

# Тепловизионная квалиметрия



Директор по маркетингу и сбыту, к.т.н. Романов Р.А.

## Тепловизионная квалиметрия

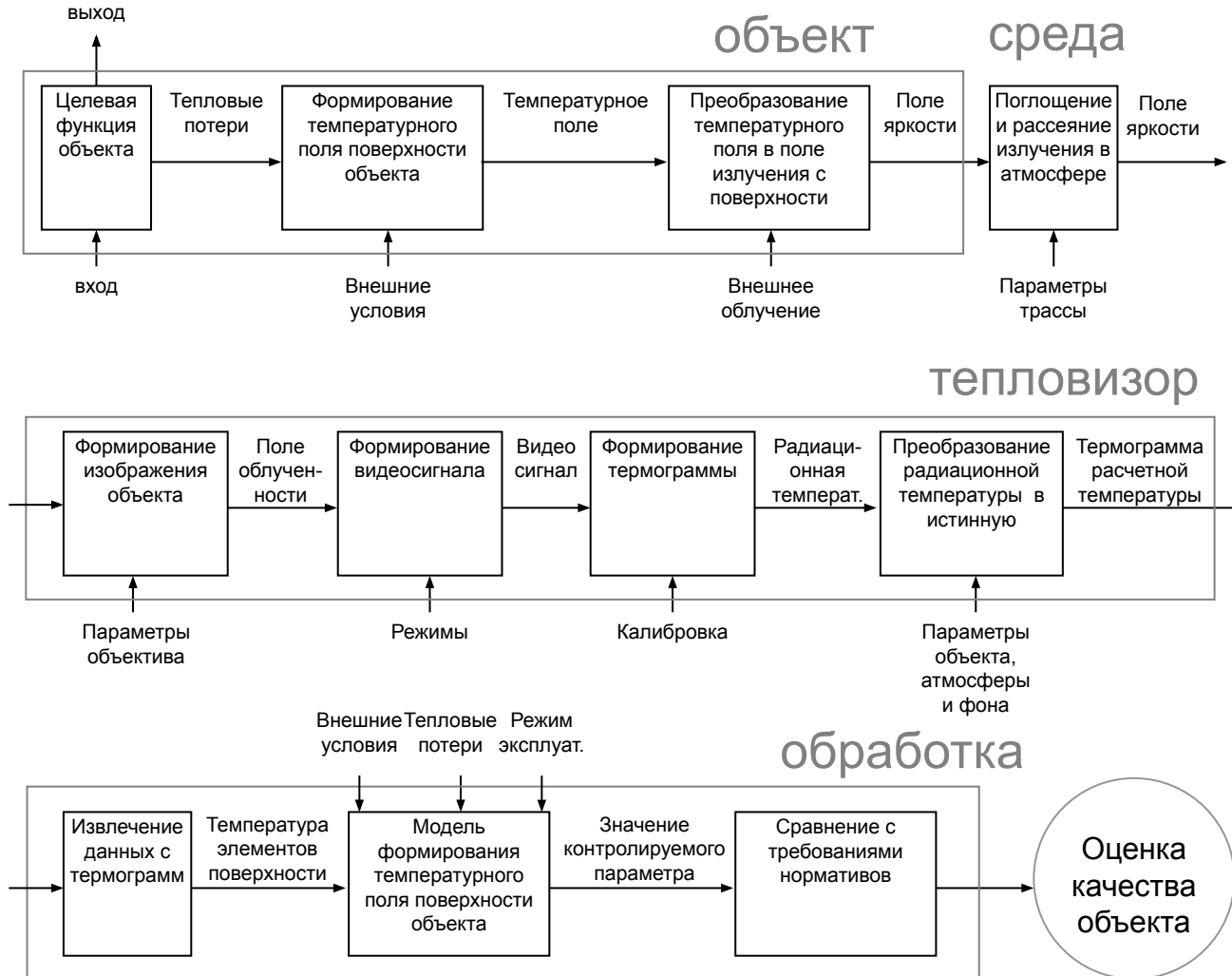
*Квалиметрия* - это термин, определяющий деятельность по оценке качества различных объектов. Под качеством объекта понимается совокупность параметров и характеристик объекта, определяющих его текущее состояние и возможность выполнения им своих целевых функций, и принятых для контроля. Оценка качества заключается в измерении этих параметров и характеристик и установления их соответствия принятым нормативам (требованиям стандартов, и отраслевых норм, проектной и эксплуатационной документации и т.д.).

