

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ТЕРМОПАР НИХРОСИЛ-НИСИЛ В КАЧЕСТВЕ ЭТАЛОННЫХ

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

Сегодня одним из актуальных вопросов контактной термометрии остается задача контроля достоверности показаний термоэлектрического преобразователя без его демонтажа с объекта. Для решения этой задачи специалистами ПК «Тесей» была разработана конструкция термопреобразователя с чувствительным элементом в виде кабельной термопары, имеющая дополнительный канал, позволяющий устанавливать в него контрольную термопару (рис 1.). Использовать в качестве контрольного или эталонного средства измерения тем-

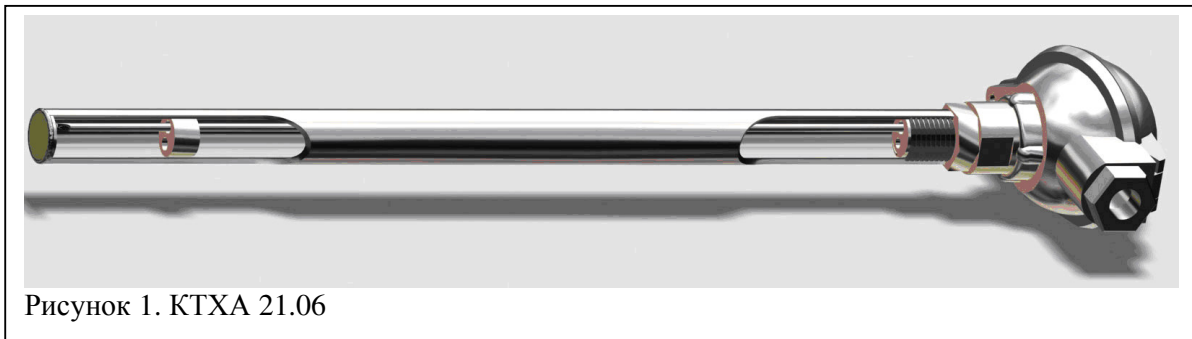
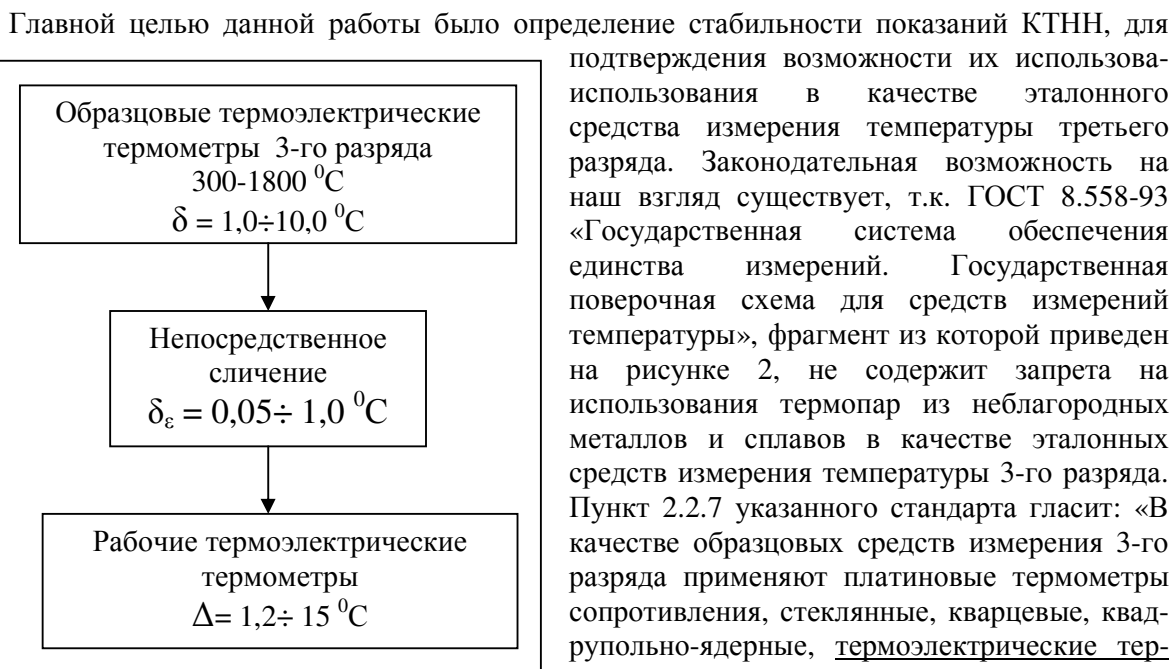


