

Возможность использование кабельного нихросил-нисилового термоэлектрического преобразователя в качестве эталонного средства измерения температуры 3-го разряда.

Белевцев А.В., Каржавин А.В., Коломбет С.В.
Производственная компания «Тесей», г. Обнинск.

Аннотация.

В современной термометрии для поверки рабочих средств измерений используют эталонные платинородий-платиновые термопреобразователи типа ТППО. Данный тип преобразователей предназначен для проведения поверки термоэлектрических преобразователей (далее - ТП), относящихся к группе рабочих средств измерения температуры, в лабораторных условиях, согласно ГОСТ 8.338-2002. Однако достоверность результатов периодической поверки ТП по методике ГОСТ 8.338-2002, но эксплуатировавшегося в условиях отличных от условий поверки, крайне низка. Достоверные результаты можно получить путем сличения показаний поверяемого ТП и эталонного термопреобразователя, размещенного рядом с поверяемым или установленным вместо него.

В работе рассматривается возможность разработки эталонного средства измерения температуры для проведения периодической поверки ТП непосредственно на термометрируемом объекте. В качестве эталонного СИ 3-го разряда с пределом допускаемой погрешности не более 3 °С при температуре 1084.62 °С предлагается использование кабельной нихросил-нисиловой (тип N) термопары.

Работы проводились в Производственной компании «ТЕСЕЙ», г. Обнинск, и Сибирском научно-исследовательском институте метрологии (СНИИМ) г. Новосибирск.

В данной работе рассматриваются результаты исследования термопар типа N, изготовленных из термопарного кабеля диаметром 3 мм, при различных режимах их эксплуатации.

Во всех случаях исследовалась стабильность индивидуальных статических характеристик термопреобразователей (ИСХ) в процессе их эксплуатации при температурах 1084.62, 660.323 и 419.527 °С. В качестве эталонного средства измерения использовались платинородий-платиновые термопреобразователи типа ТППО 2 разряда.

Было исследовано влияние на изменение ИСХ непрерывного отжига при температуре 1084.62°С, термоциклирования в диапазоне 300 ... 1100 °С и термоударов 20... 1100°С.

Изменение ИСХ термопреобразователей при эксплуатации в режиме непрерывного отжига.

В работе [3] приводятся данные о высокой стабильности кабельных термопар КТНН Ø3мм в течение 2200 часов при температуре 1100 °С. Изменение термо-э.д.с. не превышает 4 °С.

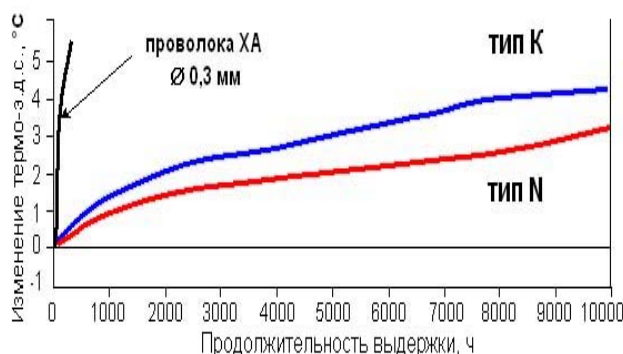


Рис 1. Изменение термо-э.д.с. кабельных термопар КТХА и КТНН диаметром 3,2 мм (диаметр термоэлектродов 0,5 мм) на воздухе в трубчатой печи при температуре 875 °С

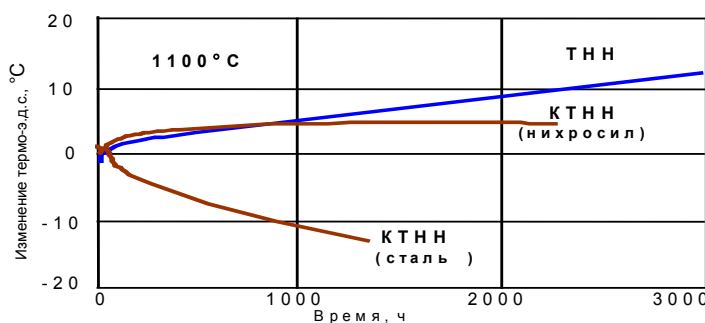


Рис 2. Изменение термо-э.д.с. кабельных термопар КТНН в оболочке из сплава нихросил и нержавеющей стали в сравнении с проволоочной термопарой ТНН (электроды диаметром 1.6 мм). Выдержка при температуре 1100 °С.

