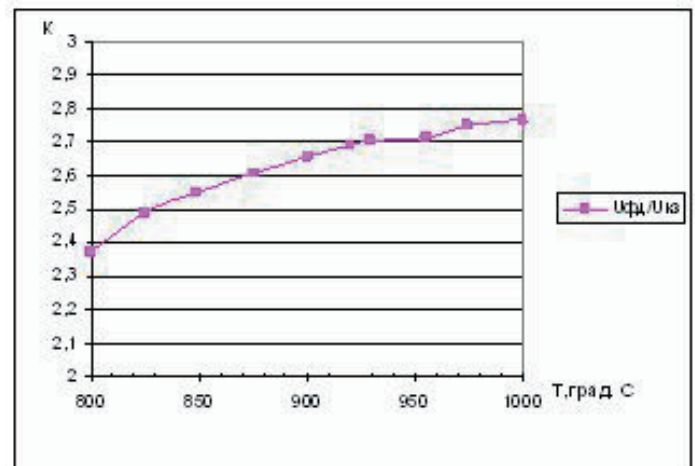


Рис 5 График отношений напряжений в режиме К3 к напряжениям в фотодиодном режиме



На рис. 6 приведены результаты исследований влияния поглощения промежуточной среды на выходные сигналы ФД при различных режимах их включения и установке между излучателем и ФД металлических сеток с ячейками диаметром 0,5 мм.

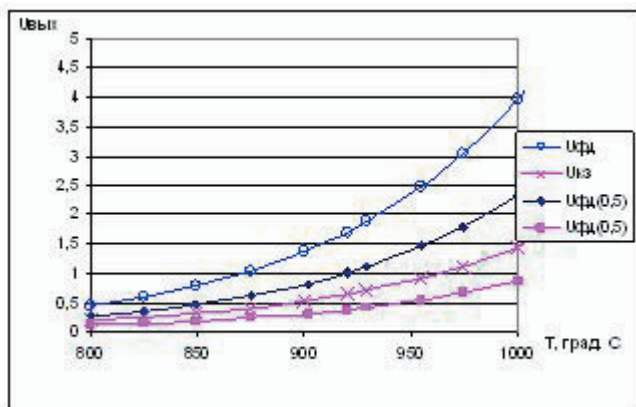


Рис. 6 Результаты экспериментальных исследований влияния поглощения промежуточной среды на выходные сигналы ФД

На рис. 7 приведены зависимости отношений этих выходных сигналов при тех же условиях эксперимента.

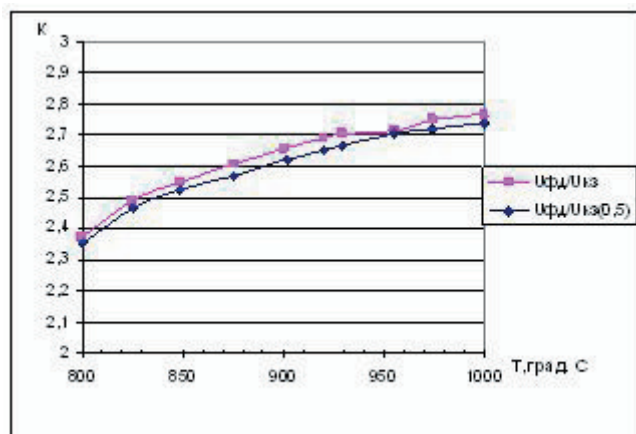


Рис. 7 Зависимости отношений выходных сигналов с промежуточной средой поглощения и без неё

Из результатов этих экспериментальных исследований сделан вывод, что создание промежуточной среды в виде сеток с ячейками диаметром 0,5 мм между ПИ и излучателем в одноканальных измерениях приводит к изменениям выходных сигналов до 50%. В то время как относительная погрешность зависимости отношения выходных сигналов при реализации разных спектральных чувствительностей у ФД предложенным способом не превышает 1%.

На рис. 8 приведены зависимости $u_{фд}=f(T)$ и $u_{кз}=f(T)$ для лантановой излучающей поверхности, для которой относительно излучателя типа модели АЧТ экспериментально был установлен эффективный коэффициент излучения $\epsilon_{эф}=0,8$, которому соответствуют приведённые на рис. 8 зависимости.

Как видно из экспериментальных кривых, приведённых на рис.9, коэффициент черноты практически элиминируется (погрешность измерений относительно модели АЧТ не превышает 1%).

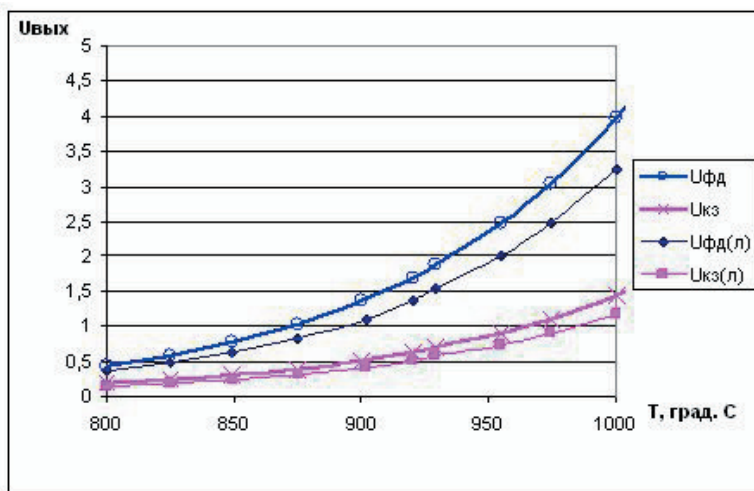


Рис. 8 Результаты экспериментальных исследований влияния коэффициента черноты на выходные сигналы для лантановой излучающей поверхности

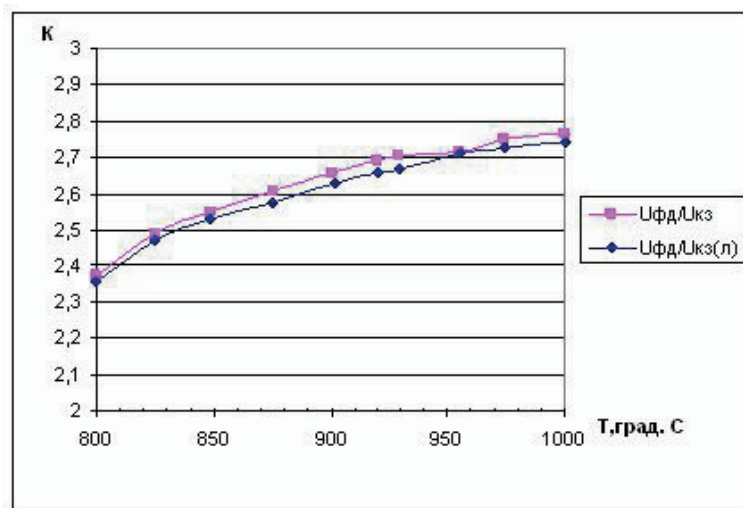


Рис.9. Результаты экспериментальных исследований влияния коэффициента черноты на отношение сигналов для лантановой излучающей поверхности



СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Захаренко Владимир Андреевич - зав.кафедрой «Технология электронной аппаратуры», к.т.н., профессор, Кликушин Юрий Николаевич - д.т.н., профессор Омский государственный технический университет

Аннотация. Предлагается способ измерения температуры, в котором нелинейная ранговая характеристика МТШ-90 хранится в аналитической форме внутри прибора и используется для генерации дополнительных, отсчетов виртуальных реперных точек.

Ключевые слова: аналитическая модель, виртуальная температура, измерение, интерполяция, линейаризация, МТШ-90, температурная шкала.

Abstract. Provides a method of measuring temperature in which the nonlinear characteristics of the rank ITS-90 is stored in an analytical form inside the device and used to generate additional, virtual samples of reference points.

Keywords: analytical model, the virtual temperature measurement, interpolation, linearization, ITS-90, temperature scale.

Результаты данной работы являются продолжением идеи, изложенной в основополагающей статье [1], где было показано, что нелинейная МТШ-90 не является принципиальным препятствием для создания широкодиапазонных и линейных систем измерения температуры.

Предлагается способ измерения температуры, в котором нелинейная ранговая характеристика МТШ-90 хранится в аналитической форме внутри прибора и используется для генерации дополнительных, отсчетов виртуальных реперных точек. На рис. 1 показаны следующие компоненты прибора, реализующего данный способ:

- МТШ-90, в виде таблицы, где указаны также параметры выходной характеристики (виртуальные ранги, показания, погрешности интерполяции);

- Аналитическая модель МТШ-90 в виде ранговой характеристики

$$Y = A + \frac{B}{1 + \left(\frac{X-C}{D}\right)^2}, A = -81,52; B = 1462,3; C = 16,5; D = 3,87$$

- Структурная схема интерполятора разvertyвающего преобразования, в котором хранится аналитическая модель МТШ-90;

- Программный код интерполятора, выполненного в среде LabVIEW и работающего в режиме преобразования рангов;

- Вид ранговой передаточной функции $Ry = F(Rx)$ интерполятора. При этом ранги (или порядковые номера МТШ-90) имеют целочисленные, а виртуальные ранги сгенерированной температурной шкалы – нецелочисленные значения.

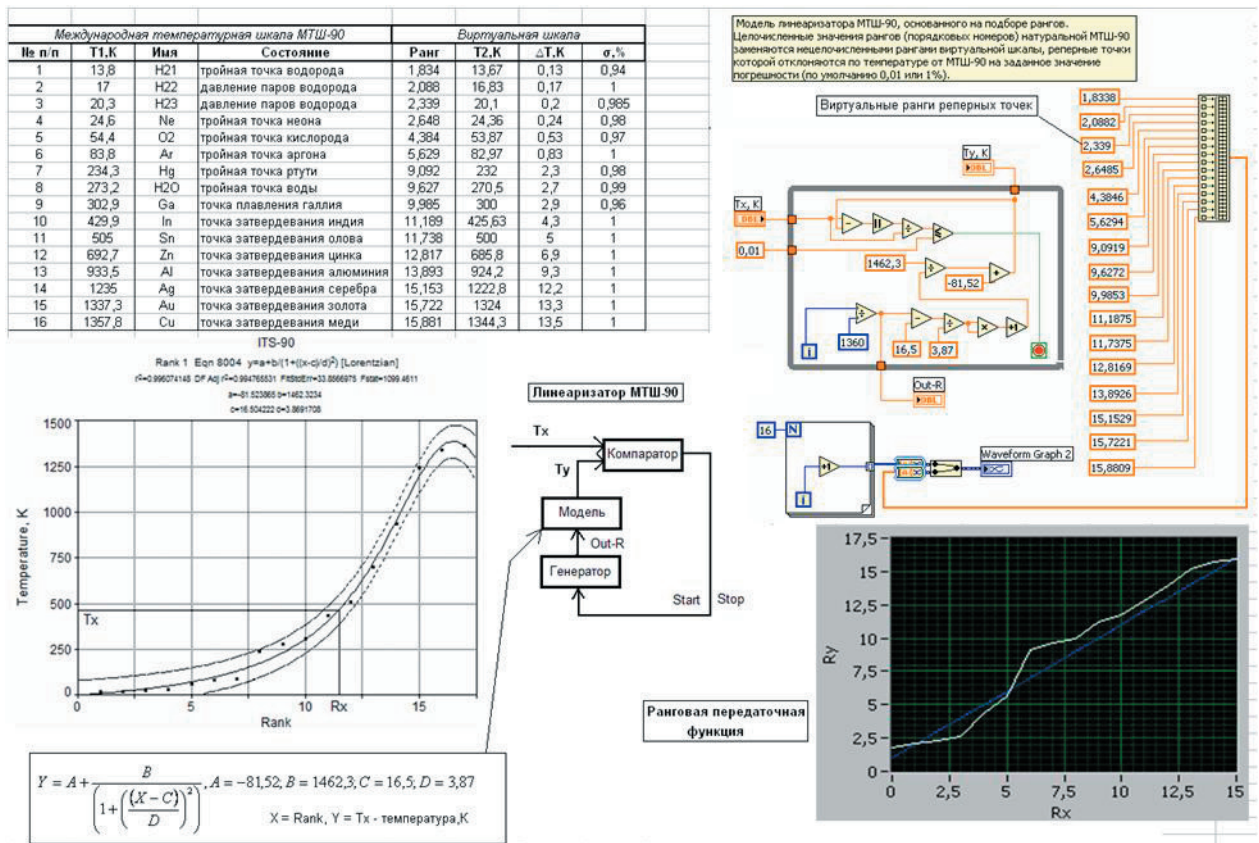


Рис. 1. Основные компоненты, поясняющие принцип работы линеаризатора с подбором рангов

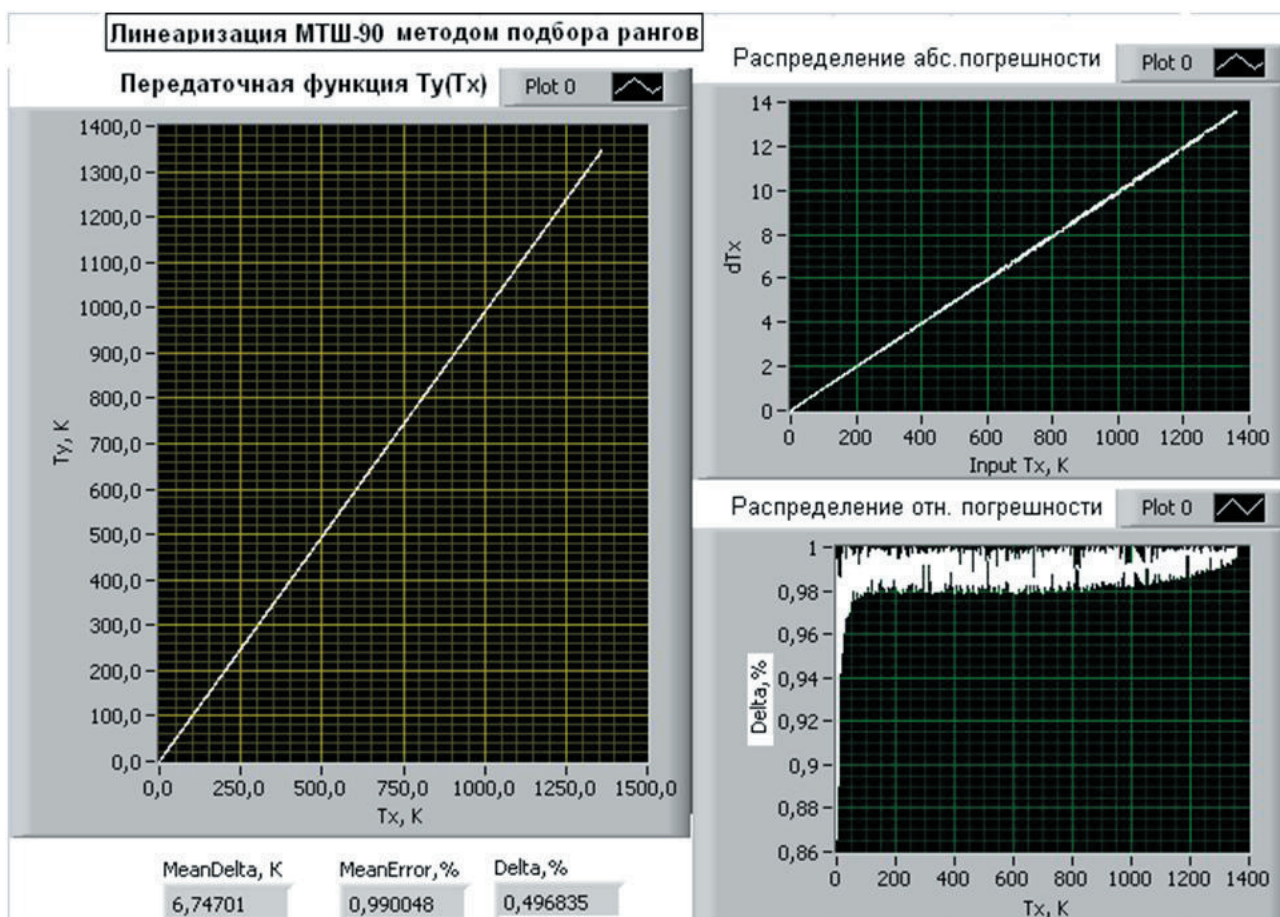
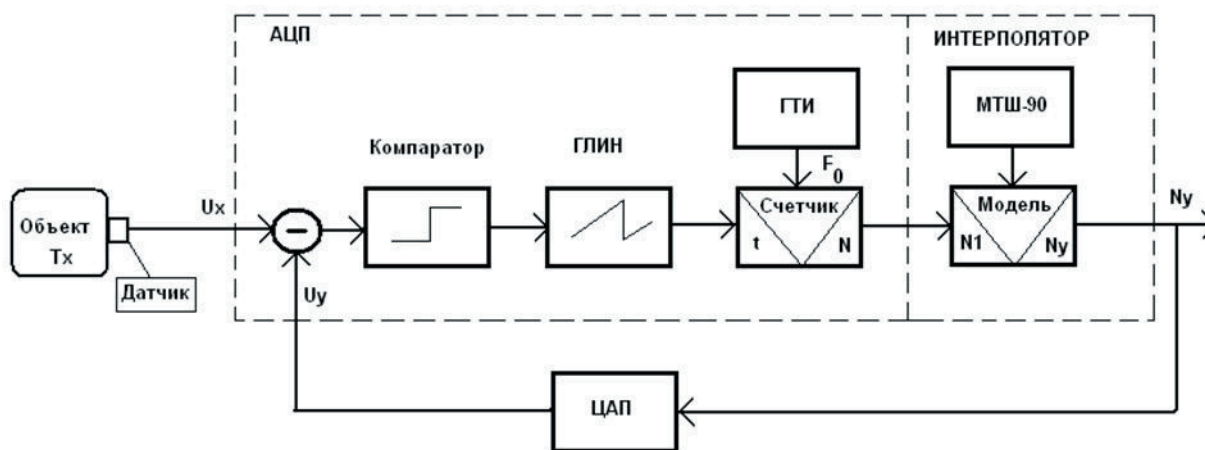


Рис. 2. Характеристики линеаризатора

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ИЗМЕРИТЕЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СО ВСТРОЕННОЙ МТШ-90



На рис. 3 изображена структурная схема микропроцессорного прибора, реализующего предлагаемый способ. МТШ-90 в виде таблицы и ее аналитическая модель хранятся в ПЗУ цифрового интерполятора. Предельная разрешающая способность по температуре зависит от разрядности счетчика импульсов АЦП развертывающего преобразования. В условиях равновесия $U_x = U_y$ и выходной код N_y прибора прямо пропорционален температуре объекта

Практическое значение данного способа состоит в возможности реализации на его основе линейных и широкодиапазонных микроконтроллерных измерителей температуры. Наличие встроенной (виртуальной) МТШ-90 позволяет существенно упростить процедуры поверки и метрологической аттестации подобных приборов и адаптацию по диапазону и погрешности измерения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горшенков А.А., Захаренко В.А., Кликушин Ю.Н., Орлов С.А. Системный подход к описанию свойств МТШ-90. – М.: Измерительная техника, № 8, 2011, с. 34-38.



