



**МАТЕРИАЛЫ  
11-ГО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО  
СЕМИНАРА-СОВЕЩАНИЯ**

НА ТЕМУ:

**«ЭТАЛОННЫЕ И РАБОЧИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ В  
ОБЛАСТИ ТЕПЛОФИЗИКИ.  
ТЕМПЕРАТУРНЫЙ МОНИТОРИНГ ПРОТЯЖЕННЫХ  
ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ.  
ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПЛАВОВ ЧЕРНЫХ И  
ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ДО 1700 °С»**

2013г.



## СОДЕРЖАНИЕ

**МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ РАСПЛАВОВ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ***Ивлиев А. Д., Мориллов В.В., Куриченко А.А., Мешков В. В., Гой С. А.....3***СПОСОБ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ С ЭЛИМИНИРОВАНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТА ЧЕРНОТЫ И УСТРОЙСТВА ЕГО ИЗМЕРЕНИЯ***Захаренко Владимир Андреевич, Кликушин Юрий Николаевич, А.Г. Шкаев.....7***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»).....8***СПОСОБЫ ОПЕРАТИВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПЛАВА МЕТАЛЛОВ ДЛЯ НУЖД МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ***Инженер II категории ОАО НПП «Эталон» Демидович Ольга Алексеевна.....12***ТЕРМОМЕТРЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТЕРМО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРОИЗВОДСТВА ОАО НПП «ЭТАЛОН»***Инженер-конструктор ОАО НПП «Эталон» Герлах Юлия Ивановна.....14***ПРИБОРЫ ОАО НПП «ЭТАЛОН» В ЭНЕРГОАУДИТЕ***Инженер 3 категории ОАО НПП «Эталон» Аксенов Дмитрий Николаевич.....16***АВТОМАТИЗАЦИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО СПЕЦИАЛЬНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР ОТ 1337 ДО 1800 К «ГЭТ 67-75» С ПОМОЩЬЮ ОБОРУДОВАНИЯ ОАО НПП «Эталон»***Ведущий инженер ОАО НПП «Эталон» Юрий Олегович Малышев.....18***АВТОНОМНЫЙ ЛОГГЕР ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ***Ведущий инженер ОАО НПП «Эталон» Неделько Александр Юрьевич.....21***МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОВЕРКИ КОНТАКТНЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ***Главный метролог ОАО НПП «Эталон» Айзикович Евгений Вельевич.....23***МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОВЕРКИ БЕСКОНТАКТНЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОИЗВОДСТВА ОАО НПП «ЭТАЛОН»***Главный метролог ОАО НПП «Эталон» Айзикович Евгений Вельевич.....24***ДАТЧИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОвого ПОТОКА И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОвого ПОТОКА***Ведущий инженер ОАО НПП «Эталон» Смольников Станислав Александрович.....28***ТЕМПЕРАТУРНЫЙ МОНИТОРИНГ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ КВАРЦЕВЫМИ И ТЕРМИСТОРНЫМИ ДАТЧИКАМИ***А.К. Юрков, Д.Ю. Демежко, В.В. Дергачев - Институт геофизики УрО РАН**В.М. Мухин – Омский Государственный университет**А.Д. Дучков. – Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН.....32*



## МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ РАСПЛАВОВ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Ивлиев А. Д., Мориллов В. В., Куриченко А. А., 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

**Введение.** Расплавы черных и цветных металлов – специфическая среда, обладающая высокой химической активностью, способностью растворять в себе многие металлические и неметаллические вещества, высокой возгораемостью и др. Исследование свойств таких объектов представляет собой сложную экспериментальную задачу. Говоря о явлениях теплопереноса, следует отметить, что стационарные методы, широко используемые при низких температурах, оказались практически неприменимы для металлических расплавов. Тем не менее, необходимость в получении сведений о теплофизических свойствах жидких металлов и сплавов существует уже длительное время. Не прекращается интерес к этой теме и в наши дни [1, 2].

Современные методы исследования теплофизических свойств жидких металлов и сплавов основаны на использовании нестационарных (квазистационарных) тепловых потоков [3, 4]. Интересный метод измерения был предложен в работе [5] для оценки теплофизических характеристик в процессе плавления. Однако этот метод может быть использован лишь в той области температур, где исследуемый образец является двухфазным.

При исследовании свойств вещества в широкой окрестности температуры плавления применяются те же методы, что и для исследования свойств твердых веществ: импульсный и температурных волн [6, 7]. Данные методы позволяют измерять теплопроводность вещества, которая по определению есть [8, 9]

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

где  $\lambda$  – теплопроводность,  $C_{уд}$  – удельная теплоемкость,  $\gamma$  – плотность вещества.

Ниже рассмотрим основные особенности применения этих методов для исследования свойств жидких металлов и сплавов.

**Методы измерения и установки.** В основе импульсного метода лежит взаимосвязь между временем распространения теплового импульса и теплопроводностью, установленная Паркером с соавторами [6]. Основные идеи, позволяющие использовать этот метод для исследования свойств металлических жидкостей, были разработаны Станкусом С. В. с сотрудниками [2, 10]. Измерительная ячейка установки представлена на рис. 1. Она состоит из двух тиглей внутреннего (1) и внешнего (2), установленных соосно. Тигли изготовлены из тугоплавких металлов. Радиусы внутренней и наружной боковых поверхностей внутреннего тигля  $R1$  и  $R2$ . Наружный тигель имеет соответственно размеры  $R3$  и  $R4$ . Исследуемый образец (3) помещается в промежутке между тиглями. Ось системы (ось  $z$ ) имеет

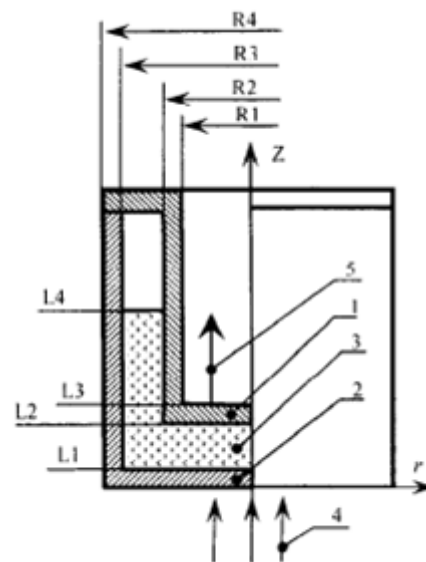


Рис. 1. Сечение измерительной ячейки импульсной установки

нулевое значение в точке ее пересечения с нижней торцевой поверхностью (основанием) наружного тигля (2). Значения параметров системы, обозначенные как 1.1, 1.2, 1.3, определяют основные геометрические размеры ячейки, позволяющие рассчитать теплопроводность исследуемого вещества по результатам измерения времени распространения теплового сигнала через ячейку.

На нижнюю торцевую поверхность (основание) наружного тигля (3) воздействует импульсный тепловой поток (4), создаваемый импульсным лазером. Это тепловое воздействие вызывает нагрев дна наружного тигля. Созданный тепловой импульс распространяется затем через наружный тигель (2), слой исследуемого образца (3) и внутренний тигель (1). Излучение (5), создаваемое верхней торцевой поверхностью (основанием) внутреннего тигля (1), преобразуется с помощью инфракрасного датчика в электрический сигнал. В дальнейшем измерительная система анализирует время распространения теплового сигнала через ячейку.

Данная ячейка монтируется в вакуумной камере установки LFA-427, выпускаемой фирмой «NETZSCH». Нагреватель вакуумной камеры обеспечивает изменение средней температуры образца от комнатной до 2300 К в среде благородных газов (гелия или азота).

Изменение температуры верхней поверхности внутреннего цилиндра (5) имеет импульсный характер. В адиабатных условиях, при бесконечно коротком тепловом импульсе (4) для бесконечных поперечных размеров образца (естественно, однородного), имеющего толщину  $l$ , взаимосвязь между временем  $t_{1/2}$  достижения выходным импульсным сигналом значения, равного половине амплитуды импульса, и теплопроводностью исследуемого образца



имеет вид [6]

$$a = \frac{1,38 \cdot l^2}{\pi^2 t_{1/2}} \quad (2)$$

Реально тепловой сигнал распространяется через многослойную структуру (см. рис. 1). Свойства материала тиглей предполагаются известными, их толщины тоже (толщина дна каждого из тиглей равна 0,5 мм, толщина расплавленного образца 1-2,5 мм). Однако, температура ячейки высока, и необходим корректный учет влияния теплообмена. Кроме того, поперечные размеры образца ограничены, а реальный тепловой импульс не является бесконечно коротким. Важно и то, что в системе возникает конвекция. По мнению авторов, она в значительной степени подавляется за счет применения внутреннего тигля и отсутствия свободной поверхности у расплавленного образца. Подробный анализ данной тепловой задачи показывает, что для учета влияния мешающих факторов необходима оценка многих параметров, которая практически невозможна. В работах [2, 10] величина температуропроводности определялась по наилучшему совпадению теоретической и экспериментальной зависимостей импульсного изменения темп-ры от времени. Авторами [2, 10] оценена погрешность измерения в 5%.

**Метод температурных волн** [7] может быть применен для исследования расплавов в двух модификациях. Во-первых, он может быть использован в виде, применяемом для твердофазных образцов. Во-вторых, этот метод может быть использован в специфическом варианте, при котором колебания температуры образца оцениваются в той области поверхности образца, на которую воздействует модулированный тепловой поток, возбуждающий температурную волну. Рассмотрим в общих чертах эти варианты.

**Первый вариант** широко используется при исследовании твердофазных материалов. Образец имеет форму пластины, толщина которой составляет 0,5-2,5 мм. Теоретическую основу метода составляет одномерная модель [7, 11]. Рассматривается распространение плоской температурной волны через бесконечную однородную пластину толщиной  $l$ , рис. 2. На первую (левую) поверхность пластины воздействует тепловой поток  $q(t)$

$$q(t) = \bar{q} + \Delta q(t) , \quad (3)$$

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

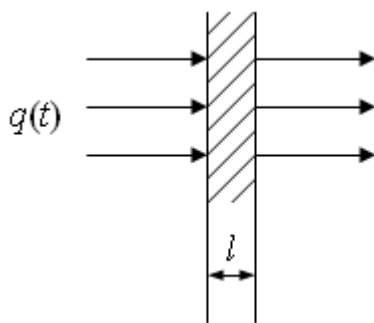


Рис. 2. Одномерная тепловая модель

Тепловой поток (3) вызывает распространение в образце одномерной температурной волны. При малых

амплитудах волны уравнение теплопроводности и граничные условия данной задачи линеаризуются. Используя понятия теории гармонических волн, отметим, что на второй (правой) поверхности пластины будут наблюдаться колебания температуры  $\Delta\theta(t)$ , сдвинутые по фазе на величину  $\varphi$  по отношению к колебаниям теплового потока  $\Delta q(t)$  и имеющие амплитуду  $\Delta\theta$ . Анализ показывает, что при достаточно больших фазовых запаздываниях  $\varphi$  и при не очень больших коэффициентах теплообмена образца с окружающей средой, взаимосвязь между фазой и температуропроводностью образца имеет вид

$$a = \frac{\omega l^2}{k^2} \varphi \left| - \frac{\pi}{4} \right| , \quad (4)$$

$$a = \frac{\omega l^2}{k^2} , \quad (5)$$

где  $\omega$  – угловая частота температурной волны. Дальнейший анализ показал, что в том случае, когда размеры образца ограничены, также может быть использована данная одномерная методика, только при большем фазовом запаздывании температурной волны. Иными словами, методика (4)-(5), являясь адиабатной, может быть применена к образцам конечных поперечных размеров и конечной толщины. Для используемых практически образцов условия применимости этой методики имеют вид

$$Bi < 0,012; \quad k > 2,5, \quad (6)$$

здесь  $Bi$  – число Био, определяющее интенсивность теплообмена образца с окружающей средой. Погрешность данной методики по сравнению с точным результатом для двухмерной модели не превышает 1%. Говоря другим языком, метод температурных волн допускает корректный учет влияния теплообмена и конечности размеров образца.