Рисунок 1. КТХА 21.06

пературы платинородий-платиновую термопару традиционной конструкции неудобно, из-за её хрупкости, и дорого, из-за высокой стоимости, причем её ресурс в условиях бездемонтируемой поверки существенно снизится из-за загрязнения электродов, защитить которые дополнительно не представляется возможным.

Многочисленные публикации специалистов [1], [2] и ранее проведенные в ПК «Тесей» исследования [3] свидетельствуют о высокой метрологической стабильности кабельных термопар с нихросил-нисильными термоэлектродами (КТНН). При этом её стоимость на порядок ниже стоимости платинородий-платиновой термопары, а конструкция лишена указанных выше недостатков, т.к. кабельная термопара представляет собой гибкую конструкцию, состоящую из пары разнородных термоэлектрических проводников, размещенных внутри металлической оболочки и изолированных от неё и между собой уплотненным порошком окиси магния.



термометры и другие, соответствующие по своим метрологическим характеристикам требованиям, предъявляемым к образцовым средствам измерения 3-го разряда.»

Для определения возможности использования термопары типа НН в качестве контрольной при калибровке рабочих термопар необходимо оценить неопределенность измерения температуры с её помощью. Одной из основных составляющих неопределенности будет неопределенность градуировки самой контрольной термопары. Ниже, в табл.1 приведен бюджет неопределенности градуировки рассчитанный в соответствии с рекомендациями Европейского общества по аккредитации EA-4/02 [4]. При расчете неопределенности использовались следующие данные: в диапазоне температур от 200 °С до 600 °С термопара КТНН градуируется по эталонному термометру сопротивления ЭТС-100 3го разряда в термостате с флюидизированной средой, а в диапазоне от 800 °С до 1000 °С по эталонному термоэлектрическому преобразователю ТППО 2го разряда в печи МТП-500. Допустимый дрейф температуры за время измерения на каждом температурном уровне принимался равным 1 °С. В качестве измерительного прибора использовался прецизионный преобразователь сигналов термометров сопротивления и термопар «Теркон» (неопределенность измерения сопротивления $\pm[0.0002+1 \cdot 10^{-5}R_{\text{измер}}]$, напряжения $\pm[0.0005+5 \cdot 10^{-5}U_{\text{измер}}]$).

При калибровке рабочего СИ с помощью контрольной термопары КТНН важна не только неопределенность градуировки контрольной термопары, но и величина ее ухода за межповоротный интервал (МПИ). Значительный вклад в уход за МПИ вносит развитие термоэлектрической неоднородности, т.к. неоднородность является одним из главных источников неопределенности измерений температуры термопарами.

Для провоцирования развития неоднородности в работе использовались термоудары, как режим наиболее близко имитирующий использование эталонной термопары для бездемон-

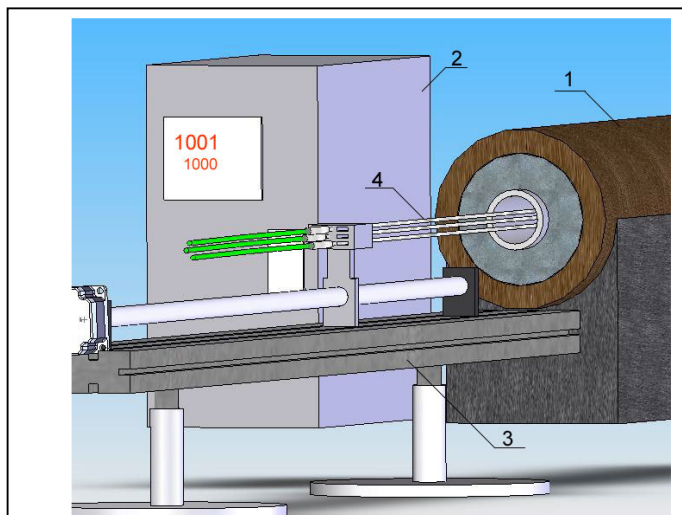


Рис. 3. Схема установки термоударов.