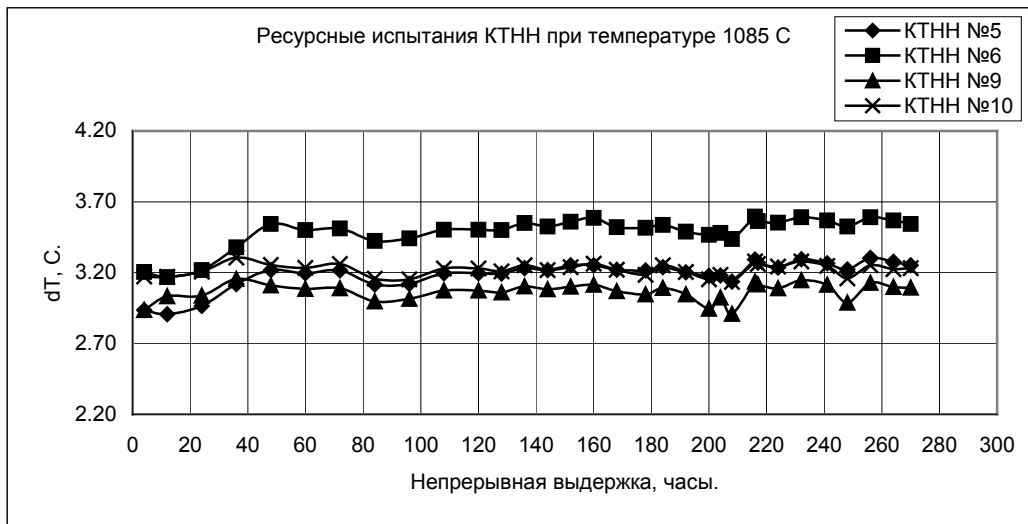


Рис 3 Ресурсные испытания Изменение ИСХ кабельных термопар КТНН в процессе непрерывного отжига при температуре $1085 \pm 10^\circ\text{C}$.

Полученные результаты подтверждают факт высокой стабильности термопреобразователей типа N.: дрейф термо-э.д.с. термопреобразователей после предварительного отжига в течение 50 часов на температуре $1085 \pm 10^\circ\text{C}$ не превысил 10-15 мкВ ($\sim 0,3^\circ\text{C}$).

Изменение ИСХ термопреобразователей при эксплуатации в режиме термоциклирования.

Эталонные термопары при проведении поверки по методике ГОСТ 8.338 работают в режиме термоциклирования. Поэтому главным свойством, определяющим возможность применения термопар КТНН в качестве эталонных, является стабильность их ИСХ при термоциклировании в диапазоне температур 300 – 1100 °С.

Для проверки стабильности была проведена серия измерений ТЭДС в трех реперных точках температурной шкалы через каждые 10 циклов “нагрев-охлаждение”. Результаты измерений представлены на рис. 4, 5, 6.

Как видно из графиков, изменение ИСХ исследуемых термопар типа КТНН $\varnothing 3$ мм. за первые 40 термоциклов составило 1°C , что соответствует требованиям МИ 1744 для образцовых платиновых термопар 3-го разряда ($1,8^\circ\text{C}$).

Увеличение числа термоциклов приводит к увеличению изменения ИСХ, которое к 120 циклу достигает 5°C при температуре 1084°C . Однако обратим внимание на изменение ИСХ с 61 по 121 цикл. На данном участке изменение ИСХ составляет $1,5^\circ\text{C}$, что также соответствует требованиям МИ 1744-87 для образцовых платиновых термопар 3-го разряда при температуре затвердевания меди.

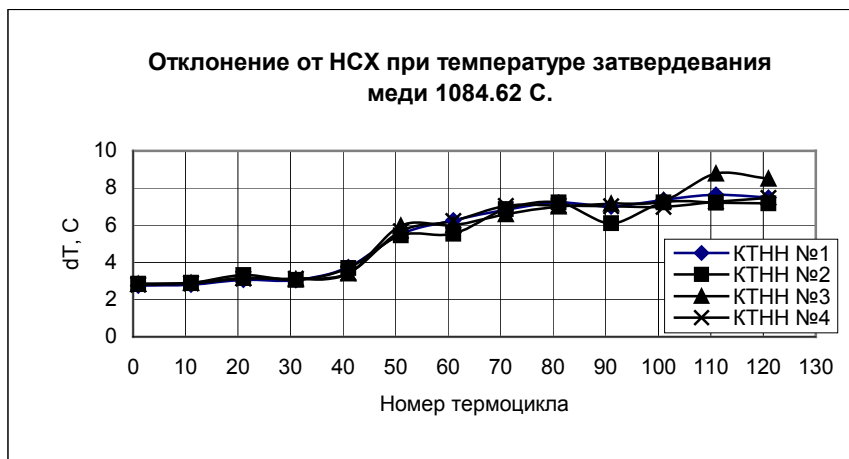


Рис 4.

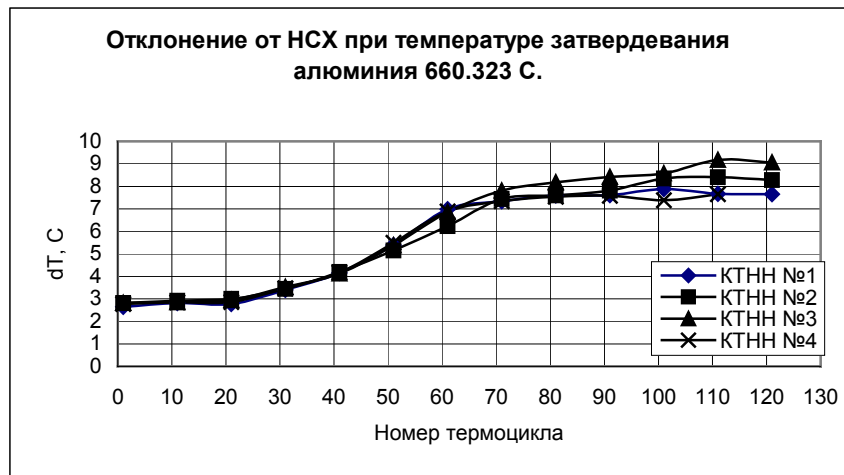


Рис 5.

