



Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Кафедра: Технологии строительных материалов и метрологии

Дисциплина: Метрология стандартизация, сертификация и контроль качества

Преподаватель: Кузьмин Олег Владимирович, к.т.н., доцент каф.ТСМиМ
ov-kuzmin@yandex.ru

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Измерения температуры поверхности инфракрасным термометром и определение грубых погрешностей

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

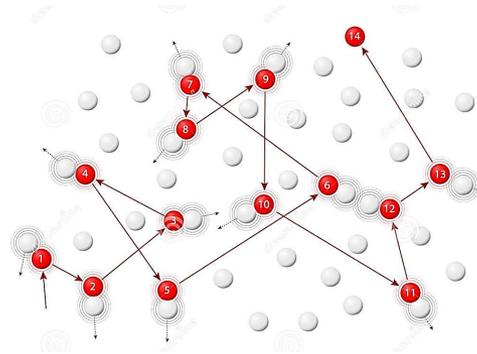
- Освоение методики бесконтактного измерения температуры поверхности объектов строительной отрасли с помощью инфракрасного термометра (пирометра) «Кельвин-компакт 1200»;
- Обработка результатов измерений с целью определения грубых погрешностей (промахов).



ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Температура – это величина, характеризующую тепловое состояние тела.

Согласно кинетической теории, температуру определяют как меру кинетической энергии поступательного движения молекул.



Температуру измеряют с помощью датчиков, использующих различные термометрические свойства жидкостей, газов и твердых тел. Существуют различные виды датчиков применяемых в промышленности, при научных исследованиях и для специальных целей.

Наиболее распространенными являются датчики, фиксирующие следующие физические процессы:

- тепловое расширение;
- изменение давления;
- изменение электрического сопротивления;
- термоэлектрические эффекты;
- тепловое излучение.



Устройства для измерения температуры в зависимости от используемого термоэлектрического свойства.

- Тепловое расширение – жидкостные стеклянные термометры →



- Изменение давления – манометрические термометры →



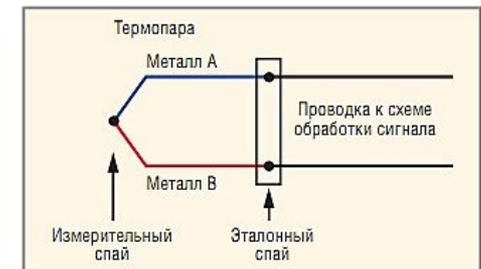


Устройства для измерения температуры в зависимости от используемого термоэлектрического свойства.

- Изменение электрического сопротивления
 - Электрические термометры сопротивления
 - Полупроводниковые термометры сопротивления



- Термоэлектрические эффекты
 - Термоэлектрические термометры (термопары) стандартизованные
 - Термоэлектрические термометры (термопары) специальные





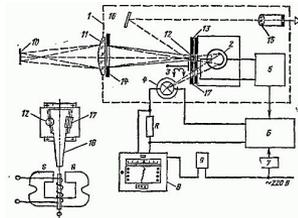
Устройства для измерения температуры в зависимости от используемого термоэлектрического свойства

- Тепловое излучение



- Оптические пирометры (сравнивают излучение, исходящее от некоего объекта, со светом от накаливаемой нити в своей измерительной лампе, таким образом, устанавливается разница температур);

- Радиационные пирометры →
(относятся к промышленным измерительным приборам, особенность – нижнее ограничение интервала измеряемой температуры – от 400÷700°C)



- Фотоэлектрические пирометры (принцип действия основан на использовании зависимости интенсивности излучения от температуры в узком интервале длин волн спектра)

- Цветовые пирометры →
(принцип действия основан на автоматическом измерении логарифма отношения спектральных яркостей в красном и синем участке спектра)





О температуре нагретого тела можно судить на основании измерения параметров его теплового излучения, представляющего собой электромагнитные волны различной длины. Чем выше температура тела, тем больше энергии оно излучает.

Излучательная способность объекта – это отношение мощности излучения объекта при данной температуре к мощности излучения абсолютно черного тела.