- 1 – печь МТП 500;
- 2 – Блок управления печью
- 3 – Модуль линейных перемещений
- 4 – Испытываемые термопары.

тажного сличения показаний с рабочей термопарой. Термоудар это погружение термопары из комнатной температуры в печь с температурой 1000 °С за одну минуту, выдержка до стабилизации показаний, далее вывод термопары из печи за то же время с последующим охлаждением до комнатной температуры за счет естественной конвекции. Для перемещения термопар использовался модуль линейных перемещений (МЛП). Основные узлы МЛП это шаговый двигатель и шариковинтовая пара, позволяющие погружать ТП с заданной постоянной скоростью на заданную глубину. Управление осуществляется с помощью ПК, для исследований был составлен и реализован специальный алгоритм работы установки. Схема

установки представлена на рис. 3. Всего было выполнено 510 термоударов для 3 типов термопар по 2 образца каждого типа. Эксперимент проводился на кабельных термопарах диаметром 3мм типа КТНН-02.01-Т₇₄₀ (термопары «интегральной компоновки» с оболочкой близкой по составу к материалу термоэлектродов №605, №607), термопарах КТНН-02.01-Т₆₀₀ (материал оболочки сплав Inconel-600) и термопарах КТХА-02.01-Т₃₁₀. В ходе набора числа термоударов проводилось периодическое определение зарождения и развития термоэлектрической неоднородности.

Таблица №1. Бюджет неопределенности калибровки контрольной КТНН по ЭТС (200-600) и ТППО (800,1000)

	200		400		600		800		1000		Коэффициент влияния
	Величина	Вклад, °С	Величина	Вклад, °С	Величина	Вклад, °С	Величина	Вклад, °С	Величина	Вклад, °С	
СКО эталона	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	1
Неопределенность прибора	0,0020	0,003	0,0027	0,004	0,0033	0,005	0,0009	0,039	0,0010	0,041	1/2
Единица шкалы прибора	0,0001	0,000	0,0001	0,000	0,0001	0,000	0,0001	0,005	0,0001	0,005	1/√3
Поддержание 0	-	-	-	-	-	-	0,1	0,058	0,1	0,058	1/√3
Градуировка эталона, °С	0,037	0,02	0,07	0,04	0,13	0,07	0,71	0,36	0,84	0,42	1/2
Уход эталона, °С	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,53	0,31	0,63	0,36	1/√3
Неопределенность расположения спаев	0,1	0,06	0,1	0,06	0,1	0,06	0,2	0,12	0,2	0,12	1/√3
СКО термопары	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	1
Неопределенность прибора	0,0008	0,012	0,0011	0,016	0,0015	0,020	0,0019	0,025	0,0023	0,030	1/2
Единица шкалы прибора	0,0001	0,002	0,0001	0,002	0,0001	0,001	0,0001	0,001	0,0001	0,001	1/√3
Поддержание 0, для контрольной КТНН	0,1	0,058	0,1	0,058	0,1	0,058	0,1	0,058	0,1	0,058	1/√3
Стандартная неопределенность градуировки контрольной КТНН		0,12		0,12		0,14		0,50		0,58	
Расширенная неопределенность градуировки контрольной КТНН		0,24		0,25		0,27		1,00		1,16	