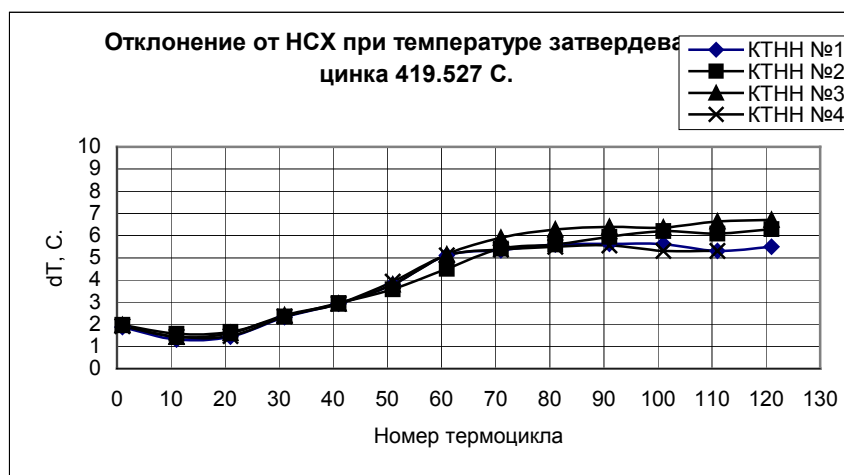


Рис 6.

Изменение ИСХ термопреобразователей при эксплуатации в режиме термоциклирования.

Другим немаловажным свойством эталонного СИ температуры является стабильность термотехнических характеристик при воздействии термоудара.

Термоудар можно рассматривать как модель использования термопары на термометрируемом объекте. В литературе по термометрии термоудар описывается как один цикл изменения температуры рабочего спая с одинаковой скоростью нагрева и охлаждения.

Исследована стабильность кабельных термопар КТНН, аналогичных исследованным при ресурсных испытаниях, при воздействии термоудара на термопарную сборку из 3 термопреобразователей, для чего термопары нагревали до температуры 1085 °С в течение 10 мин. и охлаждали до температуры менее 100 °С в течение 3 мин. Исследования проводили в Сибирском институте метрологии (СНИИМ).

Результаты представлены на рис. 7-9

На графиках видно, что влияние термоударов на нестабильность градуировочных характеристик термопар незначительно, изменение с момента начала воздействия составило 6 мкВ (~0,2°С), и это еще раз подтверждает, что кабельный нихросил-нисловый термопреобразователь возможно использовать в качестве эталонного средства измерения 3-го разряда.

Отклонение от НСХ индивидуальных характеристик термопар КТНН
(СНИИМ термоудары)

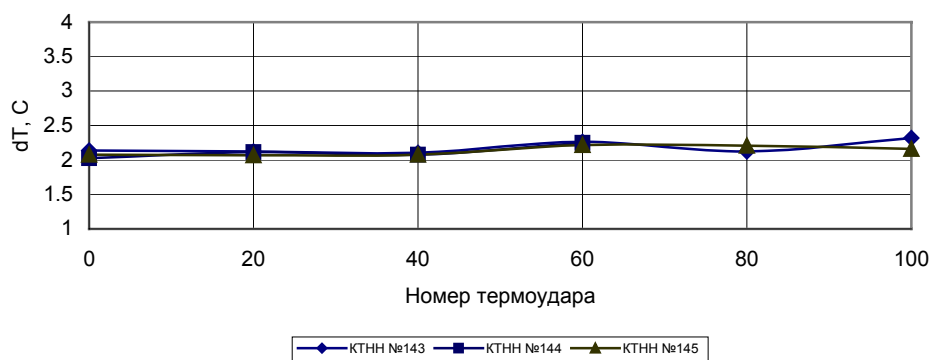


Рис 7. Градуировка при температуре затвердевания меди.

Отклонение от НСХ индивидуальных характеристик термопар КТНН
(СНИИМ термоциклы)

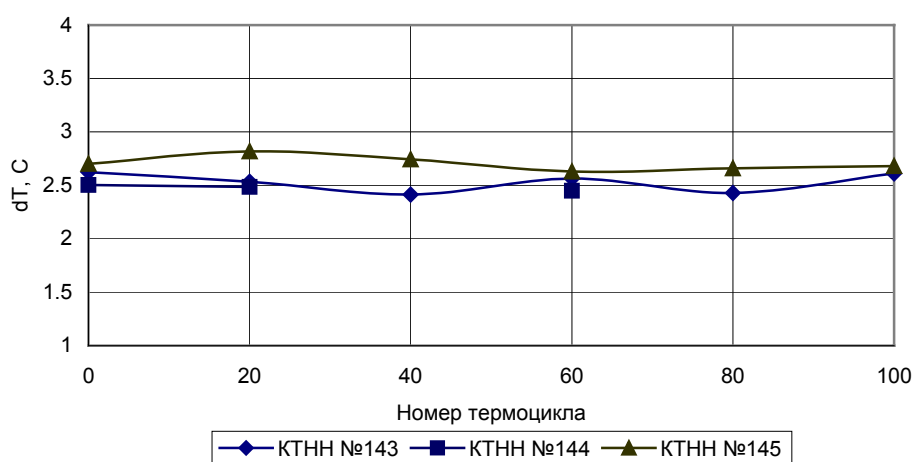


Рис 8. Градуировка при температуре затвердевания алюминия.