Таким образом, при известной толщине образца  $l$  и частоте температурной волны  $\omega$  для расчета температуропроводности образца необходимо измерить величину фазового запаздывания  $\varphi$ . Таким образом, установка, исследующая температуропроводность, представляет собой фазометр. Этот фазометр должен обрабатывать достаточно слабые сигналы, поскольку малость амплитуды колебаний температурной волны является важным условием, позволяющим линеаризовать уравнение теплопроводности. Данная методика реализуется в установках с различными типами источников тепловых потоков.

Рассмотрим **электронный нагрев**. В этом случае тепловой поток (3) создается с помощью модулированного электронного потока. Измерения возможны только в вакууме. Исследуемые образцы должны быть проводящими (образец играет роль анода).

В работах [12, 13] образец имеет форму плоской пластины, расположенной горизонтально (поперечный размер 8-12 мм). Электронный поток воздействует на нижнюю плоскую поверхность. С помощью фотодатчика анализируются колебания температуры второй (верхней) плоской поверхности образца. Тепловой поток состоит из двух составляющих: относительно медленно изменяющейся (нарастающей) составляющей и



гармонической составляющей. Благодаря этому температурные волны создаются на фоне монотонно изменяющейся (нарастающей) температуры образца. Подобрав скорость изменения средней температуры образца, можно осуществить измерения не только в твердом состоянии, но и в процессе плавления, пока образце не потеряет форму. Измерительная аппаратура установки 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. Рабочий диапазон температур составляет от 700 К до температуры плавления образца. Средняя квадратичная погрешность измерения теплопроводности равна примерно 2 – 3 % (данные для твердофазных образцов).

Иной вариант построения установки с электронным нагревом предложен Филипповым Л.П. [14] (исторически эта первая установка, предназначенная для измерения теплопроводности жидких металлов). В отличие от рис. 1, исследуемое вещество заливается в промежуток между боковыми цилиндрическими поверхностями ячейки. Ячейка является анодом системы. Катод – вольфрамовая спираль, расположенная внутри ячейки по оси системы. Изотермы в данной задаче не являются плоскими. При выборе радиусов цилиндров, между которыми находится жидкий образец, достаточно близкими, можно пользоваться при расчетах рассмотренной выше одномерной плоской методикой. Для подавления конвективных токов в образце устанавливаются горизонтальные плоские перегородки, затрудняющие движение жидкости. В процессе эксперимента оценивается фаза колебаний температуры внешней цилиндрической поверхности ячейки по отношению к фазе колебаний теплового потока. Погрешность измерений оценена в 2 %.

Радиационный нагрев образца осуществляется в установке с использованием лазера [7]. Излучение непрерывного лазера распространяется горизонтально, проходит через амплитудный модулятор и превращается в поток импульсов. Это излучение воздействует на первую (левую, рис. 2) поверхность образца, расположенного вертикально (как показано на рис. 2). Жидкий образец находится в контейнере, изготовленном из тугоплавкого металла. Контейнер имеет плоскопараллельную форму. Обычно, толщина материала, из которого изготовлен контейнер, (толщина стенок контейнера) составляет 0,2 мм. Поперечный размер контейнера-образца составляет 12-15 мм. Контейнер с образцом находится в вакуумной камере, снабженной специальным нагревателем, изменяющим среднюю температуру образца (лазер обеспечивает только модуляцию температуры, т.е. создание температурной волны). Рабочий диапазон средних температур от комнатной до 2300 К. Измерения могут осуществляться в вакууме или в атмосфере гелия. В жидком образце осуществляется свободная конвекция. В данной установке, как и в установках [2, 10, 14], тепловой сигнал проходит через многослойную систему, состоящую из двух стенок контейнера и исследуемого образца. Влияние свойств контейнера в методе температурных

волн можно учесть [15]. Оценки показывают, что общая величина средней квадратичной погрешности измерения составляет 5%.

Рассмотрим **второй вариант** метода температурных волн. Он специально разработан для исследования свойств жидких металлов и сплавов. Анализ показал, что источником информации, позволяющим установить значения теплофизических характеристик исследуемого вещества, может быть и первая (левая на рис. 2) поверхность образца [16]. Так по фазе колебаний температуры первой поверхности может быть рассчитана теплопроводность. Данный вариант представляет интерес потому, в частности, что может быть реализован и на образцах, которые в рамках рассматриваемой модели могут считаться полубесконечными средами [17]. Благодаря этому нет необходимости контролировать линейные размеры (толщину) жидких образцов, которые весьма нестабильны (этот недостаток присущ всем рассмотренным выше методам). Таким образом, в рамках рассматриваемого метода на поверхность образца подается изменяющийся во времени тепловой поток (3). Диаметр теплового потока имеет конечные размеры (практически 1-3 мм). Вследствие этого в образце возникает температурная волна, распространяющаяся вглубь образца и по его поверхности. Расчет показывает, что фаза колебаний температуры поверхности образца в центральной точке падающего теплового потока связана с теплопроводностью исследуемого вещества. Аналитические выражения достаточно сложны [17], однако в принципе задача решается.

В соответствии с данной методикой была создана установка, использующая излучение лазера для создания температурной волны в образце [18, 19]. Радиационный нагрев позволяет исследовать не только проводящие материалы, но и диэлектрики, лишь бы они были непрозрачны для лазерного излучения. Излучение непрерывного лазера распространяется в горизонтальном направлении через модулятор и превращается в периодический поток импульсов. Полученное импульсное излучение отразившись от зеркала падает вниз и попадает в вакуумную камеру на поверхность исследуемого образца. Образец жидкий, поэтому его поверхность располагается горизонтально. Вакуумная камера снабжена нагревателем, позволяющим изменять среднюю температуру образца от комнатной до 2300 К. Фотодатчик, преобразующий колебания температуры в электрический сигнал, нацелен на центральную область поверхности образца, подвергающуюся действию излучения лазера. Лазер и фотодатчик выбраны такими, чтобы фотодатчик не реагировал на отраженное от поверхности образца излучение лазера, а регистрировал только собственное излучение образца. Сигнал с выхода фотодатчика попадает в цифровую вычислительную машину. Его обработка позволяет измерить величину фазового запаздывания и рассчитать теплопроводность исследуемого образца. Средняя квадратичная погрешность измерения теплопроводности, достигаемая на этой установке, оценивается в 6 %. Значительная доля этой погрешности связана с неопределенностью влияния конвективных токов на результаты измерения теплопроводности. Аналогичного рода проблемы имеют место и для рассмотренных ранее установок.

Следует отметить, что ни в одной из





рассмотренных установок не производится измерение средней температуры самого жидкого образца контактными методами. В качестве средней температуры используется либо оценка температуры твердофазной ячейки, либо температура газа в окрестности поверхности исследуемого образца. Для этих измерений используются термопары. Пирометрические измерения средней температуры образца практически не применяются в имеющихся установках.

**Заключение.** В настоящее время в России созданы и эксплуатируются установки различных типов, предназначенные для исследования теплопроводности жидких металлов и сплавов. Однако качество работы этих установок еще далеко от совершенства. Многие составляющие погрешностей еще не изучены, благодаря чему оценка реальных погрешностей измерения еще не проведена ни для одной из них.

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

### Литература

1. Ceotto D. Thermal Diffusivity, Viscosity and Prandtl Number for Molten Iron and Low Carbon Steel [Text] / Ceotto D. // Теплофизика высоких температур. – 2013. – Т. 51. - № 1. - С. 140-143.
2. Савченко И. В. Исследование теплопроводности и температуропроводности жидкого висмута в интервале температур 545–970 К [Текст] / И. В. Савченко, С. В. Станкус, А. Ш. Агажанов // Теплофизика высоких температур. – 2013. - Том 51, - № 2, - С. 315-317.
3. 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.
4. 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.
5. Островский О. И. Оценка коэффициентов теплопроводности жидких металлов. [Текст] / О. И. Островский, В. А. Ермаченков, В. А. Григорян, О. Б. Бобровский, Е. Н. Меркулов // Заводская лаборатория. – 1979. - № 11. - С. 1023-1026.
6. Parker W. J. Flash method of determining thermal diffusivity, heat capacity and thermal conductivity [Text] / W. J. Parker, R. J. Jenkins, C. P. Butler, G. L. Abbott // J. Appl. Phys., - 1961. - V. 32. - № 9. - P. 1679 - 1684.
7. Ивлиев А. Д. Метод температурных волн в теплофизических исследованиях [Текст] / А. Д. Ивлиев // Теплофизика высоких температур. – 2009. – Т. 47. – № 5. – С. 771 – 792.
8. Лыков А. В. Теория теплопроводности [Текст] / А. В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.
9. Михеев М. А. Основы теплопередачи [Текст] / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.
10. Станкус С. В. Измерение коэффициентов переноса тепла жидких металлов методом лазерной вспышки [Текст] / Станкус С. В., Савченко И. В. // Теплофизика и аэромеханика. – 2009. – Т. 16, № 4. – С. 625-632.
11. 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.
12. Горбатов В. И. Измерение температуропроводности в режиме субсекундного нагрева. Расчет динамической поправки [Текст] / В. И. Горбатов, С. А. Ильиных, С. Г. Талуц, В. Е. Зиновьев // Инженерно-физический журнал. – 1988. – Т. 55. № 3. – С. 485 – 490.
13. Власов Б. В. Температуропроводность и теплопроводность монокристаллического рения при высоких температурах в твердом и жидком состояниях [Текст] / Б. В. Власов, С. Г. Талуц, В. Е. Зиновьев, В. М. Манжуев, Д. М. Тагирова // Физика металлов и металловедение. – 1990. - № 8. - С. 195-197.
14. Филиппов Л. П. Измерение тепловых свойств твердых и жидких металлов при высоких температурах [Текст] / Л. П. Филиппов. – М.: Изд-во МГУ, 1967. – 325 с.
15. Ивлиев А. Д. Применение метода плоских температурных волн при исследовании гетерогенных двухслойных материалов. [Текст] / А. Д. Ивлиев, А. Н. Поздеев, В. В. Мориллов // Деп. в ВИНТИ 22.06.89. Рег. № 4111-В89. Инженерно-физический журнал. – 1989. - Т. 57. - № 5. - С. 866-867.
16. 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 // Бюллетень изобретений. - 1990. - № 40. - 6 с.
17. Мориллов В. В. Измерение коэффициента температуропроводности материалов [Текст] / В. В. Мориллов, А. Д. Ивлиев, А. Н. Поздеев // Инженерно-физический журнал. – 1993. - Т. 64. - № 1. - С. 73-74.
18. Ivliyev A. D. Method and Mounting for Solid and Liquid Matter Thermal Diffusivity Investigations at High Temperatures [Text] / A. D. Ivliyev, V. V. Morilov // In book "Abstracts of the Thirteenth Symposium on Thermophysical Properties. June 22-27. 1997". - Boulder, Colorado, USA. NIST. - P. 343.
19. Ивлиев А. Д. Измерения температуропроводности твердых и жидких металлов и сплавов методом температурных волн. [Текст] / А. Д. Ивлиев, А. А. Куриченко, С. А. Анахов, А. В. Волков, А. В. Шульгин, В. В. Мориллов. // Промышленная теплотехника. - 2003. - Т. 25. - № 4. - С. 447-448.

