



# Об обеспечении единства измерений в области термометрии в современных условиях

**Матвеев Михаил Семенович**

*к.т.н., ведущий научный сотрудник*

Отдел термодинамики, лаборатория эталонной термометрии

**ФГУП «ВНИИМ имени Д. И. Менделеева»**

198005 С.-Петербург, Московский пр. 19

Вебсайт: [www.vniim.ru](http://www.vniim.ru)

Тел.: (812) 323 96 34 – консультации по контактной термометрии, поверка, калибровка контактных термопреобразователей и термометров

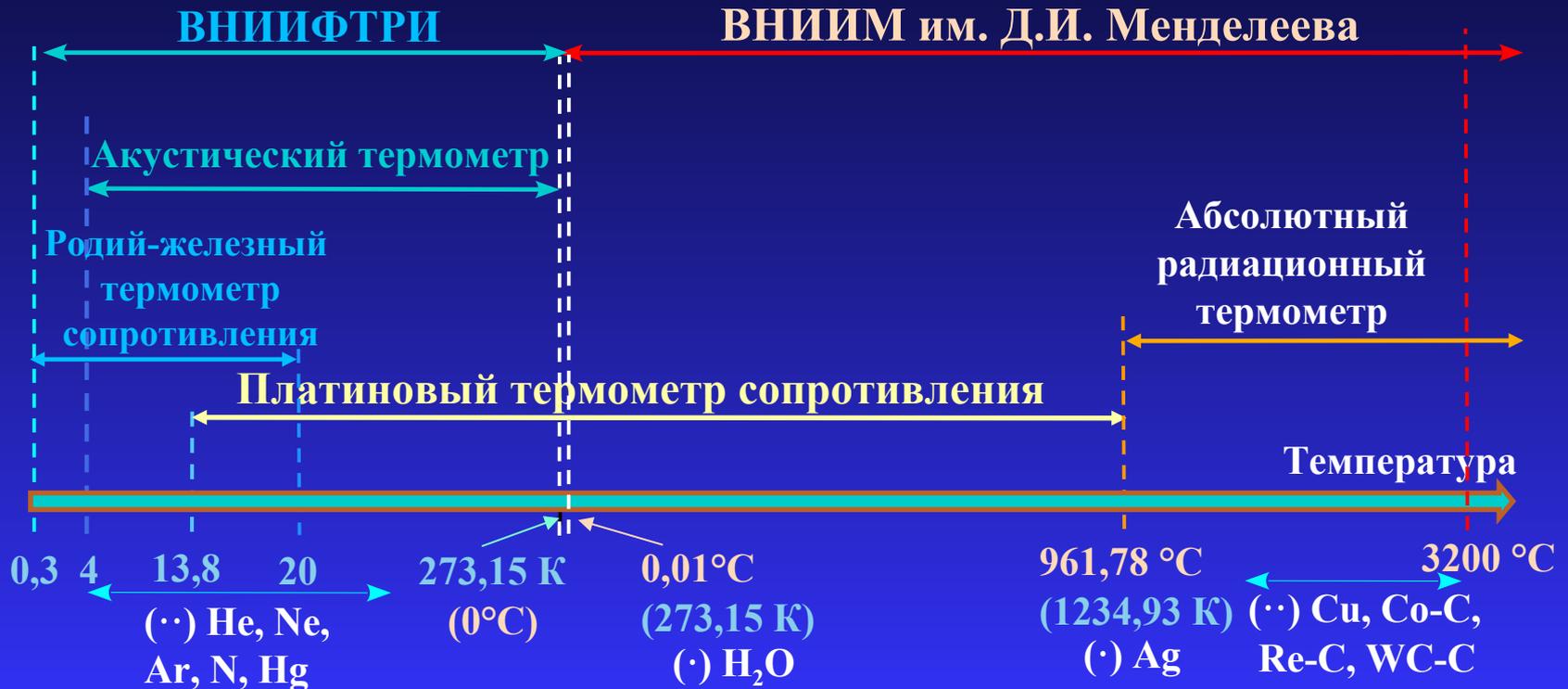
(812) 323 96 35 – поверка, калибровка пирометров и тепловизоров

(812) 323 96 37 – консультации по термометрии

Эл. почта:

[M.S.Matveyev@vniim.ru](mailto:M.S.Matveyev@vniim.ru)