Абсолютно черное тело (АЧТ) – определяется как поверхность, излучающая максимальное количество энергии при данной температуре. Излучательная способность АЧТ равна 1,00

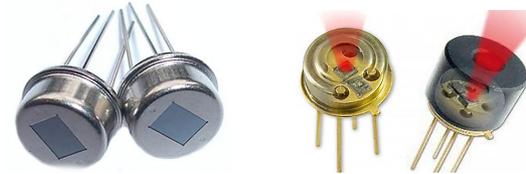
Радиационная температура реального тела (T_r) – это температура, при которой полная мощность АЧТ равна полной энергии излучения данного тела при действительной температуре (T_d).

Яркостная температура реального тела (T_λ) – это температура, при которой плотность потока спектрального излучения АЧТ равна плотности потока спектрального излучения реального тела для той же длины волны (или узкого интервала спектра) при действительной температуре (T_d).

Цветовая температура реального тела (T_c) – это температура, при которой отношения плотностей потоков излучения АЧТ для двух длин волн и равно отношению плотностей потоков излучений реального тела для тех же длин волн при действительной температуре (T_d).



Пиromетрический сенсор – это датчик, действие которого основано на измерении теплового излучения →



Главное достоинство данных устройств – это отсутствие влияния измерителя на температурное поле нагретого тела, так как в процессе измерения они не вступают в непосредственный контакт друг с другом, таки образом, данный метод измерения относится к бесконтактным.

Излучательные свойства объекта определяются свойствами материала и чистотой обработки поверхности объекта, а не цветом его поверхности.

№	Материал	Излучательная способность (e)
1	Алюминий	0,20 ÷ 0,30
2	Медь	0,60 ÷ 0,80
3	Сталь	0,56 ÷ 0,80
4	Чугун	0,54 ÷ 0,78
5	Вода	0,93
6	Лак черный матовый	0,96 ÷ 0,98
7	Стекло	0,80
8	Асфальт, гравий, керамика, дерево, резина, сажа, штукатурка, краски маслянные различных цветов	0,95

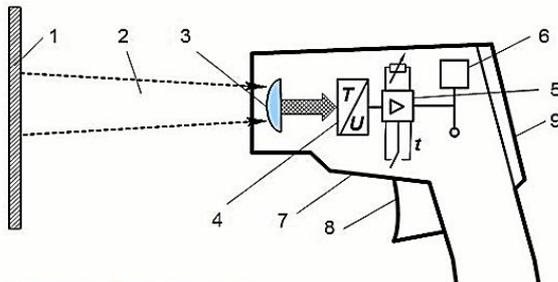
← **Значения излучательной способности различных материалов.**

Излучательная способность (e) большинства органических материалов (дерево, пластики, краски и т.д.) равна приблизительно 0,95.

Инфракрасный термометр (пирометр) – это устройство для измерения температуры объектов в удаленных точках бесконтактным способом.

В основе данного устройства лежит пирометрический датчик, который преобразует тепловое излучение объекта (которое представляет собой электромагнитные волны различной длины), в электрическое напряжение. Таким образом, обеспечивается измерение амплитуды электромагнитного излучения от объекта в инфракрасной части спектра и последующем пересчётом измеренного значения в мощность теплового излучения.

Тепловое излучение, сфокусированное оптической системой, передаётся на датчик-преобразователь, на выходе которого появляется электрический сигнал, пропорциональный значению температуры поверхности измерения. Этот сигнал проходит через электронный преобразователь, попадает в счётное устройство, результаты из которого отображаются на дисплее.



- 1 – Поверхность измеряемого объекта,
- 2 – Тепловое излучение от объекта,
- 3 – Оптическая система инфракрасного термометра,
- 4 – Датчик-преобразователь,
- 5 – Электронный преобразователь,
- 6 – Счётное устройство,
- 7 – Корпус пирометра,
- 8 – Курок-кнопка,
- 9 – Дисплей.