## СПОСОБ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ С ЭЛИМИНИРОВАНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТА ЧЕРНОТЫ И УСТРОЙСТВА ЕГО ИЗМЕРЕНИЯ

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

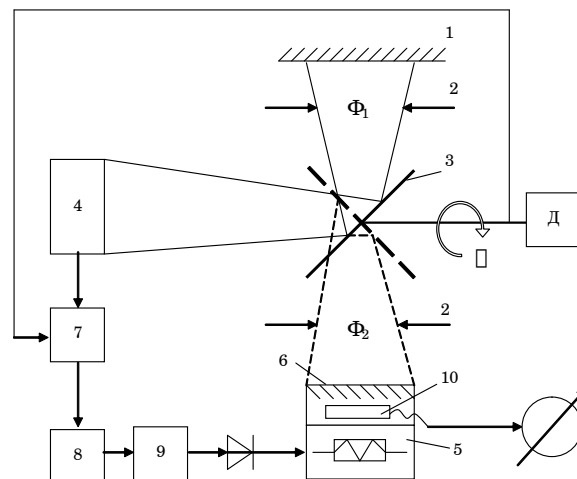
В настоящей работе предложен новый способ бесконтактного измерения температуры, позволяющий элиминировать неопределённость, связанную с изменениями коэффициентов черноты (Патент РФ №2456557, Оpubл. 20.07.2012 г.).

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

Функциональная схема реализации предложенного способа измерения температуры приведена на рис.1. Излучение от объекта контроля 1, через диафрагму 2, вращающееся зеркало 3, попадает на приемник излучения 4. Пирометр содержит также дополнительный источник теплового излучения 5 со сменной излучающей поверхностью 6, синхронный коммутатор 7, операционный усилитель 8, интегратор 9, контактный термометр 10.

Устройство работает следующим образом. Изображение источника излучения (объекта контроля) 1 через диафрагму 2 и вращающееся зеркало 3, закреплённое под углом 45 градусов к оси визирования, попадает на приемник излучения 4. В момент визирования зеркала на излучающую поверхность дополнительного источника излучения, поток исходящий от этой поверхности, также регистрируется приёмником излучения. Таким образом, на выходе интегратора формируются электрический сигнал, который обеспечивает ток через нагревательный элемент дополнительного источника теплового излучения 5 с поверхностью 6, идентичной поверхности объекта контроля. В результате на приемник излучения 4 поочередно поступает то поток излучения  $\Phi_1$  от источника излучения (объекта контроля) 1, то поток излучения  $\Phi_2$  от дополнительного источника теплового излучения 5 с излучающей поверхностью 6.

В результате, при неравенстве этих потоков на выходе операционного усилителя 8 за счёт синхронной коммутации его входов возникает переменная составляющая фототока, среднее значение которой будет пропорционально разности облучений приемника излучения обеими поверхностями излучения. К выходу усилителя через интегратор подключен источник теплового излучения 5 со сменными образцами фрагментов поверхностей излучения 6, идентичных



**Рис. 1 Функциональная схема способа измерения**

поверхностям объекта контроля. Таким образом, ток в цепи дополнительного источника теплового излучения 5, а следовательно, и температура излучающей поверхности 6, будут изменяться до тех пор, пока не уравниваются регистрируемые приёмником излучения потоки  $\Phi_1$  от поверхности объекта контроля 1 и  $\Phi_2$  от излучающей поверхности 6 дополнительного источника теплового излучения и пока среднее значение тока на выходе интегратора не обратится в ноль. Тогда, в соответствии с приближением Стефана-Больцмана можно записать:

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

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

$$T_1 = \sqrt[4]{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}} \cdot T_2 = T_2$$

Таким образом, температура излучающей поверхности объекта контроля 1 однозначно равняется температуре заменяемого образца фрагмента излучающей поверхности излучения 6 дополнительного источника теплового излучения. Измерение температуры заменяемого образца фрагмента излучающей поверхности излучения 6 производится контактным термометром 11.

Из представленного способа очевидным представляется устройство измерения коэффициентов черноты. Для этого достаточно представленное устройство свизировать на источник излучения типа модели АЧТ. Тогда, при известных значениях температур заменяемого образца фрагмента излучающей поверхности и полости модели АЧТ измеряемый коэффициент черноты фрагмента поверхности можно получить как

$$T_1^4 = \epsilon \cdot T_2^4$$

$$\epsilon = \frac{T_1^4}{T_2^4}$$



## 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 °C/год (средние для всего региона значения тренда составляют 0,03 °C/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.

Деграляция 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 промышленности.

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 мЦД I 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.

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 термокосу, 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.

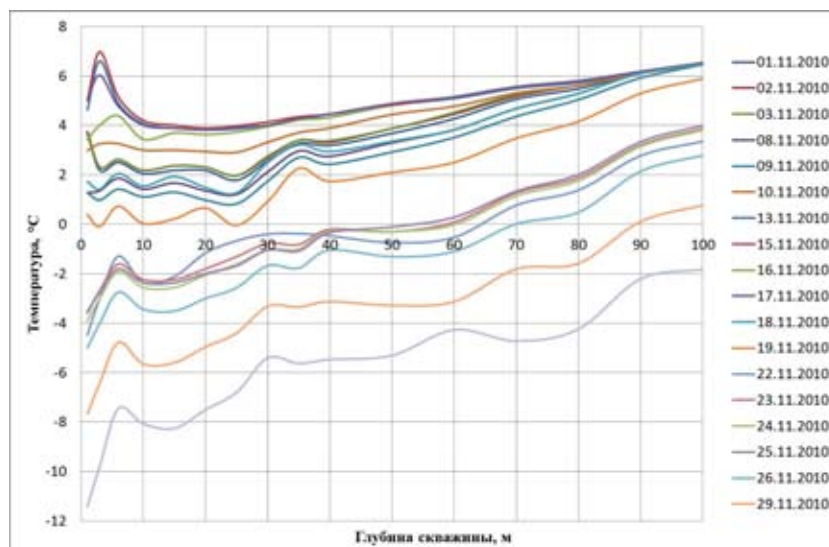


Рис. 4 – График зависимости температуры грунта от глубины скважины

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.





## СПОСОБЫ ОПЕРАТИВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПЛАВА МЕТАЛЛОВ ДЛЯ НУЖД МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Инженер II категории ОАО НПП «Эталон»  
Демидович Ольга Алексеевна*

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  $\pm 4$  °С для ТПР,  $\pm 8$  °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



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

Герлах Юлия Ивановна, инженер-конструктор  
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 фторопластовое покрытие.

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 АО «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 АОТ «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, перемычками 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



## ПРИБОРЫ ОАО НПП «ЭТАЛОН» В ЭНЕРГОАУДИТЕ

*Инженер 3 категории ОАО НПП «Эталон»  
Аксенов Дмитрий Николаевич*

**Энергоаудит** - это комплекс мер направленных на определение эффективности энергоиспользования предприятия. Взаимосвязанный комплекс технических, организационных, экономических и иных мероприятий помогает оценить потенциал энергосбережения и разработать наиболее эффективный способ его реализации. Российский опыт практического энергоаудита насчитывает не более 10 лет. От других областей деятельности, связанных с энергопотребляющим оборудованием, энергоаудит отличается, прежде всего, двумя важнейшими параметрами:

**1. Комплексный подход.** Энергоаудитор, в процессе обследования, уделяет равное внимание всем видам энергоресурсов и разновидностям энергопотребляющего оборудования. При оценке и разработке энергосберегающих проектов учитываются внешние и внутренние связи исследуемых объектов.

**2. Экономический анализ.** Для отбора энергосберегающих мероприятий и проектов существует единый критерий - это экономическая эффективность.

**Одним из главных этапов в организации деятельности энергоаудита является правильный и эффективный подбор оборудования для проведения энергоаудита.**

Учитывая вышесказанное, для реализации поставленных задач необходимо, что бы весь комплекс средств измерений для проведения энергоаудита ограждающих конструкций и предприятий в целом, удовлетворял следующим требованиям:

- компактность, легкость, надежность, транспортабельность;
- возможность регистрации данных (наличие внутреннего запоминающего устройства);
- обеспечение регистрации измеряемых показателей в автономном режиме с передачей собранной информации в виде, удобном для компьютерной обработки;
- обеспечение возможности проведения измерений без врезки в обследуемую систему и остановки работающего оборудования;
- удобство и простота в работе;
- универсальность, надежность, точность и защищенность от внешних воздействий;
- наличие свидетельства об утверждении типа средств измерений в РФ.

Для проведения энергоаудита необходим комплект приборов, различного назначения и функций. Однозначных рекомендаций по комплектованию портфеля энергоаудитора нет, поскольку существует огромное количество приборов отличающихся по производителю, ценовой категории и техническим параметрам. По этому подбирается комплект приборов для энергоаудита, в зависимости от решаемых задач и финансовых возможностей аудиторской компании.

Проблемы отечественного энергоаудита заключаются не только в его молодости, состоянии рынка, но прежде всего в отсутствии единой нормативной базы, из-за чего теряется его эффективность, показателем которой является достоверность(степень точности) данных, а она зачастую оставляет желать лучшего.

По этому при проведении энергетических обследований предприятий и организаций необходимо в первую очередь использовать единую специализированную нормативную и методическую документацию и эту проблему необходимо решать на государственном уровне.

Предлагаем вашему вниманию краткий список приборов производства ОАО «НПП «Эталон» применимые в энергоаудите.

Таблица 1

| № | Наименование прибора, тип  | Изготовитель               |
|---|--|----------------------------|
| 1 | Измеритель теплового сопротивления ИТС-1                                 | ОАО «НПП «Эталон», г. Омск |
| 2 | Измеритель температуры портативный ИТПМ с комплектом датчиков в чемодане | ОАО «НПП «Эталон», г. Омск |
| 3 | Пирометры портативные ПП-1   | ОАО «НПП «Эталон», г. Омск |
| 4 | Тахометр ЦД 9905   | ОАО «НПП «Эталон», г. Омск |
| 5 | Измеритель плотности теплового потока и температуры ИТП-11               | ОАО «НПП «Эталон», г. Омск |
| 6 | Датчик теплового потока ДТП 0924   | ОАО «НПП «Эталон», г. Омск |
| 7 | Измеритель влажности и температуры ИПСП-2                                | ОАО «НПП «Эталон», г. Омск |
| 8 | Измеритель температуры и теплопроводности ИТ-2                           | ОАО «НПП «Эталон», г. Омск |
| 9 | Система тепловизионного контроля СТК-1                                   | ОАО «НПП «Эталон», г. Омск |

На сегодняшнем рынке аудиторских услуг стало популярное предложение быстрого тепловизионного обследования. Но как известно тепловизоры предназначены для качественного анализа. Без условно 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 контактным способом исключаются приведенные недостатки тепловизионного метода исследования. Однако при исследовании крупногабаритных объектов, имеющих большие тепло отдающие поверхности и неоднородные в пространстве тепловые поля, методика контактных измерений приобретает такой существенный недостаток, как большие трудозатраты по креплению датчиков на поверхности труднодоступных участков (например, стены верхних этажей здания) и их переустановке на новые участки. В этом случае целесообразно использовать комбинированный метод.

**Комбинированный метод** основан на сочетании инфракрасного (бесконтактного)





обследования тепловизионной техникой полей поверхностной температуры ОК с контактными измерениями температуры и плотности теплового потока с применением датчиков тепловых потоков и вторичной измерительной аппаратуры в одних и тех же характерных участках поверхностей ОК. Таким образом, метод включает в себя качественный анализ полей температуры поверхностей ОК количественным определением теплотехнических параметров и характеристик: температуры внутренней и наружной поверхностей ОК и воздуха по обе стороны от нее, поверхностной плотности теплового потока через ОК, коэффициентов теплообмена с прилегающей ОС и теплового сопротивления пограничных слоев по обе стороны ОК.