Отклонение от НСХ термопар СНИИМ термоудары

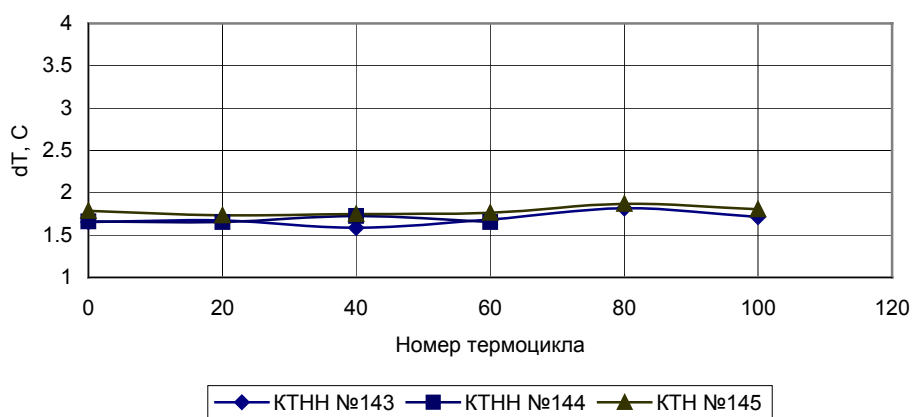


Рис 9. Градуировка при температуре затвердевания цинка.

Из данных рис 3 ...9 следует, что величина изменения индивидуальных характеристик кабельных термопреобразователей типа N в процессе непрерывного отжига, термоциклирования и термоударов позволяет использовать их в качестве эталонных СИ.

Неоднородность как метод предварительной периодической поверки термопреобразователей.

После проведения основной серии исследования стабильности КТНН была проверена неоднородность их термоэлектрических характеристик по длине. Методика измерения заключалась в дискретном погружение термопары в термостат и регистрацией термо-э.д.с. в равные промежутки времени.

Результаты исследования неоднородности термопреобразователей представлены на рис. 10 ... 21.