Основные технические характеристики инфракрасного термометра «Кельвин-компакт 1200»

№ п / п	Наименование характеристики	Величина
1	Диапазон измерения, °С	-10 ÷ +1200
2	Пределы допускаемой погрешности: - абсолютной основной, °С - относительной, %	±1,0 ±1,0
3	Разрешение по температуре	1:100 и 1:175
4	Диапазон установки излучательной способности объекта	0,01 ÷ 1,00
5	Время измерения, сек	1,0
6	Питание	Батарей AA - 2 шт.
7	Потребляемая мощность, Вт	≤0,2
8	Габаритные размеры, мм	122 x 145 x 43
9	Масса прибора, кг	0,4
10	Класс защиты корпуса	IP65



Инфракрасный термометр «Кельвин-компакт 1200» предназначен для бесконтактного измерения температуры поверхности.

Применяется для контроля теплового режима оборудования, а также для точного измерения температуры в различных технологических процессах (например, металлургии, машиностроения, нефтехимии и т.д.).



В пирометре «Кельвин-компакт 1200» предусмотрена автоматическая компенсация температуры окружающей среды – цифровая установка излучательной способности объектов (e) обеспечивает точность измерения.

Перед каждой серией измерений необходимо контролировать правильность выставленного значения излучательной способности измеряемой поверхности.



← **Индикация выставленной излучательной способности**

Излучательная способность (e) большинства органических материалов (дерево, пластики, краски и т.д.) равна приблизительно 0,95.

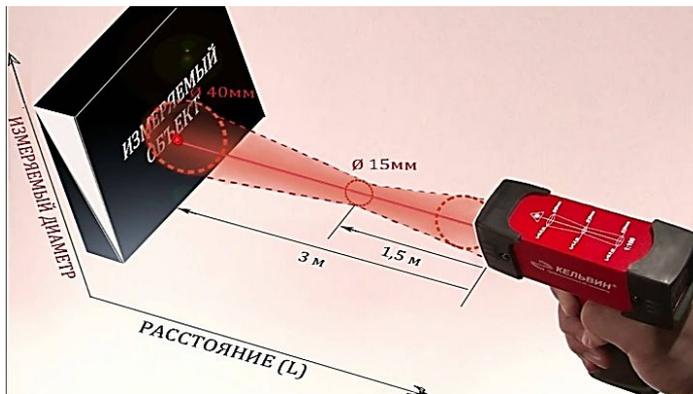
Установленное значение излучательной способности выводится на индикаторе в течение, примерно, секунды после включения прибора – буква «E» в левом знакоместе индикатора.



← **Для установки требуемого значения излучательной способности необходимо:**

- определить необходимое значение для данного материала;
- включить прибор, нажав и удерживая кнопку включения;
- в режиме «Измеряемая температура» кнопками «-» и «+» выставить по индикатору требуемое значение излучательной способности.

Минимальный измеряемый диаметр – наименьший диаметр объекта, который может быть измерен при данном фокусном расстоянии и размере приемника.



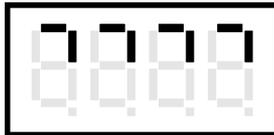
← Зависимость измеряемого диаметра от разрешения по температуре и расстояния до объекта измерения

При увеличении или уменьшении расстояния измеряемый диаметр возрастает. При приближении к объекту вплотную измеряемый диаметр увеличивается до размеров входного зрачка прибора.

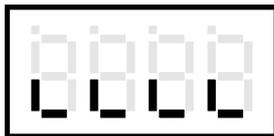
Индицируемая пирометром «Кельвин-компакт 1200» температура будет не верна, если размер объекта меньше поля (пятна) измерения, так как объект, температура которого должна быть измерена, не заполняет все поле зрения, прибор принимает излучение от других объектов окружающей среды, которое оказывает влияние на точность измерения.

Пирометр измеряет осредненную температуру участка поверхности.

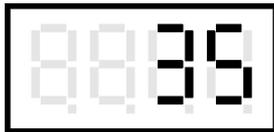
Для точного измерения необходимо удерживать точку прицеливания в течение времени измерения – 5 секунд для первого после включения прибора замера и 1 секунд – для последующих замеров.