СИСТЕМА ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ГАЗПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ

Голубков К.Ю., Шишкин С.И., Осокин А.Б.

Инженерно-технический центр ООО «Газпром добыча Надым»

Область хозяйствования и газопромысловые объекты ООО «Газпром добыча Надым» находятся на территории севера Западной Сибири с характерным сплошным и массивно-островным распространением многолетнемерзлых пород. Такие условия предъявляют особые требования к проектированию, строительству и эксплуатации объектов добычи, подготовки и транспорта природного газа.

Указанные газопромысловые объекты представляют собой сложные геотехнические системы (ГТС), взаимосвязано включающие в себя природно-геологическую и техническую (конструкция-фундамент-основание) подсистемы. Надежность газопромысловых объектов напрямую определяется устойчивостью положения соответствующих ГТС в пространстве допустимых состояний.

По опыту эксплуатации газопромысловых объектов неадекватные проектные решения, некачественное строительство и нарушение условий эксплуатации приводят к нарушениям в природно-геологических подсистемах, и допускают изменение геокриологических условий в грунтах оснований. Во многих случаях это вызывает негативные изменения состояний технических подсистем, сопровождающиеся снижением несущей способности оснований, потерей устойчивости фундаментов, значительными деформациями конструкций, снижением прочностной надежности и аварийными ситуациями.

С целью обеспечения эксплуатационной надежности ответственных газопромысловых объектов Инженерно-технического центра ООО «Газпром добыча Надым» (в прошлом НТЦ ООО «Надымгазпром») с 1988 г. на постоянной основе развернута система геотехнического мониторинга (ГТМ). Здесь получен первый опыт широкомасштабного геотехнического мониторинга промышленных и гражданских объектов на севере Западной Сибири. Почти за двадцатилетний период научно-производственной деятельности разработаны концепция, методические основы и внедрена технология системы ГТМ [1].

Разработанная система ГТМ позволяет контролировать состояние соответствующих ГТС на всех стадиях их жизненного цикла, включая стадии технико-экономического обоснования, проектирования, строительства, эксплуатации и ликвидации

Под контроль взяты ответственные и потенциально опасные объекты трех действующих и трех обустраиваемых (п-ов Ямал) месторождений плюс объекты городской инфраструктуры. В их числе здания, оборудование, трубопроводные обвязки и технологические коммуникации ДКС, УКПГ; обвязки газовых скважин; крановые узлы, надземные переходы газопроводов подключения, газосборных коллекторов и шлейфов; резервуарные парки. Сеть ГТМ содержит порядка тридцати тысяч геодезических марок, двух тысяч наблюдательных термометрических и гидрогеологических скважин.

Контроль состояния ГТС здесь понимается в широком смысле, и подразумевает диагностику, прогноз и управление, в основу которых положены инструментальные измерения, математический анализ параметров состояния, моделирование теплового и механического взаимодействия элементов ГТС. Ввиду высокой степени сложности ГТС газопромысловых объектов для анализа их текущего и прогнозного состояния применяется численное моделирование.

С использованием результатов режимных термометрических измерений выполняется моделирование параметров теплообмена и геокриологический прогноз состояния грунтов оснований [2, 3]. Методика моделирования параметров теплообмена и геокриологического прогноза путем численного решения краевой задачи двумерного неоднородного уравнения теплопроводности в анизотропной среде с подвижными фазовыми границами.

Режимные геодезические измерения позволяют определять изменение геометрического положения, характер механического взаимодействия и уровень напряженно-деформированного состояния элементов конструкций [4].

В настоящее время в инженерных кругах все чаще звучит мнение о том, что наиболее эффективными методами определения и исследования состояния физически сложных объектов являются численные методы, использующие подробные расчетные модели, учитывающие большое количество свойств элементов, а также физические и механические особенности их взаимодействия. Авторы разделяют это мнение, и для моделирования теплового и механического состояния ГТС используют методы конечных элементов, суперэлементов и конечно-разностные методы, в том числе реализованные в сертифицированных программах.

Построение расчетных моделей действующих объектов по сути дела является этапом реверс инжиниринга, когда необходимо перейти от реальной структуры к ее модели. При этом свойства модели нужно назначить таким образом, чтобы ее поведение повторяло поведение реального прототипа в реальных условиях. Эта задача является существенно более сложной по сравнению с моделированием в процессе конструирования и проектирования.

Для решения такого рода задач авторами разработан и успешно применяется ряд методик. Разработана методика построения и анализа расчетных моделей разветвленных трубопроводных систем и обвязок газопромысловых объектов, с учетом реальных условий эксплуатации.

Выполняемое численное моделирование теплового и механического взаимодействия позволяет делать выводы о допустимости и уровне опасности состояния ГТС, выявлять область допустимых по надежности состояний, назначать критерии экспресс оценки состояния, указывающие на необходимость проведения расширенного диагностического обследования. Кроме того, указанный подход позволяет принимать управляющие решения и проверять их адекватность и эффективность по стабилизации ГТС в области допустимых состояний



Следует отметить, что разработанная технология ГТМ эффективна уже на стадии проектирования, и это подтверждено практикой. Здесь она дает наибольший эффект, исчисляющийся непонесенными затратами и потерями. Именно на этой стадии анализ проектных решений позволяет выявить потенциальные проблемы и разработать потребный регламент ГТМ для обеспечения устойчивости проектируемых ГТС.

На основании вышеизложенного можно подытожить: контроль состояния ГТС включает несколько обобщенных видов работ, содержание которых выглядит следующим образом.

1. Инженерно-геологические и -геотехнические изыскания и исследования:

- режимные наблюдения за состоянием грунтов оснований сооружений и прилегающих к ним территорий;

- прогноз изменений геокриологических условий под воздействием изменений (предполагаемых или уже совершившихся) природной среды (климат, почвенные покровы, грунтовые условия и т.п.), происходящие под влиянием как естественных, так и техногенных воздействий;

- разработка практических мероприятий по устранению опасных или нежелательных изменений инженерно-геологической среды как экстренного, так и долговременного характера.

2. Обследования состояния грунтов оснований зданий и сооружений, их строительных конструкций:

- режимные наблюдения за состоянием фундаментов и опорных конструкций, анализ их устойчивости;

- режимные наблюдения за деформациями конструкций и вибрацией оборудования;

- определение интенсивности напряженно-деформированного состояния конструкций и выявление сверхнормативно нагруженных участков;

- ранжирование степени риска эксплуатации сверхнормативно нагруженных конструкций;

- выявление участков ГТС, характеризующихся недопустимыми изменениями состояния;

- прогнозирование участков ГТС, в которых намечается развитие неблагоприятных процессов, могущих привести к возникновению недопустимых деформаций и напряжений;

- разработка практических мероприятий по ликвидации и профилактике недопустимых состояний ГТС: повышению эксплуатационной надежности фундаментов зданий, сооружений, оборудования и трубопроводов; оперативное оповещение служб эксплуатации о развитии недопустимых деформаций и их устранение.

С недавнего времени указанные виды работ дословно официально вошли в перечень основных и специальных видов инженерных изысканий, утвержденный постановлением правительства РФ [5]. Раскрытое выше содержание этих видов работ используется на практике и, как показал опыт, позволяет эффективно решать производственные задачи с целью обеспечения эксплуатационной надежности газопромысловых объектов.

Список литературы.

1. Березняков А.И., Грива Г.И., Кононов В.И., Попов А.П. Концепция организации комплексной системы геоэкологического мониторинга газопромысловых регионов в криолитозоне. Основные направления создания системы производственного экологического мониторинга РАО «Газпром», ее разработка и опытно-промышленное внедрение: Материалы Науч.-техн. совета ОАО «Газпром». - М.: ИРЦ Газпром, 1998.

2. Осокин А.Б., Грива Г.И., Березняков А.И., Попов А.П., Облеков Г.И. Мониторинг многолетнемерзлых грунтов оснований фундаментов сооружений в системе комплексного геоэкологического мониторинга объектов газодобычи в условиях Арктики. Природные ресурсы стран СНГ: Тез. докл. VI Горно-геологического Форума - СПб., 1998.

3. Смоллов Г.К. Современные методы прогноза теплового взаимодействия объектов газового комплекса с многолетнемерзлыми породами. Повышение эффективности освоения газовых месторождений крайнего Севера. Под ред. Р.И. Вяхирева. - М.: Наука, 1997.

4. Витченко А.С., Осокин А.Б., Коротеев П.С. Обобщенный коэффициент интенсивности деформаций трубопроводных обвязок ГПА ДКС и АВО газа – Информационный бюллетень ИТЦ «Оргтехдиагностика» №1-2/92, 2005, информация № 546, с. 8-11.

5. Постановление Правительства РФ «Об инженерных изысканиях для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства» (№ 20 от 19.01.2006 г.).



ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ АМПЛИТУДНЫЙ МОДУЛЯТОР ТЕПЛООВОГО (ОПТИЧЕСКОГО) ИЗУЧЕНИЯ (ТЕЗИСЫ)

Мешков В. В., Ивлиев А. Д.

ФГАОУ ВПО «Российский государственный профессионально-педагогический университет»

Россия, 620012, Екатеринбург, ул. Машиностроителей, 11

E-mail: ad_i@r66.ru

Температуропроводность и теплоемкость являются одними из важных теплофизических величин. Их измерение может осуществляться различными методами. В представленной измерительной установке используется метод температурных волн, обладающий высокими метрологическими характеристиками. Температурные волны в исследуемых образцах создаются модулированным излучением лазера.

Одним из источников погрешности подобных установок является модулятор теплового излучения. Во всех ранее созданных установках он представлял собой электромеханический амплитудный модулятор теплового излучения, с электрическим приводом от щеточного двигателя постоянного тока с аналоговой или цифровой системой управления.

Нами был разработан модулятор, в котором в качестве электропривода используется вентильный двигатель (безколлекторный двигатель постоянного тока или сервопривод; управление им осуществляется методом широтно-импульсной модуляции). Характеристики вентильных двигателей превосходят характеристики других типов двигателей.

Применение нового привода позволило повысить качество модуляции, произвести интенсификацию измерений за счет применения новой методики проведения эксперимента, а также автоматизацию процесса измерения.

Разработанный модулятор обладает следующими характеристиками:

- ~ частота модуляции, Гц: 1 – 100;
- ~ стабильность частоты: 0,1 %;
- ~ шаг регулировки частоты, Гц: 2/60;
- ~ max время перерегулирования с f_{min} на f_{max} и наоборот, с: 3;
- ~ возможность программного управления частотой модуляции;
- ~ увеличенный срок службы.

Модулятор может быть использован в других установках, где требуются глубокая с высокой точностью модуляция теплового или оптического излучения.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 11-08-00275.

ГРАДИЕНТНЫЕ ДАТЧИКИ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА (ТЕЗИСЫ)

С.З.Сапожников, В.Ю.Митяков, А.В.Митяков

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,

Политехническая ул., 29, Санкт-Петербург, 195251, РОССИЯ

В Санкт-Петербургском государственном политехническом университете создано новое поколение датчиков теплового потока с повышенной термостойкостью и быстродействием.

Мировой парк датчиков теплового потока весьма ограничен. Большинство образцов имеют постоянную времени от одной десятой секунды и выше, в то время как у наших датчиков она на 8 – 9 порядков меньше. По термостойкости датчики из природных монокристаллов не превосходят точки плавления (для висмута 271 градус Цельсия), но датчики на основе металлических и полупроводниковых композитов работоспособны до 1000 градусов Цельсия и выше. Конструкции датчиков защищены патентами РФ.

Датчики градуируются абсолютным способом с погрешностью не хуже 1%. Для высокотемпературных датчиков создан градуировочный стенд.

За последние 15 лет датчики были использованы в лабораторных и промышленных экспериментах на ОАО «Силловые машины» - «Электросила», ОАО «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И.Ползунова», на предприятиях ТЭК России, при выполнении исследовательских работ в Физико-техническом институте имени А.Ф.Иоффе РАН, Институте Турбостроения в Карлсруе (ФРГ) и в других организациях.

Градиентные датчики теплового потока могут найти широкое применение в таких областях, как геофизика, строительство, промышленная энергетика, теплофизика и других.

Контакты: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,

кафедра «Теоретические основы теплотехники», тел/факс: +7 812 5527773,

проф. Сергей Захарович Сапожников

serg.sapozhnikov@mail.ru, www.tot.spbstu.ru



СПОСОБЫ ОПЕРАТИВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПЛАВА МЕТАЛЛОВ ДЛЯ НУЖД МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Ведущий инженер ОАО НПП «Эталон» Кропачев Д.Ю.,
Заместитель генерального директора ОАО НПП «Эталон» Гришин А.А.,
Инженер ОАО НПП «Эталон» Масло А.Д.**

Развитие литейного производства машиностроительных предприятий неотъемлемо связано с их оснащением как технологическим оборудованием для производства плавки и литья различных марок металлов, так и оснащением современными приборами контроля качества выполнения технологических процессов плавки, с целью улучшения свойств выпускаемого металла.

Большая часть измерений приходится на долю контроля и регулирования температуры, как при плавке, так и при розливе металла.

На сегодняшний день в данном секторе металлургии широко используются переносные штанги со сменными одноразовыми пакетами платиновой группы различных конструкций, предназначенные для оперативных замеров температуры. Одним из основных недостатков данных устройств является очень короткий промежуток времени замера порядка 3..7 с при благоприятных условиях. Точность измерений температуры расплавленных металлов, в которых первичным звеном являются описанные выше одноразовые термопреобразователи, определяется сходимостью показаний термопреобразователя, погрешностью измерения и регистрации выходного сигнала датчика, методической погрешностью и, наконец, погрешностью градуировки.

Температура плавления большинства черных металлов лежит в диапазоне 1400...1700 °С. Для измерений температуры в данном диапазоне, как правило, используются термодпары платиновой группы ТПР (тип В) с диапазоном измеряемых температур 600...1800 °С и вольфрам-ренийевые ТВР (тип А) 1000...2500 °С. Следует отметить, что пределы допускаемых отклонений ТЭДС от НСХ 2 класса допуска для данных термопреобразователей согласно ГОСТ Р 8.585-2001 свыше 800 до 1800 °С рассчитываются по формулам:

$$\pm \Delta t = 0,0025 \times t, \text{ для ТПР}$$

$$\pm \Delta t = 0,005 \times t, \text{ для ТВР,}$$

где $\pm \Delta t$ – предел допускаемых отклонений термопреобразователя, °С;

t – измеряемая температура, °С.

Таким образом погрешность самого термопреобразователя при измерении температуры расплава черных металлов при 1600 °С составит ± 4 °С для ТПР, ± 8 °С для ТВР. Однако стоит отметить, что это при идеальных условиях измерения. Сюда не входит погрешность вторичного прибора, снимающего и преобразующего в температуру показания с термопреобразователя, а также методическая погрешность самого процесса измерения.

Исходя из этого, суммарная погрешность измерений расплава стали вышеописанным методом, как правило, составляет $\pm (6...20)$ °С для ТПР и $\pm (10...30)$ °С для ТВР и это в лучшем случае.

Авторами предлагается опробованный способ оперативного измерения температуры различных марок сталей, чугунов, а также цветных металлов, в основе которого лежит пирометрический метод измерений.

Однако вопросы достоверности результатов измерения температуры жидких металлов пирометрическим способом, связанные с задымленностью, наличием шлака на поверхности, изменяющимся коэффициентом излучательной способности зеркала расплавленного металла, никто не отменял. Инженерами предприятия предпринят ряд изобретательских решений, позволяющих устранить вышеперечисленные недостатки, и опробованы готовые решения на реальных промышленных объектах.

Для измерения температуры расплавов был разработан оптоволоконный пирометр

ПД-6, отличающийся от классических пирометров тем, что приемник ИК-излучения и блок обработки сигнала размещены с помощью высокотемпературного оптоволоконного кабеля, выдерживающего температуру до 200 °С. Таким образом, приемник ИК-излучения с оптоволоконным кабелем может находиться в зоне измерений с повышенной температурой и электромагнитными помехами, где другие электронные приборы выходят из строя.

Для устранения влияния коэффициента излучательной способности на показания пирометра ПД-6 в расплаве металла с помощью специального чехла формируются полость с коэффициентом излучательной способности близкой к модели АЧТ, что повышает точность измерений пирометрическим способом. Учитывая, что применяемый чехол предназначенный для измерения температуры стали оптически прозрачен в диапазоне от 300 до 2500 нм, пирометр фактически «смотрит» непосредственно сквозь прозрачный чехол на полость, образованную в расплаве металла. Благодаря данному решению существенно снижается время термической реакции измерений до 4...7 сек с момента погружения в расплав чехла. На рисунке 1 показан процесс измерения температуры расплава стали в индукционной печи с помощью одного из вариантов конструкции чехла. Процесс измерений длился около 30 с, хотя показания установились спустя 4..7 с после ввода чехла в расплав. Скорость ввода чехла в расплав не нормировалась.