*Тепловизионная квалиметрия* – это определение качества объектов с использованием тепловизионного метода контроля. *Квалиметрия* представляет собой совокупность методов количественной оценки качества контролируемых объектов (методов квалиметрии) и технических средств их реализации (средства квалиметрии).

Тепловизионная квалиметрия представляет собой совокупность методов проведения тепловизионных обследований различных объектов с целью определения их контрольных параметров и технических средств их реализации, к которым относятся как тепловизионная система, так и вспомогательные измерительные системы контроля метеоусловий, тепловых потоков, эксплуатационных режимов объекта.



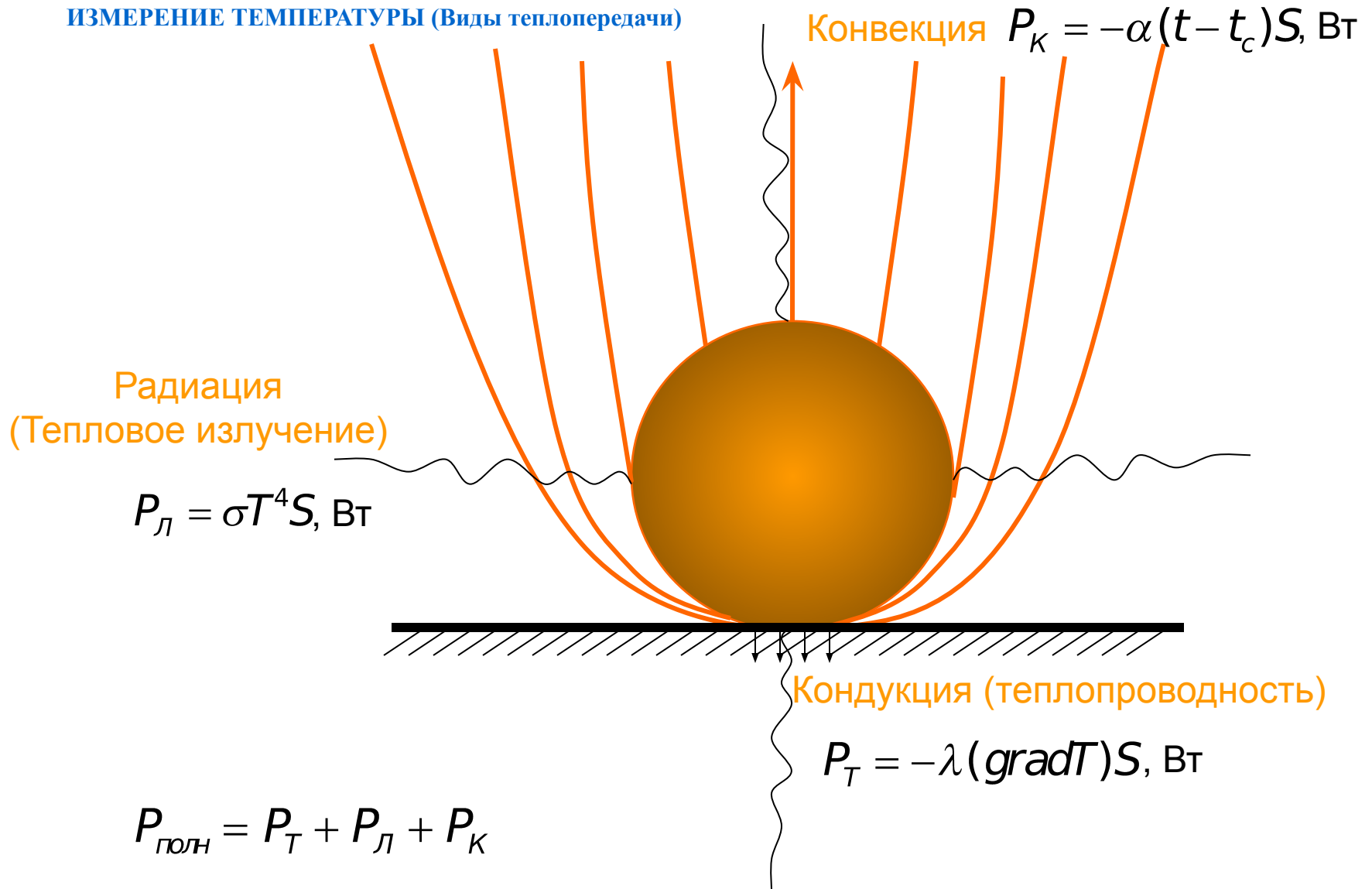
# Блок-схема тепловизионной квалиметрии



# Виды теплопередачи.



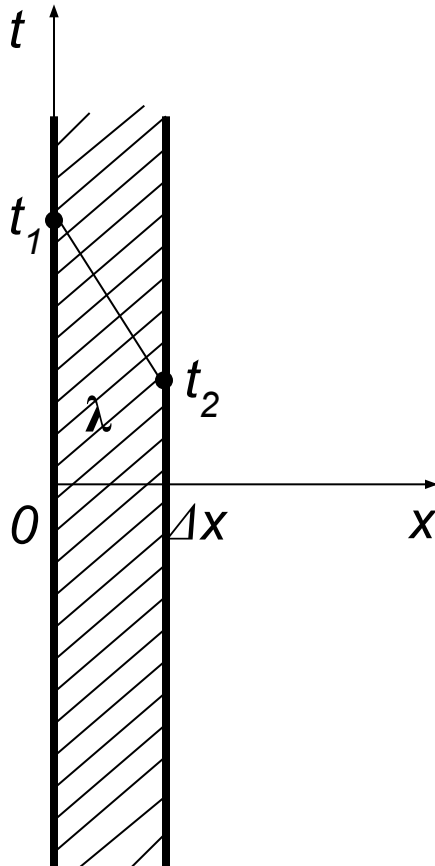
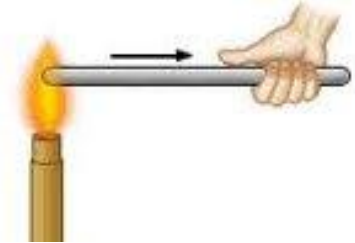
## ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ (Виды теплопередачи)



## ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ (Виды теплопередачи)

### Кондукция (теплопроводность, закон Фурье)

Явление передачи внутренней энергии от одного тела к другому или от одной его части к другой называется **теплопроводностью**.



$$q = \frac{P}{S}, \text{ Вт/м}^2 \quad q = -\lambda \frac{dt}{dx}, \lambda = \text{const}, \text{ Вт/мК}$$

$$q = -\lambda \frac{\Delta t}{\Delta x}$$

Пример:

Витрина из стекла толщиной  $\Delta x = 1 \text{ см}$ ,  $\lambda = 1 \text{ Вт/мК}$ ,  
 $t_1 = 10^\circ \text{C}$ ,  $t_2 = -1^\circ \text{C}$ .

$$q = -1 \cdot 11 / 0,001 = -1100 \text{ Вт/м}^2$$

При заданных условиях в среду уходит 1,1 кВт теплоты.

## ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ (Виды теплопередачи)

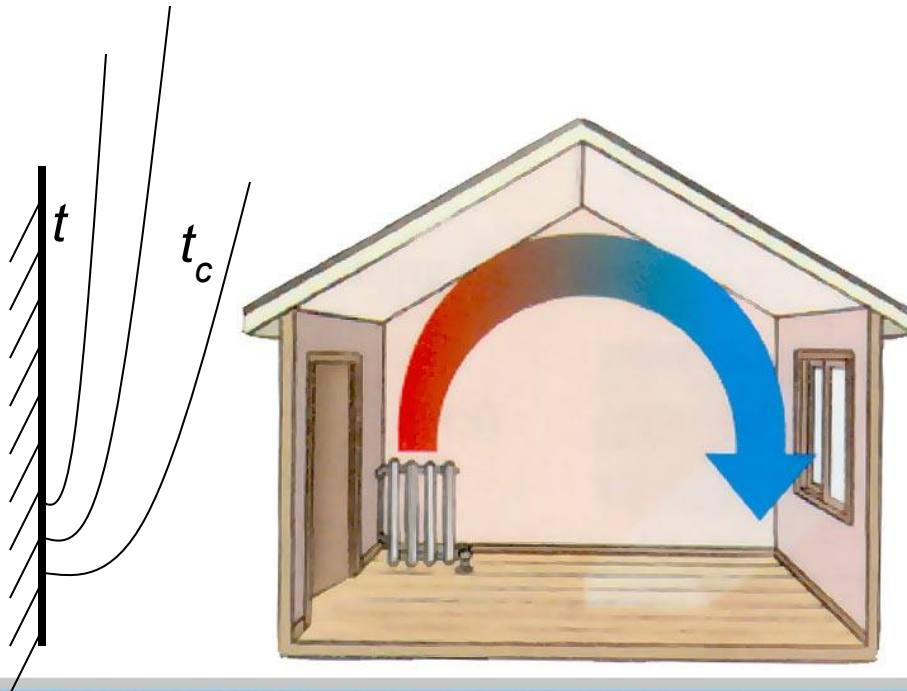
### Конвекция (закон Ньютона-Рихмана)

Перенос энергии струями жидкости или газа называется **конвекцией**.

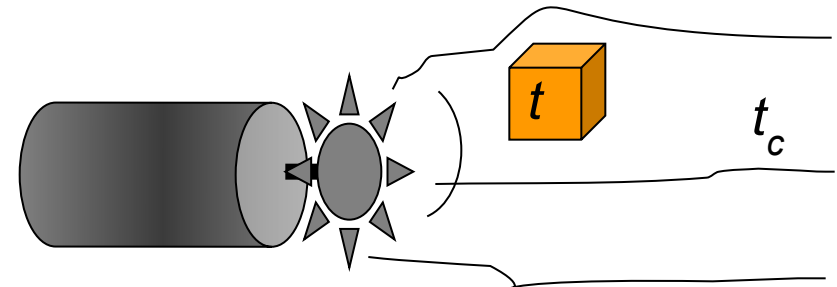
Свободная  
(естественная)

$$q = -\alpha(t - t_c)$$

$\alpha$ , Вт/м<sup>2</sup>К – коэффициент теплоотдачи



Вынужденная



## ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ (Виды теплопередачи)

### Конвекция

Вид конвекции, среда	$\alpha$ , Вт/м <sup>2</sup> К
Свободная конвекция, воздух	5-25
Свободная конвекция, вода	20-100
Вынужденная конвекция, воздух	10-200
Вынужденная конвекция, вода	50-10000
Кипящая вода	3000-100000
Конденсация водяного пара	5000-100000

Жидкости и газы следует нагревать снизу, если нагревать сверху, нагретые слои не смогут опуститься ниже холодных, более тяжелых.