# Реализация нового определения кельвина российскими метрологическими институтами





# Новая Государственная поверочная схема для средств измерения температуры

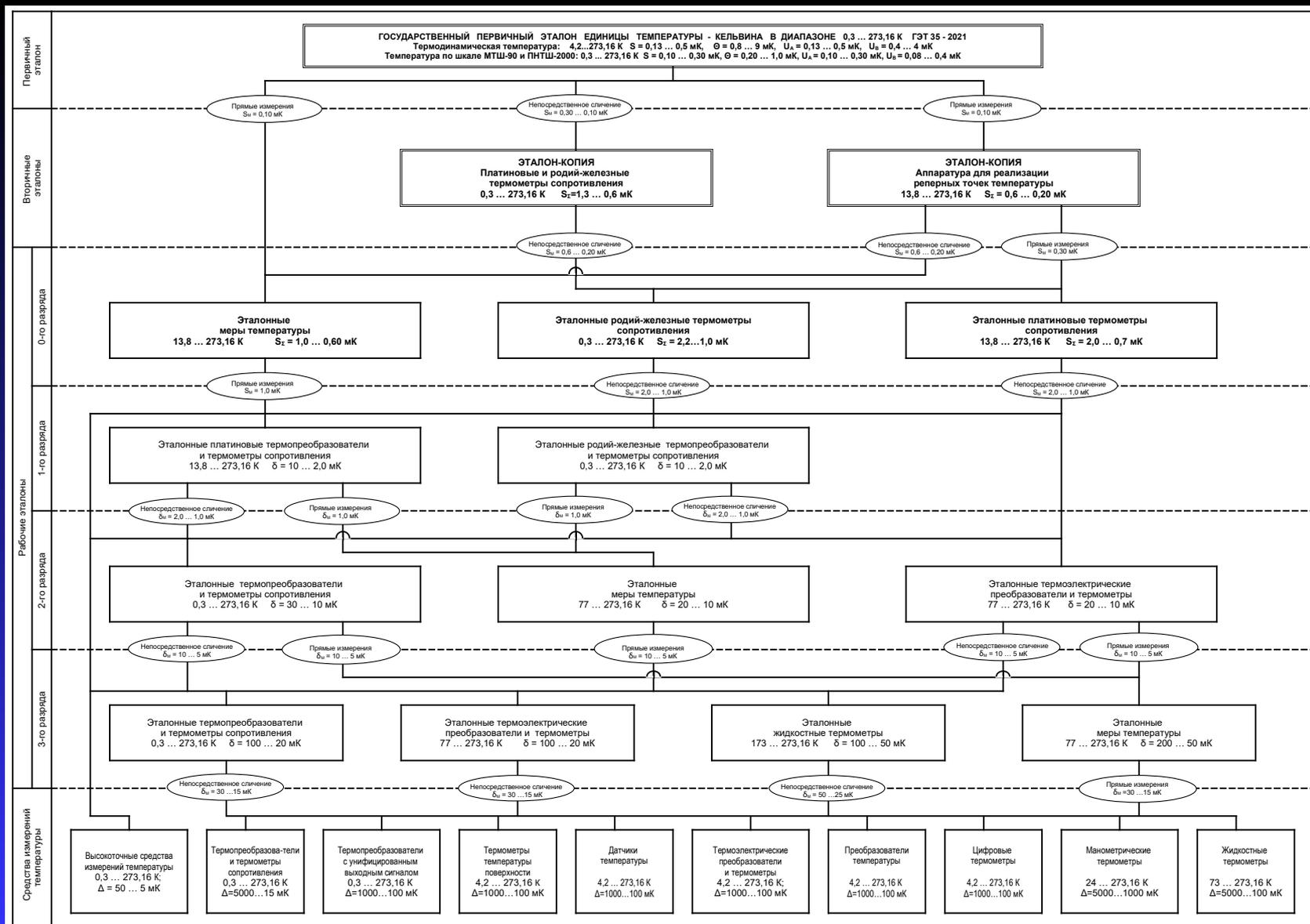
**3 части:**

1	2	3
От 0,3 К до 0,01 °С	От 0 °С до 2500 °С	От 220 К до 3200 °С
Контактным способом	Контактным способом	Неконтактным способом



# Часть 1:

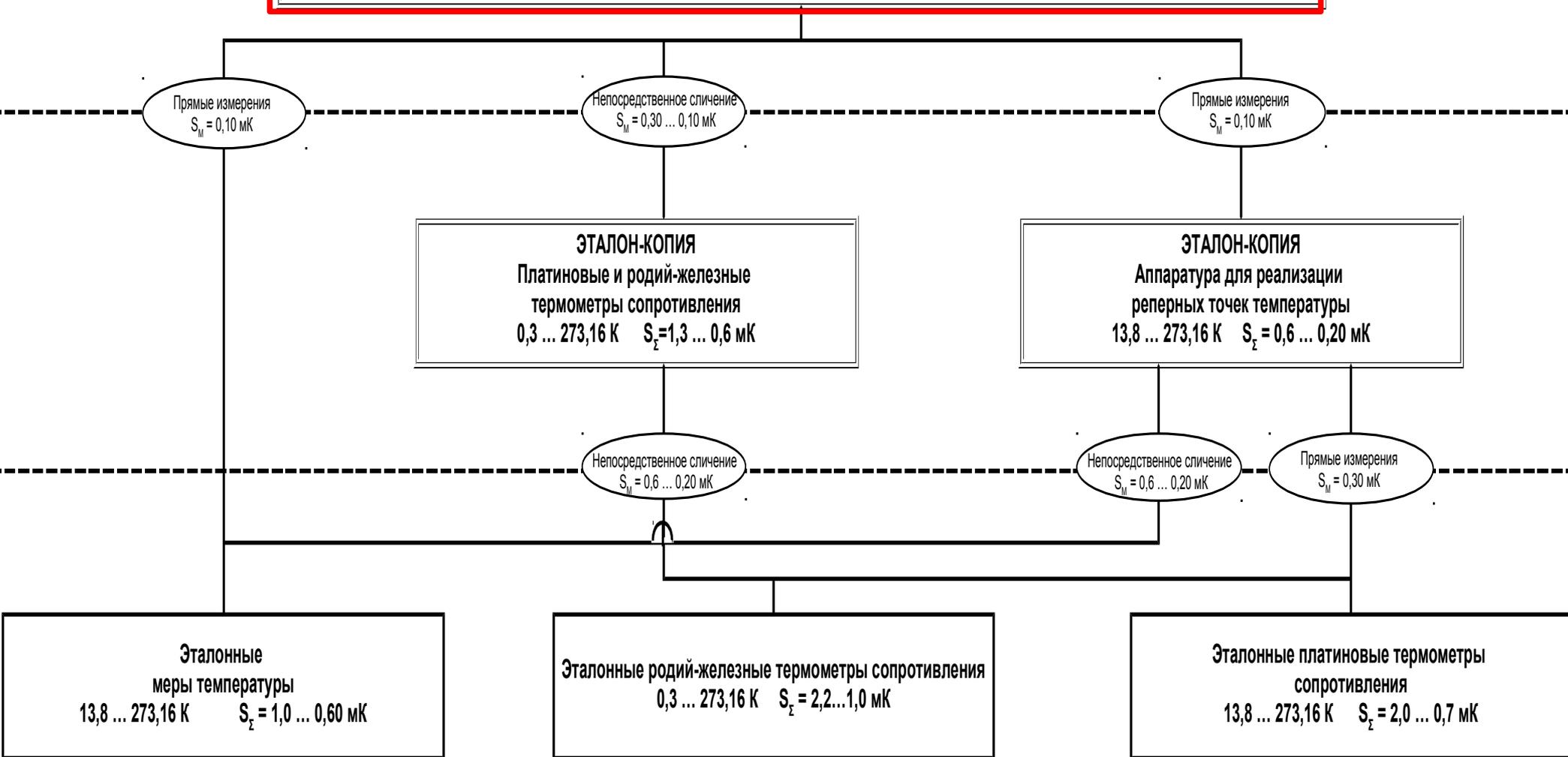
От 0,3 К  
До 273,16 К  
(0,01 °C)