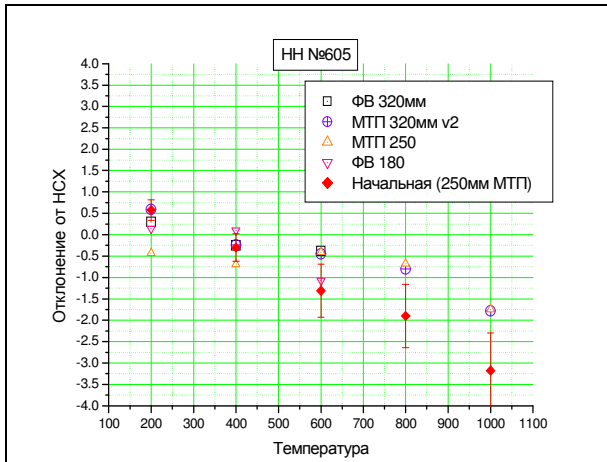


Рис. 4

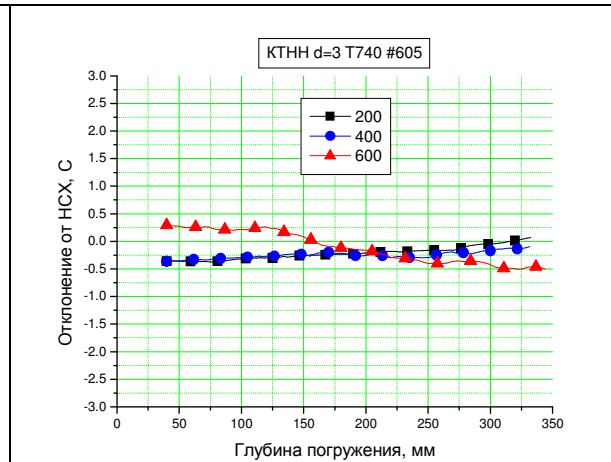


Рис. 5

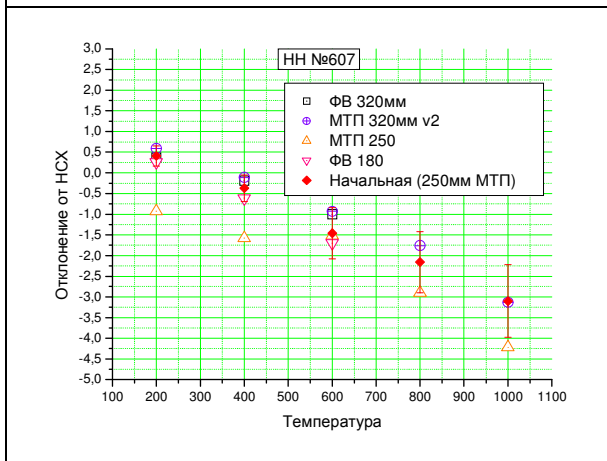


Рис. 6

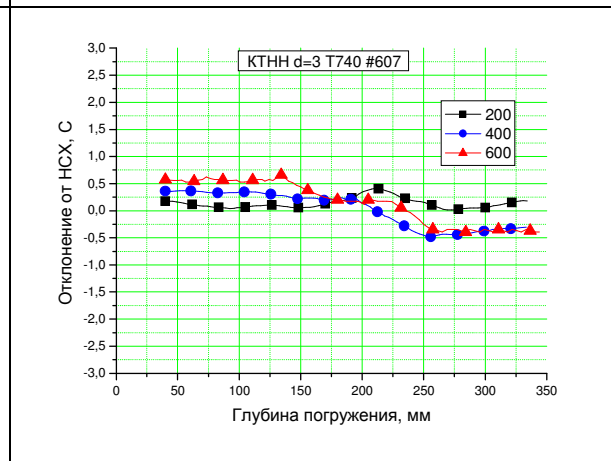


Рис. 7

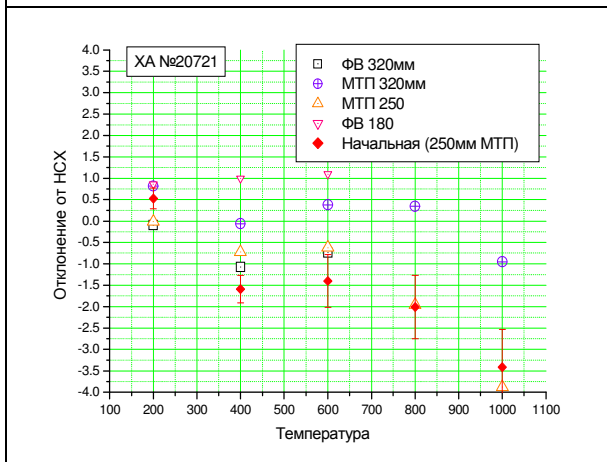


Рис. 8

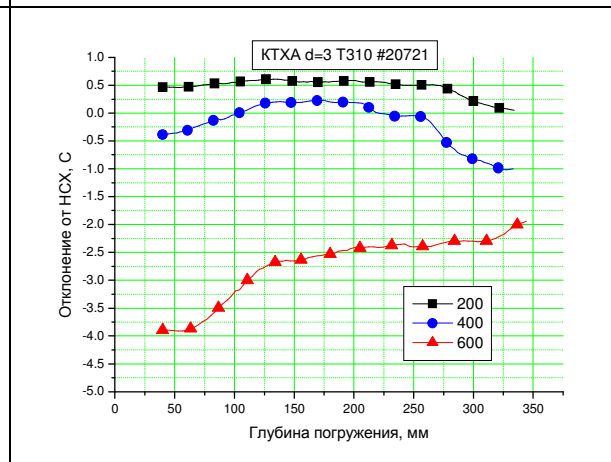


Рис. 9

После проведения 510 термоударов была проведена градуировка термопар и подробно, в диапазоне температур от 200 °С до 600 °С, исследовано влияния термоэлектрической неоднородности на показания термопар в зависимости от глубины их погружения.

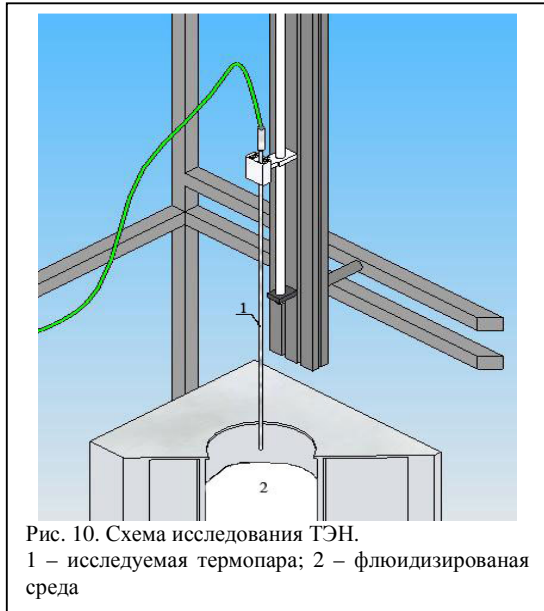


Рис. 10. Схема исследования ТЭН.
1 – исследуемая термопара; 2 – флюидизированная среда

Наиболее показательные результаты градуировок термопар приведены на рисунках 4,6,8 результаты исследования ТЭН на рисунках 5,7,9.

Процедура определения влияния неоднородности состояла в проведении непрерывных измерений показаний термопар при их погружении с постоянной скоростью 50 мм/мин из окружающей воздушной среды в флюидизированную среду, разогретую до требуемой температуры (рис. 10). Для погружения термопреобразователей использовался МЛП. Воспроизводимая и постоянная скорость погружения обеспечивает одинаковые условия теплообмена в каждом эксперименте и, следовательно, постоянный профиль распределения температуры по термопаре. Показания исследуемых термопар сравнивались с температурой по эталонному термометру сопротивления, показания которого не зависят от глубины

погружения.

Градуировка термопар до термоударов производилась в печи МТП 500 при глубине погружения 250 мм. Градуировка после термоударов производилась в печи МТП 500 при глубине погружения 250 мм и 320 мм, также была проведена градуировка термопар в термостате с флюидизированной средой при глубинах погружения 180 и 320 мм. После всех градуировок для каждой термопары на каждом уровне температур был определен средний уход от начальной градуировки. Данные представлены в таблице 2.

