

# Калибровка устройств ТЕРМОХРОН

## 1. Результаты исследования температурных характеристик устройств ТЕРМОХРОН модификаций DS1921H и DS1921Z.

С целью исследования особенностей погрешностей, возникающих при регистрации температуры устройствами ТЕРМОХРОН и изучения возможностей коррекции характеристик преобразования этих температурных логгеров, в серии из трех экспериментов фиксировались синхронные показания:

- трех регистраторов модификации DS1921H-F5,
- трех регистраторов модификации DS1921Z-F5,
- индикаторного термометра типа **Checktemp** модели **HI98501** производства канадской фирмы Hanna Instruments Canada Inc. ([http://www.hannacan.com/fiches\\_techniques/B-Testers/Hi98501-98502-98505-98506.pdf](http://www.hannacan.com/fiches_techniques/B-Testers/Hi98501-98502-98505-98506.pdf)), с основной погрешностью показаний 0.3°C в диапазоне температур от -20°C до +90°C,
- эталона - ртутных лабораторных термометров, предназначенных для точных измерений температуры, из набора **TP-1** производства ОАО "Термоприбор" (<http://www.thermopribor.com/>) с основной погрешностью показаний 0.05°C в середине шкалы,

при различных температурах.

Все перечисленные средства измерения помещались в термоизолированный сосуд, заполненный соляным раствором, температура внутри которого плавно изменялась в пределах диапазона регистрации тестируемых устройств ТЕРМОХРОН (от 0°C до +45°C). При этом, температура в каждой отдельной контрольной точке поддерживалась стабильной по показаниям эталонного термометра в течение 5 минут (для температур меньше +15°C) и 10 минут (для температур больше +15°C), что, очевидно, является достаточным для равномерного прогрева корпусов испытуемых устройств ТЕРМОХРОН. Переход от одной контрольной точки к другой производился в соответствии с показаниям индикаторного термометра. После чего в сосуд помещался эталонный ртутный термометр из набора TP-1, рассчитанный на работу в очередном контролируемом температурном диапазоне.

Контрольные температурные точки, в каждой из которых с целью изучения разброса показаний (вариаций), измерения производились троекратно (при проходе сначала от низких значений температур к верхним, а потом наоборот), равномерно распределены вдоль всего диапазона регистрации тестируемых устройств ТЕРМОХРОН (исключая область отрицательных температур для модификации DS1921Z-F5). Количество контрольных точек для логгеров модификации DS1921Z-F5 равнялось 11, а для устройств модификации DS1921H-F5 - 12.

После считывания показаний, зарегистрированных устройствами ТЕРМОХРОН в трех экспериментах, для каждого тестируемого устройства ТЕРМОХРОН во всех температурных точках определялись максимальный и минимальный результаты измерения температуры, а также их отклонения от эталонного значения и разность, т.е. разброс результатов, полученных в каждом из проходов. Зафиксированные данные представлены ниже в Таблицах 1.1 ÷ 1.6. Для случаев, когда при стабильной температуре устройства ТЕРМОХРОН регистрировали одинаковое количество соседних отсчетов, отличающихся на 1 бит, в графе «Температура, зарегистрированная логгером, °C» указываются оба эти значения (например, 10.000...10.125).

Таблица 1.1. Результаты исследования характеристики регистратора DS1921H-F5 2159090000204F5F



Температура, зарегистрированная эталонным термометром °C	Результаты для регистратора DS1921H-F5 2159090000204F5F						
	Температура, зарегистрированная логгером, °C			Отклонение от эталонного значения, °C		Разброс показаний	
	Опыт №1	Опыт №2	Опыт №3	Мин.	Макс.	°C	бит
16.0	16.250	16.000	16.000...16.125	0	+0.250	0.250	2
20.0	20.125	20.000	20.000	0	+0.125	0.125	1
21.5	21.625	21.500	21.500	0	+0.125	0.125	1
23.2	23.125...23.250	23.250	23.125...23.250	-0.075	+0.050	0.125	1
24.0	24.125	24.000	23.875	-0.125	+0.125	0.250	2
27.0	27.125	27.125	27.125	0	0	0	0
30.0	30.375	30.250	30.375	+0.250	+0.375	0.125	1
33.0	33.125...33.250	33.250	33.250	+0.125	+0.250	0.125	1
36.0	36.625	36.250	36.250	+0.250	+0.625	0.375	3
40.0	40.500	40.375	40.500...40.625	+0.375	+0.625	0.250	2
42.5	42.875...43.000	43.000	43.000...43.125	+0.375	+0.625	0.250	2
45.0	45.500	45.375	45.500	+0.375	+0.500	0.125	1

Таблица 1.2. Результаты исследования характеристики регистратора DS1921H-F5 21933E0000204FDA

Температура, зарегистрированная эталонным термометром °С	Результаты для регистратора DS1921H-F5 21933E0000204FDA						
	Температура, зарегистрированная логгером, °С			Отклонение от эталонного значения, °С		Разброс показаний	
	Опыт №1	Опыт №2	Опыт №3	Мин.	Макс.	°С	бит
16.0	16.625	16.500	16.500	+0.500	+0.625	0.125	1
20.0	20.375	20.375	20.375	+0.375	+0.375	0	0
21.5	21.875	21.875	21.875	+0.375	+0.375	0	0
23.2	23.625...23.500	23.500	23.500	+0.500	+0.625	0.125	1
24.0	24.250	24.125...24.250	24.125	+0.125	+0.250	0.125	1
27.0	27.250	27.250	27.250	+0.250	+0.250	0	0
30.0	30.375	30.125	30.375	+0.125	+0.375	0.250	2
33.0	33.375	33.000	33.250	0	+0.375	0.375	3
36.0	36.375	36.000	36.250	0	+0.375	0.375	3
40.0	40.250	40.000	40.375	0	+0.375	0.375	3
42.5	42.375	42.750	42.750	-0.125	+0.250	0.375	3
45.0	45.125	45.125...45.250	45.125...45.250	+0.125	+0.250	0.125	1

Таблица 1.3. Результаты исследования характеристики регистратора DS1921H-F5 21C20C0000204FC4

Температура, зарегистрированная эталонным термометром °С	Результаты для регистратора DS1921H-F5 21C20C0000204FC4						
	Температура, зарегистрированная логгером, °С			Отклонение от эталонного значения, °С		Разброс показаний	
	Опыт №1	Опыт №2	Опыт №3	Мин.	Макс.	°С	бит
16.0	16.375	16.125	16.250	+0.125	+0.375	0.250	2
20.0	20.250	20.125	20.125	+0.125	+0.250	0.125	1
21.5	21.750	21.625	21.625	+0.125	+0.250	0.125	1
23.2	23.375...23.500	23.375	23.375	+0.175	+0.300	0.125	1
24.0	24.250	24.125...24.250	24.000	0	+0.250	0.250	2
27.0	27.250	27.250...27.375	27.125	+0.125	+0.375	0.250	2
30.0	30.500	30.375	30.375	+0.375	+0.500	0.125	1
33.0	33.375	33.375...33.500	33.250	+0.250	+0.500	0.250	2
36.0	36.250	36.500	36.250	+0.250	+0.500	0.250	2
40.0	40.625	40.625	40.375	+0.375	+0.625	0.250	2
42.5	43.125	43.250	43.125	+0.625	+0.750	0.125	1
45.0	45.625	45.625	45.500...45.625	+0.500	+0.625	0.125	1

Таблица 1.4. Результаты исследования характеристики регистратора DS1921Z-F5 219A890000203BCB

Температура, зарегистрированная эталонным термометром °С	Результаты для регистратора DS1921Z-F5 219A890000203BCB						
	Температура, зарегистрированная логгером, °С			Отклонение от эталонного значения, °С		Разброс показаний	
	Опыт №1	Опыт №2	Опыт №3	Мин.	Макс.	°С	бит
0.1	0.500...0.625	0.375	0.250...0.375	+0.150	+0.525	0.375	3
0.7	1.125	0.875...1.000	0.875	+0.175	+0.425	0.250	2
3.9	4.500	4.250	4.125	+0.225	+0.600	0.375	3
6.5	6.875	6.750	6.750	+0.250	+0.375	0.125	1
9.5	9.750...9.875	9.750	9.625...9.750	+0.125	+0.375	0.250	2
11.0	11.250	11.250	11.125	+0.125	+0.250	0.125	1
16.0	16.250	16.000	16.000	0	+0.250	0.250	2
20.0	20.125	19.875	19.875	-0.125	+0.125	0.250	2
21.5	21.625	21.375	21.375	-0.125	+0.125	0.250	2
23.2	23.250...23.000	23.125	23.125	-0.075	+0.050	0.125	1
24.0	24.000	23.875	23.750	-0.250	0	0.250	2