**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕРВИЧНЫЙ ЭТАЛОН ЕДИНИЦЫ ТЕМПЕРАТУРЫ - КЕЛЬВИНА В ДИАПАЗОНЕ 0,3 ... 273,16 К ГЭТ 35 - 2021**

Термодинамическая температура:  $4,2 \dots 273,16 \text{ К}$   $S = 0,13 \dots 0,5 \text{ мК}$ ,  $\Theta = 0,8 \dots 9 \text{ мК}$ ,  $U_A = 0,13 \dots 0,5 \text{ мК}$ ,  $U_B = 0,4 \dots 4 \text{ мК}$

Температура по шкале МТШ-90 и ПНТШ-2000:  $0,3 \dots 273,16 \text{ К}$   $S = 0,10 \dots 0,30 \text{ мК}$ ,  $\Theta = 0,20 \dots 1,0 \text{ мК}$ ,  $U_A = 0,10 \dots 0,30 \text{ мК}$ ,  $U_B = 0,08 \dots 0,4 \text{ мК}$



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕРВИЧНЫЙ ЭТАЛОН ЕДИНИЦЫ ТЕМПЕРАТУРЫ - КЕЛЬВИНА В ДИАПАЗОНЕ 0,3 ... 273,16 К ГЭТ 35 - 2021

Термодинамическая температура: 4,2...273,16 К  $S = 0,13 \dots 0,5$  мК,  $\Theta = 0,8 \dots 9$  мК,  $U_A = 0,13 \dots 0,5$  мК,  $U_B = 0,4 \dots 4$  мК

Температура по шкале МТШ-90 и ПНТШ-2000: 0,3 ... 273,16 К  $S = 0,10 \dots 0,30$  мК,  $\Theta = 0,20 \dots 1,0$  мК,  $U_A = 0,10 \dots 0,30$  мК,  $U_B = 0,08 \dots 0,4$  мК

**установка для абсолютного измерения термодинамической температуры в диапазоне от 268,16 до 273,16 К;**

**установка для измерений термодинамической температуры в диапазоне от 4,2 до 80 К акустическим методом;**

**установка для измерений термодинамической температуры в диапазоне от 79 до 273,16 К акустическим методом;**

**аппаратура для реализации реперных точек МТШ-90 в диапазоне от 24,5 до 273,16 К (ампулы с чистыми веществами и термостаты для реализации фазовых переходов, соответствующих диапазону);**

**аппаратура контактной термометрии в диапазоне от 0,3 К до 273,16 К, включающая группу эталонных платиновых и родий-железных термопреобразователей сопротивления, и средства измерений электрического сопротивления.**

ме  
13,8 ... 273,16

ометры

. 0,7 мК

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕРВИЧНЫЙ ЭТАЛОН ЕДИНИЦЫ ТЕМПЕРАТУРЫ - КЕЛЬВИНА В ДИАПАЗОНЕ 0,3 ... 273,16 К ГЭТ 35 - 2021

Термодинамическая температура:  $4,2 \dots 273,16 \text{ К}$   $S = 0,13 \dots 0,5 \text{ мК}$ ,  $\Theta = 0,8 \dots 9 \text{ мК}$ ,  $U_A = 0,13 \dots 0,5 \text{ мК}$ ,  $U_B = 0,4 \dots 4 \text{ мК}$

Температура по шкале МТШ-90 и ПНТШ-2000:  $0,3 \dots 273,16 \text{ К}$   $S = 0,10 \dots 0,30 \text{ мК}$ ,  $\Theta = 0,20 \dots 1,0 \text{ мК}$ ,  $U_A = 0,10 \dots 0,30 \text{ мК}$ ,  $U_B = 0,08 \dots 0,4 \text{ мК}$

**установка для абсолютного измерения термодинамической температуры в диапазоне от 268,16 до 273,16 К;**

**установка для измерений термодинамической температуры в диапазоне от 4,2 до 80 К акустическим методом;**

**установка для измерений термодинамической температуры в диапазоне от 79 до 273,16 К акустическим методом;**

**аппаратура для реализации реперных точек МТШ-90 в диапазоне от 24,5 до 273,16 К (ампулы с чистыми веществами и термостаты для реализации фазовых переходов, соответствующих диапазону);**

**аппаратура контактной термометрии в диапазоне от 0,3 К до 273,16 К, включающая группу эталонных платиновых и родий-железных термопреобразователей сопротивления, и средства измерений электрического сопротивления.**

мер  
13,8 ... 273,16

мометры

.. 0,7 мК

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕРВИЧНЫЙ ЭТАЛОН ЕДИНИЦЫ ТЕМПЕРАТУРЫ - КЕЛЬВИНА В ДИАПАЗОНЕ 0,3 ... 273,16 К ГЭТ 35 - 2021

Термодинамическая температура:  $4,2 \dots 273,16 \text{ К}$   $S = 0,13 \dots 0,5 \text{ мК}$ ,  $\Theta = 0,8 \dots 9 \text{ мК}$ ,  $U_A = 0,13 \dots 0,5 \text{ мК}$ ,  $U_B = 0,4 \dots 4 \text{ мК}$

Температура по шкале МТШ-90 и ПНТШ-2000:  $0,3 \dots 273,16 \text{ К}$   $S = 0,10 \dots 0,30 \text{ мК}$ ,  $\Theta = 0,20 \dots 1,0 \text{ мК}$ ,  $U_A = 0,10 \dots 0,30 \text{ мК}$ ,  $U_B = 0,08 \dots 0,4 \text{ мК}$

Прямые измерения  
 $S_M = 0,10 \text{ мК}$

Непосредственное сличение  
 $S_M = 0,30 \dots 0,10 \text{ мК}$

Прямые измерения  
 $S_M = 0,10 \text{ мК}$

**ЭТАЛОН-КОПИЯ**

Платиновые и родий-железные  
термометры сопротивления  
 $0,3 \dots 273,16 \text{ К}$   $S_z = 1,3 \dots 0,6 \text{ мК}$