В последнее время интенсивно ведутся работы по совершенствованию метрологического обеспечения измерений плотности теплового потока и теплопроводности, а также средств измерений.

Для мобильного проведения энергоаудита специалистами ОАО НПП «Эталон» был разработан многоканальный измеритель теплового сопротивления ИТС-1, находящийся в стадии макетного образца, отвечающий всем современным требованиям в области энергоаудита.

Измерительный комплекс теплового сопротивления ограждающих конструкций предназначен для применения на предприятиях строй индустрии, органах гос надзора, аудита и сертификационных центрах для измерения и регистрации сопротивления теплопередачи однослойных и многослойных ограждающих конструкций по ГОСТ 25380-82, ГОСТ 26254-84 и ГОСТ 26602.1-99 (стен, перекрытий, оконных и дверных блоков), а также теплового потока, температуры и напряжения. Кроме этого для удобства работы энергоаудиторов нами разработана и находится на стадии апробации методика определения теплового сопротивления с использованием измерительного комплекса ИТС-1.

Комплекс удобен для оперативного транспортирования. Архив измеренных значений сохраняется на внешнем носителе информации, время непрерывной автономной работы не менее 100 часов, имеет возможность выбора периода сохранения информации в архив значений от 15 сек до 60 мин на канал.

Разрешающая способность при измерении: плотности теплового потока - 1 Вт/м<sup>2</sup>; температуры — 1°С. Количество каналов измерения в зависимости от вида исполнения — 16, 32, 48, 64, 80, 96. Измерительный комплекс работает со всеми видами датчиков теплового потока ДТП 0924. Применяется термopара типа -ТХА(L)



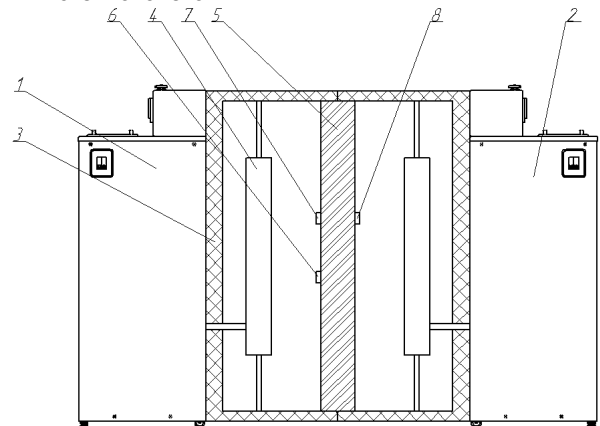
### Измеритель теплового сопротивления ИТС-1

ИТС-1 предназначен для измерения плотности теплового потока, температуры и напряжения с помощью внешних подключаемых преобразователей.

Технические характеристики:

- диапазон измерения плотности теплового потока.....10...2000 Вт/м<sup>2</sup>;
- диапазон определения сопротивления теплопередачи.....0,05..5 м<sup>2</sup>\*°С/Вт;
- количество каналов.....от 16 до 96;
- диапазон измерения .....-50...1300 °С;
- диапазон измерения напряжения .....5.....500мкВ;
- основная погрешность (в зависимости от коэффициента преобразования).....±0,4...4 Вт/м<sup>2</sup>;
- индикация.....LCD 480 x 270;
- питание от источника постоянного напряжения.....5 В;
- время автономной непрерывной работы(не менее).....100ч;
- температура окружающей .....-10...50 °С;
- габаритные размеры.....250x220x110 мм;
- масса.....1,35 кг.

В будущем нашим предприятием планируется разработка универсального измерительного комплекса предназначенного для градуировки датчиков теплового потока, определения теплового сопротивления материалов и тепловых испытаний стеклопакетов.



1, 2 - криостаты; 3 - теплоизолированные коробки; 4 - плоские термостаты; 5 - образец материала; 6, 7 - тепломеры; 8 - термометр

### Предполагаемые технические характеристики:

|  |               |
|--|---------------|
| Диапазон измерения теплового сопротивления, (м <sup>2</sup> · К)/Вт                | 0,1 – 1,4     |
| Количество точек одновременного измерения поверхностной плотности теплового потока | 13            |
| Диапазон измерения поверхностной плотности теплового потока, Вт/м <sup>2</sup>     | 10-400        |
| Количество точек измерения температуры   | 28            |
| Диапазон значений измеряемой температуры, °С                                       | -40 – 40      |
| Время непрерывной работы установки   | не ограничено |
| Потребляемая мощность от сети 220 В и 50 Гц, В · А, не более                       | 6000          |
| Габаритные размеры, мм, не более   | 2000×520×1350 |



## АВТОМАТИЗАЦИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО СПЕЦИАЛЬНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР ОТ 1337 ДО 1800 К “ГЭТ 67-75” С ПОМОЩЬЮ ОБОРУДОВАНИЯ ОАО НПП “Эталон”

*Ведущий инженер ОАО НПП «Эталон»  
Юрий Олегович Малышев*

Государственный специальный эталон “ГЭТ 67-75” согласно ГОСТ 8.159-75 предназначен для воспроизведения и хранения единицы удельной теплоёмкости твёрдых тел в диапазоне температур 1337...1800 К и передачи размеров единицы при помощи рабочих эталонов и образцовых средств измерений рабочим средствам измерений, применяемым в промышленности. Эталон “ГЭТ 67-75” располагается в Екатеринбурге во ФГУП “УНИИМ”.

Эталон состоит из калориметрической установки Н-1, комплекса измерительной аппаратуры и специальной меры удельной теплоемкости из синтетического корунда по ГОСТ 9618-61 (см. рис.1).



**Рисунок 1 - государственный специальный эталон единицы удельной теплоемкости твердых тел в диапазоне температур от 1337 до 1800 К “ГЭТ 67-75”**

Частичная автоматизация эталона “ГЭТ 67-75” с помощью оборудования ОАО НПП “Эталон” касалась калориметрической установки Н-1 и была выполнена в 2011 и 2012 году.

Калориметрическая установка Н-1 состоит из жидкостного калориметра с изотермической оболочкой и двух высокотемпературных термостатов: один основной на диапазон от 1173 до 1800 К, а другой дополнительный на диапазон от 400 до 1173 К.

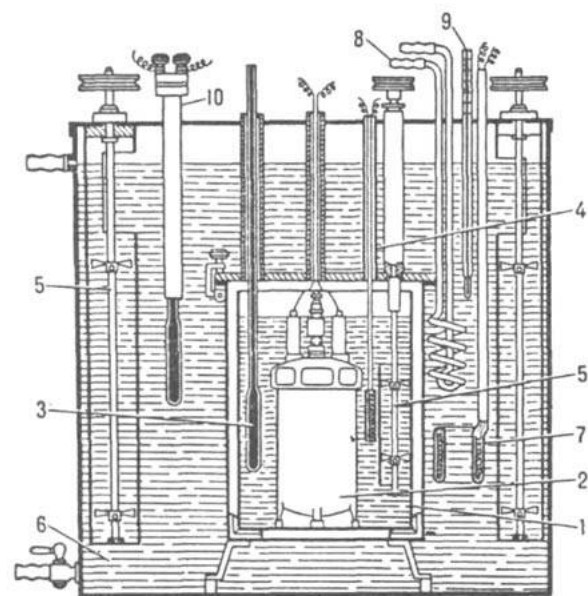
Жидкостной калориметр с изотермической оболочкой представляет собой массивный жидкостный термостат объемом 70 литров, в котором располагается калориметр (см. рисунок 2). Назначение термостата – это поддержание в своем объеме температуры 25 °С со стабильностью  $\pm 0,001$  °С в процессе измерения удельной теплоемкости меры. В качестве теплоносителя в этом термостате используется вода.

Основной термостат – это вертикальная высокотемпературная печь на диапазон от 1173 до 1800 К (на рисунке 1 зеленый цилиндр, расположенный справа). Эта печь имеет два нагревателя: охранный и основной. Охранный нагреватель обеспечивает нагрев внутреннего объема печи до температуры 1000 °С, а основной нагреватель от 1000 до 1500 °С. Охранный и основной нагреватели имеют по три обмотки для обеспечения вертикального градиента температуры вдоль оси рабочего пространства термостата.

Дополнительный термостат – это вертикальная печь на диапазон от 400 до 1173 К (на рисунке 1 зеленый цилиндр, расположенный слева). Эта печь имеет трехобмоточный нагреватель для обеспечения градиента в рабочем объеме.

В общем случае при измерении удельной теплоёмкости меры или образца материала эталон работает, примерно, следующим образом. Мера удельной теплоемкости завешивается в рабочем объеме одного из термостатов, основного или дополнительного, на платиновой проволоке при этом мера или образец материала помещаются в специальную ампулу. Термостат с мерой выводится на требуемую температуру, а термостат калориметра выводится на температурный режим 25 °С. После того как термостаты выйдут на температурный режим платиновая проволока, на которой подвешена мера пережигается с помощью мощного электрического тока и мера из термостата падает в приемник, расположенный в термостате калориметра. Контрольный термометр фиксирует изменение температуры в термостате калориметра, вызванное нагретой мерой, и по результатам этих измерений рассчитывается удельная теплоемкость меры.

Таким образом, точность измерения удельной теплоемкости меры или образца материала во многом зависит от градиента температуры и стабильности поддержания температуры в термостате калориметра и в основном и дополнительном термостатах. Градиент температуры в термостате калориметра обеспечивается за счет постоянного перемешивания воды в нем, а в основном и дополнительных



Жидкостной калориметр с изотермической оболочкой: 1 - калориметрич. сосуд; 2 - калориметрич. бомба; 3 и 9 - термометры калориметра и оболочки соответственно; 4 и 7 - нагреватели калориметра и оболочки соответственно; 5 - мешалки с приводом; 6 - изотермич. оболочка, заполненная водой. 8 - змеевик для охлаждения оболочки; 10 - контактный термометр для регулировки температуры оболочки.

**Рисунок 2 - жидкостной калориметр**



термостатах за счет трех обмоток нагревателей.

Термостат калориметра должен поддерживать температуру 25°C со стабильностью  $\pm 0,001^\circ\text{C}$  в час. Основной термостат должен обеспечивать стабильность поддержания температуры  $\pm 0,3^\circ\text{C}$  в час в диапазоне от 1173 до 1800 К, а дополнительный термостат  $\pm 0,3^\circ\text{C}$  в час в диапазоне от 400 до 1173 К.

До 2011 года регулирование температуры в термостатах калориметрической установки осуществлялось помощью аналоговых регуляторов температуры Р-133, изготовленных в 80-е годы двадцатого века. Эти регуляторы обеспечивают ПИД-закон регулирования, но все настройки коэффициентов ПИД-закона должны выполняться оператором вручную.

В 2011 году управление термостата калориметра и дополнительного термостата было заменено на цифровой микропроцессорный блок управления БУ-7 производства ОАО НПП «Эталон», а в 2012 году и у основного термостата была сделана такая же замена.

В конструкции термостата калориметра имеется два нагревателя, один основной, мощный нагреватель, который обеспечивает нагрев 70 литров воды до температуры близкой к 25 °С, и второй дополнительный нагреватель, который позволяет точно вывести термостат на температуру 25 °С, но очень медленно. Поэтому в процессе работы приходилось долго ждать режима стабильности в термостате калориметра. Применение блока управления БУ-7 позволило отказаться от использования дополнительного нагревателя и обеспечить выход на температуру 25°C, с требуемой стабильностью только на одном основном нагревателе.