Таблица 1.5. Результаты исследования характеристики регистратора DS1921Z-F5 21B7860000203B58

Температура, зарегистрированная эталонным термометром °С	Результаты для регистратора DS1921Z-F5 21B7860000203B58						
	Температура, зарегистрированная логгером, °С			Отклонение от эталонного значения, °С		Разброс показаний	
	Опыт №1	Опыт №2	Опыт №3	Мин.	Макс.	°С	бит
0.1	0.500	0.250	0.250	+0.150	+0.400	0.250	2
0.7	1.000	0.875...1.000	0.875	+0.175	+0.300	0.125	1
3.9	4.375...4.500	4.250	4.125	+0.225	+0.600	0.375	3
6.5	6.875	6.875	6.750	+0.250	+0.375	0.125	1
9.5	10.000	9.750...9.875	9.750	+0.250	+0.500	0.250	2
11.0	11.250	11.125...11.250	11.125...11.250	+0.125	+0.250	0.125	1
16.0	16.375	16.000	16.125	0	+0.375	0.375	3
20.0	20.125	19.875	20.000	-0.125	+0.125	0.250	2
21.5	21.625	21.375	21.375	-0.125	+0.125	0.250	2
23.2	23.375...23.000	23.125	23.125	-0.200	+0.175	0.375	3
24.0	24.000	23.875...24.000	23.750	-0.250	0	0.250	2

Таблица 1.6. Результаты исследования характеристики регистратора DS1921Z-F5 21CB870000203B70

Температура, зарегистрированная эталонным термометром °С	Результаты для регистратора DS1921Z 21CB870000203B70						
	Температура, зарегистрированная логгером, °С			Отклонение от эталонного значения, °С		Разброс показаний	
	Опыт №1	Опыт №2	Опыт №3	Мин.	Макс.	°С	бит
0.1	0.750	0.500	0.375...0.500	+0.275	+0.650	0.375	3
0.7	1.250	1.000...1.125	1.000...1.125	+0.300	+0.550	0.250	2
3.9	4.625	4.375	4.250	+0.350	+0.725	0.375	3
6.5	7.000	7.000	6.875	+0.375	+0.500	0.125	1
9.5	10.125	9.875...10.000	9.875	+0.375	+0.625	0.250	2
11.0	11.375	11.250	11.250...11.375	+0.250	+0.375	0.125	1
16.0	16.500	16.125	16.125	+0.125	+0.500	0.375	3
20.0	20.250	20.000	20.000	0	+0.250	0.250	2
21.5	21.750	21.500	21.500	0	+0.250	0.250	2
23.2	23.500	23.250	23.250	+0.050	+0.300	0.250	2
24.0	24.125	24.000	23.875	-0.125	+0.125	0.250	2

Для наглядного отображения результатов температурных испытаний тестируемых логгеров и более показательной визуализации разброса полученных от них показаний были построены графики, на которых приводятся минимальная и максимальная разность показаний каждого испытываемого устройства ТЕРМОХРОН и эталонного термометра  $\Delta T$  при различных значениях температуры  $T$  (см. Рис. 1.1 ÷ 1.6).

Обобщая результаты, полученные в ходе выполнения вышеописанных экспериментов, можно сделать следующие основные заключения:

- 1) Максимальная погрешность измерения температуры вдоль всего диапазона регистрации, с учетом погрешности эталонного термометра, составляет 0.850°C для логгеров модификации DS1921H-F5 и 0.925°C для логгеров модификации DS1921Z-F5, что полностью соответствует уровню погрешности, нормируемой для них при изготовлении ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ).
- 2) Разброс показаний каждого отдельного устройства ТЕРМОХРОН модификаций DS1921Z-F5 и DS1921H-F5 при одной и той же температуре может достигать величины 3 бита (0.375°C).
- 3) Для уменьшения погрешности устройств ТЕРМОХРОН модификаций DS1921Z-F5 и DS1921H-F5 необходимо проведение процедуры дополнительной калибровки, с целью получения коэффициентов коррекции систематической погрешности, индивидуальных для каждого из логгеров. Однако, при любом из выбранных методов калибровки интегральная погрешность, нормируемая для всего диапазона регистрации любого из этих устройств, не может быть ниже значения 0.375°C.

Рис.1.1 Максимальная и минимальная разность показаний регистратора 2159090000204F5F и эталонного термометра.

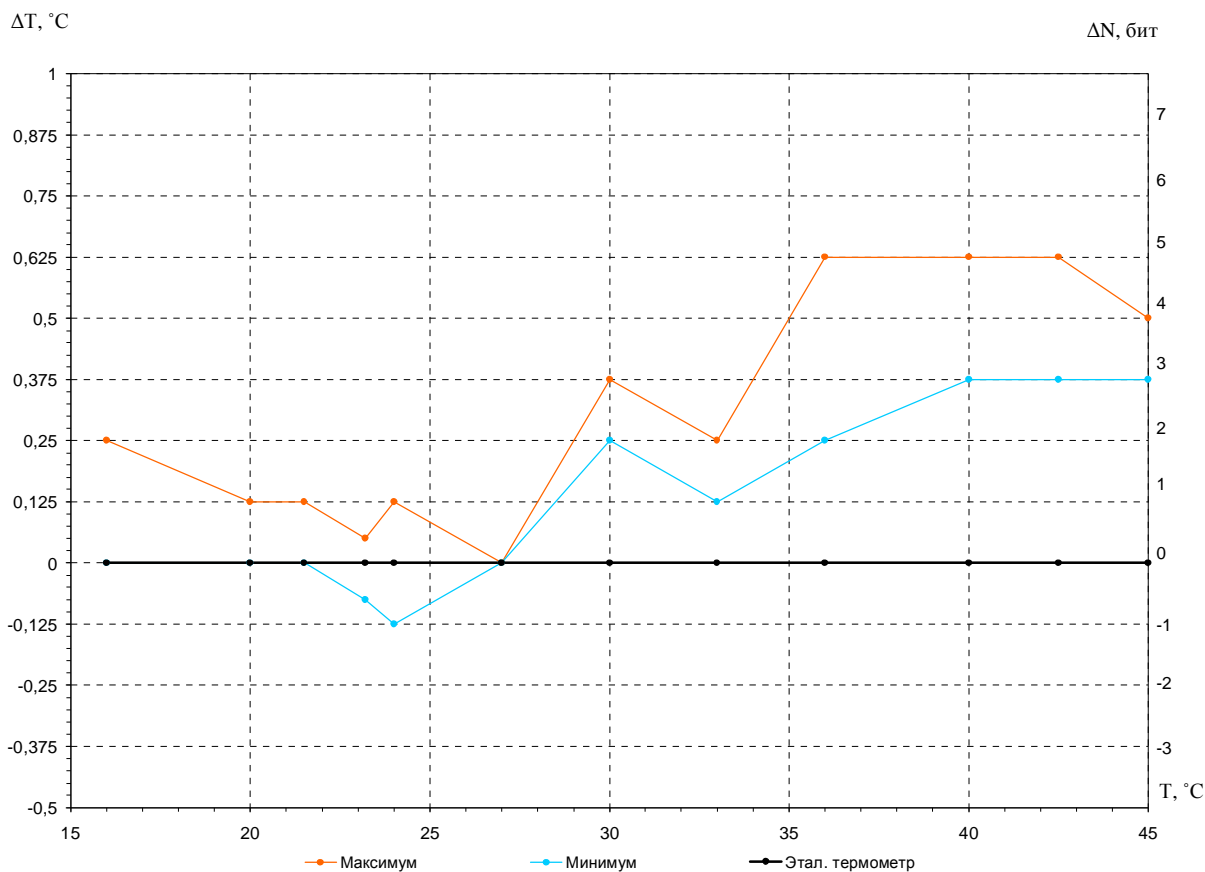


Рис.1.2 Максимальная и минимальная разность показаний регистратора 21933E0000204FDA и эталонного термометра.