В качестве контрольного датчика для замера использовался термоэлектрический преобразователь ТПР 5.182.004, помещенный в кварцевую пробирку. Разность показаний между ними не превысила 4 °С при измеряемой температуре 1586 °С. На рисунке 2 видно, что разрушение чехла в расплаве не произошло.

Разрушение происходит после замера, в момент остывания металла. При его наличии на поверхности чехла образовывается металлическая корка, которая и приводит к его разрушению.



Для удобства измерений расплава металла в индукционных печах инженерами предприятия конструкция была переработана и видоизменена (рисунок 3). Нужно отметить, что данная конструкция позволяет легко менять различные типы чехлов и использовать ее как для измерения черных, так и цветных металлов в диапазоне температур 400....1800 °С.

Данная конструкция также позволяет уменьшить финансовые затраты, связанные с износом классических датчиков температуры, так как при выходе из строя замене подлежит лишь съемный чехол, стоимость которого существенно ниже стоимости термоэлектрических преобразователей платиновой группы.



Рисунок 1



Рисунок 2

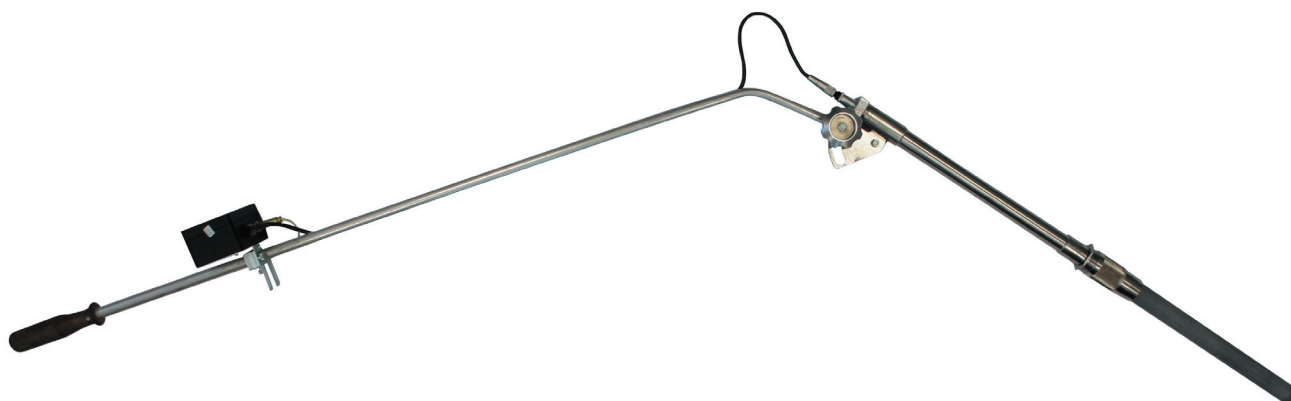


Рисунок 3



СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУР В ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ ДЛЯ НУЖД НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.

*Е.В. Амосова, Д.Ю. Кропачев (ОАО НПП «Эталон»)
Д.С. Паздерин (ООО НПО «Фундаментстройаркос»)*

Для безопасности функционирования объектов нефтегазового комплекса, а также строительства сооружений в северных районах России предложено осуществлять температурный мониторинг объектов с целью выявления и устранения аварийных участков в районах вечномерзлого грунта с помощью системы мониторинга температур.

Ключевые слова: криолитозона, многолетние изменения, мониторинг, температура грунтов, тренд, термокоса, контроллер, система.

Реализация национальных нефтегазовых проектов XXI века тесным образом связана с развитием новых крупных центров добычи углеводородного сырья и формированием новых систем магистрального трубопроводного транспорта газа, конденсата и нефти [1].

Безопасность функционирования объектов нефтегазового комплекса на территориях распространения многолетнемерзлых пород во многом определяется эффективностью систем мониторинга опасных геокриологических процессов, развитие которых связано как с природными факторами, так и с влиянием самих технических объектов. В зависимости от комплекса природных факторов, формирующих геокриологические условия, грунты могут находиться в многолетне- и сезонномерзлом, сезонноталом, талом и переохлажденном состояниях, а, следовательно, обладать различными прочностными и деформационными свойствами. К числу опасных трансформаций криогенных грунтов относится образование термокарста, термоэрозия, морозное пучение, растепление, заболачивание. Наиболее уязвимыми в этом отношении являются магистральные трубопроводы, поскольку подобные процессы приводят к изменению их положения, деформации и высокой вероятности возникновения аварийной ситуации [3].

Также существуют проблемы строительства и эксплуатации зданий, сооружений на вечномерзлых грунтах. Проблемы фундаментостроения в районах распространения вечномерзлых грунтов определяются особенностями инженерно-геокриологических условий площадок размещения газопромысловых сооружений. Для этого проводят геотехнический мониторинг, в состав которого входят наблюдения за температурным и гидрогеологическим режимом, состоянием грунтов оснований, несущей способностью и деформациями фундаментов, развитием опасных геологических процессов и экологической безопасностью прилегающей территории, прогноз и управляющие мероприятия, позволяющие обеспечивать надежность оснований и фундаментов сооружений [4].

Определение геотехнических свойств мерзлых грунтов имеет ряд особенностей:

- при определении температур грунтов в скважинах следует соблюдать режимы выстойки скважин после бурения и выстойки измерительной аппаратуры;

- для определения глубин сезонного оттаивания замеренные глубины оттаивания следует пересчитывать согласно ГОСТ 26262-84;

- отбор образцов и определение физических и механических свойств мерзлых грунтов должны осуществляться с учетом масштабного эффекта, вызванного наличием ледовых прослоев в мерзлом грунте [4].

Успешная реализация нефтегазовых и строительных проектов на территории распространения многолетнемерзлых пород обусловлена внедрением при проектировании и строительстве новых технологий и технических решений, которые не только должны обеспечивать надежность, устойчивость фундаментов и пространственную неизменность конструкций в процессе строительства и эксплуатации, но и гарантировать надёжную работу газодобывающих и газотранспортных систем, даже с учётом негативных сценариев возможного потепления климата планеты [1].

Интенсивное потепление климата, начавшееся во второй половине 1960-х – начале 1970-х гг., не было постоянным на всем севере России. В последние 18–20 лет на значительном числе метеостанций стали наблюдать слабые изменения климата, приостановку потепления и даже его похолодание. Современные изменения климата привели к формированию тенденций к повышению температуры грунтов на Севере [2].

Согласно комплексному анализу данных метеостанций и геокриологических стационаров, для севера России возможные изменения трендов температуры грунтов охватывают широкий диапазон – от 0,004 до 0,05 °С/год (средние для всего региона значения тренда составляют 0,03 °С/год) [2].

Высокие тренды потепления грунтов, так же как и воздуха, наблюдаются в центральной части Западной Сибири, в Якутии и на юге Красноярского края. Минимальные тренды изменения температуры воздуха и грунтов характерны для Европейского Севера, севера Средней Сибири и Колымской низменности [2].

В районах с высокотемпературными многолетнемерзлыми грунтами (юг Западной Сибири, Забайкалье, Приамурье) сильное потепление климата не приводит к синхронному формированию высоких трендов изменений среднегодовой температуры грунтов вследствие значительных затрат тепла на фазовые переходы при оттаивании [2].



В настоящее время широкий круг ученых-климатологов и геокриологов отмечает, что за последние 20-25 лет температура воздуха в области криолитозоны повысилась на 0,2-2,5 °С. Повышение температуры в верхних горизонтах мерзлых пород за этот период достигает 1,0-1,5 °С и распространяется до глубины 60-80 м. По различным оценкам, прогнозируемое повышение температуры воздуха на Севере в первой четверти XXI в. составит 1,0-2,0 °С и может достичь 3-4 °С к середине столетия. При таком потеплении климата произойдет существенное сокращение площади сплошных мерзлых пород в Северном полушарии и южная граница их распространения в Западной Сибири может отодвинуться на север на 200-500 км.

Можно сделать вывод, что изменение теплового баланса многолетнемерзлых пород под воздействием инженерных сооружений и глобального потепления климата стало, если уже не стало, одним из основных факторов, определяющих устойчивость инженерных сооружений.

Деградация мерзлых пород приведет к резким изменениям в условиях функционирования оснований и фундаментов, поскольку прочностные и деформационные свойства грунтов напрямую зависят от температуры.

В результате недостаточного учета особенностей геокриологических условий и их природных и техногенных изменений происходят многочисленные деформации сооружений, иногда даже аварийного характера.

В этом направлении, на наш взгляд, необходимо контролировать и управлять температурным режимом грунтов в процессе эксплуатации.

Отметим также, что одним из элементов комплексного проектирования в обязательном порядке является термостабилизация грунтов оснований. Системами термостабилизации грунтов оснований могут быть вентилируемое подполье, теплозащитные экраны, сезонно-действующие охлаждающие установки (горизонтального и вертикального типов), охлаждающие установки круглогодичного действия (горизонтального и вертикального типов).

Таким образом, одной из главных проблем успешного проектирования фундаментов является разработка и промышленное применение новых технических решений по контролю и управлению температурным режимом грунтов оснований.

В связи с этим ОАО НПП «Эталон» разработало систему мониторинга температур протяженных объектов.

Разработанная система мониторинга температур протяженных объектов предназначена для полевого определения температуры грунтов по ГОСТ 25358-82, где требуется получить данные о температуре мерзлых, промерзающих и протаивающих грунтов. А также может использоваться для измерений температур в строительстве, на любых сложных нелинейных объектах, в резервуарах с неагрессивными жидкостями.

Система мониторинга температур протяженных объектов позволяет повысить точность измерения и надежность, упростить существующие системы мониторинга температур, расширить области применения.

Тем самым разработчики ОАО НПП «Эталон» предприняли попытку устранить недостатки в известных системах мониторинга температур, таких как: усложненность, дороговизна и небольшая надежность, низкая герметичность, которая приводит к отказу устройств в условиях промышленной применимости.

Система мониторинга температур протяженных объектов состоит из датчика температуры многозонного цифрового МЦДТ 0922 (далее будем называть – термокоса) и контроллера цифровых датчиков (далее будем называть – контроллер), пример представлен на рисунке 1.

Термокоса, представленная на рисунке 2, предназначена для одновременного измерения температуры в нескольких точках протяженного объекта, в качестве которого может быть трубопровод, скважина в различных грунтах.

Термокоса представляет собой устройство для многозонного измерения температуры, которое содержит последовательно расположенные измерительные преобразователи (далее назовем – датчики температуры), каждый из которых размещен в отдельном защитном металлическом корпусе, и разъем для подключения к контроллеру. Датчики температуры соединены между собой гибким кабелем, преимуществом которого является возможность расширенного диапазона использования термокосы.

На сегодняшний день разрабатываются и изготавливаются различные варианты термокосы, что говорит о ее многообразии конструкций и особенностях.



Рис. 1 – Термокоса (МЦДТ 0922) с контроллером (ПКЦД-1/100)

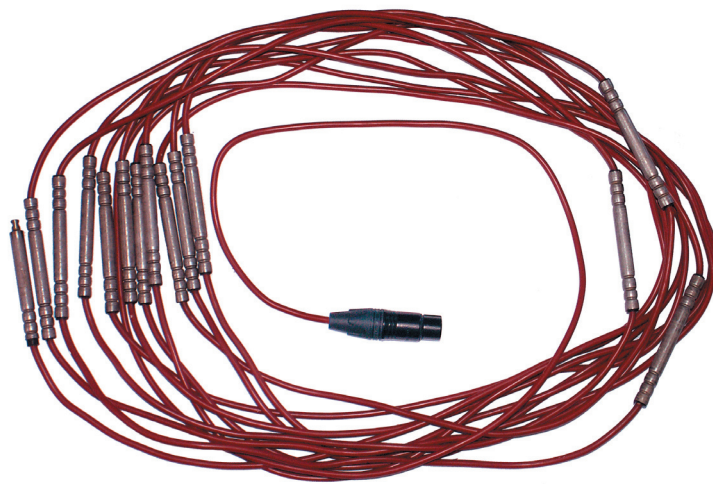


Рис. 2 – Термокоса (МЦДТ 0922)



Метрологические и технические характеристики МЦДТ 0922:

| | |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Основные технические данные: | |
| Диапазон измеряемых температур, °С | -50 ...+100 |
| Пределы абсолютной погрешности -50 ...-30, °С | $\pm(0,1+0,014(t -30))$ |
| Пределы абсолютной погрешности -30 ...+30, °С | $\pm 0,1$ |
| Пределы абсолютной погрешности +30 ...+100, °С | $\pm(0,1+0,014(t -30))$ |
| Показатель тепловой инерции, с, не более | 25 |
| Материал защитной арматуры: сталь | 12X18H10T |
| Корпус измерительного преобразователя | изолированный |
| Степень защиты от воздействия пыли и воды по ГОСТ 14254-96 | IP56 |
| Количество зон | от 3 до 250 |
| Общая длина, м | От 05, до 120 |
| Вид климатического исполнения | У1, У3, Т1, Т3 |
| Средняя наработка до отказа, ч, не менее | 36000 |
| Примечание t - абсолютное значение температуры, °С без учёта знака | |

Таким образом, одной из особенностей термокосы, расположенной в вертикальном положении, может быть наличие устройства для крепления груза на последнем датчике температуры, что обеспечивает выпрямление термокосы, или наличие армирующего элемента для длинных термокос, в качестве которого может использоваться трос.

Контроллер предназначен для считывания результатов измерения температуры с термокос.

ОАО НПП «Эталон» выпускает портативные и стационарные контроллеры.

Контроллер цифровых датчиков портативный ПКЦД (далее – ПКЦД) выпускается в двух исполнениях: ПКЦД-1/16, ПКЦД-1/100 – в зависимости от количества одновременно подключенных датчиков температуры и длины линии связи (рис. 3).

ПКЦД-1/16 может работать с сетями длиной до 25 м, объединяющих до 16-ти датчиков, и считывать результаты измерения от 3 до 60 секунд. Прибор может идентифицировать каждый цифровой датчик и расстояние до него [5].

В отличие от ПКЦД-1/16 контроллер ПКЦД-1/100 позволяет устойчиво считывать измерения с датчиков на расстоянии 100 метров и более, а также поддерживает от 1 до 100 датчиков в сети с интервалом опроса от 3 секунд до 10 минут. Связь с ПК можно осуществлять через COM-порт и посредством USB. При подключении к USB контроллер может работать без элемента питания [5].

ПКЦД представляет собой устройство, способное считывать, отображать, записывать и сохранять информацию во внутреннюю память. ПКЦД обеспечивает индикацию температуры объекта с разрешением 0,06 °С на жидкокристаллическом индикаторе с подсветкой, обеспечивает связь с IBM-совместимым компьютером. Просмотр содержимого в энергонезависимой памяти можно осуществить как на индикаторе контроллера, так и на компьютере в виде таблицы или графика. При подключении к ПК строятся температурные графики в режиме реального времени, выводятся ранее сохраненные результаты в виде таблиц. Для оформления отчетов возможен экспорт данных в Excel.



Рис. 3 – Контроллеры (ПКЦД-1/16 и ПКЦД-1/100)

Контроллер цифровых датчиков температуры стационарный СКЦД используется для объединения термокос в общую сеть с помощью интерфейса RS-485 и передачи данных о температуре с каждой термокосы посредством протокола Modbus на компьютер.

Система мониторинга температур протяженных объектов работает следующим образом.

Система мониторинга температур осуществляет в автоматическом режиме измерение температуры протяженных объектов на разных глубинах с определенным шагом при помощи опущенных в них термокос, а также осуществляет анализ температурного распределения вдоль объекта, который выполняется контроллером с целью выявления аварийных для объекта ситуаций.

Датчики температуры производят замеры температуры, перевод аналогового сигнала в цифровой сигнал, и с помощью интерфейса передают результаты измерений в контроллер. С помощью контроллера производится питание термокос, а также с помощью портативного контроллера – идентификация индивидуального обозначения (номер каждого датчика температуры или расстояние до него).





Отметим еще раз преимущества системы мониторинга температур протяженных объектов:

- все датчики температуры подключаются параллельно к одному кабелю, и таким образом, не требуется подводить индивидуальный кабель к каждому датчику температуры;
- в состав системы мониторинга температур протяженных объектов входит программное обеспечение для компьютера оценки и сбора информации;
- система мониторинга температур протяженных объектов значительно компактнее и проще известных систем;
- для создания системы мониторинга температур протяженных объектов требуется только стандартное сетевое оборудование.

В настоящее время на опытном полигоне ООО НПО «Фундаментстройаркос» г. Тюмень ведутся работы по оценке эффективности работы термостабилизаторов. Для мониторинга температуры грунта вместе с термостабилизатором размещена 100 метровая термокоса МЦДТ 0922. График результатов измерения температуры за ноябрь месяц 2010 года одной термокосы с помощью ПКЦД-1/100 представлен на рисунке 4. Данный график показывает распределение температуры грунта по глубине в течение времени.