Блок управления БУ-7 обеспечивает адаптивный алгоритм регулирования и позволяет добиться требуемой стабильности поддержания температуры в термостатах с двойным запасом.

На рисунке 3 показана стабильность поддержания температуры в термостате калориметра при температуре 25°C. Стабильность не превысила  $\pm 0,001^\circ\text{C}$  за 2 часа работы.

На рисунке 4 показана стабильность поддержания температуры в основном термостате при температуре 1400 оС. Стабильность не превысила  $\pm 0,15^\circ\text{C}$  в час.

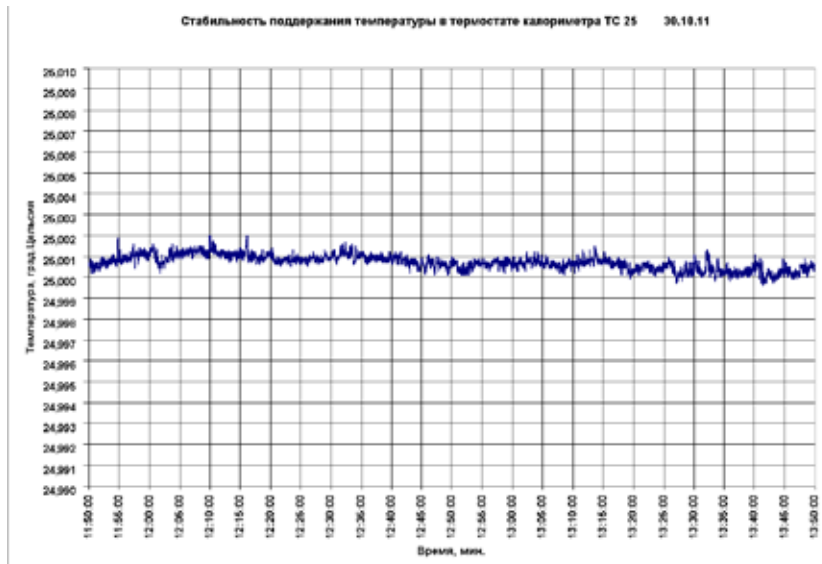


Рисунок 3 - стабильность температуры в термостате калориметра

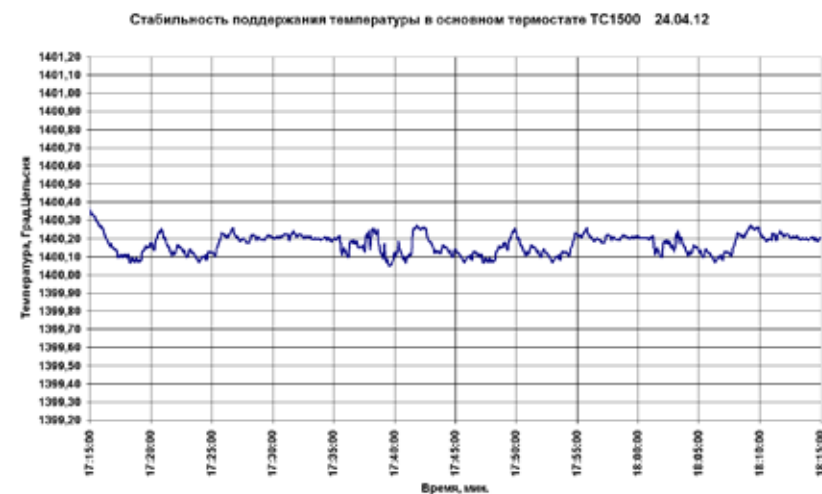


Рисунок 4 - стабильность температуры в основном термостате



Рисунок 5 - стабильность температуры в дополнительном термостате

На рисунке 5 показана стабильность поддержания температуры в дополнительном термостате при температуре 1100 °С. Стабильность не превысила  $\pm 0,15^\circ\text{C}$  в час.

Для удобства работы специалистами ОАО НПП «Эталон» разработано сервисное программное обеспечение, позволяющее одновременно управлять работой всех термостатов и их нагревателей с одного персонального компьютера (см. рисунок 6).





Рисунок 6 – общий вид ПО для работы с термостатами “ГЭТ 67-75”

Таким образом, можно сказать, что частичная автоматизация специального государственного эталона “ГЭТ 67-75”, касающаяся управления термостатами завершена успешно. В настоящее время специалистами ФГУП “УНИИМ” ведутся работы по автоматизации процесса измерения удельной теплоемкости.

Блок управления БУ-7 показал хорошие результаты по регулированию и помехоустойчивости, и поэтому, начиная с декабря 2012 года всё метрологическое оборудование, выпускаемое ОАО НПП “Эталон” предприятием: все термостаты и печи комплектуются блоками управления БУ-7.





## АВТОНОМНЫЙ ЛОГГЕР ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

### Self-contained permafrost temperature logger

**Автор: Неделько Александр Юрьевич, ведущий инженер ОАО НПП «Эталон»**

**Author: Alexander Yuryevich Nedelko – principal engineer of JSC RPI “Etalon”**

В настоящее время, в связи с глобальным потеплением климата планеты, и связанным с ним отступлением южной границы вечномерзлых пород, задача мониторинга температуры грунтов приобретает повышенную актуальность.

Опасное изменение температуры грунтов происходит как в связи с глобальными климатическими процессами, так и в результате воздействия технических объектов. Таким образом, надежность и безопасность строительства и функционирования объектов нефтегазового комплекса, зданий и сооружений, объектов транспортной инфраструктуры, расположенных в северных районах России, во многом определяется эффективностью систем мониторинга температуры грунтов.

При геотехническом мониторинге проводятся измерения температуры грунтов в термометрических скважинах, определяются глубины сезонного оттаивания, определяются физические и механические свойства образцов мерзлых грунтов. Для проведения измерений температуры грунтов в термометрических скважинах используются многозонные датчики температуры (смонтированные в единое изделие датчики и соединительный кабель – далее термокосы), например, такие как термокосы серии МЦДТ 0922 (рис. 1).



Рисунок 1. Термокосы серии МЦДТ 0922

Для оперативного проведения замеров температуры существуют портативные контроллеры, например ПКЦД-1/100, при их использовании производится периодический обход термометрических скважин и сбор данных, для осуществления непрерывного мониторинга используются стационарные контроллеры, например СКЦД-6/200.

При проведении мониторинга температуры труднодоступных, удаленных объектов, возникает необходимость в другом классе приборов – автономных логгерах температуры. Функционирование таких приборов осуществляется от встроенного элемента питания с расширенным диапазоном допустимых температур эксплуатации. В качестве примера рассмотрим логгер цифровых датчиков температуры ЛЦД-1/100 (далее – логгер) производства ОАО НПП «Эталон» (рис. 2).



Рисунок 2. Логгер ЛЦД-1/100

Логгер цифровых датчиков ЛЦД-1/100 предназначен для автономного считывания результатов измерения температуры с датчиков температуры многозонных цифровых МЦДТ с заданной периодичностью, и может применяться для проведения измерений с целью определения распределения температуры грунтов, трубопроводов, а также других протяженных объектов.

Компактные размеры (диаметр 25 мм, длина 195 мм) позволяют устанавливать логгер непосредственно в термометрическую скважину. Диапазон температур окружающего воздуха при долговременной эксплуатации логгера от -40 до +40 градусов, при эксплуатации в более жестких климатических условиях логгер размещается в термометрической скважине ниже уровня грунта на 0,5 – 1 м, где температурные условия значительно мягче. Крепление логгера осуществляется за хвостовик на кожухе, в отверстие которого можно вставить тросик диаметром 2-3 мм и фиксировать при помощи гаек М8, либо любым другим удобным способом за корпус логгера. Термокосы массой до 3 кг могут удерживаться в разъеме логгера только за счет встроенного фиксатора, для термокос большей массы следует предусмотреть дополнительное крепление.

Логгер работает от встроенного литиевого элемента питания типоразмера AA, расчетное время работы логгера без замены элемента питания, при условии соблюдения допустимых температур эксплуатации, приведено на рисунке 3.

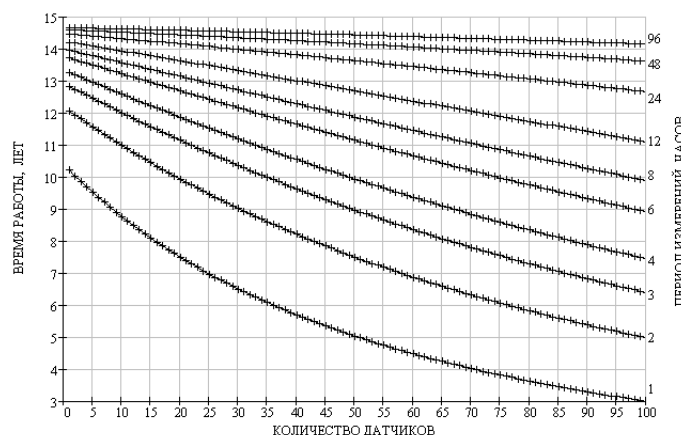


Рисунок 3. Расчетное время работы логгера ЛЦД-1/100

Логгер сохраняет данные на карту памяти формата microSD, предварительно отформатированную в файловой системе FAT16, перенос данных на ПК осуществляется с помощью стандартного карт-ридера. Максимального размера файла, ограниченного в FAT16 2 Гбайт, достаточно для записи данных на протяжении 10 и более лет.



Каждый логгер работает с файлом данных, размещенном в корневом каталоге карты памяти, с уникальным именем следующего формата:

00001P08, где 00001 — серийный номер логгера,

P — символ периода измерений,

08 — период измерений в часах.

При обращении к карте памяти логгер ищет в корневом каталоге файл с соответствующим его серийному номеру именем. Если файл существует, логгер проверяет имя файла на наличие флага обновления текущего времени и изменения периода измерений. Если файл не найден, логгер создает в корневом каталоге новый файл с уникальным именем, содержащим серийный номер логгера и текущий период измерений. Данные в файле защищаются электронной подписью, рассчитываемой логгером по определенному алгоритму, при внесении изменений в данные выдается соответствующее предупреждение. Т.к. файл логгера имеет обычный текстовый формат, для просмотра и обработки данных могут использоваться не только специализированные программы, но и многие другие, поддерживающие данные в текстовом формате, например Notepad, Word, Excel.

Логгер имеет встроенную систему диагностики неисправностей электроники, термодатчика, карты памяти и элемента питания, которая позволяет убедиться в нормальном функционировании прибора перед установкой на объекте. Замена термодатчика, карты памяти или элемента питания может осуществляться на месте установки логгера, без использования каких либо инструментов (рис. 4).



Рисунок 4. Логгер ЛЦД-1/100 без защитного кожуха

Система хранения данных в виде файлов с именами, содержащими уникальный серийный номер логгера, позволяет организовывать архивы большого размера, и с определенностью знать, с какого прибора, с какой термодатчика и в какой период времени собраны данные. Для большего удобства идентификации данных допускается внесение в текст файла логгера текстовых комментариев. Для предотвращения утери информации возможна организация физического архива данных путем хранения непосредственно карт памяти, стоимость которых незначительна.

В настоящее время логгеры проходят опытную эксплуатацию в реальных условиях на объектах нефтегазового комплекса и РЖД.



## МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОВЕРКИ КОНТАКТНЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

*Главный метролог ОАО НПП «Эталон»  
Айзикович Евгений Вельевич*

### Типы контактных средств измерения температуры

Уже на протяжении многих лет наше предприятие разрабатывает и серийно выпускает три типа контактных средств измерения температуры. В номенклатуре выпускаемых СИ, присутствуют эталонные СИ, основная масса - СИ утвержденного типа, а также СИ, разработанные по индивидуальным заказам, что, к слову сказать, массово никто больше в России не делает.