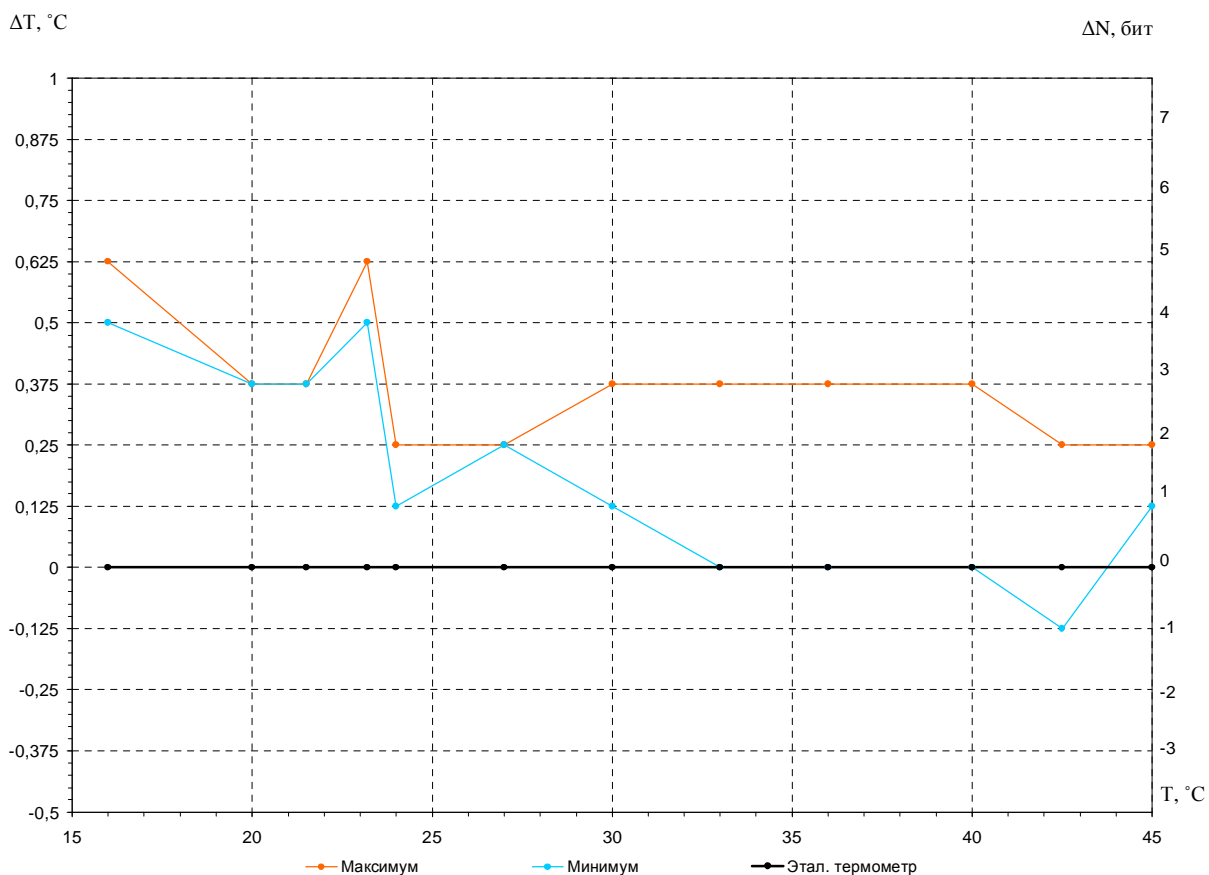


Рис.1.3 Максимальная и минимальная разность показаний регистратора 21C20C0000204FC4 и эталонного термометра.

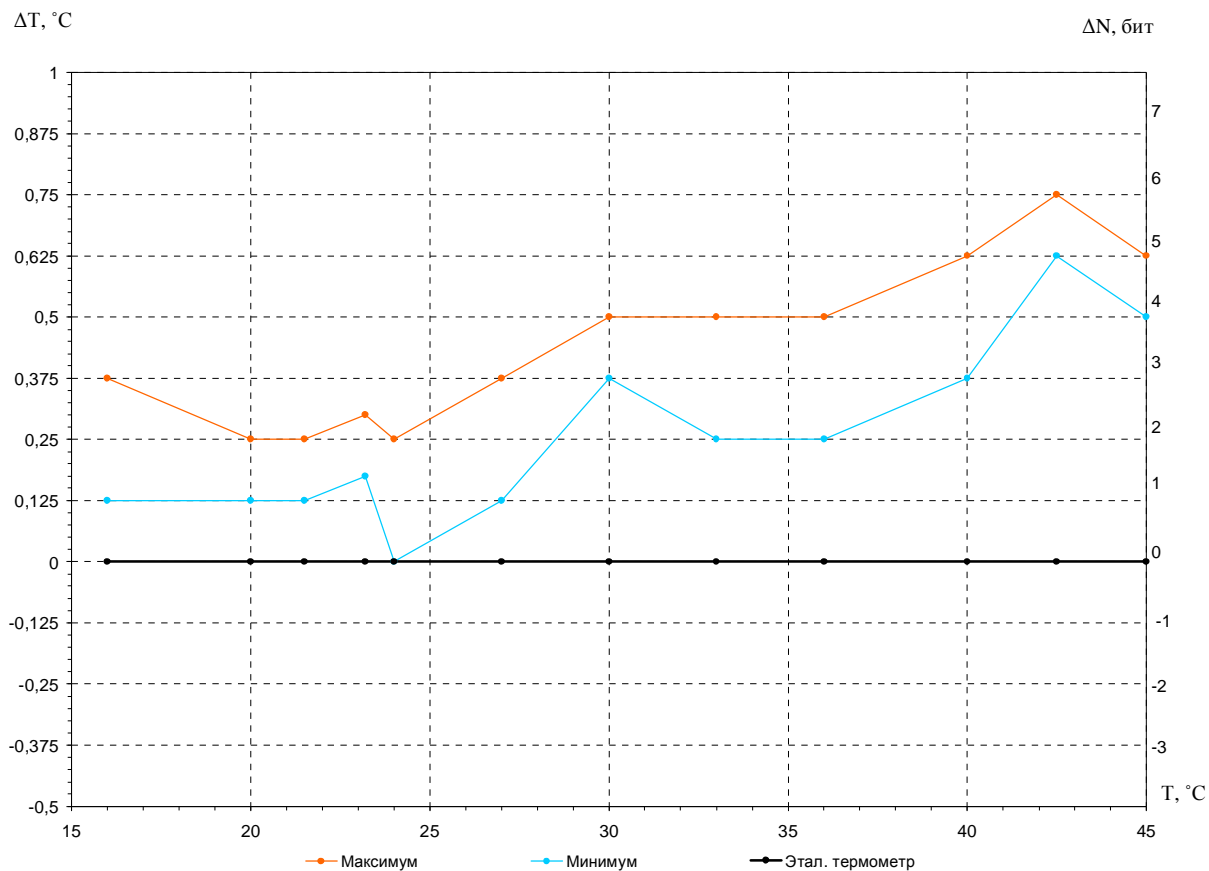


Рис.1.4 Максимальная и минимальная разность показаний регистратора 219A890000203BCB и эталонного термометра.