рис 10

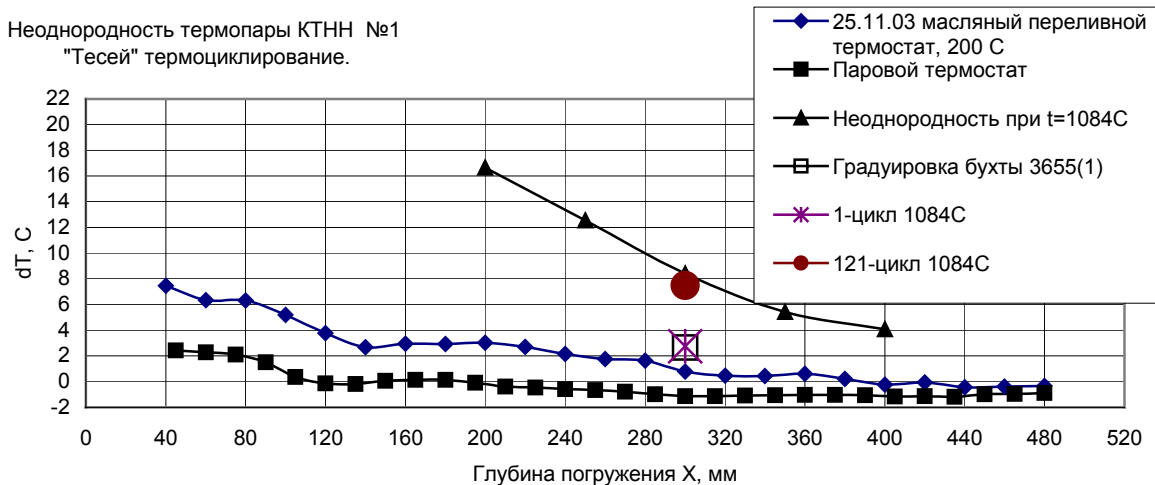


Рис 11

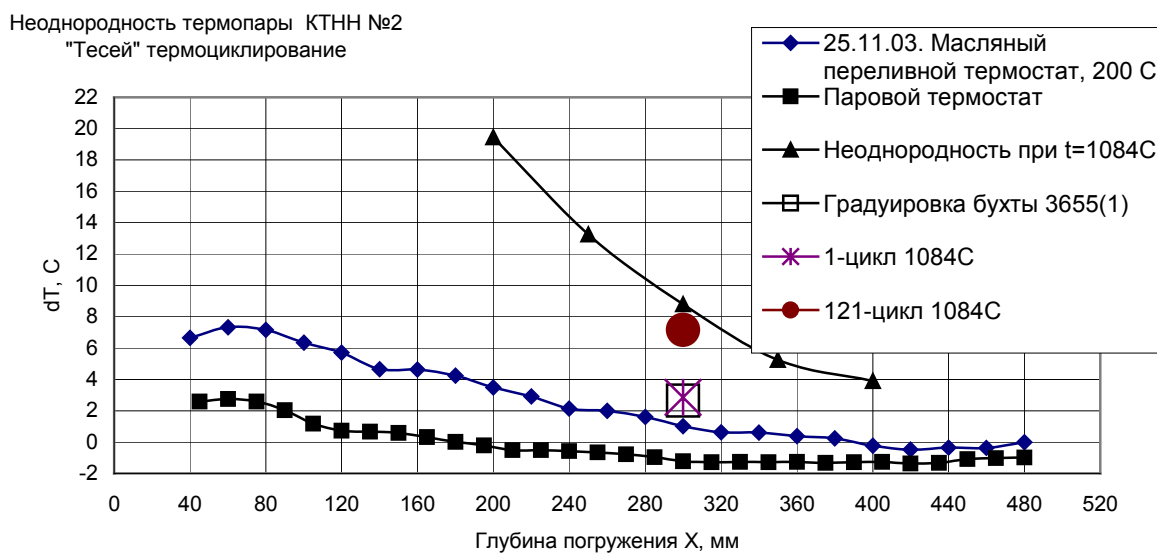


Рис 12

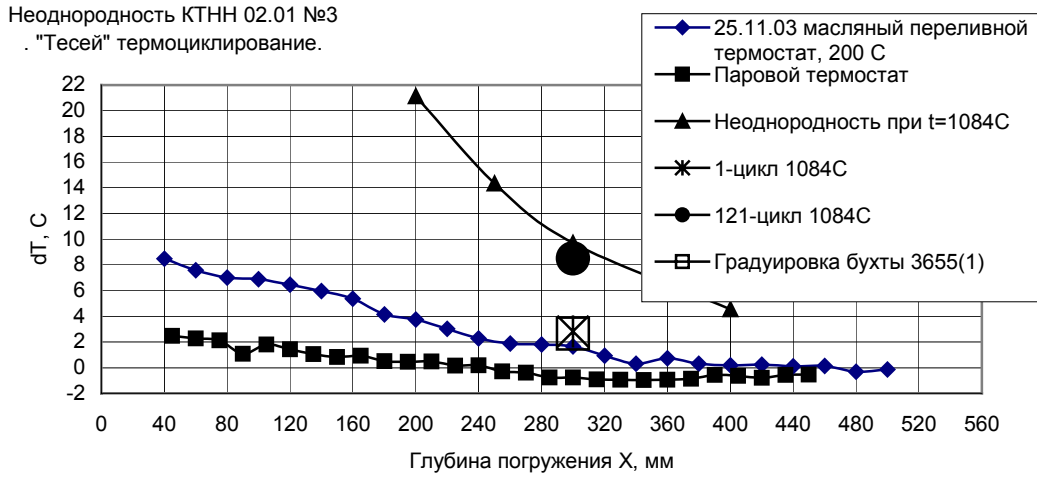


Рис 13

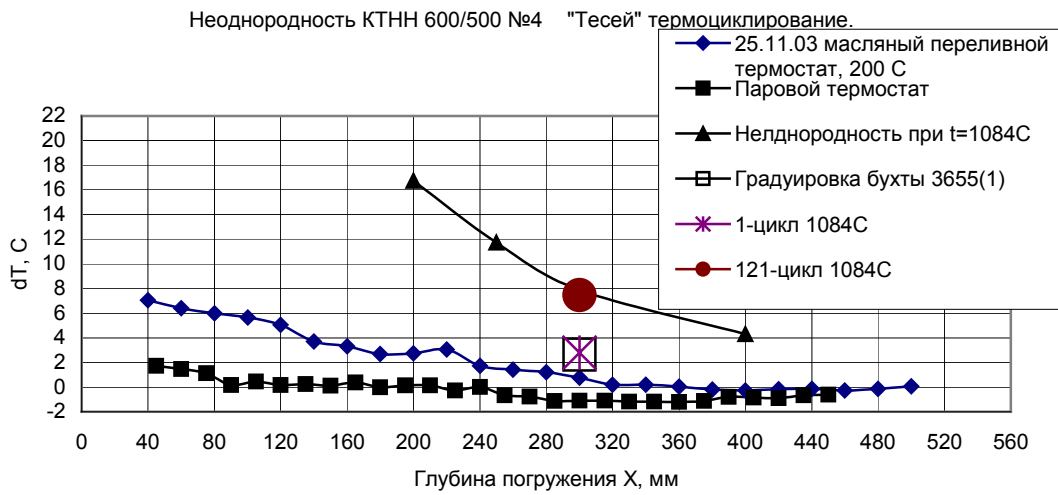


Рис 14.

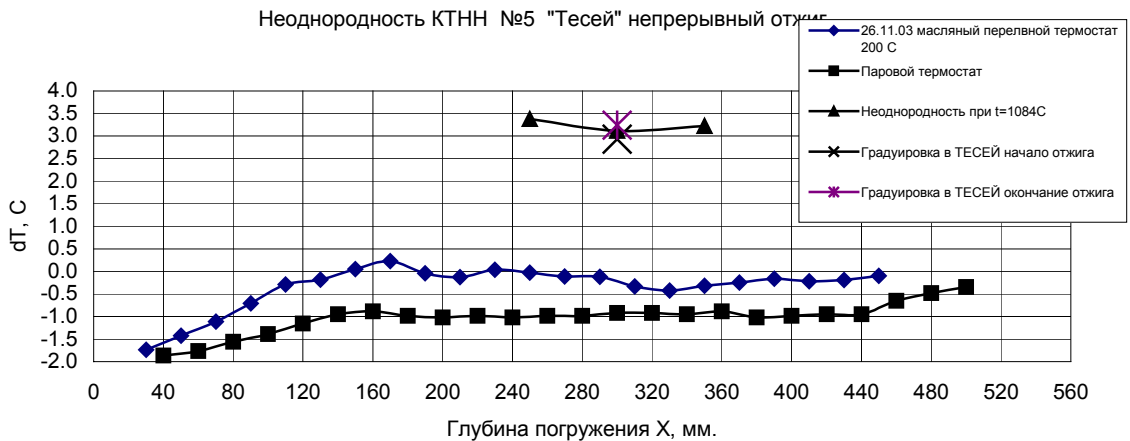


Рис 15.