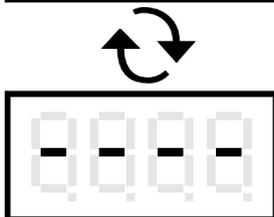
← Индикация выхода за диапазон прибора



В случае выхода измеряемой температуры за диапазон измерений данной модели прибора на индикаторе появляется предупреждение.



← Индикация низкого заряда батареи



При разряде батареи питания ниже определенного значения на индикаторе периодически станут появляться знаки «минус» во всех знакоместах.



ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ:

1. Включить прибор, нажав и удерживая кнопку включения;
2. Проконтролировать появившееся при старте установленное значение излучательной способности (при необходимости откорректировать его);
3. Завести пятно лазерного целеуказателя на область измерения;
4. Считать значение измеренной температуры с индикатора необходимое количество раз;
5. Занести результаты в таблицу (измеренное значение температуры и определить максимальную температуру, среднее);
6. После окончания измерений выключить прибор, не нажимая никаких клавиш дождавшись, когда экран погаснет.

Таблица фиксации результатов измерений:

№ изм.	Область измерения температуры	Измеренное значение температуры, °С	Среднее значение температуры, °С	Максимальная температура, °С	Разница между средней и максимальной температурой, °С
1	I Область	19	20,4	23	-2,6
2		20			
3		19			
4		21			
5		23			
6					
...					
25					



ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ.

ГРУБЫЕ ПОГРЕШНОСТИ И МЕТОДЫ ИХ ИСКЛЮЧЕНИЯ.

Грубая погрешность (промах) – это погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда. При однократных измерениях обнаружить промах невозможно. При многократных измерениях для обнаружения промахов используют статистические критерии, такие как критерий Романовского, критерий Шарлье, критерий Диксона.

Критерий Романовского

Критерий Романовского применяется при числе измерений $n < 20$. Состоит в сравнении расчетного значения критерия Романовского (β) с табличным значением критерия Романовского (β_T). Если неравенство выполняется $\beta \geq \beta_T$, то проверяемый результат измерения считается промахом и отбрасывается.

$$\beta = \frac{|(x_i - \bar{x})|}{S_x},$$

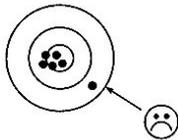
$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

β	- расчетное значение критерия Романовского;
X_i	- проверяемое (подозрительное) значение;
\bar{X}	- среднее арифметическое значение измеряемой величины;
S_x	- среднее квадратическое отклонение измеряемой величины;
n	- число измерений;
β_T	- табличное значение критерия Романовского. Зависит от уровня значимости (q) и числа измерений.



ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ. ГРУБЫЕ ПОГРЕШНОСТИ И МЕТОДЫ ИХ ИСКЛЮЧЕНИЯ.

Грубая погрешность (промах) – это погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда.



При однократных измерениях обнаружить промах невозможно.
При многократных измерениях для обнаружения промахов используют статистические критерии, такие как критерий Романовского, критерий Шарлье, критерий Диксона.

Критерий Романовского

Критерий Романовского применяется при числе измерений $n < 20$.

Состоит в сравнении расчетного значения критерия Романовского (β) с табличным значением критерия Романовского (β_T).

Если неравенство выполняется $\beta \geq \beta_T$, то проверяемый результат измерения считается промахом и отбрасывается.

$$\beta = \frac{|(x_i - \bar{x})|}{S_x},$$

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

β	- расчетное значение критерия Романовского;
X_i	- проверяемое (подозрительное) значение;
X	- среднее арифметическое значение измеряемой величины;
S_x	- среднее квадратическое отклонение измеряемой величины;
n	- число измерений;
β_T	- табличное значение критерия Романовского. Зависит от уровня значимости (q) и числа измерений.