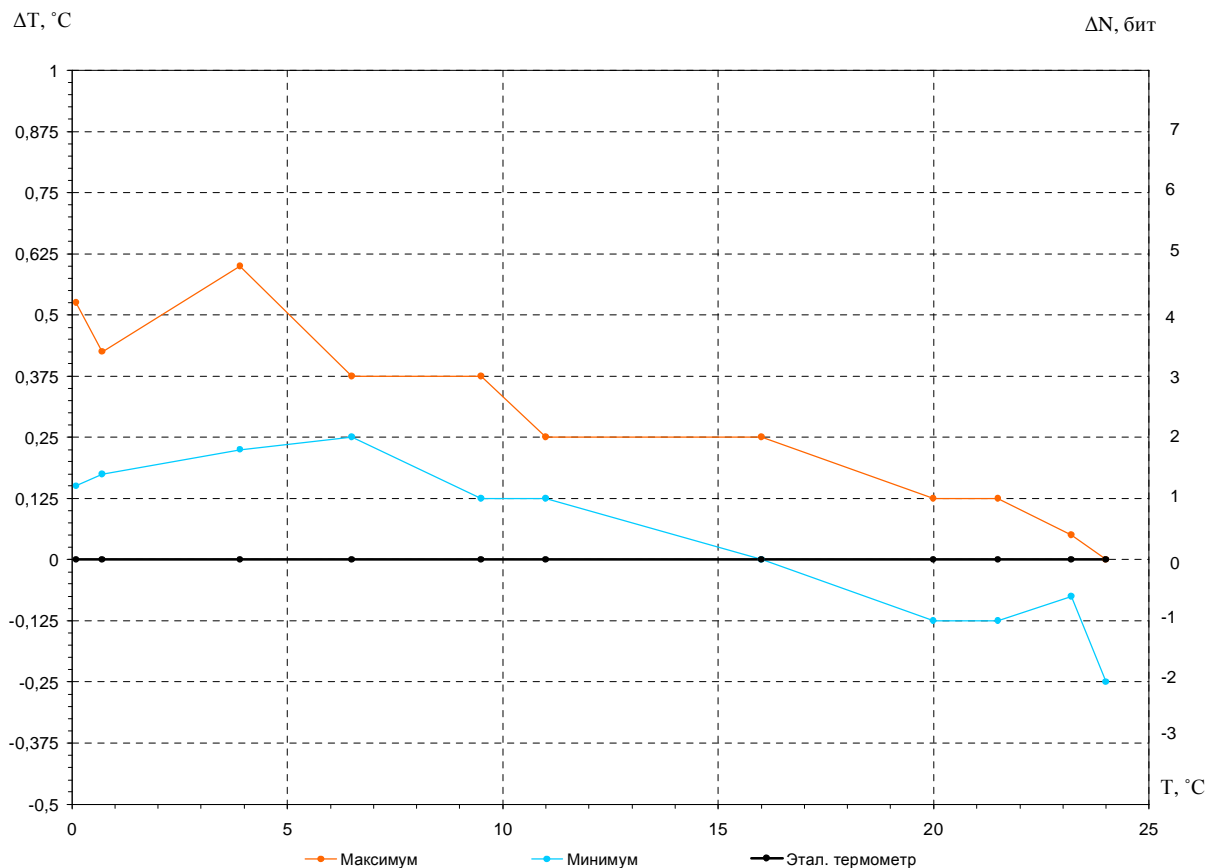


Рис.1.5 Максимальная и минимальная разность показаний регистратора 21В7860000203В58 и эталонного термометра.

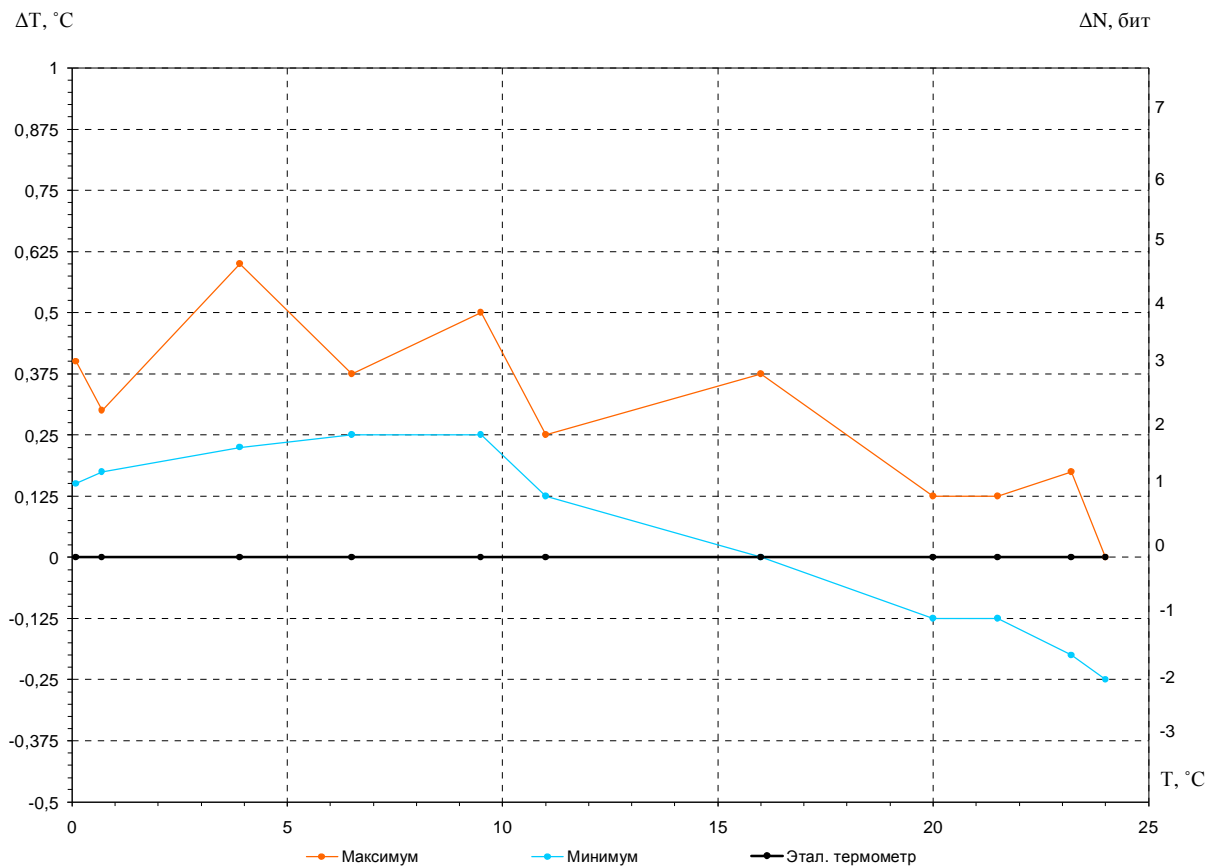
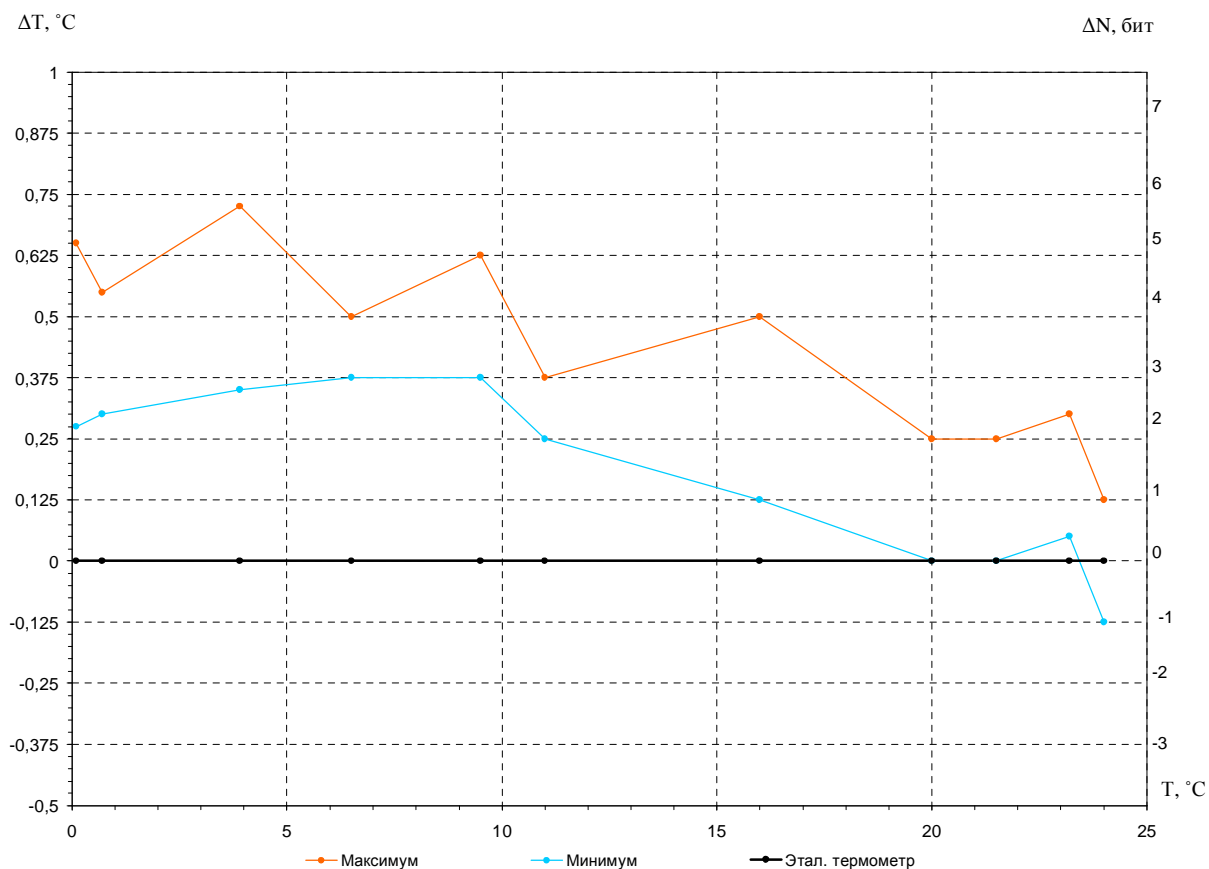


Рис.1.6 Максимальная и минимальная разность показаний регистратора 21СВ870000203В70 и эталонного термометра.