**ЭТАЛОН-КОПИЯ**

Аппаратура для реализации  
реперных точек температуры  
 $13,8 \dots 273,16 \text{ К}$   $S_z = 0,6 \dots 0,20 \text{ мК}$

Непосредственное сличение  
 $S_M = 0,6 \dots 0,20 \text{ мК}$

Непосредственное сличение  
 $S_M = 0,6 \dots 0,20 \text{ мК}$

Прямые измерения  
 $S_M = 0,30 \text{ мК}$

Эталонные  
меры температуры  
 $13,8 \dots 273,16 \text{ К}$   $S_z = 1,0 \dots 0,60 \text{ мК}$

Эталонные родий-железные термометры сопротивления  
 $0,3 \dots 273,16 \text{ К}$   $S_z = 2,2 \dots 1,0 \text{ мК}$

Эталонные платиновые термометры  
сопротивления  
 $13,8 \dots 273,16 \text{ К}$   $S_z = 2,0 \dots 0,7 \text{ мК}$

**ЭТАЛОН-КОПИЯ**  
 Платиновые и родий-железные  
 термометры сопротивления  
 0,3 ... 273,16 К  $S_{\Sigma}=1,3 \dots 0,6$  мК

**ЭТАЛОН-КОПИЯ**  
 Аппаратура для реализации  
 реперных точек температуры  
 13,8 ... 273,16 К  $S_{\Sigma} = 0,6 \dots 0,20$  мК

Диапазон измерений, К	Суммарное СКО, $S_{\Sigma}$ , мК		
	Платиновые термометры сопротивления	Родий-железные термометры сопротивления	Аппаратура для реализации реперных точек
от 0,3 до 0,8 включ.		0,9	
св. 0,8 до 13,804 включ.	-	0,6	-
св. 13,804 до 24,556 включ.	1,3	1,3	0,30
св. 24,556 до 54,358 включ.	1,1		
св. 54,358 до 83,806 включ.	1,0		0,6
св. 83,806 до 234,315 включ.	0,8		
св. 234,315 до 273,16 включ.	0,6		0,20

Эталонные меры температуры  
 13,8 ... 273,16 К  $S_{\Sigma}$

Прямые измерения  
 $S_{\Sigma} = 1,0$  мК

Эталонные платиновые термометры сопротивления  
 и термометры сопротивления  
 13,8 ... 273,16 К  $\delta$

Эталонные  
меры температуры  
13,8 ... 273,16 К  $S_z = 1,0 \dots 0,60$  мК

Эталонные родий-железные термометры сопротивления  
0,3 ... 273,16 К  $S_z = 2,2 \dots 1,0$  мК

Эталонные платиновые термометры  
сопротивления  
13,8 ... 273,16 К  $S_z = 2,0 \dots 0,7$  мК

Прямые измерения  
 $S_M = 1,0$  мК

Непосредственное сличение  
 $S_M = 2,0 \dots 1,0$  мК

Непосредственное сличение  
 $S_M = 2,0 \dots 1,0$  мК

Эталонные платиновые термопреобразователи  
и термометры сопротивления  
13,8 ... 273,16 К  $\delta = 10 \dots 2,0$  мК

Эталонные родий-железные термопреобразователи  
и термометры сопротивления  
0,3 ... 273,16 К  $\delta = 10 \dots 2,0$  мК

Непосредственное сличение  
 $\delta_M = 2,0 \dots 1,0$  мК

Прямые измерения  
 $\delta_M = 1,0$  мК

Прямые измерения  
 $\delta_M = 1,0$  мК

Непосредственное сличение  
 $\delta_M = 2,0 \dots 1,0$  мК

Эталонные термопреобразователи  
и термометры сопротивления  
0,3 ... 273,16 К  $\delta = 30 \dots 10$  мК

Эталонные  
меры температуры  
77 ... 273,16 К  $\delta = 20 \dots 10$  мК

Эталонные термоэлектрические  
преобразователи и термометры  
77 ... 273,16 К  $\delta = 20 \dots 10$  мК

Эталонные  
меры температуры  
13,8 ... 273,16 К  $S_{\Sigma} = 1,0 \dots 0,60$  мК

Эталонные родий-железные термометры сопротивления  
0,3 ... 273,16 К  $S_{\Sigma} = 2,2 \dots 1,0$  мК

Эталонные платиновые термометры  
сопротивления  
13,8 ... 273,16 К  $S_{\Sigma} = 2,0 \dots 0,7$  мК

Посредств

Эталон

Эталон

Суммарное СКО,  $S_{\Sigma}$ , мК

Диапазон  
температуры, К

Эталонные термометры сопротивления

Эталонные  
меры  
температуры

платиновые

родий-железные

от 0,3 до 0,8 включ.

1,5

-

св. 0,8 до 13,804 включ.

-

1,0

Непосредств  
 $\delta_M = 2,0$

св. 13,804 до 24,556 включ.

2,0

2,2

0,5

св. 24,556 до 54,358 включ.

св. 54,358 до 83,806 включ.

1,5

1,0

св. 83,806 до 234,315 включ.