Таблица 5. Значения критерия Романовского $\beta_T = f(n; q)$

q	$n = 4$	$n = 6$	$n = 8$	$n = 10$	$n = 12$	$n = 15$	$n = 20$
0,01	1,73	2,16	2,43	2,62	2,75	2,90	3,08
0,02	1,72	2,13	2,37	2,54	2,66	2,80	2,96
0,05	1,71	2,10	2,27	2,41	2,52	2,64	2,78
0,10	1,69	2,00	2,17	2,29	2,39	2,49	2,62

Критерий Шарлье

Критерий Шарлье используется при числе измерений $n > 20$.

Пользуясь данным критерием, отбрасывается результат, для значения которого выполняется неравенство:

Где

$$|x_i - \bar{x}| > K_{Ш} \cdot S_x$$

X_i - проверяемое (подозрительное) значение;

X - среднее арифметическое значение измеряемой величины;

S_x - среднее квадратическое отклонение измеряемой величины;

$K_{Ш}$ - табличное значение критерия Шарлье. Зависит от уровня значимости (q) и числа измерений;

Таблица 6. Значения критерия Шарлье $K_{Ш} = f(n)$

n	5	10	20	30	40	50	100
$K_{Ш}$	1,3	1,65	1,96	2,13	2,24	2,32	2,58



Критерий Диксона

Состоит в сравнении расчетного значения критерия Диксона (K_D) с табличным значением критерия Диксона (Z_q).

Если неравенство выполняется $K_D > Z_q$, то проверяемый результат измерения считается промахом и отбрасывается.

При использовании критерия Диксона результаты измерений представляются в виде вариационного возрастающего ряда

$$X_1 < K_D = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1}$$

Где

K_D - расчетное значение критерия Диксона;

$X_1 \div X_n$ - члены вариационного возрастающего ряда;

Таблица 8. Значения критерия Диксона $Z_q = f(n ; q)$

n	Z_q при q , равном			
	0,1	0,05	0,02	0,01
4	0,68	0,76	0,85	0,89
6	0,48	0,56	0,64	0,7
8	0,4	0,47	0,54	0,59
10	0,35	0,41	0,48	0,53
14	0,29	0,35	0,41	0,45
16	0,28	0,33	0,39	0,43
18	0,26	0,31	0,37	0,41
20	0,26	0,3	0,36	0,39
30	0,22	0,26	0,31	0,34



Пример обработки результатов измерений:

Критерий Романовского.

При шестикратном измерении длины коридора получены следующие результаты: 25,155 м; 25,150 м; 25,165 м; 25,165 м; 25,160 м; 25,180 м.

Последний результат вызывает сомнения.

Производим проверку по критерию Романовского, не является ли он промахом.

1. Находим среднее арифметическое значение результатов измерений

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{150,975}{6} = 25,163 \text{ м.}$$

2. Определяем среднее квадратическое отклонение (СКО). Для удобства вычислений составляем таблицу.

№ п/п	x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	25,155	- 0,008	0,000064
2	25,150	- 0,013	0,000169
3	25,165	0,002	0,000004
4	25,165	0,002	0,000004
5	25,160	- 0,003	0,000009
6	25,180	0,017	0,000289
\bar{x}	25,163	$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$	0,000539



Оценка СКО:

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0,0107 \text{ м.}$$

3. Вычисляем β для сомнительного результата:

$$\beta = \frac{|(x_i - \bar{x})|}{S_x} = \frac{0,017}{0,0107} = 1,58.$$

4. Проверяем сомнительный результат измерения - 25,18.

Критическое значение $\beta = 2,1$ при уровне значимости $q = 0,05$ и числе измерений $n = 6$ (см.таблицу).

q	$n = 4$	$n = 6$	$n = 8$	$n = 10$	$n = 12$	$n = 15$	$n = 20$
0,01	1,73	2,16	2,43	2,62	2,75	2,90	3,08
0,02	1,72	2,13	2,37	2,54	2,66	2,80	2,96
0,05	1,71	2,10	2,27	2,41	2,52	2,64	2,78
0,10	1,69	2,00	2,17	2,29	2,39	2,49	2,62

Неравенство $\beta \geq \beta_t$ не выполняется, поскольку $1,58 < 2,1$, таким образом результат $X_6 = 25,18$ не является промахом и не исключается из результатов измерений.