Итак, три типа контактных СИ:

1. преобразователи термоэлектрические эталонные платиновой группы; ППО 2, ППО-3 и ПРО-2, ПРО-3.
2. преобразователи термоэлектрические рабочие из благородных и неблагородных металлов; ТПП, ТПР, ТХА, ТХК, ТЖК.
3. термопреобразователи сопротивления. ТСП, ТСМ.

На поверку каждого из этих типов СИ существуют свой ГОСТ, в котором изложены требования к средствам поверки. Рассмотрим требуемые средства поверки и их краткие метрологические характеристики.

### Преобразователи термоэлектрические эталонные платиновой группы

В разделе 5 ГОСТ Р 8.611-2005 «Преобразователи термоэлектрические платинородий-платиновые эталонные 1, 2 и 3-го разрядов. Методика поверки» кроме требований к отдельным средствам поверки в п. 5.1.20 указано, как возможное средство поверки установка УПСТ-2М. Необходимая комплектация установки для поверки данных СИ:

1. Преобразователь термоэлектрический платинородий-платиновый эталонный 1 разряда.
2. Блок измерительный БИ-1;
3. Прецизионный милливольтметр В2-99;
4. Малоинерционные трубчатые печи МТП-2МР;

Для поверки преобразователей ПРО в данной комплектации необходимо заменить: преобразователь ППО-1 – на ПРО-1 и печь МТП-2МР на печь высокотемпературную печь ВТП 1600.

Это весь комплект оборудования и эталонов, который необходим для проведения поверки данного типа СИ.

### Преобразователи термоэлектрические рабочие из благородных и неблагородных металлов

Требования к средствам поверки данного типа СИ изложены в разделе 5 ГОСТ 8.338-2002 «Преобразователи термоэлектрические. Методика поверки». Какие средства поверки из тех, что производит наше предприятие удовлетворяют требованиям 5 раздела ГОСТа?

1. Преобразователи термоэлектрические платинородий-платиновый и платинородий-платинородиевый эталонные 2 и 3 разрядов.
2. Блок измерительный БИ-1; (по метрологическим характеристикам)
3. Прецизионный милливольтметр В2-99;
4. Малоинерционные трубчатые печи МТП-2МР и ВТП 1600;

Таким образом, мы можем говорить о том, что для организации поверки преобразователей термоэлектрических всех вышеперечисленных типов необходимо и достаточно иметь в лаборатории установку УПСТ-2М, причем не в полной комплектации и высокотемпературную печь ВТП 1600.

### Термопреобразователи сопротивления

Поверка термопреобразователей сопротивления регламентирована ГОСТ 8.461-2009 «Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Методика поверки». В соответствии с 5 разделом ГОСТа поверка термопреобразователей сводится к проверке отклонения сопротивления ТС от НСХ в двух температурных точках: от -5 до +30 °С и 90 до 103 °С.

В 6 разделе ГОСТа изложены требования к средствам поверки. Что из производимого нашим предприятием оборудования удовлетворяет требованиям 6 раздела?

Установка УПСТ-2М в комплектации:

1. Блок измерительный БИ-2;
2. Прецизионный милливольтметр В2-99;
3. Нулевой термостат ТН-1М или ТН-2М;
4. Паровой термостат ТП-2;
5. Эталонный термометр сопротивления 3 разряда ЭТС-100.

Помимо установки УПСТ-2М нашим предприятием разработана и выпускается АРМ ПТС, которая упомянута в п. 6.6.1 ГОСТа. Состав установки:

1. Коммутатор измерительный КИ 9901;
2. Нулевой термостат ТН-1М или ТН-2М;
3. Паровой термостат ТП-2;
4. Термостат регулируемый ТР-1М
5. Эталонный термометр сопротивления 3 разряда ЭТС-100;
6. Компьютер.

Основным достоинством АРМ ПТС является то, что установка сама автоматически ведет расчет неопределенности поверки, учитывает ее при измерении и выдает на печать в протоколе.

Обе установки достаточны для проведения поверки ТС. Но здесь необходимо учитывать один момент. При оснащении поверочной лаборатории метрологи должны исходить из объемов поверяемых СИ и внимательно смотреть комплектацию данных установок.

Все это было бы замечательно, если бы мы с Вами ограничились только поверкой. Но в последнее время все чаще перед метрологами возникают вопросы калибровки СИ и их индивидуальной градуировки. И тут мы уже понимаем, что перед нами встают задачи измерений в очень широком диапазоне температур, а для этого необходимы средства воспроизведения требуемых диапазонов.

Для этого и предназначена вся номенклатура оборудования, которую мы представляем Вашему вниманию.

Я, что бы не утомлять Вас, не буду подробно останавливаться на характеристиках каждого изделия. Все это опубликовано в материалах семинара, есть на сайте в интернете и в каталогах предприятия. Скажу только, что комплект производимого нами оборудования перекрывает диапазон воспроизведения температуры от -190 до 1600 °С, что вполне достаточно для обозначенных нами целей.

Единственная проблема, которая может встать перед метрологами при выборе необходимого оборудования это правильное соотношение габаритных размеров используемого оборудования и поверяемых СИ.



## МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОВЕРКИ БЕСКОНТАКТНЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОИЗВОДСТВА ОАО НПП «ЭТАЛОН»

Главный метролог ОАО НПП «Эталон»  
Айзикович Евгений Вельевич

Измерение температуры является одним из наиболее востребованных в жизнедеятельности человека видов измерений. Вплоть до конца 20-го века все эти измерения или почти все, проводились при помощи контактных средств измерений температуры, о которых Вы все прекрасно осведомлены. Но в последние 10-15 лет наряду с контактными средствами стали массово применяться и бесконтактные средства измерений температуры - пирометры полного и частичного излучения, сканирующие пирометры и тепловизоры.

Каждый из этих способов измерений имеет свои достоинства и недостатки, оценка которых не является предметом данного выступления, но одно достоинство просто не могу не привести, это удобство применения бесконтактных средств.

В последние годы нами было замечено (что, кстати, подтверждают и специалисты ВНИИМа), что современной Российской промышленности в массе нужны не высокоточные, а надежные, простые и удобные СИ, пусть и менее точные.

С другой стороны, с ростом количества рабочих бесконтактных СИ, растет потребность в средствах их поверки и калибровки, а значит и в разработке и производстве эталонов 1-го и 2-го разрядов.

Прослеживаемость передачи размера единицы от эталона к рабочим средствам измерений в нашей стране решается государственной поверочной схемой для средств измерений, которая регламентирует порядок передачи единицы, методы и средства передачи (рис. 1), а также их погрешности. В феврале 2008 года был утвержден Государственный первичный эталон единицы температуры в диапазоне от 0 до 3000 °С.

ГПЭ-II включает в себя: группу из трех температурных ламп, излучатели-модели АЧТ, предназначенные для воспроизведения температур затвердевания серебра, золота и меди, фотоэлектрический компаратор яркостей тепловых излучателей и высокотемпературный излучатель «черное тело», используемый для передачи размера единицы температуры.

В 2009 году был принят новый ГОСТ 8.558.-2009 Государственная поверочная схема для средств измерения температуры.

Все приведенные выше события задали основное направление работы ОАО НПП «Эталон» в области разработки и производства средств бесконтактного измерения температуры. Не могу не отметить ту научную и методическую помощь, которую оказали нам в нашей работе сотрудники ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева».

Итак, мы выделяем два направления в производстве СИ температуры для бесконтактной термометрии:

1. производство рабочих СИ;
2. производство эталонных СИ для поверки и калибровки рабочих СИ.

### Рабочие средства измерения температуры для бесконтактной термометрии (пирометрия)

На сегодняшний день нашим предприятием производится 9 (девять) типов пирометров (рис. 2).



Рис. 2 Пирометры

Сравнительные характеристики всех пирометров приведены в таблице 1.

Эталонные средства измерения температуры для бесконтактной термометрии (пирометрия)

Теперь настало время поговорить об эталонных средствах измерения температуры. Эталонные средства радиационной термометрии, выпускаемых ОАО НПП «Эталон», представлены на сегодня двумя типами пирометров ПД-4-06 и ПД-9-02.

Это эталонные пирометры 1 разряда рис. 3 «перекрывающие» диапазон температур от 400 до 2500 °С. Характеристики этих пирометров приведены в таблице 2.



Рис. 3 Эталонные пирометры ПД-4-06 и ПД-9-02





Таблица 1

| Характеристики                        | ПП-1              | СТ-2                | ПТ-1                | ПД-4               | ПД-5            | ПД-6       | ПД-7         | ПД-9                                   | ПД-10               |
|---------------------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|--------------------|-----------------|------------|--------------|--|---------------------|
| Диапазон измеряемых температур, °С    | -40...2000        | 300 ... 2300        | -40...1100          | 800 ... 2500       | 400...1400      | 300...2000 | 300 ... 2500 | 400...1400                             | 300...2500          |
| Основная абсолютная погрешность, °С   | (-40...400) - +4  | -                   | (-40 ... 400) - +4  |                    |                 |            |              | (400...800) - +5<br>(800...1400) - +10 | (300 ... 500) - +5  |
| Основная относительная погрешность, % | -                 | +1                  | -                   | +0,25              | +0,50           | +0,5       | +0,5         | -                                      | (500 ... 2500) - +1 |
| Основная приведенная погрешность, %   | (400...2000) - +1 | -                   | (400 ... 1100) - +1 | -                  | -               | -          | -            | -                                      | -                   |
| Показатель визирования                | 1/40              | 1/50                | 1/20                | 1 / 100<br>1/300   | 1/150           | 1/100      | 1/150        | 1/100                                  | 1/150               |
| Токовый выход, мА                     | -                 | 0-5<br>0-20<br>4-20 |                     |                    |                 |            |              |  |                     |
| Напряжение питания, В                 | 9                 | 24                  |                     |                    |                 |            |              |  |                     |
| Масса, кг                             | 0,5               | 1,0                 | 1,0                 | 1,5                | 1,0             | 1,0        | 1,0          | 1,0                                    | 1,0                 |
| Габаритные размеры, мм                | 60x100x140        | Ø63x195             | Ø100x150            | Ø56x257            | 64x34x106       | 80x57x125  | 68x96,3x160  | Ø75,5 x 207,5                          | 64,8x100x160        |
| Связь с ЭВМ                           | RS-232            |                     |                     |                    |                 |            |              |  |                     |
| Рабочие температуры, °С               | 5...50            |                     |                     | 5 ... 40<br>20 + 2 | -30...50        | 5...50     |              |  |                     |
| Особенности                           |                   |                     |                     |                    | Оптово-локонный |            |              |  | Оптово-локонный     |

Таблица 2

| Характеристики                        | ПД-4-06             | ПД-9-02            |
|---------------------------------------|---------------------|--------------------|
| Диапазон измеряемых температур, °С    | 1200...2500         | 400...1400         |
| Основная относительная погрешность, % | +0,2                | -                  |
| Доверительная погрешность, °С         | -                   | + (0,0028*t + 0,5) |
| Показатель визирования                | 1/500               | 1/100              |
| Токовый выход, мА                     | 0-5<br>0-20<br>4-20 |                    |
| Напряжение питания, В                 | 24                  |                    |
| Масса, кг                             | 1,5                 | 1,0                |
| Габаритные размеры, мм                | Ø56x257             | Ø75,5x207,5        |
| Связь с ЭВМ                           | RS-232              |                    |
| Рабочие температуры, °С               | 20 + 2              |                    |
| Особенности                           | эталон I разряда    |                    |



Какая уже отмечал выше, для поверки основной массы закупаемых за рубежом и производимых в России рабочих СИ радиационной термометрии, достаточно наличие в лаборатории эталонов 2 разряда. Согласно ГПС для рабочих СИ эталонами являются излучатели модели АЧТ и ПЧТ 2 разряда.