1,0

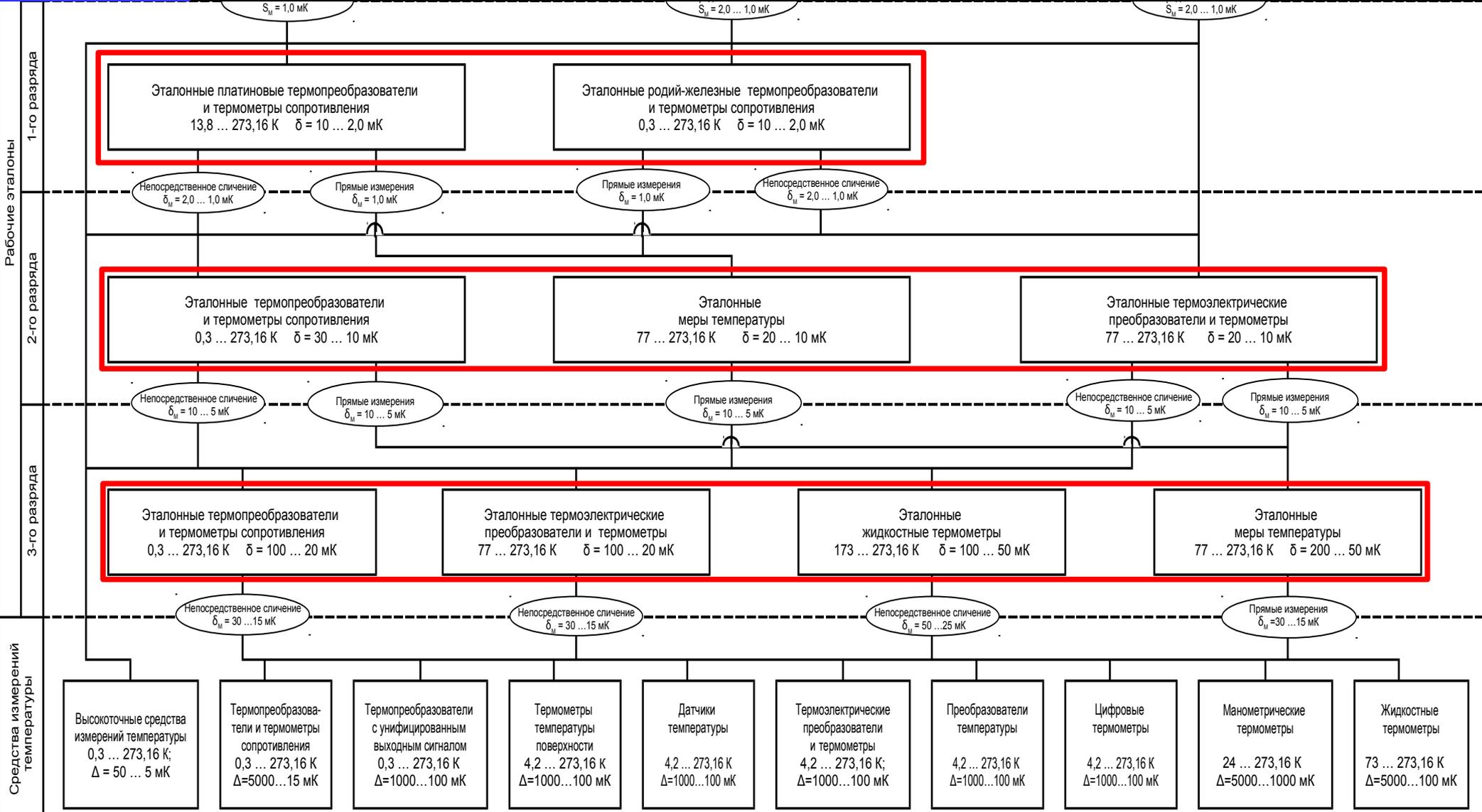
1,2

св. 234,315 до 273,16 включ.