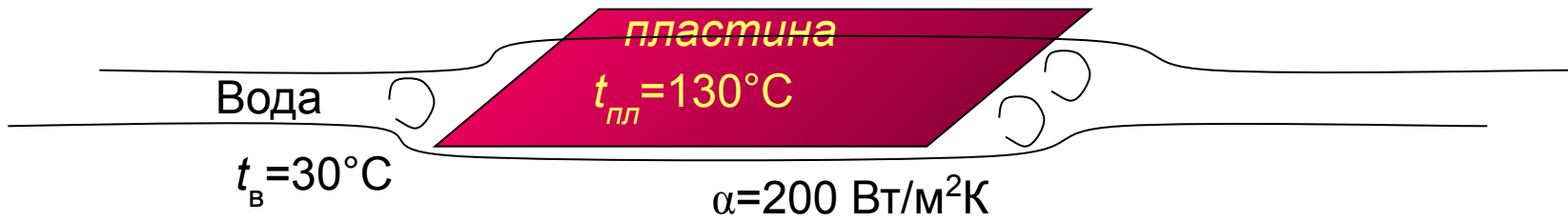
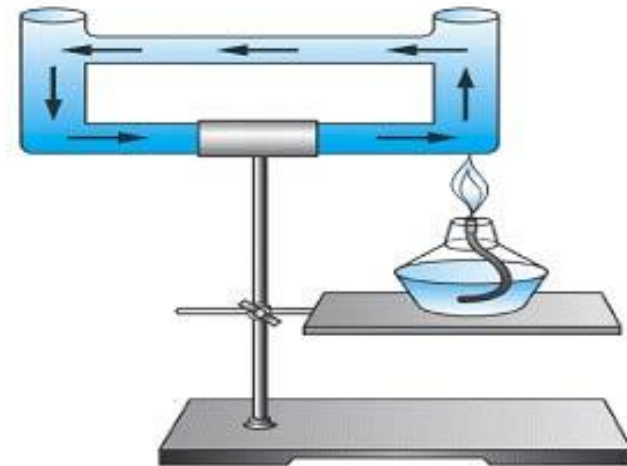
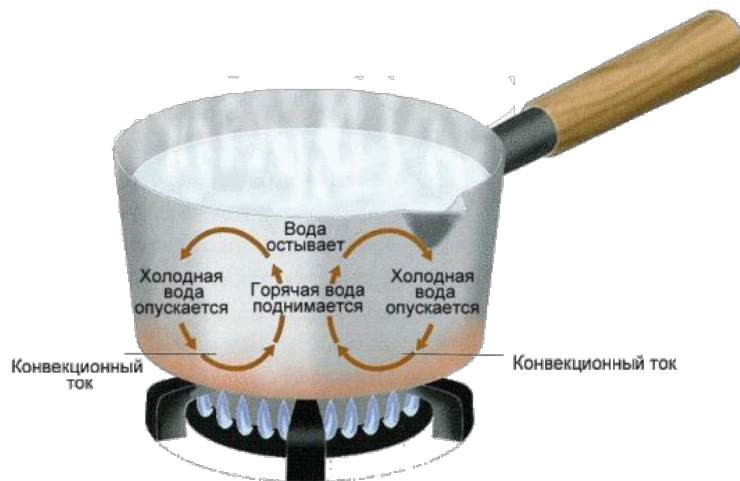




## ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ (Виды теплопередачи)

### Конвекция

В твердых телах конвекция происходить не может.



$$q = \alpha(t_{\text{пл}} - t_{\text{в}}) = 200 \cdot 100 = 2 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2$$

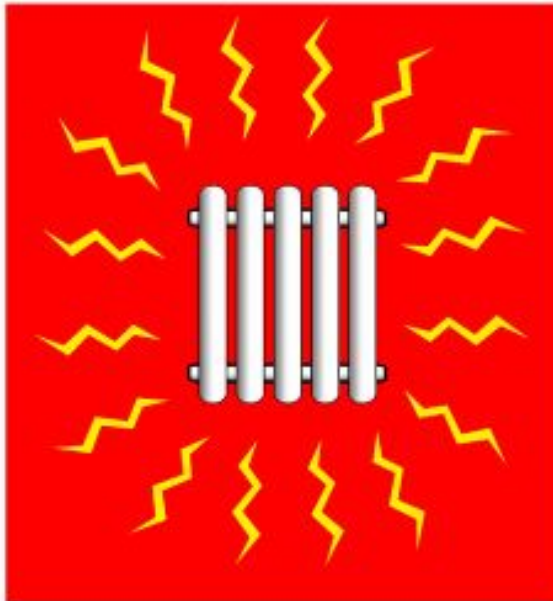
## ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ (Виды теплопередачи)

### Тепловое излучение

Перенос энергии в виде электромагнитных волн называется **излучением**.