Критерий Шарлье.

1. Результаты измерений расстояний между опорами для удобства обработки представляем в виде таблицы.

2. Находим среднее арифметическое значение результатов измерений (см.табл.)

$$\bar{x} = 23,67$$



№ п/п	x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	23,67	0,00	0,0000
2	23,68	0,01	0,0001
3	23,66	- 0,01	0,0001
4	23,67	0,00	0,0000
5	23,67	0,00	0,0000
6	23,68	0,01	0,0001
7	23,67	0,00	0,0000
8	23,68	0,01	0,0001
9	23,67	0,00	0,0000
10	23,68	0,01	0,0001
11	23,66	- 0,01	0,0001
12	23,67	0,00	0,0000
13	23,67	0,00	0,0000
14	23,68	0,01	0,0001
15	23,68	0,01	0,0001
16	23,68	0,01	0,0001
17	23,67	0,00	0,0000
18	23,68	0,01	0,0001
19	23,68	0,01	0,0001
20	23,67	0,00	0,0000
21	23,68	0,01	0,0001
22	23,67	0,00	0,0000
23	23,67	0,00	0,0000
24	23,67	0,00	0,0000
25	23,68	0,01	0,0001
26	23,66	- 0,01	0,0001
27	23,68	0,01	0,0001
28	23,67	0,00	0,0000
29	23,67	0,00	0,0000
30	23,68	0,01	0,0001
\bar{x}	23,67	$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$	0,0016



3. Определяем СКО

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{0,0016}{29}} = 0,0074 \text{ м.}$$

4. Проверяем сомнительный результат измерения - 23,66.

Критическое значение $K_{ш} = 2,13$ при уровне значимости $q = 0,05$ и числе измерений $n = 30$ (см.таблицу).

n	5	10	20	30	40	50	100
$K_{ш}$	1,3	1,65	1,96	2,13	2,24	2,32	2,58

Для этого значения справедливо неравенство **$23,66 - 23,67 < 2,13 \cdot 0,0074$**

Таким образом, проверяемое значение $X_3 = 23,66$ не является промахом и не исключается из результатов измерений.

Критерий Диксона.

При проведении измерений расстояния получены следующие результаты:

25,1; 25,2; 24,9; 25,6; 25,1; 25,2 м.

Результат 25,6 м существенно отличается от остальных. Проверяем его на предмет промаха.

1. Представляем результаты измерений в виде вариационного возрастающего ряда:

24,9	25,1	25,1	25,2	25,2	25,6
X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6



2. Вычисляем расчетное значение критерия Диксона для крайнего члена этого ряда 25,6 м

$$K_D = \frac{25,6 - 25,2}{25,6 - 24,9} = 0,57.$$

3. Проверяем сомнительный результат измерения - 25,6

Критическое значение $Z_q = 0,56$ при уровне значимости $q = 0,05$ и числе измерений $n = 6$ (см.таблицу).

n	Z_q при q , равном			
	0,1	0,05	0,02	0,01
4	0,68	0,76	0,85	0,89
6	0,48	0,56	0,64	0,7
8	0,4	0,47	0,54	0,59
10	0,35	0,41	0,48	0,53
14	0,29	0,35	0,41	0,45
16	0,28	0,33	0,39	0,43
18	0,26	0,31	0,37	0,41
20	0,26	0,3	0,36	0,39
30	0,22	0,26	0,31	0,34

Неравенство выполняется $K_D > Z_q$, $0,57 > 0,56$ – проверяемый результат измерения считается промахом и отбрасывается.



СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ:

1. Название лабораторной работы, цель работы;
2. Теоретическая часть;
3. Назначение, устройство, принцип действия средства измерения, основные технические данные;
4. Эскиз объекта измерения с обозначением областей измерения температуры;
5. Таблица с результатами измерений;
6. Определение грубых погрешностей. Обработка результатов измерений по статистическим критериям;
7. Вывод по работе.