0,7

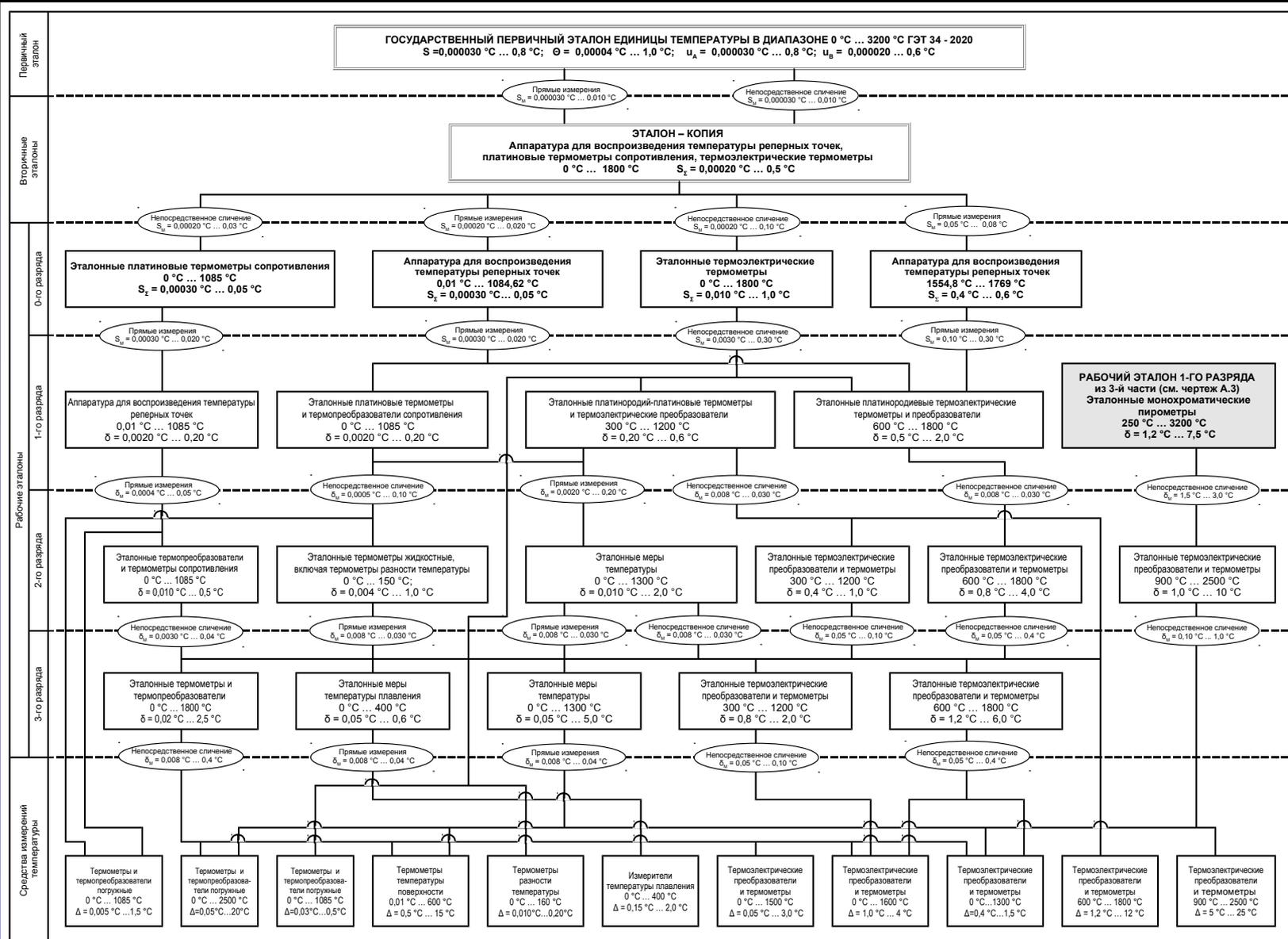
1,0

0,6



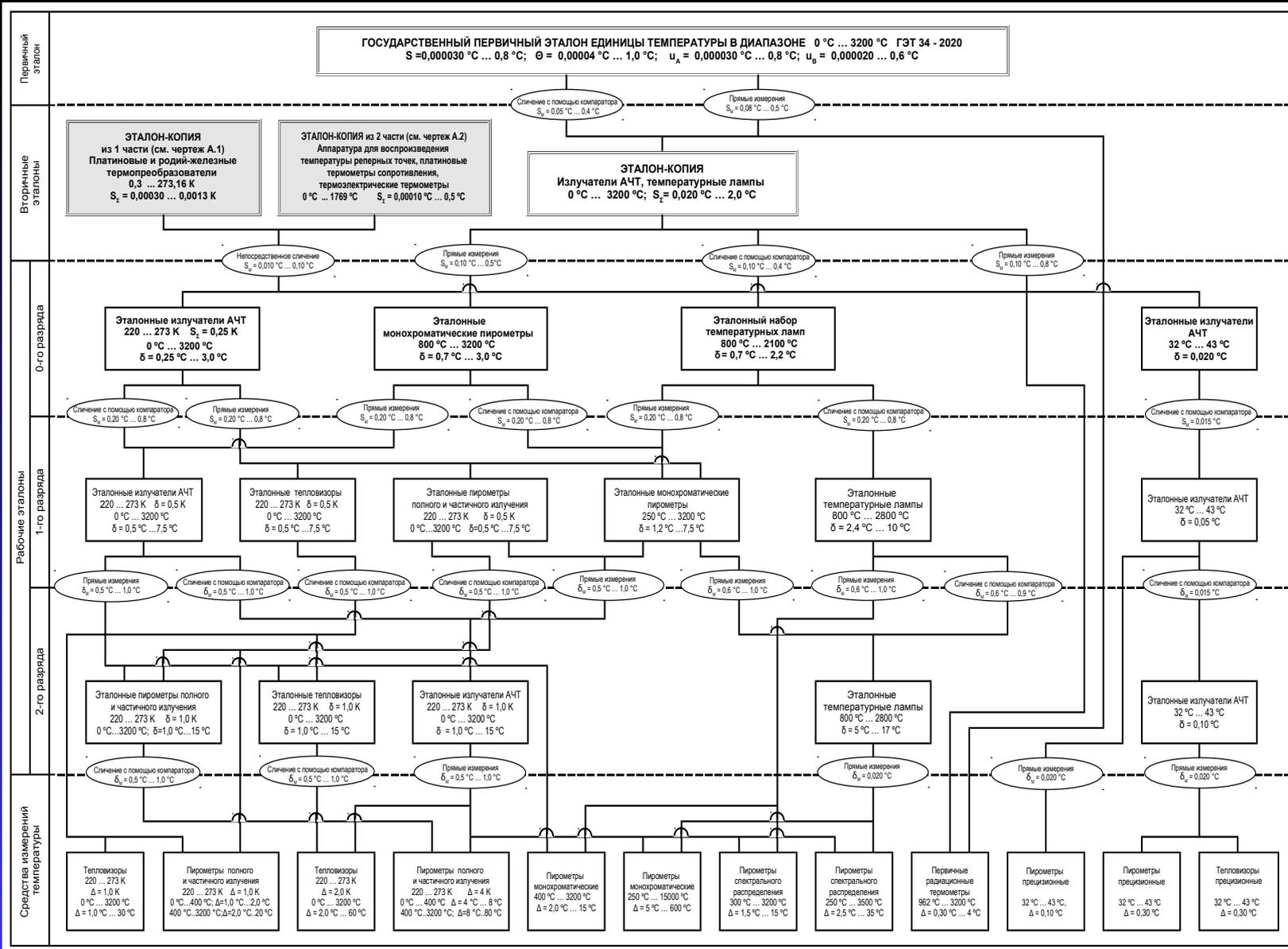


**Часть 2:**  
**От 0 °C**  
**до 961,78 °C**  
**Контактные**  
**термометры**

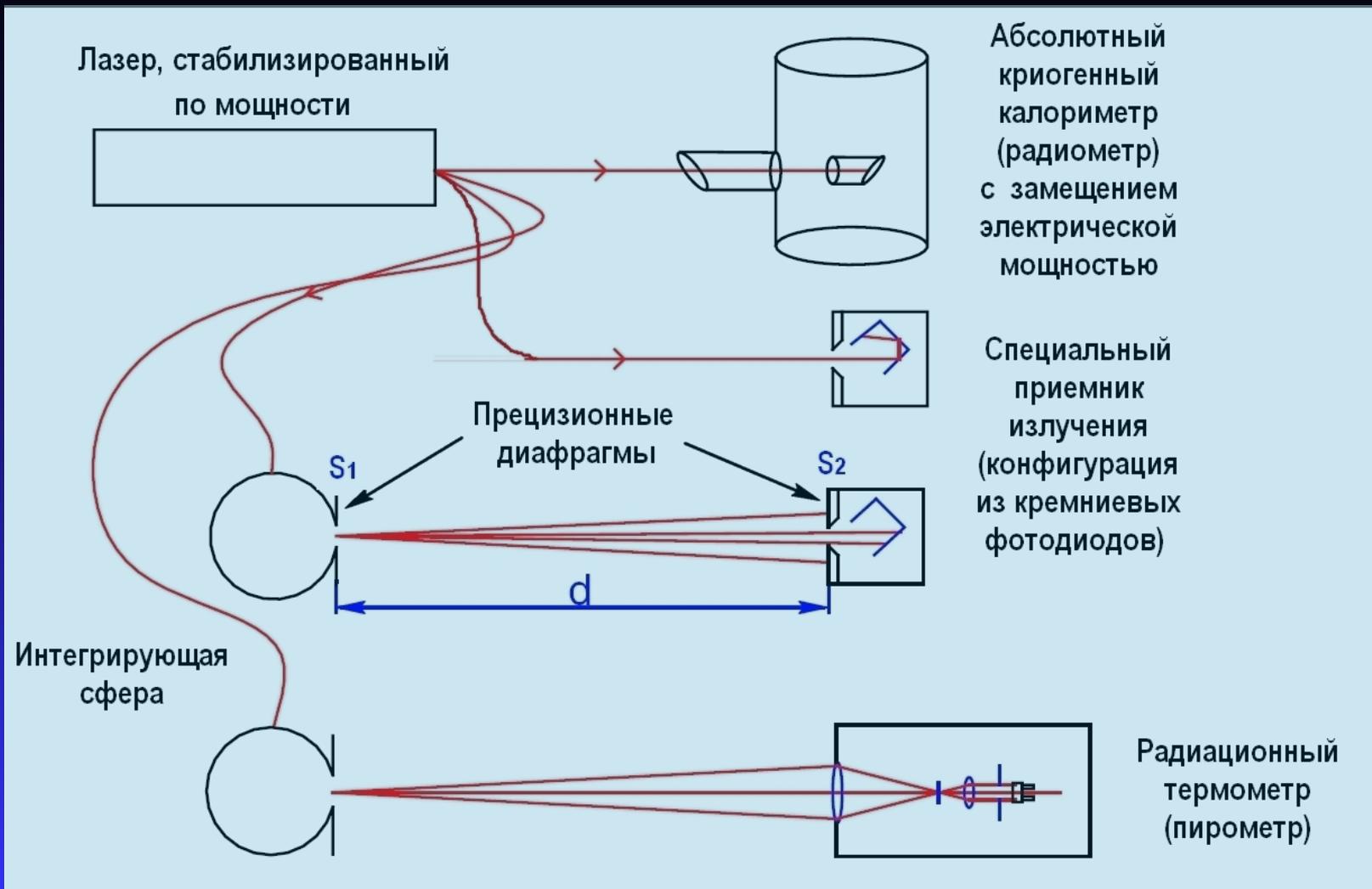




# Часть 3: От 220 К до 3200 °С Пирометры, тепловизоры



# Реализация прямого метода измерения термодинамической температуры





# Внешний вид изготовленных ампул с эвтектиками Co-C, Re-C и WC-C с температурой 1324 °C, 2474 °C и 2749 °C, соответственно (округленно)



Дополнительно изготовлены ампулы Pt-C (1729 °C) и Mo-C (1729 °C) с теми же размерами



# Воспроизведение и передача единицы температуры по тепловому излучению радиационным методом

## Сводная таблица характеристик реперных точек

Репер	Значение термодинамической температуры, °C	Расширенная неопределённость воспроизведения, (k=2) °C
Ag	961.78	0.1
Cu	1084.62	0.2
Co-C	1324,2	0,3
Pt-C	1738,3	0,6
Re-C	2476,5	1,2
MoC-C	2583	1,5
WC-C	2748	1,5
Экстр.	3200	2,0

Первичный эталон

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕРВИЧНЫЙ ЭТАЛОН ЕДИНИЦЫ ТЕМПЕРАТУРЫ В ДИАПАЗОНЕ 0 °С ... 3200 °С ГЭТ 34 - 2020  
 $S = 0,000030 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 0,8 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $\Theta = 0,00004 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 1,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $u_A = 0,000030 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 0,8 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $u_B = 0,000020 \text{ } \dots 0,6 \text{ } ^\circ\text{C}$

Вторичные эталоны

ЭТАЛОН-КОПИЯ из 1 части (см. чертёж А.1) Платиновые и родий-железные терморезисторы 0,3 ... 273,16 К  $S_1 = 0,00030 \dots 0,0013 \text{ К}$