Таблица 2. Средний уход термопар от начальной градуировки.

Температура, °С	Фактический (средний) уход (°С) для ТП №					
	НН №599	НН №604	НН №605	НН №607	ХА №20721	ХА №20723
200	1.23	0.75	0.24	0.12	0.31	0.81
400	2.24	0.58	0.17	0.23	2.06	2.77
600	2.93	0.80	0.68	0.41	2.14	3.07
800	4.60	1.67	1.10	0.40	2.36	2.71
1000	4.88	1.68	1.40	0.03	2.46	2.69

Для каждой из исследованных термопар определено максимальное изменение величины её показаний в зависимости от глубины погружения (влияние ТЭН), данные в таблице 3.

Таблица 3. Величина изменений.

Температура, °С	Фактическая величина изменений (°С) для ТП №					
	НН №599	НН №604	НН №605	НН №607	ХА №20721	ХА №20723
200	1.7	0.3	0.4	0.4	0.7	0.6
400	3.4	0.5	0.45	0.9	1.2	1.2
600	5	0.75	0.75	1.0	2	2.2

Как свидетельствуют полученные результаты, термопары типа КТХА показали себя существенно менее стабильными, чем термопары КТНН, а термопары КТНН интегральной компоновки показали себя более стабильными чем термопары типа КТНН с оболочкой из сплава Inconel 600, что и ожидалось исходя из известных публикаций, например из уже упоминавшейся работы Бентли [1].

На наш взгляд для контрольных термопар КТНН за МПИ необходимо принимать не срок использования термопары, а количество циклов ее работы. По результатам исследований были приняты допустимые величины ухода за 500 циклов измерений, они указаны в таблице 4. Используя эти данные, а также данные о неопределенности градуировки контрольной термопары можно оценить расширенную неопределенность измерения температуры с помощью контрольной КТНН с учетом ухода за МПИ, данные также представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Температура, °С	Уход контрольной КТНН за МПИ, °С	Расширенная неопределенность контрольной КТНН с учетом дрейфа за МПИ, °С
200	0,6	0,7
400	0,8	1,0
600	1,0	1,2
800	1,2	1,7
1000	1,4	2,0

Таким образом, расширенная неопределенность измерений термопарами типа КТНН интегральной компоновки укладывается в пределы, позволяющие использовать их в качестве эталонных термопар третьего разряда согласно ГОСТ 8.558-93. Дальнейшим развитием данной работы является создание методики бездемонтажной калибровки, отвечающей требованиям ГОСТ 8.558-93 в части неопределенности сличения [5].

В течение 2007 предполагается провести представительные испытания термопар интегральной компоновки типа КТНН-02.01-Т₇₄₀ с целью внесения их в реестр средств измерений, как эталонного средства измерения термометров 3го разряда, предназначенного для проведения бездемонтажной калибровки и поверки рабочих термопар с термочувствительным элементом в виде кабельной термопары.

Список Литературы:

1. R. E. Bentley, Irreversible thermoelectric changes in type K and type N thermocouple alloys within Nicrosil-sheathed MIMS cable. // J. Phys. D.,22:1908-15, 1989
2. Burley, N. A., Advanced integrally sheathed type N thermocouple of ultra-high thermoelectric stability, Measurement.-1990 Jan-Mar, pp 36-41
3. Белевцев А.В., Каржавин А.В., Коломбет С.В. Возможность использования кабельного нихросил-нисилового термоэлектрического преобразователя в качестве эталонного средства измерения температуры 3-го разряда. – Сборник докладов конференции Температура 2004.
4. European cooperation for Accreditation. EA-4/02 “Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration”
5. В.А. Каржавин, А.В. Каржавин, А.В. Белевцев. Контроль достоверности показаний термоэлектрического преобразователя без его демонтажа с объекта. Доклад на конференции «Температура-2007»