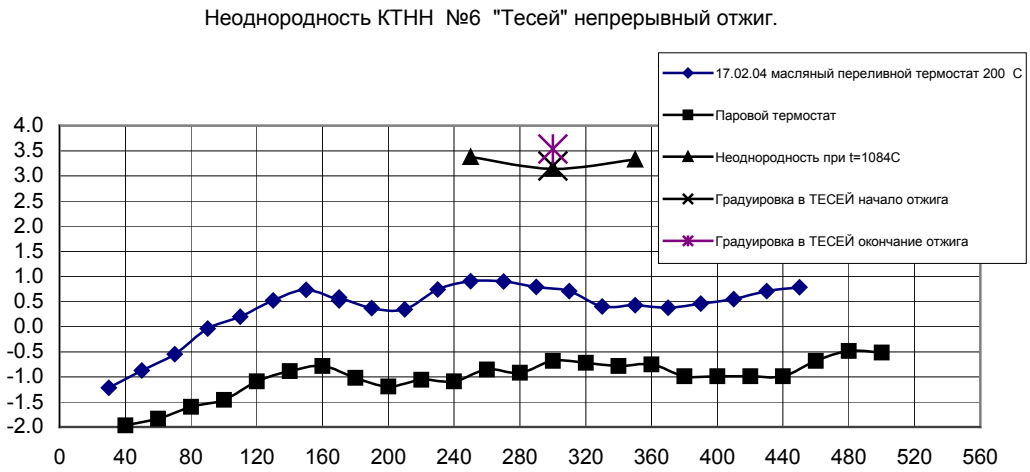


Рис 16.

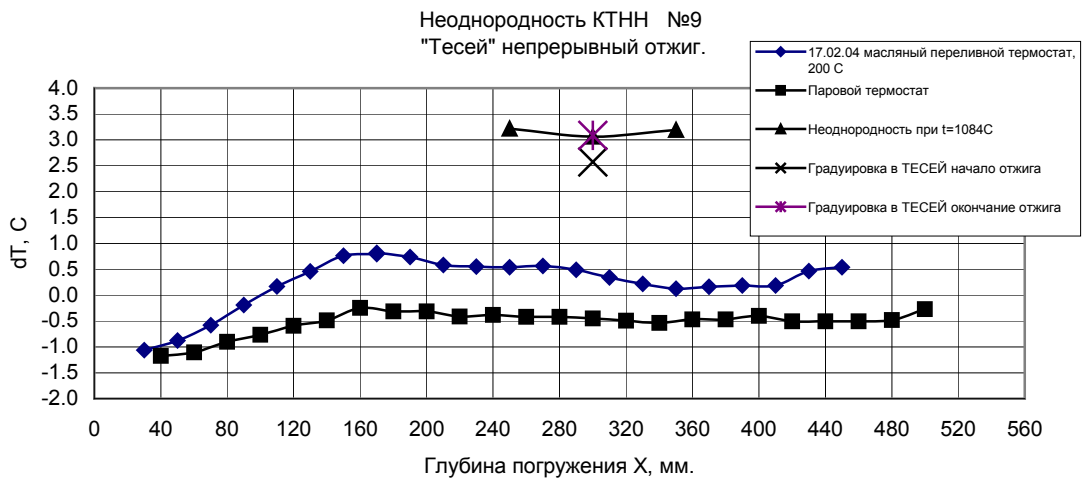


Рис 17.

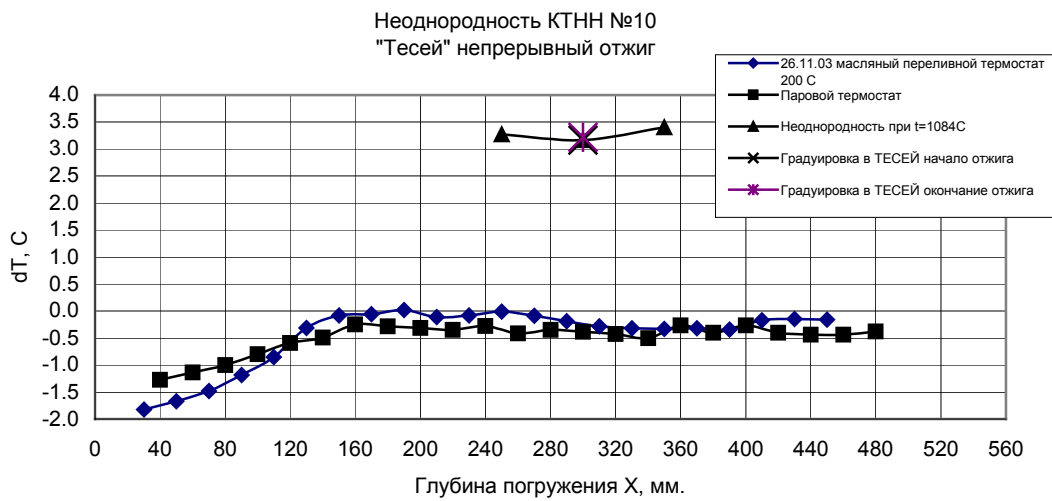


Рис 18.