ЭТАЛОН-КОПИЯ из 2 части (см. чертёж А.2) Аппаратура для воспроизведения температуры реперных точек, платиновые термометры сопротивления, термоэлектрические термометры 0 °С ... 1789 °С  $S_2 = 0,00010 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$

ЭТАЛОН-КОПИЯ Излучатели АЧТ, температурные лампы 0 °С ... 3200 °С;  $S_3 = 0,020 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 2,0 \text{ } ^\circ\text{C}$

Сличение с помощью компаратора  $S_4 = 0,05 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 0,4 \text{ } ^\circ\text{C}$

Прямые измерения  $S_5 = 0,05 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$

0-го разряда

Некорректированное сличение  $S_6 = 0,010 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 0,10 \text{ } ^\circ\text{C}$

Прямые измерения  $S_7 = 0,10 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 0,8 \text{ } ^\circ\text{C}$

Сличение с помощью компаратора  $S_8 = 0,10 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 0,4 \text{ } ^\circ\text{C}$

Прямые измерения  $S_9 = 0,10 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 0,8 \text{ } ^\circ\text{C}$

Эталонные излучатели АЧТ 220 ... 273 К  $S_1 = 0,25 \text{ К}$  0 °С ... 3200 °С  $\delta = 0,25 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 3,0 \text{ } ^\circ\text{C}$

Эталонные монохроматические пирометры 800 °С ... 3200 °С  $\delta = 0,7 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 3,0 \text{ } ^\circ\text{C}$

Эталонный набор температурных ламп 800 °С ... 2100 °С  $\delta = 0,7 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 2,2 \text{ } ^\circ\text{C}$