## 2. Анализ простейших методов калибровки устройств ТЕРМОХРОН модификаций DS1921H и DS1921Z.

На основании анализа погрешностей регистрации для устройств ТЕРМОХРОН модификаций DS1921H-F5 и DS1921Z-F5, которые подробно изложены в предыдущем разделе 1, рассмотрим возможности применения различных простейших методов цифровой (программной) калибровки этих логгеров с целью улучшения точности воспроизведения зафиксированных ими температурных значений. Каждый из таких методов предполагает получение набора коэффициентов коррекции функции преобразования, индивидуальных для каждого из устройств ТЕРМОХРОН, которые могут быть использованы средствами сопровождения этих температурных “таблеток” на этапе считывания накопленных ими результатов с целью повышения их достоверности. Основной предпосылкой возможности применения одного из подобных методов является факт наличия у устройств iButton типа DS1921 любой модификации свободной для заполнения и чтения области дополнительной памяти, которая может использоваться пользователем по своему усмотрению. При решении задачи, связанной с реализацией процедуры коррекции погрешности функции преобразования устройств ТЕРМОХРОН, целесообразно разместить в отдельной области дополнительной памяти такой “таблетки” необходимые для этих целей константы или коэффициенты, индивидуальные для каждого отдельного логгера, которые затем могут быть считаны программным обеспечением средств поддержки.

Для каждого из предлагаемых ниже методов дается оценка:

- максимальной погрешности показаний, регистрируемых устройствами ТЕРМОХРОН с учетом коррекции функции их преобразования,
- трудоемкости реализации,
- объема информации, который необходимо зафиксировать в дополнительной памяти температурного логгера для реализации того или иного механизма коррекции.

С целью наглядности рассмотрение предлагаемых методов коррекции производится применительно к характеристике преобразования устройства ТЕРМОХРОН типа DS1921Z-F5 с индивидуальным идентификационным номером 21B7860000203B58, которая без использования коррекции имеет максимальное значение погрешности преобразования во всем измерительном диапазоне равное 0.6°C (см. в предыдущий раздел 1). При этом, учитывая разброс показаний калибруемого регистратора, при определении максимальной погрешности в качестве исходной характеристики для каждого из предлагаемых методов коррекции рассматриваются два наиболее неблагоприятных варианта:

- характеристика, составленная из «максимальных» значений, зарегистрированных регистратором в ряде контрольных точек,
- характеристика, составленная из «минимальных» значений, зарегистрированных регистратором в этих же контрольных точках.

На нижеследующих рисунках рис.2.1-рис.2.3 эти кривые, ограничивающие зону разброса показаний, показаны соответственно красным и синим цветами. На всех рисунках для каждого из предлагаемых методов представлено два варианта скорректированной характеристики преобразования устройства ТЕРМОХРОН с индивидуальным идентификационным номером 21B7860000203B58. Оба варианта скорректированной характеристики показаны зеленым цветом. Один из них строится по точкам, содержащим максимальные, а второй по точкам, содержащим минимальные отклонения от образцовой кривой, определяемой показаниями эталонного термометра, используемого при проведении исследований, результаты которых изложены в предыдущей главе.

Для любого из рассматриваемых методов, после проведения процедуры калибровки и коррекции функции его преобразования, за значение погрешности устройства ТЕРМОХРОН принимается разница между значением температуры, зарегистрированной в какой-либо контрольной точке по скорректированной характеристике, и возможным реальным значением, зарегистрированным “таблеткой” в этой точке.

### 1. Линейная аппроксимация по двум точкам.

Метод подразумевает представление характеристики преобразования калибруемого логгера в виде линейной функции

$$y = a \cdot x + b$$

, где  $x$  – истинное значение температуры, а  $y$  – результат, зарегистрированный устройством ТЕРМОХРОН. Для вычисления коэффициентов  $a$  и  $b$  используются крайние контрольные точки диапазона испытаний, полученные для логгера с индивидуальным идентификационным номером 21B7860000203B58 при проведении исследований, результаты которых изложены в предыдущем разделе 1. Если эти точки имеют координаты  $(x_1, y_1)$  и  $(x_2, y_2)$ , то коэффициенты коррекции линейной аппроксимации определяются по следующим формулам:

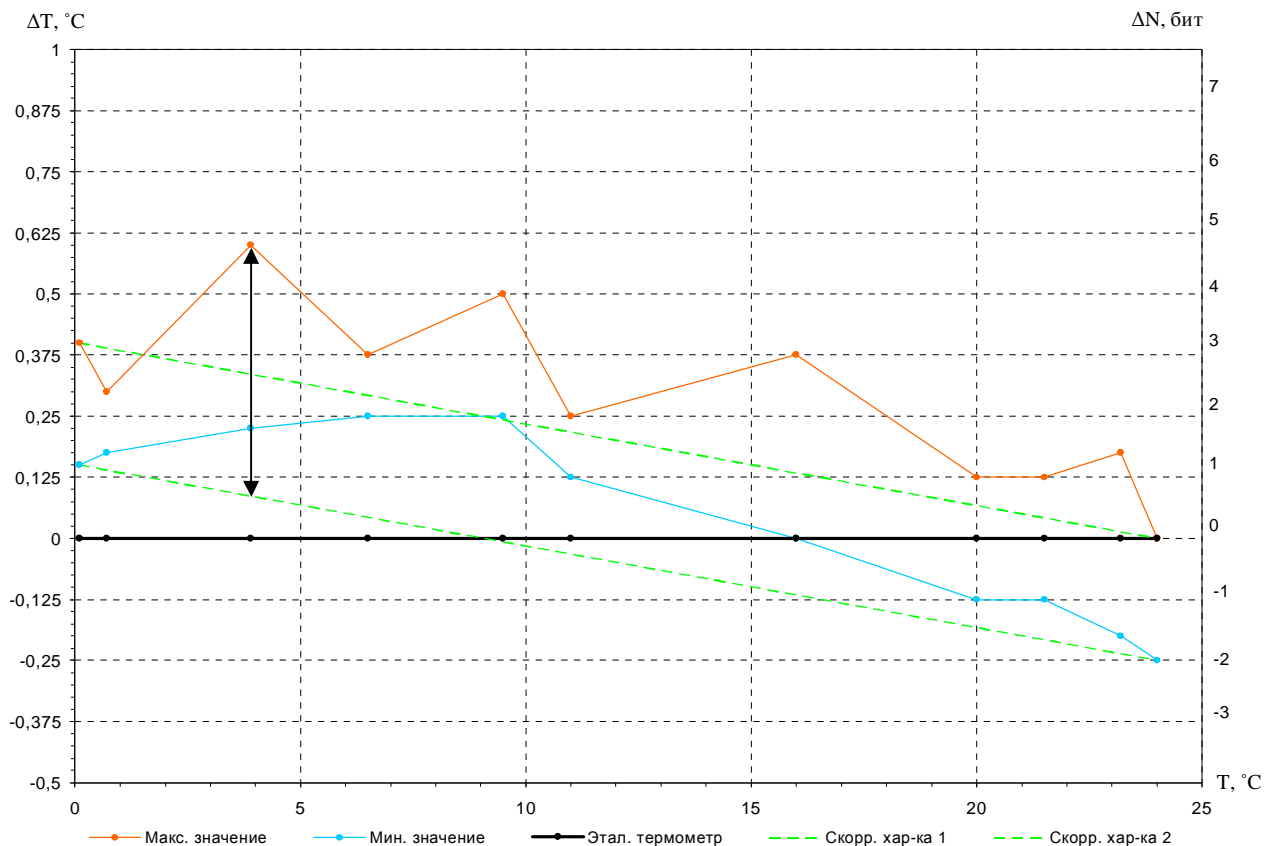
$$a = (y_1 - y_2) / (x_1 - x_2) ;$$

$$b = (x_1 y_2 - x_2 y_1) / (x_1 - x_2).$$

Как видно из рис.2.1, максимальное значение погрешности после коррекции функции преобразования устройства ТЕРМОХРОН равно 0.525°C (см. черные стрелки для самого неблагоприятного случая). Для остальных регистраторов, исследованных в предыдущем разделе 1, максимальная погрешность при применении этого метода также составила 0.525°C. Кроме того, из рис.2.1 очевидно, что использование для расчета корректирующих коэффициентов любой другой пары контрольных точек позволит построить

аппроксимацию, которая снизит величину результирующей погрешности. Таким образом, выбор крайних точек участка калибровки позволил рассмотреть наиболее неблагоприятный результат коррекции.