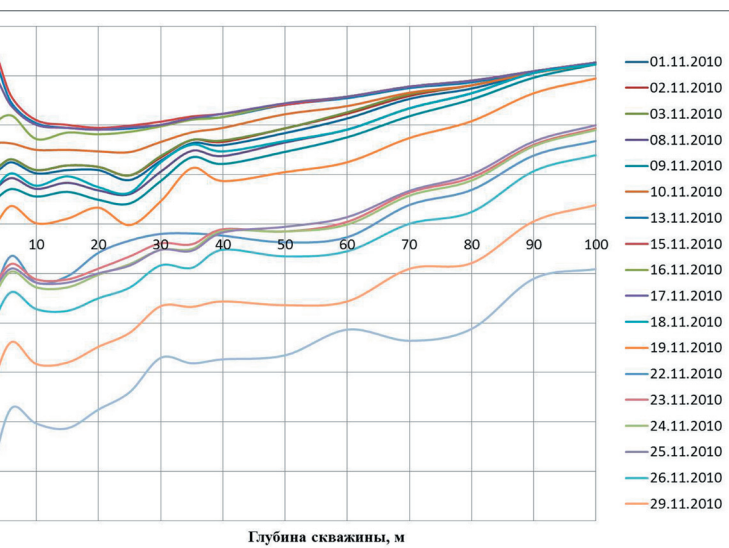


Рис. 4 – График зависимости температуры грунта от глубины скважины

Список литературы:

1. Попов А.П., Милованов В.И., Жмулин В.В., Рябов В.А., Бережной М.А. К вопросу о типовых технических решениях по основаниям и фундаментам для криолитозоны // Инженерная геология, 2008, сентябрь, с. 22-38.
2. Павлов А.В., Малкова Г.В. Мелкомасштабное картографирование трендов современных изменений температуры грунтов на севере России // Криосфера Земли, 2009, т. XIII, №4, с. 32-39.
3. Корниенко С.Г. Изучение и мониторинг мерзлых грунтов с использованием данных космической съемки // Материалы 11-й Всероссийской научно-практической конференции «Геоинформатика в нефтегазовой отрасли».
4. Минкин Марк Строительство нефтегазовых объектов на Севере // Материалы семинара «Вопросы проектирования фундаментов на особых грунтах. Новые геотехнические конструкции и методы их расчетов», 2010.
5. Неделько А.Ю. Контроллеры цифровых датчиков температуры // Промышленные АСУ и контроллеры, 2010, № 8, с. 36-38.

fgup@omsketalon.ru
тел. (3812) 36-84-00, 36-94-53, 36-79-18, 32-80-51

На сегодняшний день ОАО НПП «Эталон» занимается разработкой системой мониторинга температур, позволяющей объединять термокосы и контроллеры в общую сеть и передавать данные непосредственно на ПК или посредством интернета в любую точку Земли.

Такая система будет содержать термокосы, средство сбора данных, поступающих от протяженного объекта, средство передачи данных, компьютер сбора и оценки информации, расположенный дистанционно относительно протяженного объекта и предназначенный для приема и оценки данных. Средство сбора данных будет выполнено в виде контроллера датчиков температуры, выполняющего те же функции что и СКЦД, а также будет напрямую поддерживать среду Ethernet и Internet. Средство передачи данных будет выполнено в виде сетевого концентратора и приемо-передающего устройства.

Каждый контроллер по сети Ethernet будет подключаться к сетевому концентратору, который объединит контроллеры датчиков температуры в единую сеть с помощью сетевого кабеля и, таким образом, сделает возможным передачу данных в сеть Internet. В случае, если прокладка кабеля затруднена, предусмотрен вариант передачи данных от сетевого концентратора с помощью приемо-передающего устройства, которое обеспечивает беспроводную точку доступа в сеть Internet и позволяет передавать данные на расстояние. Беспроводная точка доступа может быть реализована несколькими способами, например, с помощью сетевых операторов, с помощью стандартных беспроводных интерфейсов или с помощью спутниковой связи.

ОАО НПП «Эталон» изготавливает и поставляет необходимое метрологическое оборудование для контроля характеристик системы мониторинга температур в процессе эксплуатации в зависимости от пожеланий заказчика.

РЕГИСТРАТОРЫ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Автор: Неделько Александр Юрьевич, ведущий инженер ОАО НПП «Эталон»
Author: Alexander Yuryevich Nedelko – principal engineer of JSC RPI “Etalon”

Регистрировать температурные поля объектов можно различными способами, например:

- последовательные измерения температуры одним датчиком (контактным или бесконтактным) в заданных точках объекта с сохранением результатов для дальнейшей обработки;
- размещение множества датчиков в заданных точках объекта с возможностью одновременного получения результатов со всех датчиков посредством проводной или беспроводной сети;
- использование тепловизоров, с линейным или кадровым сканированием по полю зрения.

К достоинствам метода измерений одним датчиком можно отнести возможность минимальных затрат на измерительное оборудование и его поверку. Среди недостатков высокая трудоемкость проведения измерений и обработки результатов, дополнительная погрешность в случае, если после перемещения датчика не выдержано время, необходимое для установления теплового равновесия, искажения температурного распределения при нестационарных тепловых процессах.

Для минимизации этих недостатков датчики размещают во всех заданных точках объекта и объединяют в единую сеть. Устройство сбора данных (контроллер) с заданной периодичностью опрашивает все датчики сети, обрабатывает результаты, затем передает их на ПК либо сохраняет в памяти. Таким образом затраты времени на проведение измерений существенно сокращаются. К недостаткам второго метода можно отнести затраты на установку и надежную фиксацию датчиков на объекте, необходимость четкой идентификации местоположения каждого датчика, сложности при групповой поверке датчиков. В случае, когда расположение датчиков заранее известно и стационарно, удобнее использовать заранее смонтированные в единое изделие датчики и соединительный кабель – так называемые термокосы. Если же местоположение датчиков в процессе проведения измерений изменяется, целесообразнее использовать системы с радиоинтерфейсом либо тепловизоры.

Тепловизоры значительно упрощают и ускоряют процесс регистрации температурного распределения, имеют встроенный дисплей, но их применение имеет ряд ограничений, среди которых отметим: контролируемые зоны должны находиться в прямой видимости под углами, близкими к прямому, поверхности должны иметь известную и одинаковую излучательную способность, погрешность и воспроизводимость бесконтактных измерений в большинстве случаев хуже контактных. Системы с радиоинтерфейсом имеют значительную стоимость и требуют периодической замены элементов питания.

Для регистрации данных цифровых датчиков температуры и термокос, изготовленных из них, можно использовать портативные контроллеры, например ПКЦД-1/16 или ПКЦД-1/100 (рис.1), максимальное количество одновременно подключаемых датчиков (или количество датчиков в термокосе) 16 или 100 соответственно. Эти контроллеры подключаются к разъему термокосы и в течение нескольких секунд считывают и обрабатывают данные с датчиков и сохраняют во внутреннюю память. Далее данные сбрасываются на ПК либо сохраняются в энергонезависимую память и оператор может перейти к месту следующего замера. Дополнительно к ПКЦД-1/100 вместо термокосы можно подключить выносной датчик температуры и влажности окружающего воздуха, при этом контроллер также производит расчет абсолютной влажности и точки росы. ПКЦД-1/100 может работать в режиме логгера, т.е. автоматически сохранять данные в энергонезависимой памяти с заданной периодичностью, ресурс автономной работы в режиме логгера составляет около 20 суток (изменяется в зависимости от емкости аккумулятора и окружающей температуры).

Максимальное количество записей N_{max} можно рассчитать по формуле:

$N_{max} = 65534 / (12 + \text{дат} * 4)$, но не более 1000, где дат – количество подключенных датчиков

Время заполнения памяти T можно рассчитать по формуле:

$T = (N_{max} * P) / 86400$, суток, где P – период автоматического сохранения в секундах.



Рисунок 1. Портативные контроллеры цифровых датчиков ПКЦД-1/16 и ПКЦД-1/100



Если необходимо производить сбор данных длительное время и термокосы установлены стационарно, целесообразно объединить все термокосы в единую систему сбора данных. Для этого нами были разработаны стационарные контроллеры СКЦД-1/100 (рис.2) и СКЦД-6/200 (рис.3). К СКЦД-1/100 подключается одна термокоса, содержащая до 100 датчиков, к СКЦД-6/200 можно подключить от 1 до 6 термокос, содержащих суммарно до 200 датчиков. До 255 контроллеров при помощи кабеля типа "витая пара" объединяются в сеть RS-485 и через переходник USB/RS-485 (рис. 4) подключаются к ПК, на котором установлена программа-сервер сети (рис. 5).

Программа сканирует сеть, идентифицирует найденные контроллеры и подключенные к ним термокосы, ведет мониторинг температур в реальном времени на графиках и таблицах. Накопленные данные можно сохранить как в виде единого для всей системы файла, так и отдельно для каждой термокосы. Для предотвращения потери данных при сбоях в работе ПК контроллер ведет запись данных в энергонезависимую память, структура и объем которой аналогичны ПКЦД-1/100. При необходимости потерянные данные можно восстановить, загрузив содержимое энергонезависимой памяти на ПК. Контроллеры СКЦД имеют степень защиты от пыли и воды IP65 и оснащены термостатом для подогрева электроники при работе при температурах окружающего воздуха ниже -40°C.



Рисунок 2. Стационарный контроллер цифровых датчиков СКЦД-1/100



Рисунок 3. Стационарный контроллер цифровых датчиков СКЦД-6/200

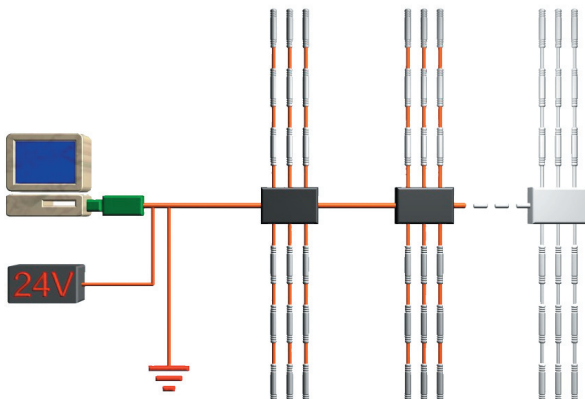


Рисунок 4. Конфигурация сети RS-485

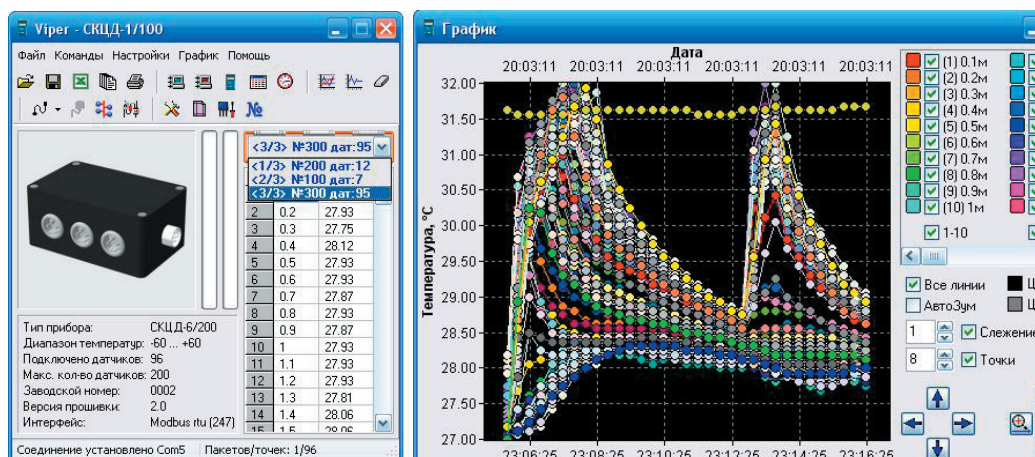
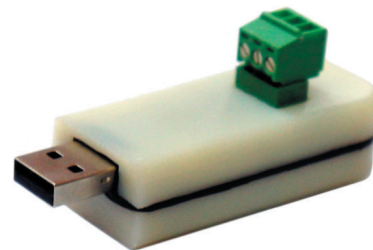


Рисунок 5. Сервисное ПО Viper



Для регистрации температурных полей удаленных, труднодоступных объектов разрабатываются автономные логгеры для термокос (рис. 6). Логгеры размещаются рядом с местом установки термокосы и работают автономно от литиевого элемента питания в течение нескольких лет. Данные записываются на карту памяти формата MicroSD. Сбор данных можно проводить как на месте установки термокосы, путем копирования файла данных с карты на ПК, так и путем извлечения и замены карты памяти на новую, с последующим хранением карт памяти с данными в виде архива.

В силовых электрических установках необходимо контролировать в реальном времени температуру токопроводящих и коммутационных элементов для предотвращения их перегрева и выхода из строя.

Однако, т.к. эти элементы находятся под высоким напряжением, измерения необходимо производить бесконтактным способом. Количество точек контроля может достигать десяти и более, многие перекрыты закрыты защитными кожухами и находятся в разных местах установки, что делает затруднительным использование тепловизора. Для решения этой проблемы разрабатывается система многоточечной бесконтактной регистрации температуры. Система представляет собой подобие термокосы, в которой в качестве датчиков установлены пирометрические преобразователи (рис. 7). Контролирующее устройство производит опрос датчиков системы (до 255 датчиков, протокол Modbus) посредством интерфейса RS-485, формирует необходимые сигналы для оповещения и аварийного отключения электроустановок.

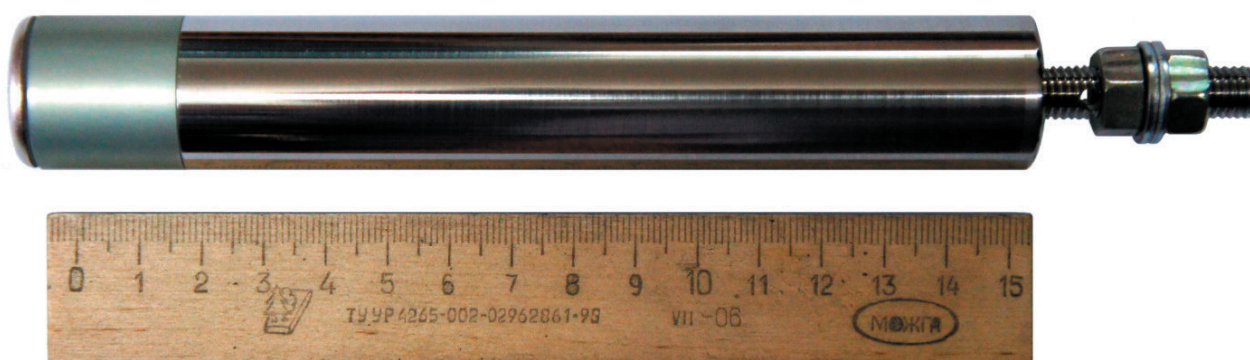


Рисунок 6. Автономный логгер для термокос

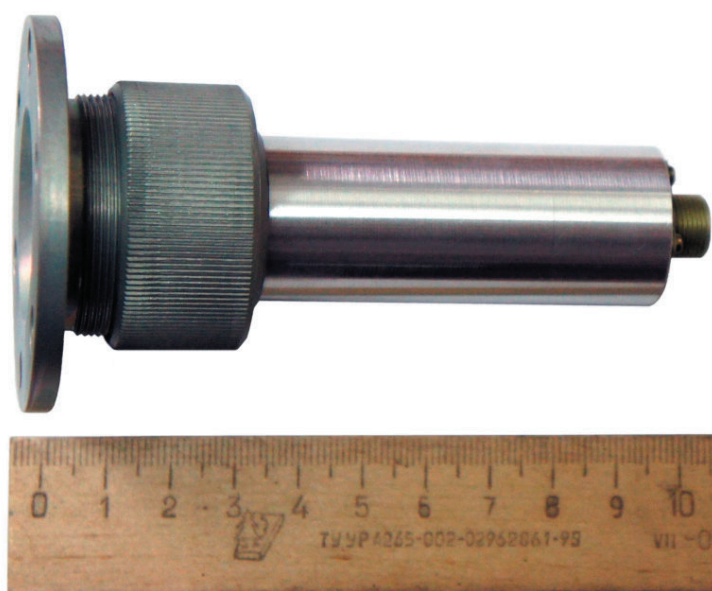


Рисунок 7. Пирометрический преобразователь для электроустановок



ТЕРМОМЕТРЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТЕРМО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРОИЗВОДСТВА ОАО НПП «ЭТАЛОН»

*Герлах Юлия Ивановна, ведущий инженер
ОАО НПП «Эталон» г. Омск*

На сегодняшний день ОАО НПП «Эталон» изготавливает широкую номенклатуру Термометров сопротивления и Термоэлектрических преобразователей.

Термометры сопротивления (ТС)

ТС выпускаемые нашим предприятием делятся на медные и платиновые группы: медные ТС предназначены для измерений температуры от -50 до +180 °С, платиновые – для диапазона от -200 до +600 °С.

Платиновые ТС делятся на два типа, с температурных коэффициентом $\alpha = 0.00391$ и $\alpha = 0.00385$. Для медных ТС нормирован температурный коэффициент $\alpha = 0.00428$.

Внутренние проводники ТС могут быть выполнены по 2-х, 3-х или 4-х проводной схеме соединения в зависимости от возможностей вторичного прибора.

Для температурного диапазона -200...+600°С защитная арматура ТС как правило выполняется из нержавеющей сталей марок 12Х18Н10Т, 15Х25Т

В случае использования ТС для измерения температуры агрессивных сред (таких как щелочная или кислотная) до +200, используется фторопластовые покрытия.

Для использования во взрывоопасных зонах предприятием выпускаются ТС типа ТСП, ТСМ 9418, с видом взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка». Кроме того, выпускаются ТС с унифицированным выходным сигналом 4...20 мА или 0...5 мА под маркой ТСПУ 9313, ТСМУ 9313.

Повышенные требования предъявляются для ТС, используемых в счетчиках тепловой энергии. Для данных приборов разработаны КТСПР 9514, значения сопротивлений входящих в комплект термометров, при 0 °С, отличается между собой на величину не более 0,01%, а значения W100 отличается на величину не более 0,0001. В настоящее время мы поставляем комплекты КТСПР соответствующие международным стандартам, с поверкой в трех точках.

Поверка (калибровка) ТС может быть проведена на 2-х типах поверочного оборудования, выпускаемого заводом «Эталон» - на установке УПСТ-2М или на автоматизированной установке АРМ ПТС.