Эталонные излучатели АЧТ 32 °С ... 43 °С  $\delta = 0,020 \text{ } ^\circ\text{C}$

1-го разряда

Сличение с помощью компаратора  $S_{10} = 0,20 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 0,8 \text{ } ^\circ\text{C}$

Прямые измерения  $S_{11} = 0,20 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 0,8 \text{ } ^\circ\text{C}$

Прямые измерения  $S_{12} = 0,20 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 0,8 \text{ } ^\circ\text{C}$

Сличение с помощью компаратора  $S_{13} = 0,20 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 0,8 \text{ } ^\circ\text{C}$

Прямые измерения  $S_{14} = 0,20 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 0,8 \text{ } ^\circ\text{C}$

Сличение с помощью компаратора  $S_{15} = 0,20 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 0,8 \text{ } ^\circ\text{C}$

Сличение с помощью компаратора  $S_{16} = 0,015 \text{ } ^\circ\text{C}$

Эталонные излучатели АЧТ 220 ... 273 К  $\delta = 0,5 \text{ К}$  0 °С ... 3200 °С  $\delta = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 7,5 \text{ } ^\circ\text{C}$

Эталонные тепловизоры 220 ... 273 К  $\delta = 0,5 \text{ К}$  0 °С ... 3200 °С  $\delta = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 7,5 \text{ } ^\circ\text{C}$

Эталонные пирометры полного и частичного излучения 220 ... 273 К  $\delta = 0,5 \text{ К}$  0 °С ... 3200 °С  $\delta = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 7,5 \text{ } ^\circ\text{C}$

Эталонные монохроматические пирометры 250 °С ... 3200 °С  $\delta = 1,2 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 7,5 \text{ } ^\circ\text{C}$

Эталонные температурные лампы 800 °С ... 2800 °С  $\delta = 2,4 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 10 \text{ } ^\circ\text{C}$

Эталонные излучатели АЧТ 32 °С ... 43 °С  $\delta = 0,05 \text{ } ^\circ\text{C}$

2-го разряда

Прямые измерения  $\delta_1 = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 1,0 \text{ } ^\circ\text{C}$

Сличение с помощью компаратора  $\delta_2 = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 1,0 \text{ } ^\circ\text{C}$

Сличение с помощью компаратора  $\delta_3 = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 1,0 \text{ } ^\circ\text{C}$

Сличение с помощью компаратора  $\delta_4 = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 1,0 \text{ } ^\circ\text{C}$

Прямые измерения  $\delta_5 = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 1,0 \text{ } ^\circ\text{C}$

Прямые измерения  $\delta_6 = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 1,0 \text{ } ^\circ\text{C}$

Прямые измерения  $\delta_7 = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 1,0 \text{ } ^\circ\text{C}$

Сличение с помощью компаратора  $\delta_8 = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 0,9 \text{ } ^\circ\text{C}$

Сличение с помощью компаратора  $\delta_9 = 0,015 \text{ } ^\circ\text{C}$

Эталонные пирометры полного и частичного излучения 220 ... 273 К  $\delta = 1,0 \text{ К}$  0 °С ... 3200 °С;  $\delta = 1,0 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 15 \text{ } ^\circ\text{C}$

Эталонные тепловизоры 220 ... 273 К  $\delta = 1,0 \text{ К}$  0 °С ... 3200 °С  $\delta = 1,0 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 15 \text{ } ^\circ\text{C}$

Эталонные излучатели АЧТ 220 ... 273 К  $\delta = 1,0 \text{ К}$  0 °С ... 3200 °С  $\delta = 1,0 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 15 \text{ } ^\circ\text{C}$

Эталонные лампы 800 °С ... 2800 °С  $\delta = 5 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 17 \text{ } ^\circ\text{C}$

Эталонные излучатели АЧТ 32 °С ... 43 °С  $\delta = 0,10 \text{ } ^\circ\text{C}$

Средства измерений температуры

Тепловизоры 220 ... 273 К  $\Delta = 1,0 \text{ К}$  0 °С ... 3200 °С  $\Delta = 1,0 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 30 \text{ } ^\circ\text{C}$

Пирометры полного и частичного излучения 220 ... 273 К  $\Delta = 1,0 \text{ К}$  0 °С ... 400 °С;  $\Delta = 1,0 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 2,0 \text{ } ^\circ\text{C}$  400 °С ... 3200 °С;  $\Delta = 2,0 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 20 \text{ } ^\circ\text{C}$

Тепловизоры 220 ... 273 К  $\Delta = 2,0 \text{ К}$  0 °С ... 3200 °С  $\Delta = 2,0 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 60 \text{ } ^\circ\text{C}$

Пирометры полного и частичного излучения 220 ... 273 К  $\Delta = 4 \text{ К}$  0 °С ... 400 °С;  $\Delta = 4 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 8 \text{ } ^\circ\text{C}$  400 °С ... 3200 °С;  $\Delta = 8 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 80 \text{ } ^\circ\text{C}$

Пирометры монохроматические 400 °С ... 3200 °С  $\Delta = 2,0 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 15 \text{ } ^\circ\text{C}$

Пирометры монохроматические 250 °С ... 15000 °С  $\Delta = 5 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 600 \text{ } ^\circ\text{C}$

Пирометры спектрального распределения 300 °С ... 3200 °С  $\Delta = 1,5 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 15 \text{ } ^\circ\text{C}$

Пирометры спектрального распределения 250 °С ... 3500 °С  $\Delta = 2,5 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 35 \text{ } ^\circ\text{C}$

Первичные радиационные термометры 952 °С ... 3200 °С  $\Delta = 0,30 \text{ } ^\circ\text{C} \dots 4 \text{ } ^\circ\text{C}$

Пирометры прецизионные 32 °С ... 43 °С,  $\Delta = 0,10 \text{ } ^\circ\text{C}$

Пирометры прецизионные 32 °С ... 43 °С,  $\Delta = 0,30 \text{ } ^\circ\text{C}$

Тепловизоры прецизионные 32 °С ... 43 °С,  $\Delta = 0,30 \text{ } ^\circ\text{C}$



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