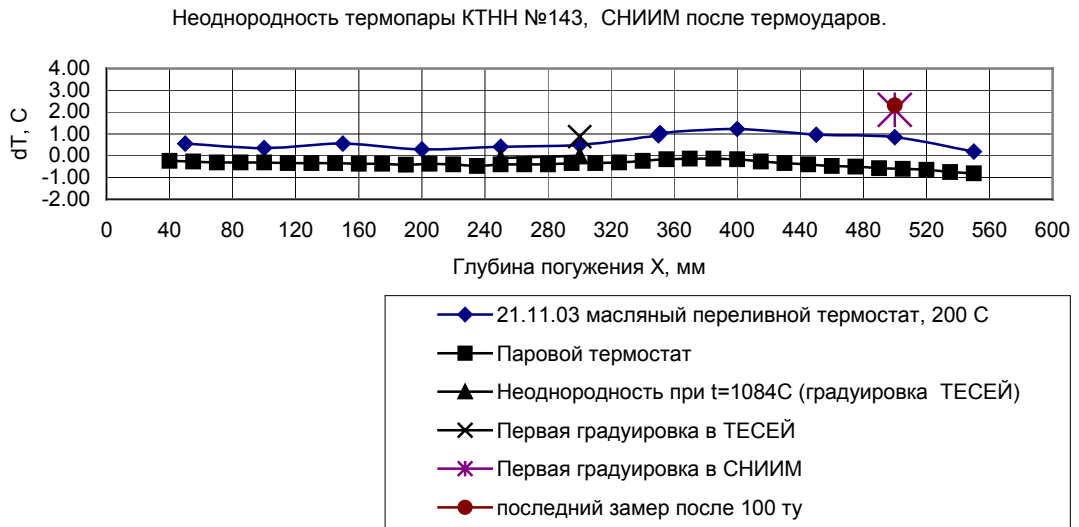


Рис 19.

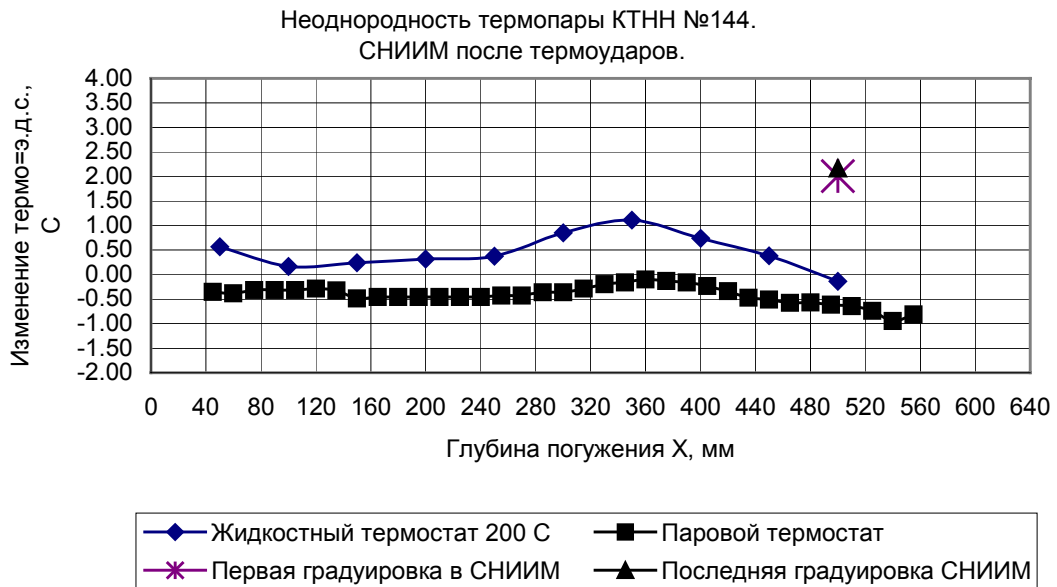
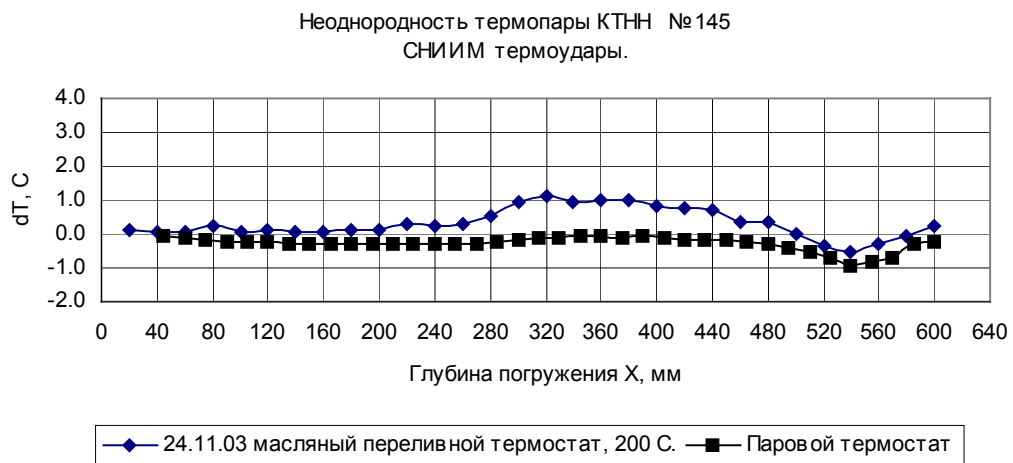


Рис 20.