Термоэлектрические преобразователи

Термопары, выпускаемые ОАО НПП «Эталон», имеют температурные диапазоны в соответствии с типом термопары:

- хромель-копелевые – от -40 до +600 °С;
- хромель-алюмелевые – от -40 до +1050 °С;
- платинородий-платиновые – от 0 до +1300 °С;
- платинородиевые – от +300 до +1600 °С.

НСХ этих термопар соответствуют как российским стандартам так и международным (кроме хромель-копелевых термопар, у которых имеется большое отличие от зарубежных по НСХ).

Стандартизованы также пределы допускаемых отклонений термо-ЭДС от НСХ. Например, для хромель-алюмелевых термопар ХА(К) класса допуска 2 он составляет $\pm 2,5$ °С в диапазоне измерений от -40 до + 333 °С и $\pm 0,0075t$ в диапазоне от 333 до 1300 °С.

Это обеспечивает взаимозаменяемость термопар, в том числе и импортных.

При обычных измерениях температуры в промышленности, как правило, используются термопары 2 класса выполненные с одним или двумя чувствительными элементами.

При температурах до 800°С защитная арматура термопар выполняется из стали 12Х18Н10Т, при температурах до 1050°С – из стали 15Х25Т, сплава ХН78Т, при температурах до 1200...1300°С – из сплава ХН45Ю. При более высоких температурах а также для защиты от агрессивной среды используются керамические защитные чехлы: из корунда, карбида кремния и др ва-куум плотных керамик.

Для использования во взрывоопасных зонах завод «Эталон» выпускает термоэлектрические преобразователи ТХА 9416, ТХК 9416 с видом взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка».

Среди термопреобразователей, выпускаемых нашим предприятием, хотелось бы обратить внимание на те, которые выполнены на основе кабеля с минеральной изоляцией в металлической оболочке (ТХА (ТХК) 9808, КТХАС (КТХКС), ТСП 9801 и др., всего 21 тип). Кабельные преобразователи термоэлектрические имеют ряд преимуществ по отношению к «проволочным»:

- более высокую термоэлектрическую стабильность и рабочий ресурс;
- возможность монтажа в труднодоступных местах (за счет относительно малого радиуса изгиба);
- малый показатель тепловой инерции;
- способность выдерживать большие рабочие давления;
- возможность изготовления на их основе термопреобразователей блочно-модульной конструкции.

Из термопарного кабеля изготавливаются термопары ТХА (ТХК) 9608, ТХА (ТХК) 0006, ТХА (ТХК) 0007.

С целью увеличения ресурса работы высокотемпературных платиновых термопреобразователей была предложена термопара типа ТПП 9717, конструкция которой позволила - увеличить ресурс термопары, сохранить инерционность.

Натурные испытания, проведенные в течение года на АОТ «Ижсталь» (г. Ижевск), подтвердили заявленные показатели надежности.



С целью увеличения ресурса работы высокотемпературных платиновых термопреобразователей была предложена термопара типа ТПП 9717, конструкция которой позволила - увеличить ресурс термопары, сохранить инерционность.

Натурные испытания, проведенные в течение года на АООТ «Ижсталь» (г. Ижевск), подтвердили заявленные показатели надежности.

Специалистами предприятия разработан ряд датчиков, имеющих уникальную (эксклюзивную) конструкцию, например:

- преобразователи термоэлектрические хромель-алюмелевые типа ТХА 0011, представляющие собой погружные кабельные термопары с защитным чехлом из нитрида бора и предназначенные для контроля температуры расплавленных металлов Al, Cu, бронзы и т.п.;

- погружные датчики типа ТХА (ТХК) 9709ф с фторопластовым покрытием арматуры, перемещаемыми диаметрами (D и d) и длиной погружаемой части (l), предназначенные для контроля температуры химически агрессивных сред.

Особый интерес представляют поверхностные датчики в комплекте с измерителем температуры портативным микропроцессорным (ИТПМ) которые могут использоваться для аудита тепловых систем. Для большего удобства предприятие предлагает измеритель температуры портативный (ИТП) с комплектом датчиков в чемодане.

Кроме выпуска изделий представленных в каталоге, наше предприятие ведет широкую работу по индивидуальным заказам потребителей. В ряде случаев, такие разработки приводят к появлению новых серийных типов изделий, что позволяет нам постоянно расширять номенклатуру выпускаемых изделий.

В случаях неоднократного повторения заказа на тот или иной датчик, на него проводится разработка полного комплекта конструкторской документации и сертификация.

ОАО НПП «Эталон» постоянно участвует в работе региональных и международных ярмарок, выставок, семинаров и конференций. Ряд изделий, выпускаемых предприятием, являются лауреатами в различных номинациях.

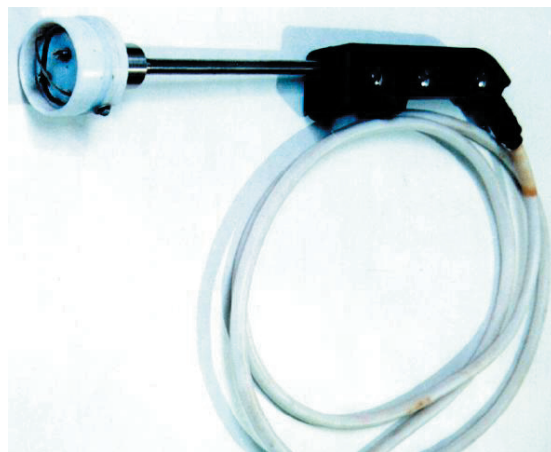


Рисунок 17.1. Вид термопар ТХА9713 и ТХА9909.



Рисунок 17.2. ИТПМ с датчиком ТХА9713



ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭНЕРГОАУДИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

**Полянский Максим Александрович, ведущий инженер
ОАО НПП «Эталон» г. Омск**

В настоящее время стало наиболее актуальным понятие «Энергоаудит» или энергетическое обследование. Необходимость проведения энергетического обследования возникла в результате резкого роста цен на энергоресурсы. Вытекающим из этого стал резонным вопрос о сбережении энергии. Не все регионы нашей страны, имеющие промышленные объекты, да и гражданские, в частности жилые дома и производственные корпуса, находятся в климатической зоне, где годовая температура окружающей среды не падает ниже 10 градусов Цельсия. Для поддержания качественного функционирования данных объектов необходимо соответственно их отапливать, а значит производить затраты энергоресурсов (газ, мазут, уголь и т.п.)

Исходя из этого поднимается вопрос — эффективно ли отапливаемое здание сохраняет тепло, насколько можно снизить затраты на отопление данного здания? На сегодняшний день нет конкретной методики проведения энергоаудита, но опираясь на ГОСТ 25380-82 ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЕ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ, ПРОХОДЯЩИХ ЧЕРЕЗ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ,

ГОСТ 26254-84 ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

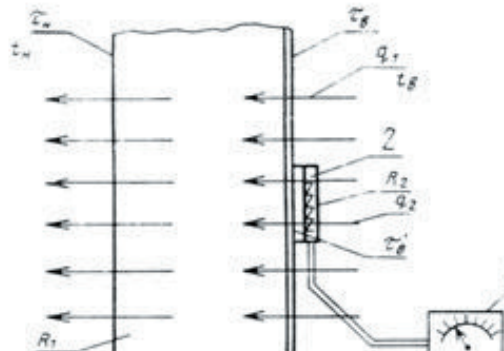


Схема измерения плотности теплового потока

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ можно провести тепловой мониторинг зданий и сооружений.

Данные стандарты имеют перечень необходимого оборудования для проведения соответствующих измерений, но не обеспечивают необходимой точности и мобильности проведения измерений по оценке тепловой эффективности зданий и сооружений, также не позволяющей проводить измерения сразу же на нескольких объектах в режиме реального времени.

ОАО НПП «Эталон» для осуществления данных измерений согласно ГОСТ 25380-82 полностью обеспечивает комплект современных датчиков и приборов, а именно такими приборами как ИТП-11, ИТ-2, датчики теплового потока ДТП 0924 различных конструктивных исполнений и материалом заливочного компаунда.

Одна из составляющих конструкции зданий и сооружений — это оконные блоки и дверные преграды которые также напрямую связаны с энергоэффективностью зданий и сооружений. Оценку их эффективности можно провести согласно

ГОСТ 26602.1-99 БЛОКИ ОКОННЫЕ И ДВЕРНЫЕ Методы определения сопротивления теплопередаче

1-ограждающая конструкция; 2-преобразователь теплового потока; 3-измеритель Э.д.с.; t_b, t_n - температура внутреннего и наружного воздуха; t_n, t_b, t_v -температура наружной, внутренней поверхностей ограждающей конструкции вблизи и под преобразователем соответственно; R_1, R_2 -термическое сопротивление ограждающей конструкции и преобразователя теплового потока; q_1, q_2 -плотность теплового потока до и после закрепления преобразователя.

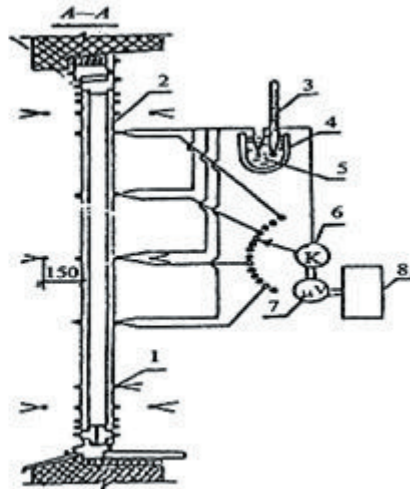
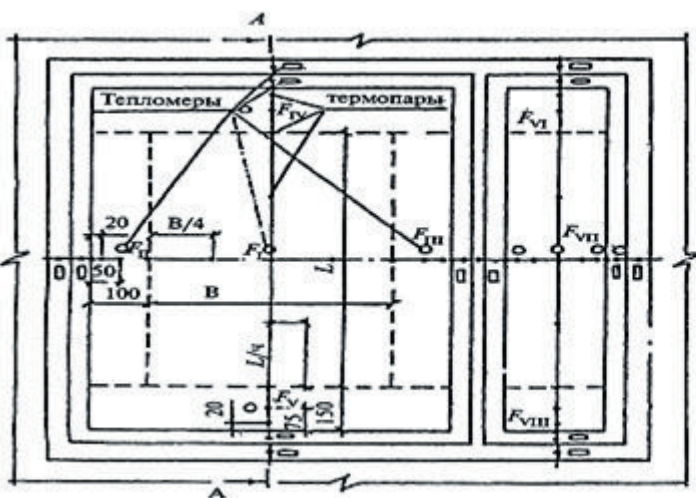


Схема размещения термопар и тепломеров на образце оконного блока

- 1 - рабочий спай термодатчика; 2 - испытываемый образец; 3 - термометр; 4 - сосуд Дьюара; 5 - холодный спай;
6 - многоточечный переключатель; 7 - микровольтметр; 8 - блок обработки и регистрации данных;
 F_I-F_{VIII} - термические однородные зоны

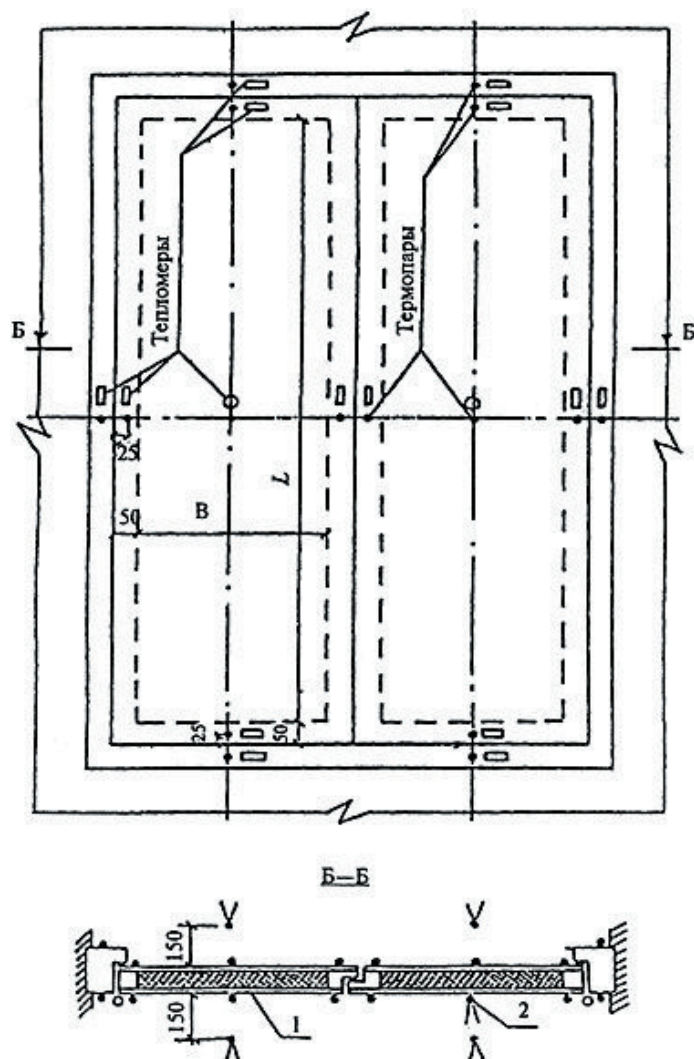


Схема размещения термопар и тепломеров на образце дверного блока

Специалистами ОАО НПП «Эталон» были разработаны специализированные датчики для проведения данного испытания, а именно ДТП 0924 $d=27$ мм, с наполнителем из эпоксидного компаунда. Их установка происходит вместо тепломеров, приведенной в схеме размещения. Установка датчиков производства ОАО НПП «Эталон» дает более полную картину распределения тепловых потоков по данным объектам, и позволяет просматривать картину измерений в режиме реального времени.

Для проведения энергоаудита также можно использовать и тепловизоры, они значительно упрощают и ускоряют процесс регистрации температурного распределения, имеют встроенный дисплей, но их применение имеет ряд серьезных ограничений, среди которых отметим: контролируемые зоны должны находиться в прямой видимости под углами, близкими к прямому, поверхности должны иметь известную и одинаковую излучательную способность, погрешность и воспроизводимость бесконтактных измерений в большинстве случаев хуже контактных. При исследовании объекта датчиками ДТП 0924 полностью исключаются приведенные недостатки тепловизионного метода исследования.

Отсюда можно сделать вывод: При полной проверке зданий и сооружений на предмет сбережения тепловой энергии использование тепловизора не даст объективной картины распределения температур и тепловых потоков, а использование контактных датчиков теплового потока ДТП 0924 совместно с термопарами и термометрами сопротивления даст полную картину температурного распределения внутри и снаружи исследуемого объекта

в режиме реального времени, что позволит более объективно понимать энергосберегающую эффективность объекта или ее отсутствие.

Для мобильного проведения энергоаудита ОАО НПП «Эталон» был разработан измеритель теплового сопротивления ИТС-1, находящийся в стадии макетного образца. Измерительная система ИТС-1 предназначена для измерения, расчета и индикации сопротивления тепловой передаче ограждающих конструкций, а также температуры, теплового потока, напряжения. Измерительная система ИТС-1 может применяться для проведения энергоаудита объектов нефтяной отрасли, в гражданском и промышленном строительстве, сельском хозяйстве, лабораторных исследованиях и т.п.

ИТС-1 позволит в полевых условиях исследовать сразу несколько объектов на предмет теплового энергосбережения, сохраняя данные исследований на носитель информации типа sd card, что позволит без труда прочесть и обработать информацию с помощью ЭВМ. Время автономной работы измерительной системы ИТС-1 от аккумуляторной батареи не менее 100 часов.

Технические характеристики:
Габаритные размеры: 300x200x150 мм.
Масса измерительной системы ИТС-1 не более 5 кг.

Питание измерительной системы ИТС-1 производится от сети переменного тока 90...245 В, частотой 47...63 Гц или встроенной аккумуляторной батареи при отсутствии питающей сети.

Измерительная система ИТС-1 имеет интерфейс USB для связи с персональным компьютером. Число каналов измерения в зависимости от исполнения 16, 32, 48, 64, 80, 96.

Время измерения одного канала не более 1с.

Предел допускаемой основной абсолютной погрешности измерительной системы ИТС-1 (без учета погрешности датчика): для измерений температуры $\pm 1^\circ\text{C}$, для измерения напряжения ± 5 мкВ, для теплового потока ± 1 Вт/м².

Предел допускаемой дополнительной погрешности, вызванной изменением температуры окружающей среды от нормальной, не более половины предела основной погрешности на каждые 10 °C изменения температуры.

Диапазон рабочих температур эксплуатации в пределах - 10...+50 °C

Подводя итоги, можно сказать, что ОАО НПП «Эталон» закрывает нишу необходимого метрологического оборудования, необходимого для проведения энергоаудита различных промышленных и гражданских объектах.



ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭНЕРГОАУДИТА

**Андрей Юрьевич Иванов, ведущий инженер
ОАО НПП «Эталон», г. Омск**

Основной задачей энергоаудита является оценка эффективности использования топливно-энергетических ресурсов и разработка эффективных мер для снижения затрат.

Для оценки эффективности использования топливно-энергетических ресурсов проводится обследование объектов аудита на определение потерь тепла в материалах и готовых конструкциях, используемых при строительстве зданий и анализ потерь в существующих, с целью их снижения. Так же проводится обследование электросетей, трубопроводов.

Для проведения энергетических обследований предприятий и организаций энергоаудитору необходимо располагать специализированными приборами.

Приборное обеспечение энергоаудита:

На сегодняшний момент существуют две концепции построения энергоаудиторской лаборатории:

1. Энергоавтобус с центральным ИВК.

Транспортное средство (чаще всего – микроавтобус) оснащается измерительно-вычислительным комплексом (ИВК), к которому подключаются выносные датчики. Автобус подгоняется на возможно близкое расстояние, а датчики с помощью длинных измерительных кабелей устанавливаются на объект измерений. Регистрация многих параметров происходит одновременно, центральный компьютер ИВК обрабатывает данные в реальном времени. Энергоаудиторская лаборатория в таком построении не практична и чрезвычайно дорога. Универсальный энергоаудиторский комплекс на базе микроавтобуса стоит 250-300 тысяч долларов. В настоящее время по такой схеме строятся специализированные диагностические лаборатории, для общего энергоаудита общепринятой становится вторая концепция.