Рис.2.1 Линейная аппроксимация по двум точкам.



При реализации метода линейной аппроксимации необходимо снять показания с калибруемого регистратора всего в двух точках, что характеризует это решение как наименее трудоемкое, и записать в пользовательскую память устройства ТЕРМОХРОН только две константы: **a** и **b**.

## 2. Линейная аппроксимация по нескольким точкам методом наименьших квадратов.

При применении метода наименьших квадратов корректируемая характеристика преобразования калибруемого логгера также представляется в виде линейной функции

$$y = a \cdot x + b$$

, где **x** – истинное значение температуры, а **y** – результат, зарегистрированный устройством ТЕРМОХРОН. Однако, для вычисления коэффициентов **a** и **b** в этом случае используются **n** контрольных точек с координатами (**x<sub>i</sub>**, **y<sub>i</sub>**), по возможности равномерно распределенных по всему диапазону калибровки. В этом случае коэффициенты вычисляются по формулам:

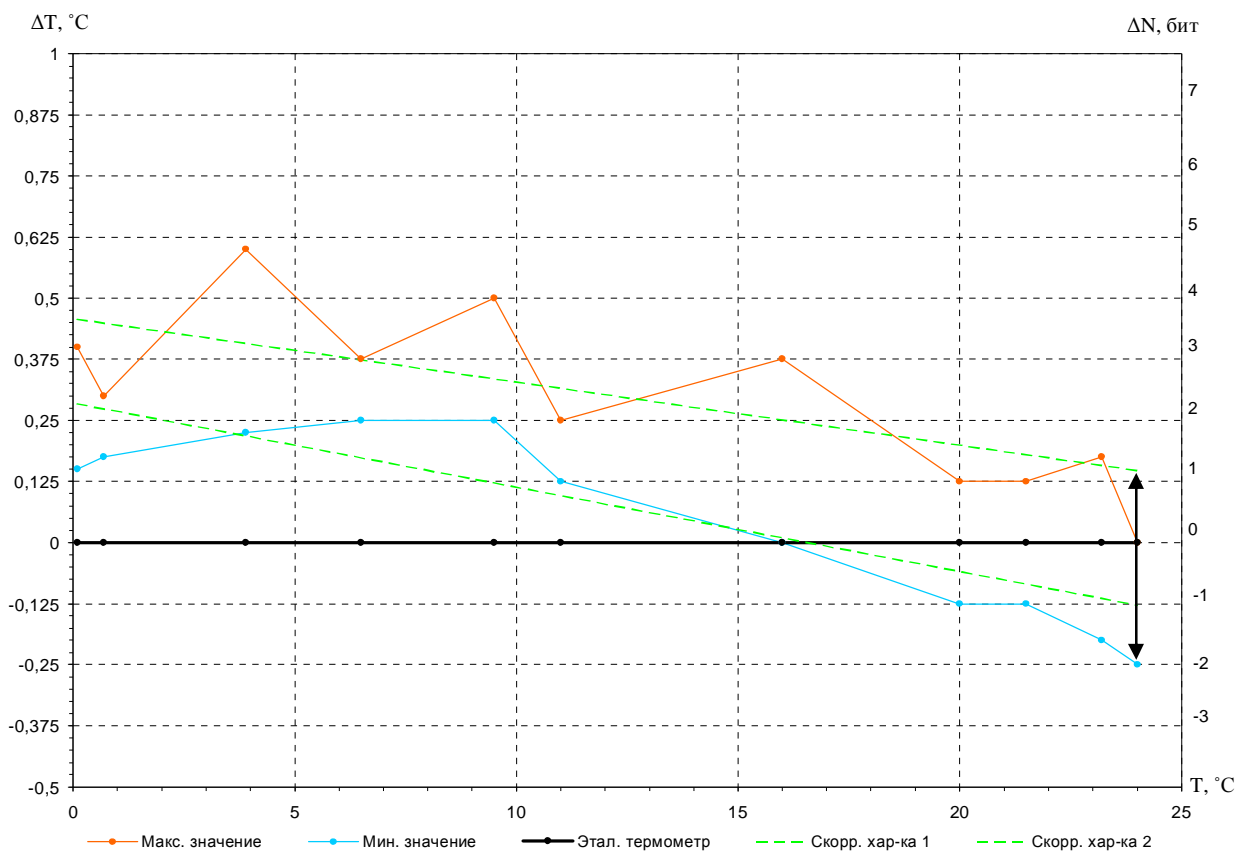
$$a = \frac{n \cdot \sum(x_i \cdot y_i) - \sum x_i \cdot \sum y_i}{n \cdot \sum(x_i^2) - (\sum x_i)^2};$$

$$b = \frac{\sum(x_i^2) \cdot \sum y_i - \sum x_i \cdot \sum(x_i \cdot y_i)}{n \cdot \sum(x_i^2) - (\sum x_i)^2},$$

где индекс **i** меняется от **1** до **n**.



Рис.2.2 Линейная аппроксимация с помощью метода наименьших квадратов,  $n = 6$ .



На рис.2.2 показаны два варианта построения характеристики, скорректированной с использованием метода наименьших квадратов по шести контрольным точкам. Максимальная погрешность в этом случае составила  $0,4^{\circ}\text{C}$  (см. черные стрелки для самого неблагоприятного случая), для остальных регистраторов, результаты исследований которых изложены в предыдущем разделе 1, ее значение не превышало  $0,375^{\circ}\text{C}$ .

Таким образом, при реализации метода наименьших квадратов необходимо снять показания с калибруемого регистратора в шести точках и записать в пользовательскую память устройства ТЕРМОХРОН только две константы: **a** и **b**.

### **3. Кусочно-линейная аппроксимация.**

При реализации метода кусочно-линейной аппроксимации вся характеристика преобразования разбивается на  $n$  приблизительно равных участков или интервалов, для каждого из которых отдельно осуществляется линейная аппроксимация по двум точкам. На рис.2.3 приведены результаты аппроксимации при количестве интервалов  $n$ , равном 6. Максимальная погрешность составила  $0,375^{\circ}\text{C}$  ( $0,4^{\circ}\text{C}$  с учетом всех регистраторов). Метод требует снятия показаний в шести точках и сохранения в памяти 12 констант ( $\mathbf{a}_1 \div \mathbf{a}_6$  и  $\mathbf{b}_1 \div \mathbf{b}_6$ ).