Нашим предприятием была проделана огромная работа, результатом которой явилось создание излучателей модели АЧТ в диапазоне от 30

до 2500 °С, что позволяет уже сегодня организовать поверку рабочих СИ.

К сожалению, нам пока не удалось создать АЧТ с диапазоном от -30 до 30 °С, но такая работа запланирована, она ведется и в скором времени будет завершена.

На сегодня мы можем предложить потребителя три модели АЧТ, для поверки пирометров, и модель ПЧТ – для поверки тепловизоров.



**Рис. 4 Излучатели «черное тело»**

Комплекс средств воспроизведения и передачи температуры для термометрической лаборатории неконтактных средств измерений – абсолютно черные тела (АЧТ) и излучатель в виде модели протяженного черного тела (ПЧТ)

**Таблица 3**

| Характеристики   | АЧТ-165/40/100                            | АЧТ-45/100/1100 | АЧТ-30/900/2500   | ПЧТ-540/40/100                           |
|--|---|-----------------|---|--|
| Диапазон воспроизводимых температур, °С  | 40...95                                   | 300...1100      | 900...2500  | 30...95                                  |
| Коэффициент излучения  | 0,99                                      | 0,99            | 0,99  | 0,96                                     |
| Апертура, мм, не менее   | 165                                       | 45              | 30  | -  |
| Разряд   | Эталон 2 разряда                          |                 |   |  |
| Доверительная погрешность воспроизведения температуры при доверительной вероятности 0,95, не более | (1+0,006*t)уст °С                         |                 | 0,5 %   | 1,1                                      |
| Неравномерность температуры относительно центра излучающей поверхности, °С                         | -   |                 |   | (30±50) °С - + 1,0<br>(50±95) °С - + 2,0 |
| Погрешность поддержания температуры в стационарном режиме, °С, не более                            | 0,15                                      | 0,5             | 0,5   | 0,15                                     |
| Дрейф температуры излучателя за 15 минут, °С, не более   | 0,1                                       | 0,25            | 0,25 - (t<1700 °С)<br>0,3 (t > 1700 °С)                 | 0,1                                      |
| Время выхода на стационарный режим, мин, не более  | (40±60) °С – 50<br>(60±95) °С - 90        | 120             | 20 - (t<900 °С)<br>40 - (t<1700 °С)<br>60 - (t<2500 °С) | (30±60) °С – 50<br>(60±95) °С - 90       |
| Разрешающая способность индикации температуры, (на блоке управления), °С                           | 0,1 - (до 1000 °С)<br>1 - (свыше 1000 °С) |                 |   |  |
| Связь с ЭВМ  | RS-232                                    |                 |   |  |
| Потребляемая мощность, кВА   | 3   | 5               | 18  | 4,8                                      |

**АЧТ-165/40/100** - излучатель в виде модели абсолютно черного тела второго разряда предназначен для настройки и градуировки средств бесконтактного измерения температуры в диапазоне температур от 40 °С до 95 °С в лабораторных и цеховых условиях.

Для нагрева полости используются электронагревательные элементы, расположенные внутри резервуара, и теплоноситель (дистиллированная вода), для заправки которого на верхней панели корпуса имеется заливная горловина. Для достижения однородной температуры дна и стенок полости осуществляется принудительное

перемешивание теплоносителя с помощью специального насоса. Создаваемый насосом поток теплоносителя передает температуру от нагревателей дну и стенкам полости. Поддержание температуры излучающей полости осуществляется автоматически при помощи датчика, расположенного в резервуаре, и блока управления БУ-1М.

**АЧТ-45/100/1100** - Излучатель в виде модели абсолютно черного тела второго разряда предназначен для настройки и градуировки средств бесконтактного измерения температуры в диапазоне температур от 100 °С до 1100 °С в лабораторных и цеховых условиях. Основной частью излучателя является трубчатая



печь, в рабочем пространстве которой установлена цилиндрическая вставка из никеля с гофрированной излучающей полостью.

АЧТ разработано на базе выпускаемой печи МТП-2МР, укомплектовано эталонной термопарой ППО 2 разряда, термостатом холодных концов, блоком управления БУ-1М со встроенным регулятором температуры.

Положение вставки относительно торцов печи рассчитаны таким образом, чтобы обеспечить необходимую излучательную способность и минимальный градиент температуры по поверхности конуса.

Черные тела, работающие при температурах выше  $600^{\circ}\text{C}$ , могут иметь значительно меньшие выходные отверстия, так как пирометры, работающие при таких температурах, имеют показатель визирования не менее  $1/40$  (обычно  $1/50$ ), а при температурах выше  $900^{\circ}\text{C}$  и того меньше  $1/100$ . Поэтому для интервала температур выше  $900^{\circ}\text{C}$  получили распространение трубчатые графитовые излучатели, нагреваемые проходящим током, типа АЧТ-30/900/2500 для интервала  $900\text{--}2500^{\circ}\text{C}$ .

АЧТ-30/900/2500 – Излучатель предназначен: для градуировки, калибровки и поверки рабочих средств измерения температуры (пирометров и пирометрических преобразователей полного излучения, частичного излучения и спектрального отношения) в диапазоне температур от  $900$  до  $2500^{\circ}\text{C}$  в лабораторных условиях; для калибровки и поверки эталонных пирометров с применением точек затвердевания чистых металлов (реперных точек). При разработке конструкции АЧТ использовали опыт разработчиков ВНИИМ, ИВТАН и ВНИОФИ. Итоговая конструкция АЧТ представляет собой заключенную в водоохлаждаемый корпус и окруженную теплоизолирующим слоем излучающую полость, сформированную внутренними стенками полого цилиндрического излучателя, выполненного из графита нагреваемого пропусканием электрического тока, проходящим непосредственно по стенкам излучателя. ВЧТ выполнено в виде моноблока и состоит из излучателя, шкафа управления, пирометра обратной связи ПД-10 и эталонного пирометра ПД4-06. Эффективный коэффициент излучения полости не менее  $0,99$  гарантируется её конфигурацией и конструкцией печи.

Исследования излучателя, проведенные во ВНИИМ им. Менделеева, позволили включить его в состав Государственного первичного эталона единицы температуры для воспроизведения температуры в диапазоне  $961,78\text{--}3000^{\circ}\text{C}$ . Используется для реализации точек фазового перехода (плавления – затвердевания) чистых металлов.

**ПЧТ-540/40/100** – Излучатель в виде модели протяженного черного тела предназначен для проверки диапазона и определения погрешности тепловизионных приборов в диапазоне температур от  $40^{\circ}\text{C}$  до  $95^{\circ}\text{C}$ , а также определения угла поля зрения и геометрических параметров разрешения по горизонтали и вертикали. Основной модели ПЧТ является излучатель протяженный тепловой. Излучатель протяженный тепловой выполнен в металлическом корпусе, с лицевой стороны которого расположена излучающая поверхность, встроенная в жидкостный термостат, которая имеет специальное покрытие, обеспечивающее заданный коэффициент черноты. На корпусе ПЧТ предусмотрены места

крепления для поверки тепловизионных приборов.

На сегодняшний день ПЧТ-540/40/100 является единственным в России средством проверки, калибровки и градуировки тепловизоров и сканирующих пирометров на соответствие «Р 50.2.012-2001 ГСИ Приборы тепловизионные. Методика поверки». На приведена модель ПЧТ с мирой с переменной щелью.

Метрологические характеристики разработанного излучателя определяли во ВНИИМ г. Санкт-Петербург на соответствие с ГОСТ 8.566-96. Излучательную способность его рабочей поверхности оценивали путем сличения ПЧТ-540/40/100 с вторичным эталоном энергетической яркости и температуры по инфракрасному излучению.

С помощью системы ПЧТ+мира определяют порог температурной чувствительности, неравномерность чувствительности тепловизора по полю, а также сходимости показаний тепловизора. С помощью мира с переменной щелью (рис.6) определяется пространственное (угловое) разрешение поверяемого тепловизора, а мира с крестовыми метками – угол поля зрения.

На сегодняшний день ПЧТ-540/40/100 является единственным в России средством проверки, калибровки и градуировки тепловизоров и сканирующих пирометров на соответствие «Р50.2.012-2001 ГСИ Приборы тепловизионные. Методика поверки».

Подводя итоги, можно сказать, что все вышеназванные излучатели и пирометры соответствуют современным требованиям Государственной поверочной схемы и позволяют осуществлять метрологическое обеспечение радиационной термометрии почти во всем требуемом диапазоне температур.



Рис.5 ПЧТ 540/40/100

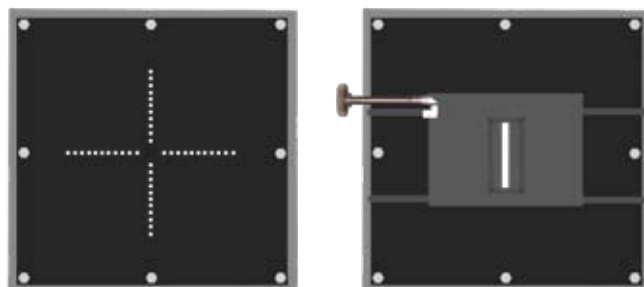


Рис.6 Мира



## ДАТЧИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОвого ПОТОКА И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОвого ПОТОКА

**Ведущий инженер ОАО НПП «Эталон»  
Смольников Станислав Александрович**

Потребность в измерении теплопроводности различных материалов существует практически в любых областях науки и промышленности. Прежде всего, к ним относятся строительство и энергетика. Задача нашего предприятия, обеспечить рынок потребителей широким ассортиментом датчиков теплового потока. Для этого нами были разработаны следующие изделия.

Датчики плотности теплового потока рабочие ДТП 0924 (далее датчики) предназначены для использования 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: предприятия строительной отрасли, испытательные лаборатории, сертификационные центры, сельскохозяйственные предприятия.

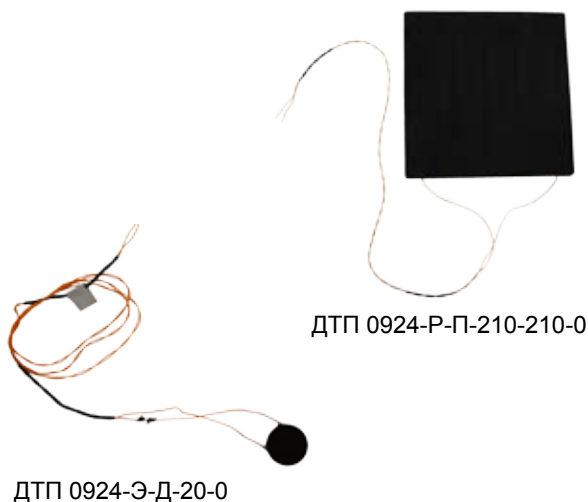
### Основные технические характеристики ДТП-0924

| Технические характеристики  | В эпоксидном компаунде    | В резиновом компаунде                 |
|---|---------------------------|---------------------------------------|
| Диапазон измерения плотности теплового потока Вт/м <sup>2</sup>   | 10...2000                 | 10...1000                             |
| Пределы допускаемой основной относительной погрешности коэффициента преобразования, %, не более               | 6                         | 8                                     |
| Термическое сопротивление датчика, (м <sup>2</sup> •°C)/Вт  | 0,004...0.03              | 0.02...0.09                           |
| Диапазон значений коэффициента преобразования датчика в рабочем диапазоне температур, Вт/(м <sup>2</sup> •мВ) | 20...50                   | 10...50                               |
| Рабочий диапазон температур датчика, °C   | 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;<br>27-0.3; 60-0.5 | 100-5;<br>150-7;<br>210-10;<br>300-15 |

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 <sup>2</sup>              | 10...5000        |
| Рабочий диапазон температур, °C   | -70...150        |
| Допускаемая основная относительная погрешность коэффициента преобразования, % | 1,5              |
| Термическое сопротивление датчиков, (м <sup>2</sup> • K)/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            |

На сегодняшний день существует две государственные поверочные 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/м<sup>2</sup>. Вторая схема разработана ФГУП «ВНИИОФИ» г. Москва и распространяется на средства измерения работающие в диапазоне 20...35000 Вт/м<sup>2</sup>. Для нашего предприятия стоит задача максимально обеспечить данные поверочные схемы метрологическим оборудованием. Для этого разработаны следующие изделия.