Как видно из графиков на рис 10-20, изменение термоэлектрических характеристик термопар произошли на всей длине участка термопары, находившейся внутри канала печи.

Исследуя неоднородность нельзя говорить об улучшении точности показаний термопары, но можно определить величину изменения показаний для данного участка термопары, и установить возможность использования данной термопары в дальнейшем и на данной глубине погружения.

Смоделировав условия работы и исследовав уход термометрических характеристик термопреобразователя КТНН типа N предлагается использование кабельной термопары нихросил-нисил в качестве эталонной 3-го разряда с пределом погрешности $\pm 3,0$ °C и рабочим ресурсом в пределах 50 термоциклов в диапазоне 300 – 1100 °C.

Т.о. мы получаем эталонное средство измерения температуры 3 разряда для периодической проверки непосредственно на термометрируемом объекте, не содержащее драгоценных металлов и имеющее намного меньшую стоимость по сравнению с эталонным платиновым термопреобразователем.

Расчет погрешности при градуировке кабельной термопары типа N по эталонной платинородий-платиновой термопаре представлен в таблице.

Вид погрешности	Предел. величина погрешности, °C при градуировке термопары НН по эталонной Pt термопаре
<p>1. Суммарная систематическая погрешность</p> $\vartheta = 1.1 * \sqrt{\sum_{i=1}^m \vartheta_i^2}, \text{ в т.ч.:}$ <ul style="list-style-type: none"> - погрешность температуры опорных спаев; - предел допускаемой погрешности эталонного средства измерения в точке плавления меди; - погрешность измерения термо-э.д.с. - погрешность, вызванная дрейфом температуры за время измерений при условии разницы между показаниями термо-э.д.с. не более 0,1°C - погрешность, вызванная перепадом температур по никелевому блоку и определенная экспериментально 	<p style="text-align: center;">±0,70</p> <hr/> <p style="text-align: center;">± 0,01</p> <hr/> <p style="text-align: center;">± 0,6</p> <hr/> <p style="text-align: center;">± 0,05 (2 мкВ)</p> <hr/> <p style="text-align: center;">± 0,05</p> <hr/> <p style="text-align: center;">± 0,2</p>
<p>2. Доверительная граница случайной погрешности градуировки $\varepsilon = St * S$, где</p> <p>S – оценка среднеквадратичного отклонения измеренных значений термо-э.д.с. E_{ni} (отклонений термо-э.д.с. ΔE_{ni}), от расчетных значений E_{pi}, определенных по найденному полиному k-ой степени в i-ой точке:</p> $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_{ui} - E_{pi})^2}{n - (k + 1)}};$ <p>n - общее число измерений (по 4 измерения на каждом уровне температуры); St – коэффициент Стьюдента для n-(k+1) и доверительной вероятности 95%.</p>	<p style="text-align: center;">±0,29</p> <hr/> <p style="text-align: center;">$S \leq 0,15$ (область значений S, при которых результаты градуировки признаются достоверными)</p> <p style="text-align: center;">St = 1,96 для n=36; k=4</p>

<p>3. Суммарное среднее квадратичное отклонение результата измерения по ГОСТ 8.207-76:</p> $S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{g_i^2}{3} + S^2}$	<p>±0,47</p>
<p>4. Суммарная погрешность результата измерения (погрешность градуировки) по ГОСТ 8.207-76:</p> $\Delta T = K * S_{\Sigma}, \text{ где } K = \frac{\varepsilon + g}{S + \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{g_i^2}{3}}}$	<p>±0,90 при K=1,91</p>

Заключение.

Результаты исследования термопар нихросил–нисил (тип N) в диапазоне 300–1100 °С показывают возможность использования термопары в качестве эталонных термопар 3-го разряда с предельной погрешностью ± 3,0 °С на температуре 1084°С.

Предельная погрешность включает в себя как погрешность градуировки самой термопары ± 0,9 °С, так и возможный дрейф в течение рабочего ресурса ± 2,1 °С.

Контролировать допустимый дрейф возможно как измерение неоднородности по длине термопары в термостате при 200 °С. Изменение неоднородности термопары более чем на ± 0,5°С говорит о возможности ухода характеристик при температуре затвердевания меди на величину порядка 2,1 °С.

Использованная литература.

1. Куин Т. температура. – М.: Мир, 1965.
2. Каржавин А.В., Коломбет С.В., Улановский А.А. Новые методы и средства поверки термоэлектрических термометров в диапазоне температур 300 – 1100 С. // Сб. докладов 1-й Всероссийской конференции «Температура 2001», г. Подольск, 13-15 ноября 2001 г.
3. Deniman H.L. The Choice of sheathing for mineral insulated thermocouples // Measurements & Control. 1991, 25 (1), p. 93-95.
4. ГОСТ 8.558-93. Государственная поверочная схема для средств измерения температуры. – М.: Изд-во Стандартов. 1994.
5. МИ 1744-87. МУ. Термопреобразователи термоэлектрические платиноводород-платиновые образцовые типа ППО. Методика поверки. Свердловск. 1987.
6. ГОСТ 8.338-2002. Преобразователи термоэлектрические. Методика поверки. – М.: Изд-во Стандартов. 2003.