Таблица 1

| Тип датчика, НСХ | ПТП | ТХА (К) | ТХК (L) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------|--------------|
| Индицируемый код датчика | HFC | TR H | TR L |
| Диапазон измерения плотности теплового потока, Вт/м ² | 0 ... 1000 | - | - |
| Диапазон измерения температуры, °С | - | -50 ... +1370 | -50 ... +800 |
| Предел допускаемой абсолютной основной погрешности измерения плотности теплового потока, Вт/м ² | (± 0,4 ... ± 4,0)* | - | - |
| Предел допускаемой абсолютной основной погрешности измерения температуры, °С | - | ± 1,5 | ± 1,5 |
| * Расчет погрешности производится по формуле: $\square D = 0,04 \cdot C$, где $\square D$ - абсолютная основная погрешность, Вт/м ² ; C – значение коэффициента преобразования ПТП, Вт/м ² мВ. | | | |

2. Набор автономных портативных приборов.

В этом случае транспортным средством служит обычный легковой автомобиль, в багажнике которого размещается набор необходимых приборов. Каждый прибор обладает следующими характеристиками:

- портативность – вес не более 15 кг, исполнение в защищенном корпусе или наличие защитного чехла;
- автономность – наличие встроенного источника питания, обеспечивающего несколько часов работы;
- возможность регистрации данных – наличие внутреннего запоминающего устройства или, в крайнем случае, унифицированного выхода для подключения внешнего запоминающего устройства.
- связь с компьютером – наличие порта и программного обеспечения для передачи данных на ПК;

Так как основным направлением ОАО НПП Эталон является производство средств измерения температуры и тепловых потоков в рамках энергоаудита группой измерительной техники разрабатываются новые измерительные приборы, и совершенствуются разработанные ранее.

При этом учитывается специфичность требований к устройствам измерения тепловых потоков – такие как

- а: значительное количество каналов ,
- б: низкий уровень шума,
- в: широкий диапазон измеряемых значений напряжений,

Для измерения температуры и тепловых потоков разработан прибор ИТП-11 (ИТПЦ) позволяющий проводить измерения с одной терморпары, либо с одного датчика теплового потока. Технические характеристики ИТП-11 приведены в таблице 1.



На основе ИТП-11 разработан многоканальный измеритель теплопроводности и температуры портативный МИТ-16. Имеет 16 измерительных каналов. Представление информации о каждом канале как и в ИТП-11 на цифровом дисплее. Передача информации в ПК по интерфейсу USB. НСХ термодатчика, L, или коэффициент преобразования датчиков плотности теплового потока вводится с клавиатуры.

Подключение датчиков производится через 16-и канальное устройство компенсации. Количество записей по каждому каналу – 50. Вы можете установить по 16 датчиков в 50-и зонах, измерить и записать данные одним прибором в 50 файлов. Прибор может применяться для контроля температуры и плотности теплового потока в различных областях промышленности и народного хозяйства.

Технические характеристики МИТ-16.

Тип датчика, диапазон измерения и предел допускаемой основной абсолютной погрешности приведены в таблице 1.

Таблица 2

| Тип датчика, НСХ | ПТП | ТХА (К) | ТХК (L) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------|--------------|
| Индицируемый код датчика | HFC | TP H | TP L |
| Диапазон измерения плотности теплового потока, Вт/м ² | 0 ... 1000 | - | - |
| Диапазон измерения температуры, °С | - | -50 ... +1370 | -50 ... +800 |
| Предел допускаемой абсолютной основной погрешности измерения плотности теплового потока, Вт/м ² | (± 0,4 ... ± 4,0)* | - | - |
| Предел допускаемой абсолютной основной погрешности измерения температуры, °С | - | ± 1,5 | ± 1,5 |

* Расчет погрешности производится по формуле $\Delta D = 0,04 \cdot C$, где ΔD - абсолютная основная погрешность, Вт/м²; C – значение коэффициента преобразования ПТП, Вт/м²МВ.

На базе МИТ-16 разрабатывается многоканальный измеритель теплопроводности и температуры портативный МИТ-8 (возможно подключение 8 - ми датчиков), позволяющий производить измерение 16 объектов и записывать значения в 16 файлов.

Основное отличие прибора МИТ-8 состоит в том, что он позволяет подключить различные датчики с разными характеристиками к каждому каналу и настроить их с клавиатуры (если подключены датчики ПТП, можно задать коэффициент преобразования для каждого датчика и объекта отдельно, все параметры настроек сохраняются в энергонезависимой памяти)

Также как и МИТ -16, МИТ-8 позволяет работать с термопарами и датчиками тепловых потоков.

Таблица 3

| Блок управления | Разрешающая способность при измерении температуры °С | Минимальная дискретность задания значений уставок, °С | Ток потребления по цепи питания 220В 50Гц без нагрузок, А, не более | Стабильность поддержания температуры °С | Ток нагрузки максимальный А, не более |
|-----------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|
| БУ | ±0,002 °С | 0,01 | 0,1 | ±0,015 | 25 |

Для точных измерений возможно использование прецизионного Измерителя В7-99. Измеритель предназначен для измерения напряжения (до 300 мВ.), сопротивления (30 Ом-3кОм), тока (0-30 мА) и температуры. Для преобразования измеренных значений в температуру вводятся параметры ППО, ЭТС. Выбирается НСХ термометра или ППО, ЭТС.. Связь с ПК посредством интерфейса RS232. Количество каналов измерения -2.

Для непрерывного мониторинга объекта обследования, на базе ИТ-2 проводится разработка измерителя температуры и тепловых потоков ИТС-1 . Это 96-канальный портативный прибор с расширенным до 300 милливольт диапазоном измеряемых напряжений, внутренней памятью и интерфейсом USB .

Все эти приборы имеют автономное питание и диапазон рабочих температур от -10 градусов Цельсия.

Для работы с установкой теплотрической УТМ-2 разработан двухканальный регулятор температуры с контролем температуры образца третьим каналом. Технические характеристики приведены в таблице 3

Вы можете первому каналу подключить эталонный термометр, а ко второму поверяемый. Пересчитывать ТЭДС или сопротивление в температуру не требуется. В7-99 это сделает за вас. Быстрое изменение режимов измерения производится горячими кнопками с передней панели. Для сохранения измеренных значений используется ПК.



РЕАЛИЗАЦИЯ РЕПЕРНЫХ ТОЧЕК МТШ-90 В ПЕЧИ ПРТ 50-500.

**Малышев Юрий Олегович, ведущий инженер СКБ
ОАО НПП «Эталон», г. Омск**

Аннотация

В статье рассматривается конструкция печи ПРТ 50-500, ампул олова и цинка и результаты реализации реперных точек затвердевания олова и цинка в этой печи.

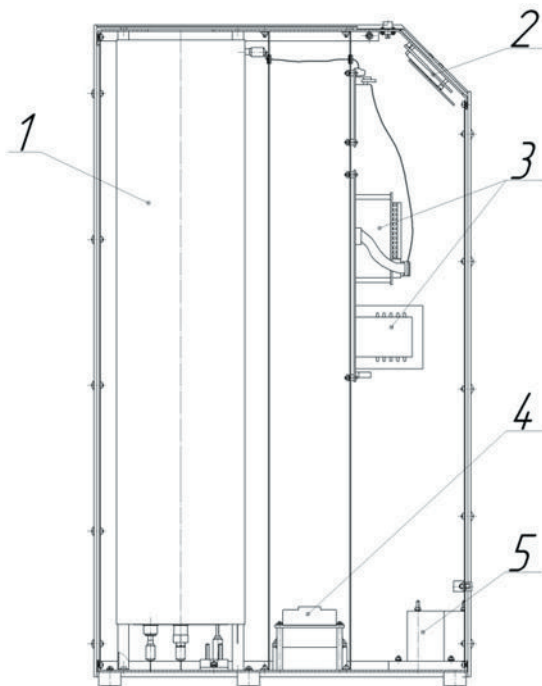
Annotation

In the article considered structure of furnace "ПРТ 50-500" and fixed point cells of tin and zinc and results of realization tin and zinc freeze points in that furnace.

Ключевые слова: метрология, поверка, температура, печь, реперные точки.

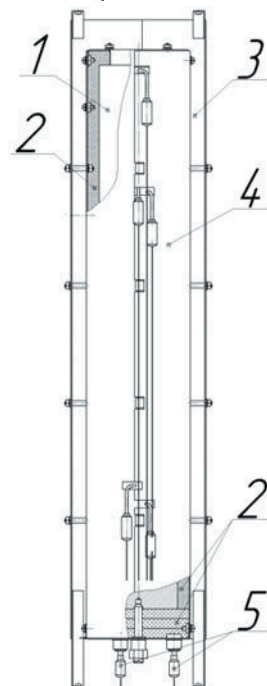
Key words: metrology, calibration, temperature, furnace, fixed points.

В течении нескольких последних лет со стороны поверочных лаборатории и метрологических институтов нашей страны значительно усилился интерес к реперным точкам МТШ-90. В 2011 году автором данной статьи была выпущена статья о печи для реализации реперной точки меди. В том же году наше предприятие продолжило работу в области разработки реперных точек МТШ-90 и аппаратуры для их воспроизведения. Данная статья посвящена печи для реализации реперных точек в диапазоне температур от +50 до +500 °С и ампулам олова и цинка. Ампулы олова и цинка были изготовлены нашим предприятием совместно со СНИИМ г. Новосибирск.



1 – тепловая башня, 2 – узел индикации, 3 – регулятор температуры, 4 – твердотельные реле, 5 – автоматический выключатель.
Рисунок 1 – печь ПРТ 50-500

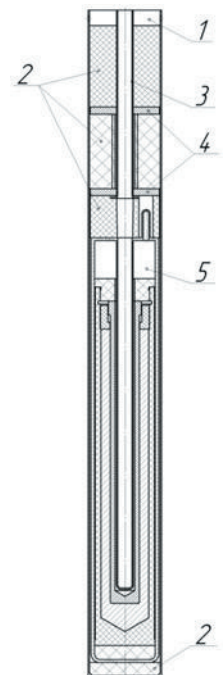
Для начала кратко рассмотрим конструкцию и принцип работы печи и ампул олова и цинка. Печь ПРТ 50-500 представляет собой моноблочную конструкцию, то есть в одном корпусе размещаются тепловая башня, цифровой микропроцессорный регулятор температуры, узел индикации и силовые элементы (см. рисунок 1).



1 – нагревательная труба, 2 – тепловая изоляция, 3 – радиационные экраны, 4 – кожух, 5 – датчики обратной связи нагревателей.

Рисунок 2 – тепловая башня

1 – защитный кожух, 2 – изоляторы, 3 – канал для термометра, 4 – тепловые затворы, 5 – ячейка с чистым металлом.
Рисунок 3 – ампула реперной точки олова (цинка)

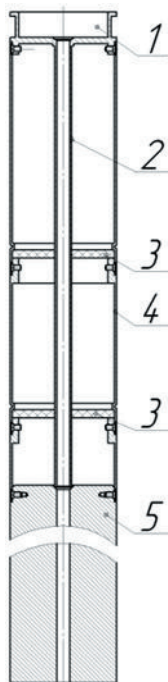


В Тепловую башню входят: металлическая нагревательная труба, на которой расположены три нагревателя, датчики обратной связи нагревателей, тепловая изоляция, кожух и радиационные экраны (см.рисунок 2).

Узлы микропроцессорного регулятора температуры расположены на отдельной панели, которая отделена от тепловой башни значительным воздушным зазором. На нижнем основании печи установлены ключевые силовые элементы, предназначенные для коммутации напряжения питания нагревателей (см. рисунок 1).

Ампулы олова и цинка, изготовленные нашим предприятием совместно со СНИИМ, имеют классическую конструкцию и состоят из ячейки с чистым металлом, защитной арматуры и набора тепловых изоляторов. Ячейки с чистым металлом также изготавливались нами совместно со СНИИМ по технологии, согласованной со специалистами ВНИИМ им. Менделеева г. Санкт - Петербург.

При реализации реперных точек олова и цинка печь ПРТ 50-500 работает следующим образом. Оператор имеет возможность выбрать как ручной так и автоматический режим работы печи. При автоматическом режиме работы оператор выбирает требуемую реперную точку, а регулятор температуры автоматически устанавливает необходимые температурные режимы для плавления чистого металла в ампуле и для его затвердевания. При ручном режиме оператор самостоятельно устанавливает температурный режим в печи для каждого этапа реализации реперной точки металла. Оператор задает только общую температуру в печи, температуры верхнего и нижнего нагревателей рассчитываются автоматически для обеспечения наилучшей изотермичности, то есть минимального градиента температуры, вдоль ампулы реперной точки.



1 – крышка, 2 – канал для термометра, 3 – радиационные экраны, 4 – кожух, 5 – бронзовый выравнивающий блок.
Рисунок 4 – имитатор ампулы реперной точки

В процессе разработки выполнялась предварительная настройка вертикального градиента температуры в печи при помощи имитатора ампулы реперной точки. Имитатор состоит из крышки, трубки для установки термометра, радиационных экранов, кожуха и бронзового выравнивающего блока.

Измерения температуры вдоль оси имитатора выполнялись при помощи кабельного термометра сопротивления и измерителя прецизионного универсального В7-99 производства ОАО НПП “Эталон”. При измерениях за начало отсчета глубины было принято дно имитатора ампулы.

Градиент в ПРТ 50-500

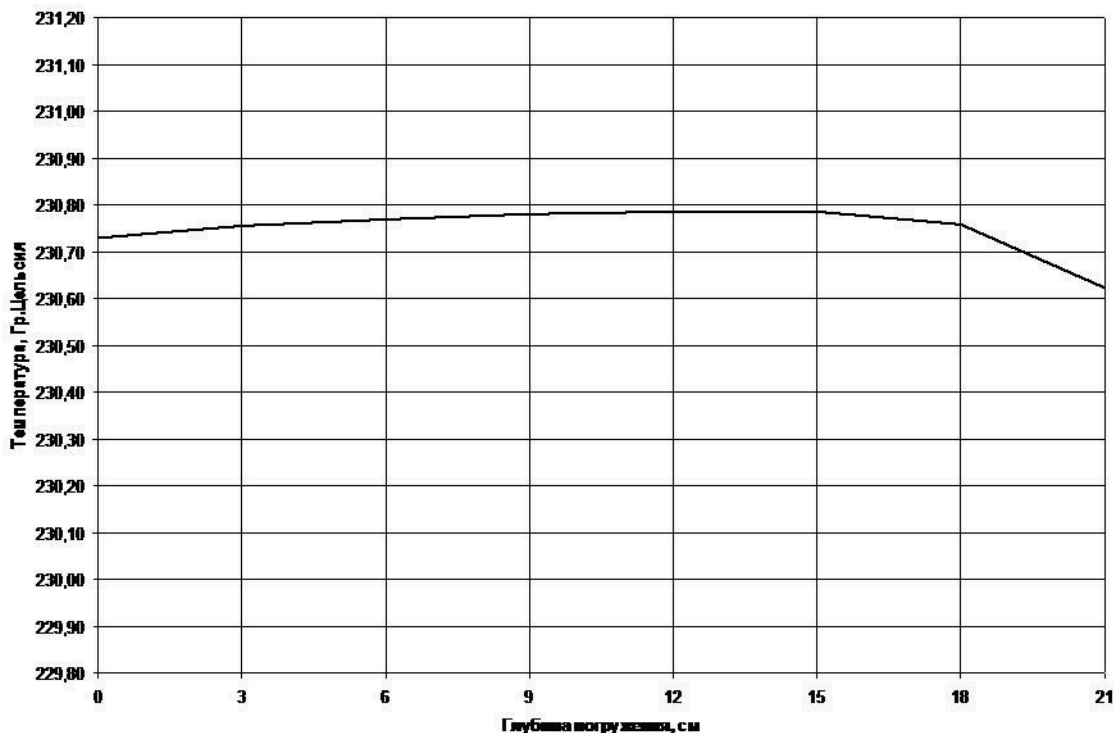


Рисунок 5 – вертикальный перепад температуры в печи ПРТ 50-500 при температуре 231 °С

Как видно на графике для температурного режима 231 °С максимальный перепад температуры не превысил 0,2 °С на длине 210 мм.

Градуировка в ПРТ 50-500

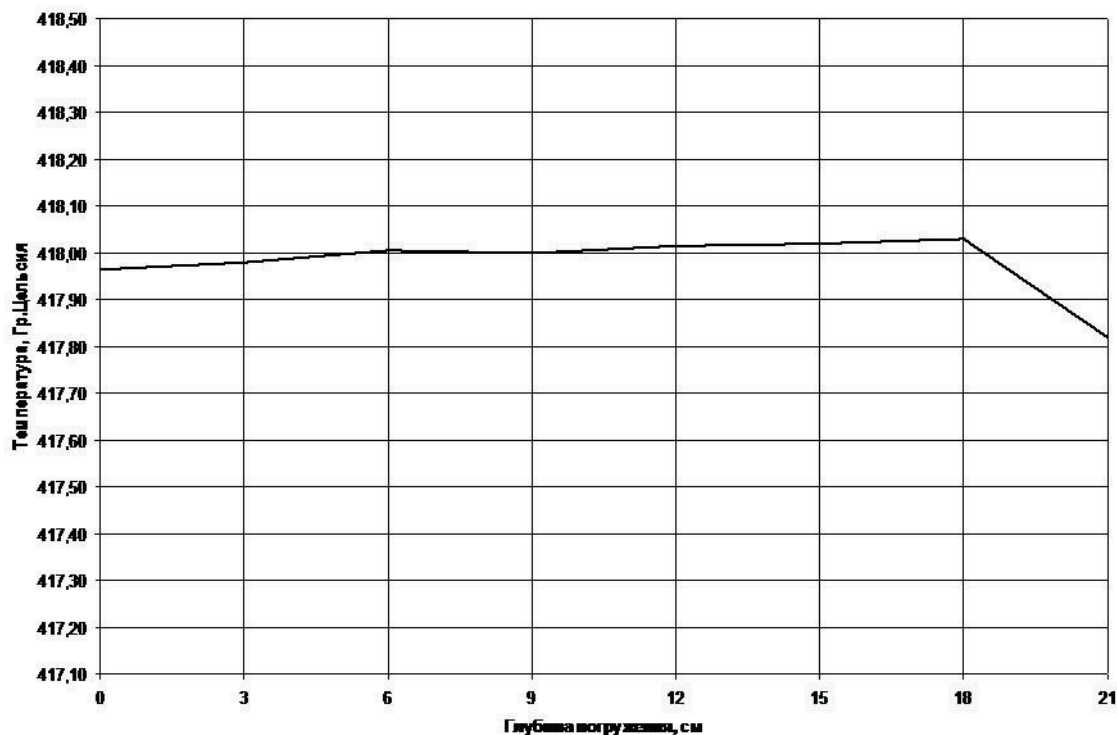


Рисунок 6 – вертикальный перепад температуры в печи ПРТ 50-500 при температуре 418 °С

А для температурного режима 418 оС перепад температуры не превысил 0,25 °С на длине 210 мм.