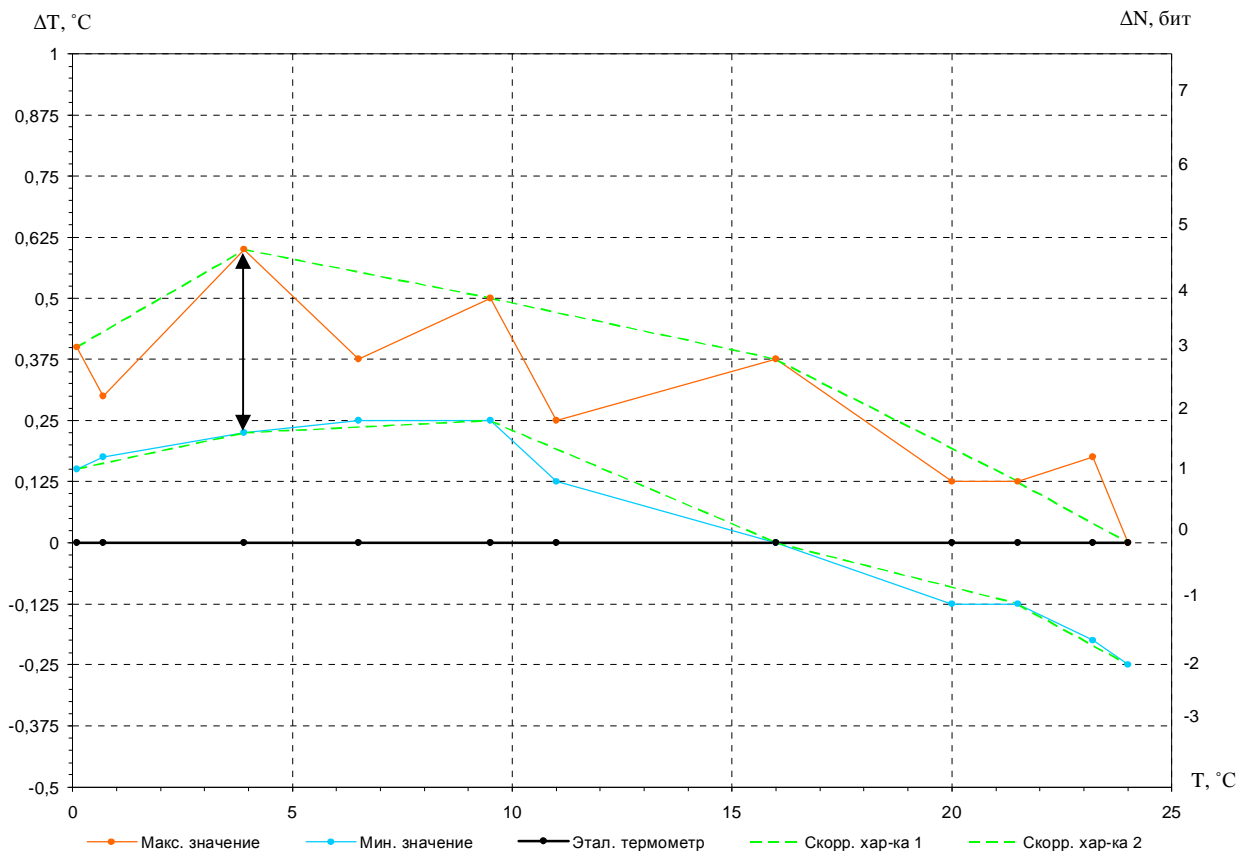
Сравнение с приведенным выше результатом показывает, что использование для калибровки более сложных методов или намного большего количества снятых точек нецелесообразно, так как максимальная погрешность регистраторов после калибровки вышерассмотренными методами достигла своей предельной величины ( $0,375^{\circ}\text{C} \div 0,4^{\circ}\text{C}$ ). Таким образом, для получения указанной погрешности измерений для регистраторов DS1921H и DS1921Z достаточно снять их характеристику в шести точках, равномерно распределенных по диапазону. Таким образом, наиболее предпочтительным методом калибровки (аппроксимации характеристики функции преобразования) является метод наименьших квадратов, требующий вычисления и сохранения в памяти устройств ТЕРМОХРОН всего двух констант, и гарантирующий при этом погрешность не более  $0,4^{\circ}\text{C}$ .

Во всех вышеописанных методах, в качестве эталонного термометра необходимо использовать регистратор с погрешностью не более  $(0,375^{\circ}\text{C}) / 3 = 0,125^{\circ}\text{C}$ , что определяется основополагающими нормативными документами:

- ГОСТ 22261-94 Средства измерений электрических и магнитных величин,
  - ГОСТ 22261-82 Средства измерений электрических и магнитных величин,
  - ГОСТ Р 51288-99 (МЭК 1187-93) Средства измерений электрических и магнитных величин,
- которые регламентируют, что если методическая погрешность, вносимая образцовым средством измерения (СИ) пренебрежимо мала, а случайной составляющей погрешности испытуемого СИ можно пренебречь, то

точностным критерием правильного выбора образцового СИ является следующие условие: погрешность образцового СИ не должна превышать 1/3 предела допустимой погрешности испытуемого СИ.

Рис.2.3 Кусочно-линейная аппроксимация при  $n = 6$ .



### 3. Методика калибровки устройств ТЕРМОХРОН модификаций DS1921H-F5 и DS1921Z-F5, используемая НТЛ “ЭЛИн”.

Калибровка устройств ТЕРМОХРОН модификаций DS1921H-F5 и DS1921Z-F5 производится с целью уменьшения погрешности регистрации температуры, выполняемой посредством этих регистраторов, и заключается в коррекции их характеристик преобразования. В качестве метода коррекции используется линейная аппроксимация характеристики преобразования “таблетки” методом наименьших квадратов в шести точках (см. предыдущий раздел 2). При этом характеристика каждого регистратора DS1921 представляется в виде линейной зависимости:

$$T_{\text{эт}} = A \cdot T_{\text{пр}} + B, \text{ при реализации процедуры калибровки,}$$

или

$$y = A \cdot x + B, \text{ при реализации процедуры коррекции,}$$

где  $T_{\text{пр}}$  (или  $x$ ) – показания калибруемого (или корректируемого) регистратора DS1921,  $T_{\text{эт}}$  – показания эталонного термометра при реализации процедуры калибровки (или  $y$  – скорректированные значения при реализации процедуры коррекции),  $A$  и  $B$  – константы, или поправочные коэффициенты, или коэффициенты коррекции, причем  $A$  - мультипликативный коэффициент, а  $B$  – аддитивный коэффициент. При реализации вышеуказанного метода калибровки в шести точках  $i$ , равномерно распределенных по всему рабочему диапазону регистрации устройства ТЕРМОХРОН, синхронно фиксируются его показания, а также показания эталонного термометра. В этом случае, коэффициенты  $A$  и  $B$  вычисляются по формулам:

$$A = \frac{6 \cdot \sum (T_{\text{пр } i} \cdot T_{\text{эт } i}) - \sum T_{\text{пр } i} \cdot \sum T_{\text{эт } i}}{6 \cdot \sum (T_{\text{пр } i}^2) - (\sum T_{\text{пр } i})^2};$$

$$B = \frac{\sum (T_{\text{пр } i}^2) \cdot \sum T_{\text{эт } i} - \sum T_{\text{пр } i} \cdot \sum (T_{\text{пр } i} \cdot T_{\text{эт } i})}{6 \cdot \sum (T_{\text{пр } i}^2) - (\sum T_{\text{пр } i})^2},$$

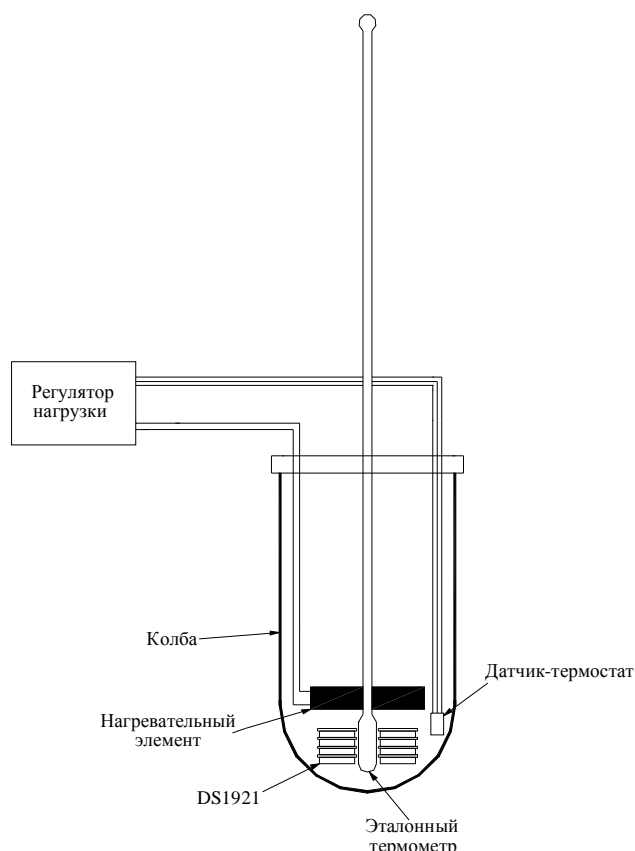
где  $i$  меняется от 1 до 6,

причем  $T_{пр\ i}$  – показания калибруемого регистратора DS1921 в точке  $i$ , а  $T_{эт\ i}$  – показания эталонного термометра в точке  $i$ .