**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  $\Delta T$  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 <sup>2</sup>              | 10...2000   |
| Размеры теплометрической камеры, мм:  |             |
| - диаметр   | 300         |
| - высота  | 30          |
| Нестабильность поддержания заданной плотности теплового потока в установленном температурном режиме, % в минуту           | 0,25        |
| Неравномерность плотности теплового потока в рабочей зоне теплометрической камеры в установленном 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**

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 теплотметрического, блока охлаждения, блока управления БУ-7, и измерителя В7-99 и блока коммутации БК-12.

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

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

В теплотметрической 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 теплотметрической камере, Вт/м <sup>2</sup> , в пределах  | 1...3000    |
| Неравномерность плотности теплового потока в рабочей зоне теплотметрической 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 теплотметрической 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 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 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 <sup>2</sup>             | 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        |

### УСТАНОВКА ТЕПЛОМЕТРИЧЕСКАЯ УТМ-М

Закончено макетирование установки УТМ-М на базе установки УТМ-1, назначение установки – оценка эффективности теплообменников.

Установка представляет собой комплекс, из блока теплометрического, образца теплообменника и блока управления.

Для оценки эффективности датчики устанавливаются в ребрение теплообменника на входе и на выходе

## ТЕМПЕРАТУРНЫЙ МОНИТОРИНГ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ КВАРЦЕВЫМИ И ТЕРМИСТОРНЫМИ ДАТЧИКАМИ

А.К. Юрков, Д.Ю. Демежко, В.В. Дергачев - Институт геофизики УрО РАН

В.М. Мухин – Омский Государственный университет

А.Д. Дучков. – Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН

Температурные измерения в скважинах являются одним из основных геофизических методов, применяемых как для изучения особенностей геологического строения Земли в целом, так и для решения большого ряда практических задач. Можно отметить такие области применения геотермии как определение плотности теплового потока Земли и ее геологических структур, оценка температурного режима грунтов при проектировании и эксплуатации инженерных сооружений и коммуникаций, гидрогеологические исследования, разведка и эксплуатация нефтегазовых месторождений и т.д. В последние годы температурные измерения в режиме мониторинга активно применяются при изучении геодинамического состояния верхней части земной коры. В каждом конкретном случае предъявляются свои требования к температурным измерениям. Авторы предлагаемого сообщения остановились на результатах, полученных в результате мониторинговых измерений температуры при изучении изменений гидрогеодинамического поля в сейсмически активных и пассивных регионах России, в частности на примерах применения кварцевых и термисторных датчиков. Исследования проводились в основном на температурном стационаре «Екатеринбург» и стационаре «Кунашир» (Курильский архипелаг). Мониторинг выполнялся аппаратурой разработанной в ИНГГГ СО РАН (авторы

Дучков А.Д., Казанцев С.А.) с терморезисторными датчиками и аппаратурой, разработанной Мухиным В.Л. в Омском государственном университете на основе кварцевых резонаторов. На технических особенностях упомянутой аппаратуры здесь не будем останавливаться. Хотелось бы только отметить, что при организации длительных мониторинговых наблюдений за состоянием гидрогеодинамического поля находят применение та и другая аппаратура. Достоинством термисторных датчиков является их высокая чувствительность, дешевизна, возможность одновременного использования большого количества датчиков. На рис.1 показаны результаты измерения температур в скважине KUN-1 о. Кунашир 12 датчиками, расположенными по стволу скважины.

Применение большого количества датчиков обусловлено необходимостью оценки тензочувствительности различных водоносных горизонтов в разрезе скважины. Как видно из Рис.1, наибольшие температурные изменения происходят на глубинах 120, 200 и 240 метров. именно эти глубины предпочтительны для проведения температурного мониторинга для оценки изменений геодинамического состояния земной коры.

На рис.2 приведен фрагмент температурного мониторинга верхней части геологического разреза с октября 2009г. по февраль 2010г. геотермическом на стационаре «Екатеринбург».

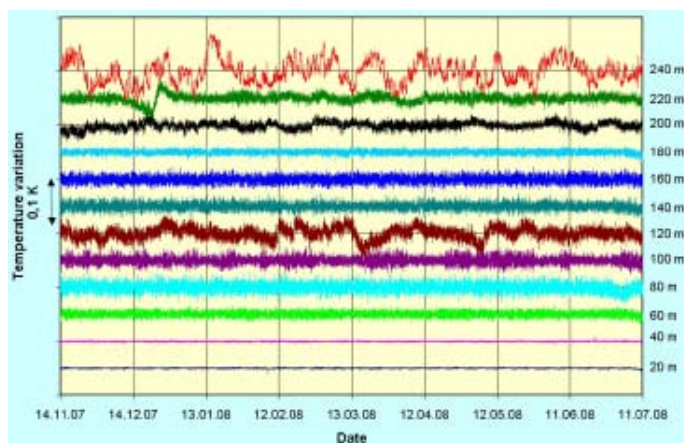


Рис.1. Изменение температуры в скважине KUN-1 о. Кунашир

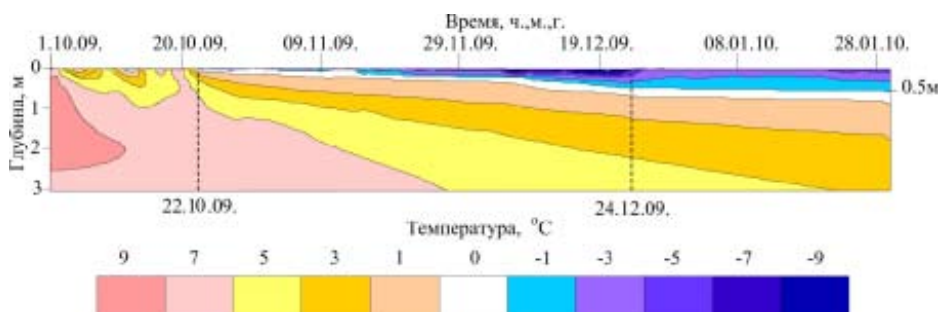


Рис.2. Изменение температуры верхнего слоя почвы с октября 2009г. по февраль 2010г. на геотермическом стационаре «Екатеринбург»





Измерения выполнялись терморезисторными датчиками, помещенными на разных глубинах от земной поверхности. Хорошо прослеживается изменение температуры по глубине и во времени. Нулевая изотерма практически не опускается после 24 декабря 2009г. В 2012-2013 годах в скважине, расположенной на этом же стационаре был проведен температурный мониторинг автономным кварцевым термометром на глубине 264 метра (рис.3). Результаты этого мониторинга показывают высокую стабильность и чувствительность применяемой аппаратуры. Полученные результаты дают основание для использования данной скважины, как контрольной, при проведении тестовых измерений аппаратуры для температурных измерений.

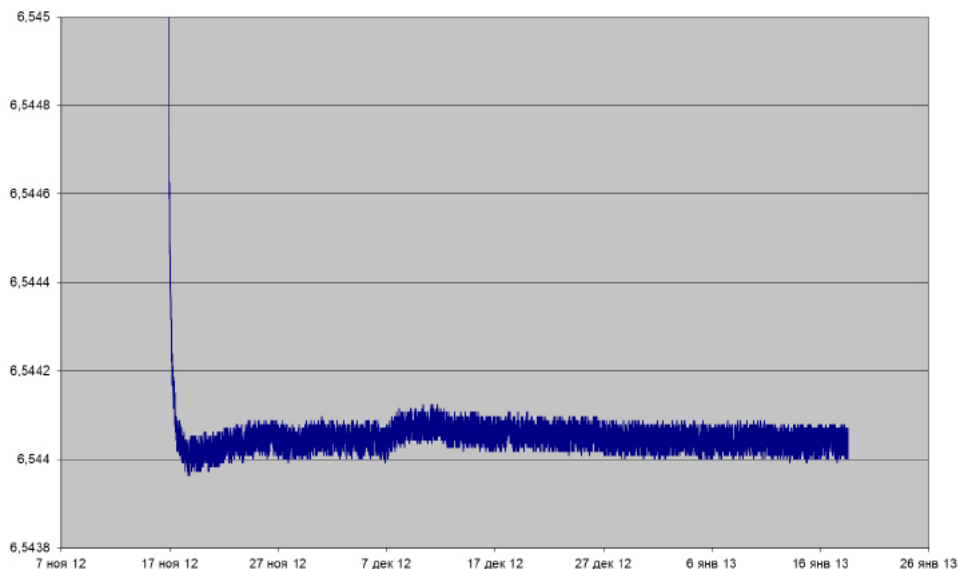


Рис.3. Изменение температуры на глубине 264 м. в скважине на геотермическом стационаре «Екатеринбург»

Для обеспечения получения достоверных и информативных данных при изучении изменений геодинамической обстановки в сейсмически активном районе нами используется наблюдательный комплекс из температурной косы с термисторными датчиками и одним кварцевым термометром (рис. 4). Данное сочетание термометров позволило получить более надежную информацию о поведении гидрогеодинамического поля при изменении сейсмической обстановки. В частности впервые отмечены квазипериодические температурные изменения на глубине 240 метров с периодом от 16 до 23 часов. Причем «включение» таких колебаний или изменение их амплитуды хорошо коррелирует с происходящими сейсмическими событиями в данном регионе.

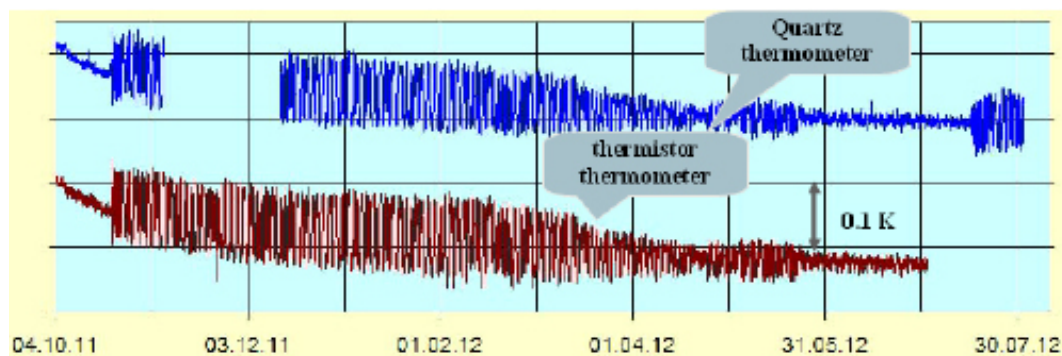


Рис.4 Изменение температуры на глубине 240 метров в скважине KUN-1 по двум термометрам.