Полученные результаты говорят о том, что настройка крайних нагревателей печи выполнена корректно, а имеющийся вертикальный градиент температуры достаточный для обеспечения равномерного температурного поля по длине всей ячейки с чистым металлом.

Стабильность поддержания температуры в ПРТ 50-500

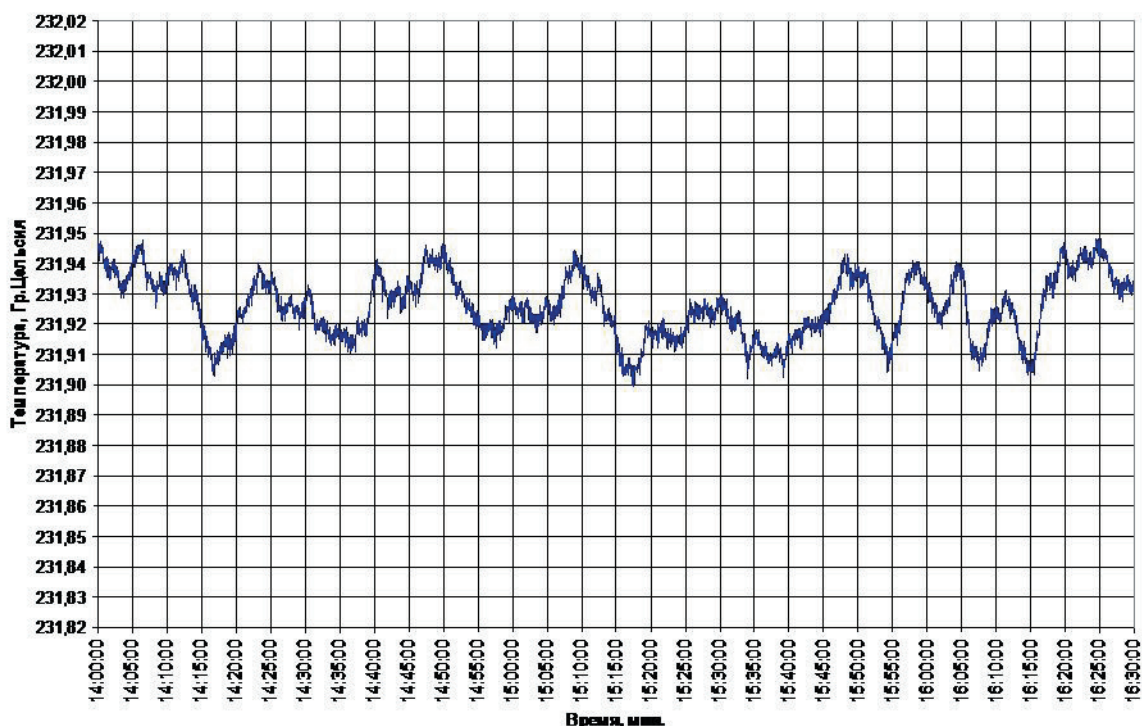
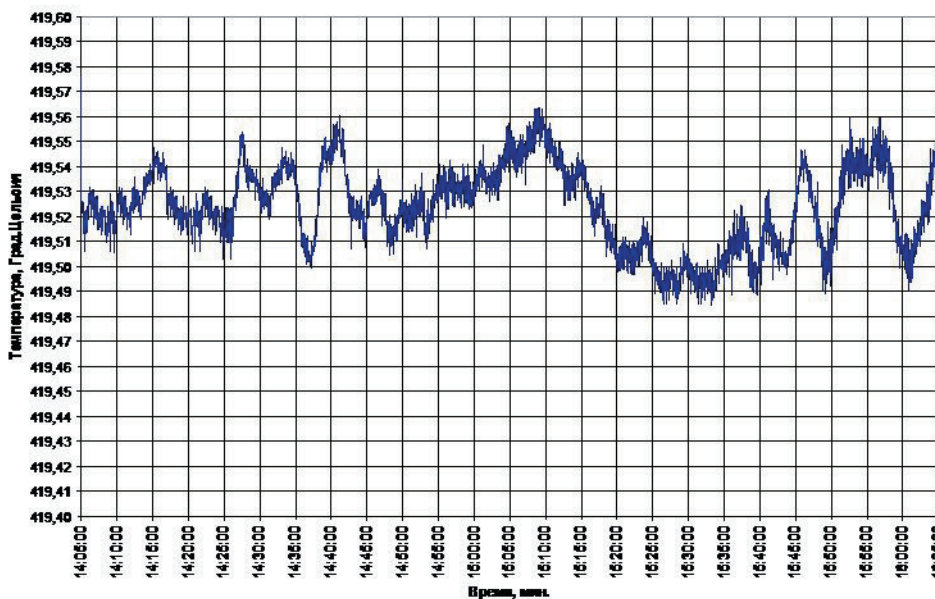


Рисунок 7 – стабильность поддержания температуры в печи ПРТ 50-500 при температурном режиме 231,92 °С

На данном графике приведена стабильность работы печи при температурном режиме 231,92 °С (для реперной точки олова). Как видно из графика стабильность не превысила $\pm 0,025$ °С.



Стабильность поддержания температуры в ПРТ 50-500

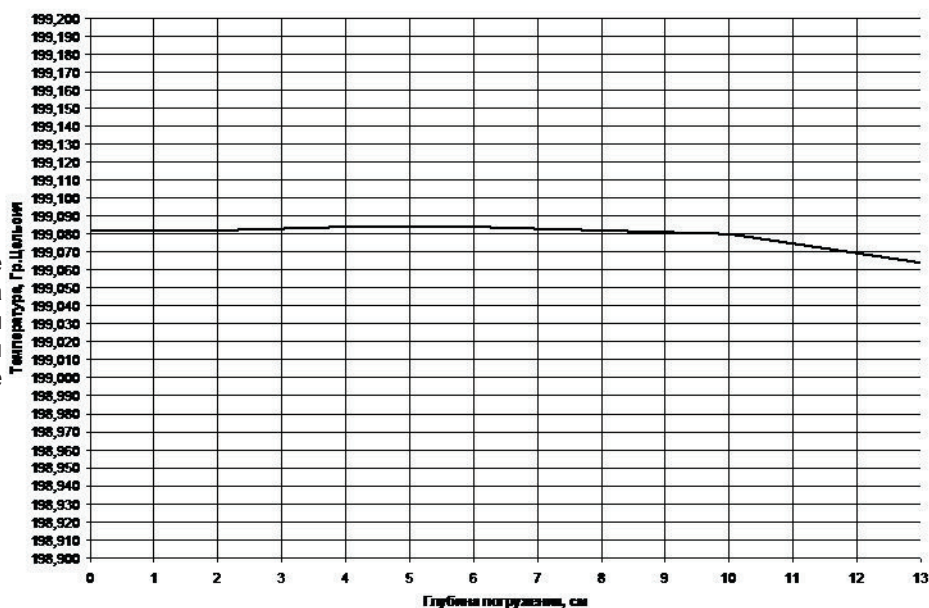


На данном графике приведена стабильность работы печи при температурном режиме 419,52 оС (для реперной точки цинка). Как видно из графика стабильность не превысила $\pm 0,04$ °С за 2.

После предварительной настройки печи с имитатором выполнялись работы с ампулами олова и цинка. Оценивалась равномерность температуры по вертикали в канале ампулы реперной точки олова при температуре 200 °С, когда металл еще не расплавлен, на глубине 100 мм. при помощи ЭТС-100 и измерителя В7-99, разрешающая способность которого составляет 0,001 °С.

Рисунок 8 – стабильность поддержания температуры в печи ПРТ 50-500 при температурном режиме 419,52 оС

Градиент в ампуле олова в ПРТ 50-500



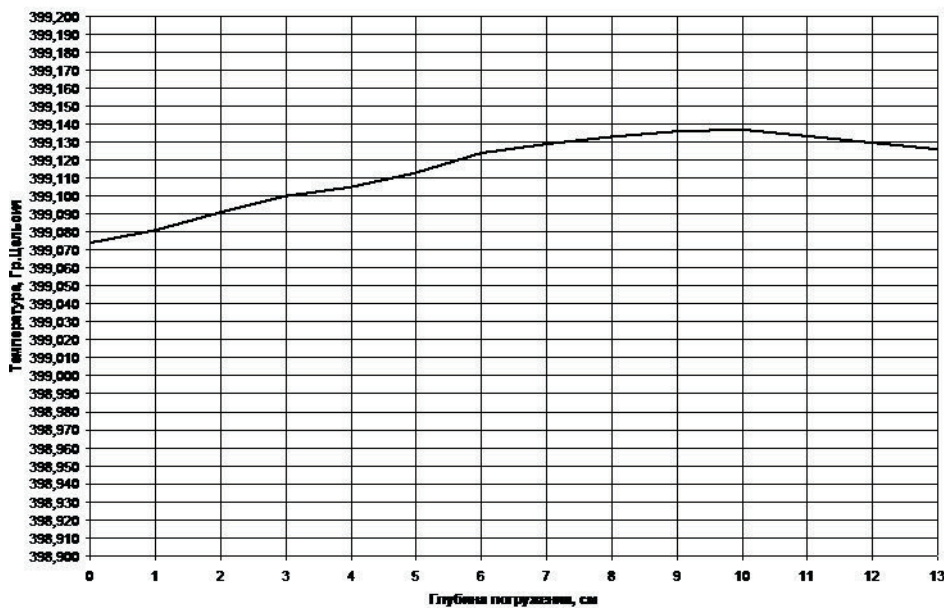
Как видно на графике для температурного режима 200 °С максимальный перепад температуры не превысил 0,01 °С на длине 100 мм.

Рисунок 9 – вертикальный перепад температуры в ампуле реперной точки олова



Аналогичные измерения были выполнены для ампулы цинка при температурном режиме 400 °С

График в ампуле олова в ПРТ 50-500

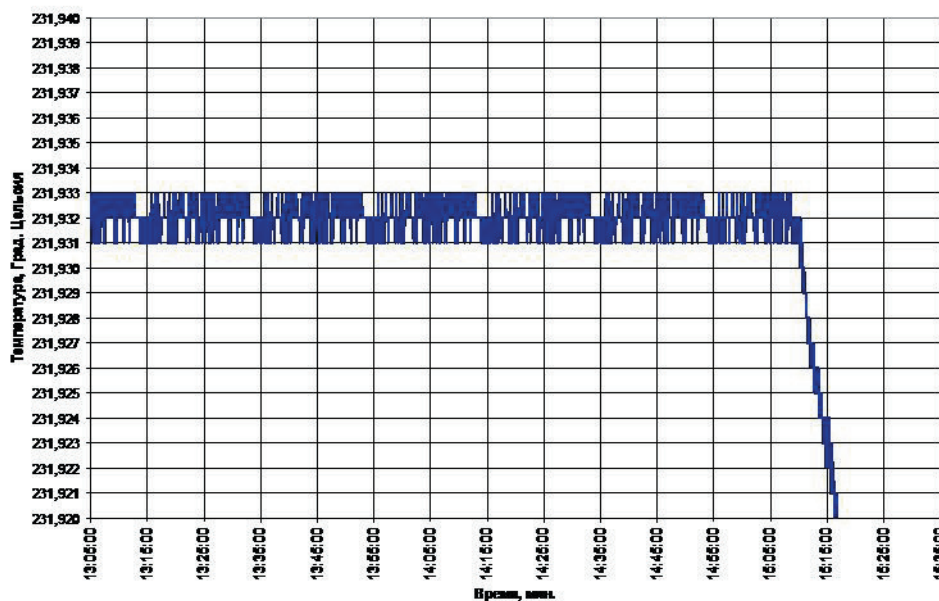


Как видно на графике для температурного режима 400 °С максимальный перепад температуры не превысил 0,1 °С на длине 100 мм.

Полученные результаты измерений говорят о том, что режимы работы нагревателей подобраны правильно и обеспечивают достаточную равномерность температуры для корректной реализации реперных точек олова и цинка.

Рисунок 10 – вертикальный перепад температуры в ампуле реперной точки цинка

Площадка затвердевания олова



На графике приведен конец площадки затвердевания олова. Как видно из графика площадка затвердевания продолжается не менее 2 часов. Окончание площадки вызвано плановым отключением печи в конце рабочего дня.

Рисунок 11 – площадка затвердевания олова

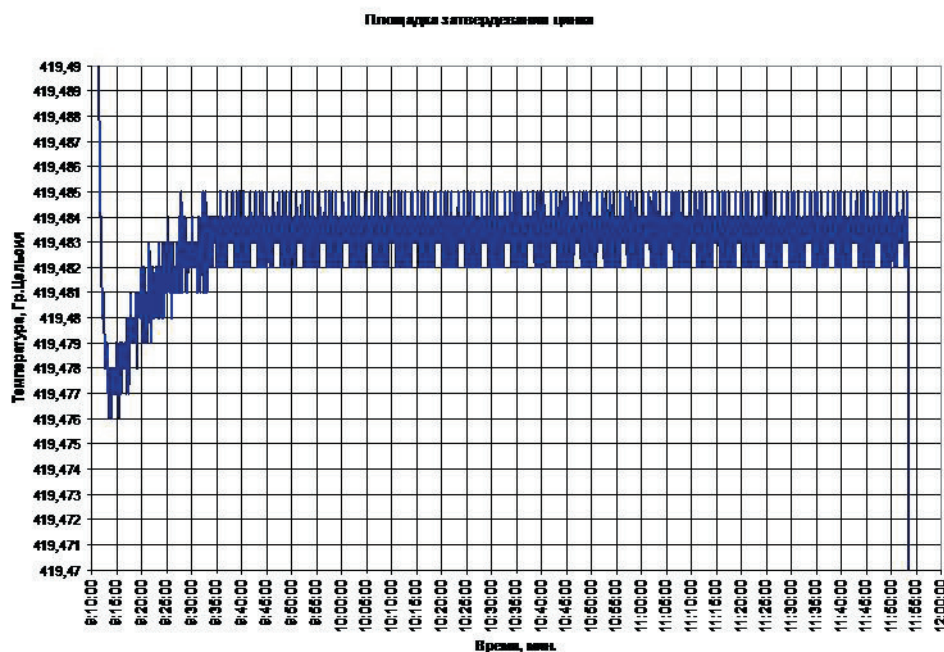


Рисунок 12 – площадка затвердевания цинка

На графике приведена площадка затвердевания цинка. Как видно из графика площадка затвердевания металла продолжается несколько часов. Окончание площадки на графике вызвано отключением печи.

Таким образом, можно сказать, что печь ПРТ 50-500 обладает высокой стабильностью поддержания температуры и обеспечивает хорошую равномерность температурного поля по длине тигля с металлом, что позволяет реализовывать достаточно длительные площадки затвердевания металлов.

Литература

1. "Supplementary information for the international temperature scale of 1990" H. Preston-Thomas, P. Bloembergen, T.J. Quinn.

Сведения об авторе

Малышев Юрий Олегович, ведущий инженер СКБ, ОАО НПП «Эталон»,
644009, г. Омск, ул. Лермонтова, 175,
тел. (3812) 36-99-67,
E-mail: fgup@omsketalon.ru



ДАТЧИКИ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ДТП-0924.

**Смольников Станислав Александрович, ведущий инженер
ОАО НПП «Эталон», г. Омск**

Потребность в измерении теплопроводности различных материалов существует практически в любых областях науки и промышленности. Прежде всего, к ним относятся строительство и энергетика. Необходимость технологического контроля и сертификации по теплопроводности возникает при производстве и эксплуатации новых материалов различного назначения, а также при испытаниях на соответствие требованиям нормативных документов наиболее важных элементов сложных инженерных объектов, например, ограждающих конструкций отапливаемых зданий и сооружений. Таким образом, в современном технологическом обществе, характеризующимся все возрастающим уровнем энергопотребления на фоне постоянного увеличения стоимости и ограниченности запасов энергоносителей, измерения теплопроводности также востребованы среди других видов измерений теплофизических свойств материалов.

После рассмотрения ряда возможных методов изготовления датчика теплового потока, оптимальным для расчета и технологического изготовления оказался метод «вспомогательной стенки». Суть метода заключается в том, что на пути измеряемого потока располагается стенка с известной теплопроводностью. Остается определить перепад температуры и вычислить поток. Как обычно, эффект присутствия измерительного органа желательно свести к минимуму, поэтому вспомогательная стенка, по возможности, не должна быть дополнительной, как ее иногда называют. В тех случаях, когда дополнительное сопротивление неизбежно, необходимо знать не только абсолютную величину, но и ее долю в суммарном тепловом сопротивлении цепи.