Полученные таким образом значения поправочных коэффициентов **A** и **B** записываются в специально отведенные для этого ячейки нулевой страницы сегмента дополнительной памяти устройств ТЕРМОХРОН. Таким образом, нулевая страница дополнительной памяти содержит:

- в ячейке 0 - шестнадцатеричный код-признак калибровки (0СЗН),
- в ячейках 24÷27 - четыре байта мультипликативного коэффициента **A** в формате float,
- в ячейках 28÷31 - четыре байта аддитивного коэффициента **B** в формате float.

Это позволяет при использовании специального программного обеспечения считывать поправочные коэффициенты, и на основании формулы  $y = A \cdot x + B$  осуществлять коррекцию показаний этих температурных логгеров при любом значении температуры, контролируемой калиброванной “таблеткой” DS1921.



Для проведения процедуры калибровки устройств ТЕРМОХРОН модификаций DS1921H-F5 и DS1921Z-F5 была сконструирована специальная установка (см. рис.1). Основу ее составляет термоизолированный сосуд-термос (колба) с герметичной крышкой и двойными стенками, выполненными из отражающего материала, пространство между которыми заполнено вакуумом (сосуд Дюара). Этот сосуд заполняется соляным раствором. Кроме того, внутрь его помещаются калибруемые устройства ТЕРМОХРОН (специальная укладка), нагревательный элемент, эталонный термометр и датчик-термостат. Для регулировки температуры внутри колбы путем плавного изменения напряжения на нагревательном элементе применяется специальное устройство ML96AS (см. <http://www.elin.ru/Controller/pn.htm>) – регулятор-термостат активной нагрузки с произвольно выставяемой уставкой. Оно имеет цепь обратной связи по температуре, в качестве которой используется микросхема термостата DS18S20, и обеспечивает термостатирование измерительной схемы в заданной контрольной точке.

Рис.1 Установка для проведения калибровки устройств ТЕРМОХРОН.

Перед началом процедуры калибровки часы реального времени всех подвергаемых испытаниям устройств ТЕРМОХРОН синхронизируются с часами персонального компьютера, который предполагается использовать на этапе формирования и записи поправочных коэффициентов в память этих “таблеток”. Частота опроса всех таблеток устанавливается минимальной – 1мин. Затем калибруемые регистраторы DS1921 в едином технологическом цикле подвергаются температурным испытаниям с помощью описанной выше установки. При этом, температура внутри колбы такой конструкции с помощью регулятора-термостата выводится на какую-либо определенную контрольную точку  $i$ . Ориентируясь при этом на показания собственного датчика, регулятор-термостат по определенному алгоритму изменяет напряжение на нагревательном элементе, и таким образом, поддерживает постоянную температуру внутри сосуда. Ее точное значение в каждой из контрольных точек фиксируется по одному из эталонных термометров набора ТР-1. Кроме того, оператор фиксирует интервал времени снятия показаний с эталонного термометра, по часам персонального компьютера (т.е. интервал, в течение которого температура внутри колбы была стабильной по показаниям эталонного термометра). Кроме того, перед началом измерений в каждой контрольной точке выдерживается дополнительная временная пауза величиной не менее 30мин, которая необходима для гарантированной стабилизации температуры внутри конструкции.

При калибровке устройств ТЕРМОХРОН различных модификаций, их показания снимаются в различных контрольных точках  $i$ , задаваемых нижеследующим шаблоном:

Номер контрольной точки $i$	1 точка	2 точка	3 точка	4 точка	5 точка	6 точка
для DS1921H-F5	+16°C	+20°C	+24°C	+36°C	+40°C	+44°C
для DS1921Z-F5	+0,1°C	+4°C	+12°C	+16°C	+20°C	+24°C

После окончания процедуры температурных испытаний калибруемые “таблетки” извлекаются из конструкции, тщательно высушиваются, а затем поочередно проходят через операцию расчета и записи в дополнительную память индивидуальных коэффициентов коррекции. Для реализации этой операции специалистами НТЛ “ЭлИн”70 разработана специализированная корпоративная программа ThCh\_Call, в основе которой лежит программное решение ThCh\_R, используемое в составе комплекса TCR (подробнее см. <http://www.elin.ru/Thermochron/Support/?topic=TCR>).

После размещения очередной калибруемой таблетки в приемном зонде BlueDot комплекса TCR, оснащенного программой ThCh\_Call, и последующего ввода показаний эталонных термометров в каждой из контрольных точек (вручную, с клавиатуры компьютера), вместе с краевыми точками каждого из временных интервалов их фиксации, оператор запускает процесс автоматического получения коэффициентов коррекции. Программа ThCh\_Call, опираясь на указанные оператором интервалы времени нахождения регистратора DS1921 в той или иной контрольной точке, находит в сегменте памяти буфера последовательных отсчетов обслуживаемого устройства ТЕРМОХРОН показания соответствующие этому временному отрезку. Затем программой ThCh\_Call считываются и усредняются следующие подряд отсчеты внутри каждого из заданных временных интервалов. После, отработки этой операции для всех шести контрольных точек, программа ThCh\_Call переходит к процедуре расчета поправочных коэффициентов, которая выполняется в соответствии с приведенными выше формулами.

По окончании расчета коэффициентов коррекции в окне графического представления буфера последовательных отсчетов, в котором в отличие от изображения формируемого программой ThCh\_R, воспроизводятся две наложенных друг на друга кривых, отображающих содержимое данных из этого сегмента памяти “таблетки”, построенных в осях Температура(Время) с использованием корректирующих коэффициентов (салатовый цвет) и без использования корректирующих коэффициентов (зеленый цвет). Ниже поля графического изображения, в отдельных полях представлены расчетные значения мультипликативного и аддитивного поправочных коэффициентов. Кроме того, в отдельных полях, связанных с маркером, свободно перемещаемым с помощью манипулятора «мышь» в области графического изображения, отображены температурные значения, рассчитанные по скорректированной и не скорректированной функциям преобразования “таблетки”, для любой точки, выбираемой оператором вдоль временной оси. Используя этот маркер, а также пересекающиеся реперы формирования произвольной растяжки графического изображения («zoom»), оператор всегда может убедиться в правильности своих действий и верности алгоритма расчета поправочных коэффициентов, реализованного программой ThCh\_Call.



Кроме того, программой ThCh\_Call формируется протокол, резюмирующий ее работу по расчету поправочных коэффициентов. Он включает индивидуальный идентификационный номер регистратора, его рабочий диапазон, интервал времени, при котором находилось испытываемое устройство в каждой из контрольных точек, среднее значение температур, зафиксированное калибруемым регистратором в каждой

из этих точек, введенные пользователем показания эталонных термометров для каждой контрольной точки, значения обоих поправочных коэффициентов и величину максимального возможного отклонения, которое было зафиксировано программой для скорректированной функции преобразования, построенной благодаря рассчитанным ею поправочными коэффициентами.

Устройство - 21933E0000204FDA    Температурный диапазон от +15°C до +46°C

Данные считаны - Среда 02/07/2003 16:20:29

26/05/2003 13:06 - 26/05/2003 13:16 - 20.341; 20.000;

26/05/2003 14:08 - 26/05/2003 14:14 - 27.286; 27.000;

26/05/2003 14:50 - 26/05/2003 14:58 - 33.347; 33.000;

26/05/2003 15:37 - 26/05/2003 15:44 - 42.766; 42.500;

Коэффициенты: Мультипликативный - 1.002477; Аддитивный --0.386632;

Максимальное отклонение - 0.125;

Ознакомившись с протоколом, оператор принимает решение о фиксации полученных значений поправочных коэффициентов в памяти калибруемой "таблетки". В этом случае протокол ее калибровки распечатывается на принтере автоматически. Каждая калиброванная "таблетка" считается легальной, если ее поставка сопровождается протоколом, который имеет формат, подобный отображенному выше.

Каждая следующая из "таблеток" ранее подвергнутая температурным испытаниям в ходе одного и того же цикла калибровки, после ее размещения в приемном зонде BlueDot, комплекса TCR, оснащенного программой ThCh\_Call, проходит через операцию, аналогичную описанной выше. Результатом этого является фиксация в ее дополнительной памяти признака калибровки и индивидуальных коэффициентов коррекции, а также формирование протокола, документирующего процедуру калибровки. При этом, поскольку каждая из таблеток подвергалась температурным испытаниям в едином технологическом цикле, программа ThCh\_Call не нуждается в повторном вводе показаний эталонных термометров и указании параметров временных интервалов нахождения калибруемого регистратора в той или иной контрольной точке.