Существуют несколько путей реализации метода «вспомогательной стенки», рассмотрим наиболее реализуемые методы на практике при изготовлении образцов датчиков.

Первый рассматриваемый метод основан на использовании дифференциальных термопар, спаянных или сваренных в термобатарей, использующие различное количество спаев, посредством которых генерируется ТЭДС при проходящем тепловом потоке через датчик.

Следующий метод основан на использовании гальванических термоэлементов, полученные путем гальванического осаждения одного металла на другой. В результате из полученных термоэлементов изготавливаются датчики теплового потока, различных габаритов и для различных областей применения в промышленности и народном хозяйстве. На базе предприятия ОАО НПП «Эталон» были разработаны датчики теплового потока, основанные на использовании данного метода.

Датчики плотности теплового потока ДТП 0924 представляет собой — термоэлектрические-гальванические преобразователи, работающие по принципу «вспомогательной стенки». Состоящие из батареи идентичных гальванических термоэлементов, включенных параллельно по измеряемому тепловому потоку и последовательно по генерируемому электрическому сигналу. Герметичность датчика в жестком или гибком исполнении обеспечена заливающим электроизоляционным компаундом.

При эксплуатации ДТП-0924, установленного на поверхности исследуемого объекта, в стационарном режиме теплообмена на противоположных плоских поверхностях ДТП-0924 возникает температурный перепад, благодаря которому в батарее термоэлементов генерируется ТЭДС.

Основные технические характеристики ДТП-0924

| Технические характеристики | В эпоксидном компаунде | В резиновом компаунде |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------------|
| Диапазон измерения плотности теплового потока Вт/м ² | 10...2000 | 10...1000 |
| Пределы допускаемой основной относительной погрешности коэффициента преобразования, %, не более | 6 | 8 |
| Термическое сопротивление датчика, (м ² ·°С)/Вт | 0,004...0.03 | 0.02...0.09 |
| Диапазон значений коэффициента преобразования датчика в рабочем диапазоне температур, Вт/(м ² ·мВ) | 20...40 | 10...40 |
| Рабочий диапазон температур датчика, °С | 10...150 | 10...100 |
| Время термической реакции датчика, с, не более | 5...30 | 50...300 |
| Габаритные размеры, мм (длина и ширина (диаметр)) | 20-0.2; 27-0.3; 60-0.5 | 100-5; 150-7; 210-10; 300-15 |

ДТП-0924 может использоваться:

- с измерителем напряжения постоянного тока класса точности не более 0.1 и разрешением не хуже 10 мкВ;
- с цифровым измерителем теплового потока типа ИТП-11.
- с измерителем теплопроводности ИТ-2

Предназначение ДТП-0924: использование в качестве рабочего средства измерения поверхностной плотности теплового потока при испытании различных строительных изделий и конструкций как в лабораторных с применением климатической камеры, так и в натуральных условиях.

Область применения ДТП-0924 - предприятия строительной отрасли, испытательные лаборатории, сертификационные центры, сельскохозяйственные предприятия.



Градиентные датчики теплового потока.

Так же на базе предприятия ведутся разработки градиентных датчиков теплового потока (ГДТП). ГДТП предназначены для определения плотности теплового потока на поверхности или в толще тел при температурах от -50оС до 600оС и выше.

Область применения ГДТП:

- Датчики успешно используются в диагностике и управлении режимами мощных котельных установок. В частности, ГДТП служат индикаторами ошлакования топочных экранов, что позволяет проводить очистку по фактическому состоянию поверхностей и вплоть до их полного освобождения от шлака.

- ГДТП пригодны для измерений в котлах, газовых и паровых турбинах, компрессорах, авиационных и ракетных двигателях.

- Для контроля тепловых потоков через слои тепловой изоляции и тепловой защиты различных объектов.

- Оценка КПД.

- Оценка технического состояния котлов, агрегатов.

- Обеспечение энергосбережения.

Градуировка ГДТП:

Для градуировки ГДТП создана специализированная установка, в которой источником стабилизированного теплового потока является электрический нагреватель, а температура отнесения определяется с помощью термопары. Установка обеспечивает градуировку с погрешностью не более 5% в диапазоне температур 100...400 °С.

Особенности ГДТП:

- Установлена аномально низкая ($10^{-8}...10^{-9}$ секунды) постоянная времени ГДТП, делающая их практически без инерционными при исследовании большинства тепловых процессов.

- ГДТП работоспособны в присутствии электромагнитных воздействий и не чувствительны к перепадам давлений.

- ГДТП имеют существенные преимущества перед аналогами, позволяющие использовать их при исследовании, оптимизации и эксплуатации промышленных теплоэнергетических установок.

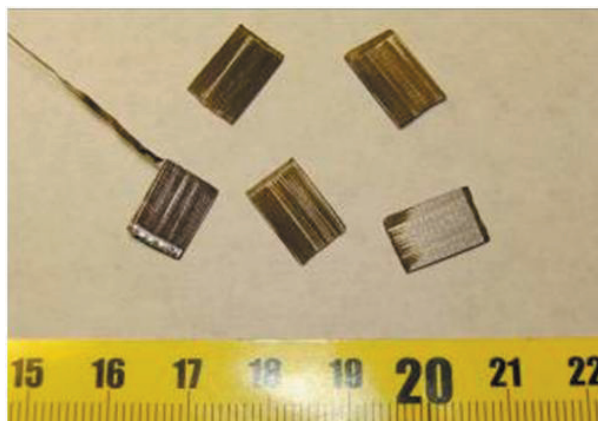
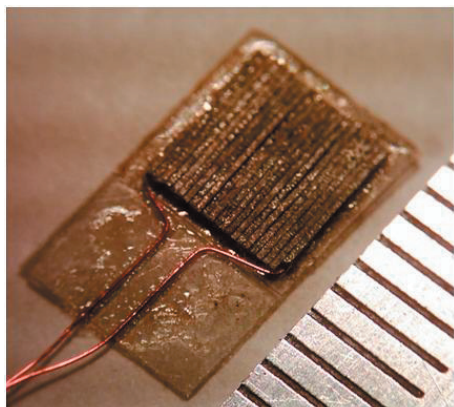
- Созданы принципиально новые градиентные датчики на основе анизотропных слоистых композитов (включая газопроницаемые), в конструкции которых использованы металлы, сплавы и полупроводники. ГДТП обладают термостойкостью до 400°С и выше, что делает их важным средством диагностики на теплоэнергетических объектах.

- ГДТП являются многофункциональными первичными преобразователями, позволяющими, помимо теплового потока, измерять температуру (без дополнительных источников питания), расход и движение жидкости, касательные напряжения трения, а также служить датчиками при мониторинге электрических сетей.

- Предложена новая система теплотрии в топках промышленных котельных агрегатов, исключающая использование термовставок и нарушение герметичности пароводяного контура. Экспериментально доказана работоспособность ГДТП в условиях, близких к реально существующим в топках промышленных котлов.

Основные технические характеристики

| | |
|-----------------------------------------------------------------|----------|
| Рабочий диапазон температур, °С | +50 +400 |
| Рабочий диапазон измеряемых плотностей теплового потока, кВт/м2 | 5...500 |
| Предел допустимого значения погрешности, % | 5 |
| Показатель термической инерции, сек. | 10-9 |
| Масса, кг, не более | 0,001 |
| Габаритные размеры минимальные, мм | 10x5x0,5 |



Все разработки, осуществляемые предприятием, проводятся за счет собственных средств. Конструкция датчиков индивидуальных исполнений согласовывается с заказчиком.

Специалисты выезжают на объекты эксплуатации для изучения проблем измерения температуры и консультаций по температурным измерениям с привязкой к конкретному объекту.



МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА

**Вячеслав Викторович Рубанов, ведущий инженер
ОАО НПП «Эталон», г. Омск**

На сегодняшний день существует две государственные поверочных схемы средств измерений поверхностной плотности теплового потока.

Первая схема разработана ФГУП «СНИИМ» г.Новосибирск и распространяется на средства измерения работающие в диапазоне 10...5000 Вт/м².

Вторая схема разработана ФГУП «ВНИИОФИ» г. Москва и распространяется на средства измерения работающие в диапазоне 20...35000 Вт/м².

Для нашего предприятия стоит задача максимально обеспечить данные поверочные схемы метрологическим оборудованием. Для этого разработаны следующие изделия.

ДАТЧИК ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ЭТАЛОННЫЙ ДТП 0925

Датчики плотности теплового потока эталонные ДТП 0925 (далее датчики) предназначены для поверки (калибровки) средств измерения теплового потока и (или) поверхностной плотности теплового потока.

Область применения: лаборатории промышленных предприятий, центры стандартизации метрологии, научно-исследовательские учреждения.

Датчики выполнены в виде вспомогательной стенки, состоящей из батареи идентичных гальванических термоэлементов, включенных параллельно по измеряемому тепловому потоку и последовательно по генерируемому электрическому сигналу. Монолитность датчиков обеспечена заливочным электроизоляционным компаундом.

| Характеристики | ДТП 0925 |
|------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Диапазон измерения плотности теплового потока, Вт/м ² | 10...5000 |
| Рабочий диапазон температур, °С | -70...150 |
| Допускаемая основная относительная погрешность преобразования, % | 1,5 |
| Термическое сопротивление датчиков, (м ² • К)/Вт | 0,0015...0,0025 |
| Показатель тепловой инерции датчиков, не более, с | 8 |
| Габаритные размеры, мм | |
| диаметр (в зависимости от исполнения) | 27, 40, 60 |
| толщина | 2 |
| Масса, кг | 0,025 |

У С Т А Н О В К А ТЕПЛОМЕТРИЧЕСКАЯ УТМ – 1

Установка теплометрическая УТМ – 1 предназначена для воспроизведения поверхностной плотности теплового потока при проведении поверки (калибровки) средств измерений поверхностной плотности теплового потока методом сличения в условиях стационарного температурного режима.

Установка обеспечивает поверку (калибровку) средств измерений теплового потока, имеющими разную конструкцию (термоэлектрические гальванические, полупроводниковые и т.д.), различные формы и размеры (в пределах диаметра рабочей зоны 300 мм), в том числе с датчиками, отличающимися по конструкции и форме от эталонных датчиков, с которыми осуществляется сличение.

Установка представляет собой комплекс, состоящий из блока теплометрического, блока охлаждения, блока управления БУ-8, и измерителя В7-99 и блока коммутации БК-12.

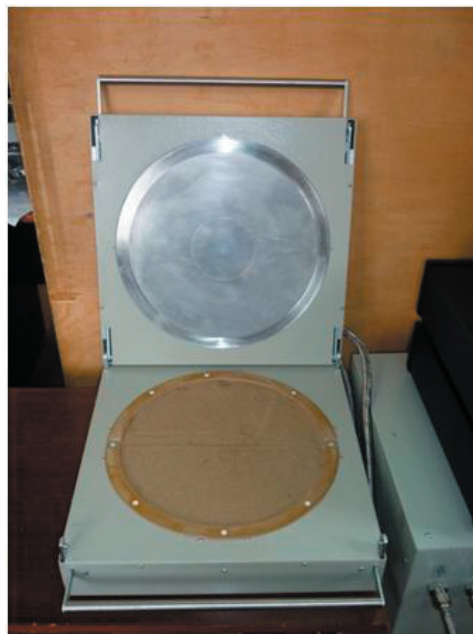




Теплометрический блок состоит из теплометрической ячейки, расположенной между нагревателем и холодильником, образуя совместно рабочий объем теплометрической камеры. В холодильнике размещены каналы для протекания охлаждающей жидкости, в нагревателе – нагревательный элемент. Холодильник теплометрического блока соединяется с блоком охлаждения посредством гибких шлангов обеспечивающих прохождение охлаждающей жидкости. Термометр сопротивления размещенный в блоке охлаждения, посредством гибкого кабеля соединен с блоком управления, на дисплее которого индицируется значение температуры воды. Также в блоке охлаждения размещен “холодный” спай термопары, а ее “горячий” спай помещен в нагревателе. Блок управления измеряет разность температур холодильника и нагревателя, а также поддерживает эту разность ΔT в заданных пределах, управляя подводимой к нагревателю мощностью.

Верхняя часть теплометрического блока (холодильник) соединена с нижней частью (нагревателем) шарнирным соединением. Теплопринимающая поверхность холодильника, теплопередающая поверхность нагревателя и опорное кольцо, образуют рабочий объем теплометрической камеры.

В рабочем объеме размещаются эталонный и поверяемые датчики плотности теплового потока и засыпаются песком.



В объеме песка устанавливается требуемая плотность теплового потока, пропорциональная определенному перепаду температуры между нагревателем и холодильником.

Холодильник и нагреватель представляют собой плоские диски. В холодильнике размещены каналы для протекания охлаждающей жидкости, в нагревателе – нагревательный элемент.

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Характеристики | УТМ-1 |
| Диапазон поверхностной плотности теплового потока, создаваемого в теплометрической камере, Вт/м ² | 10...2000 |
| Размеры теплометрической камеры, мм: | |
| - диаметр | 300 |
| - высота | 30 |
| Нестабильность поддержания заданной плотности теплового потока в установившемся температурном режиме, % в минуту | 0,25 |
| Неравномерность плотности теплового потока в рабочей зоне теплометрической камеры в установившемся температурном режиме, % | |
| - для диаметра рабочей зоны 100 мм | 3 |
| - для диаметра рабочей зоны 280 мм | 4 |
| Диапазон температур в рабочем объеме камеры, °С | 25...220 |
| Напряжение электропитания, В | 198...242 В |
| Частота электропитания, Гц | 49...51 |
| Потребляемая мощность установки, В•А | 1500 |



УСТАНОВКА ТЕПЛОМЕТРИЧЕСКАЯ
УТМ – 2

Установка теплометрическая УТМ – 2 предназначена для передачи размера поверхностной плотности теплового потока средствам измерений поверхностной плотности теплового потока методом прямых измерений плотности теплового потока в условиях стационарного температурного режима.

Установка обеспечивает поверку (калибровку) средств измерений теплового потока, имеющими разную конструкцию (термоэлектрические гальванические, полупроводниковые и т.д.), различные формы и размеры (в пределах диаметра рабочей зоны 150 мм), в том числе с датчиками, отличающимися по конструкции и форме от эталонных датчиков, с которыми осуществляется сличение.

Установка представляет собой комплекс, состоящий из блока теплометрического, блока охлаждения, блока управления БУ-7, и измерителя В7-99 и блока коммутации БК-12.

Теплометрический блок состоит из теплометрической ячейки, расположенной между двумя рабочими поверхностями, образуя совместно рабочий объем теплометрической камеры.

На верхней рабочей поверхности размещаются эталонный и поверяемые датчики плотности теплового потока.



В теплометрической ячейке устанавливается требуемая плотность теплового потока, пропорциональная определенному перепаду температуры между двумя рабочими поверхностями.

Рабочие поверхности представляют собой плоские диски. В каждой из них расположен и холодильник и нагреватель одновременно, что дает возможность менять направления потока и температуру при поверке датчика без перестановки датчика.

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Характеристики | УТМ-2 |
| Диапазон поверхностной плотности теплового потока, создаваемого в теплометрической камере, Вт/м ² , в пределах | 1...3000 |
| Неравномерность плотности теплового потока в рабочей зоне теплометрической камеры в установившемся температурном режиме, % | 2 |
| Нестабильность поддержания заданной плотности теплового потока в установившемся температурном режиме, % в минуту | 0,1 |
| Диапазон температур в рабочем объеме камеры, °С | -30...+200 |
| Напряжение электропитания, В | 198...242 В |
| Частота электропитания, Гц | от 49 до 51 |
| Потребляемая мощность установки, В•А | 3000 |
| Размеры теплометрической камеры, мм: | |
| - диаметр | 150 |
| - высота | 20 |
| Средняя наработка на отказ, ч | 8000 |

**УСТАНОВКА ТЕПЛОМЕТРИЧЕСКАЯ РАДИОЦИОННАЯ УТМ-Р**

Установка теплометрическая радиационная УТМ – Р (далее установка) предназначена для передачи размера поверхностной плотности теплового потока средствами измерений поверхностной плотности теплового потока методом прямых измерений плотности теплового потока в условиях стационарного температурного режима.

Установка обеспечивает поверку (калибровку) средств измерений теплового потока, имеющими разную конструкцию (термоэлектрические гальванические, полупроводниковые и т.д.), различные формы и размеры (в пределах диаметра рабочей зоны 200 мм), в том числе с датчиками, отличающимися по конструкции и форме от эталонных датчиков, с которыми осуществляется сличение.

Установка представляет собой комплекс, состоящий из блока теплометрического радиационного, блока охлаждения, блока управления БУ-7, и измерителя В7-99 и блока коммутации БК-12.

Теплометрический блок состоит из излучателя, предназначенного для воспроизведения теплового потока заданной плотности и холодильника.

Для проведения поверки (калибровки) эталонный и поверяемые датчики плотности теплового потока располагаются на рабочей поверхности холодильника.

В пространстве рабочей камеры между излучателем и холодильником устанавливается требуемая плотность теплового потока, пропорциональная установленному перепаду температур между ними.

| Характеристики | УТМ-Р |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Диапазон поверхностной плотности теплового потока, создаваемого на поверхности холодильника, Вт/м ² | 100...10000 |
| Неравномерность плотности теплового потока в рабочей зоне теплометрической камеры в установившемся температурном режиме, % | 2 |
| Нестабильность поддержания заданной плотности теплового потока в установившемся температурном режиме, % в минуту | 0,1 |
| Диапазон температур в рабочей поверхности, °С | -20...+40 |
| Диапазон температуры излучателя, °С | 30...500 |
| Напряжение электропитания, В | 198...242 В |
| Частота электропитания, Гц | 49...51 |
| Потребляемая мощность установки, В•А | 3000 |
| Размеры рабочей поверхности, мм, не менее: | Ø 200 |
| Средняя наработка на отказ, ч, не менее | 8000 |