Излучение может осуществляться как в веществе, так и в вакууме.

**Тепловое излучение** – это самый распространенный и простой вид излучения.



## ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ (Виды теплопередачи)

### Тепловое излучение

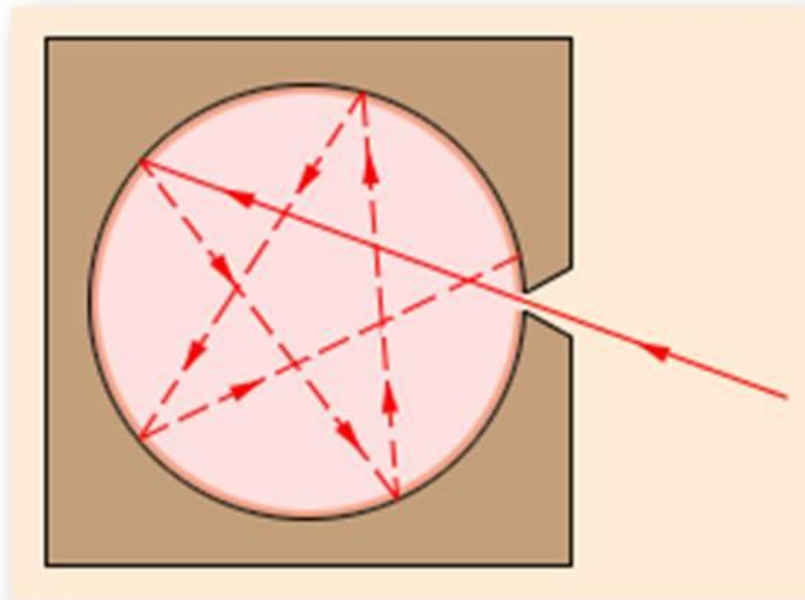
Тела с темной поверхностью лучше поглощают и излучают энергию, чем тела, имеющие светлую поверхность, поэтому самолеты, холодильники, чайники и многое другое, что не должно быстро нагреваться или остывать, красят в светлые цвета.



## ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ (Виды теплопередачи)

### Тепловое излучение

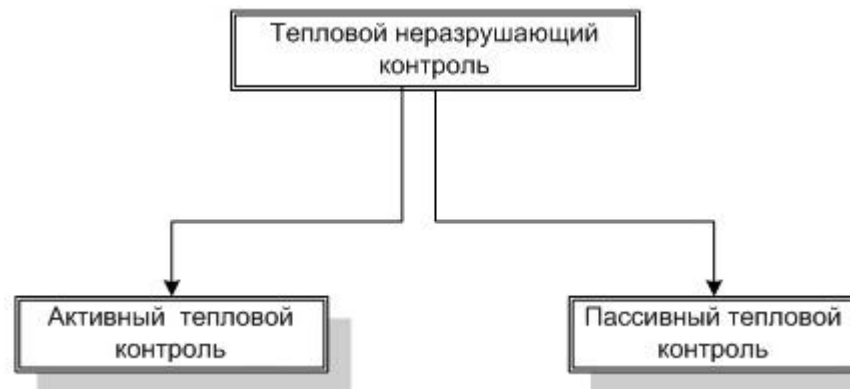
Тело, которое при любой неразрушающей его температуре полностью поглощает всю энергию падающего на него света любой частоты, называют **абсолютно черным телом (АЧТ)**.



← Модель абсолютно черного тела - небольшое отверстие в ящике сферической формы.

1. АЧТ – идеализация.
2. АЧТ – наиболее интенсивный источник теплового излучения.
3. Излучение АЧТ определяется только его температурой.

## МЕТОДЫ ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ (ГОСТ 23483-79)



**Активные** – основаны на предварительном нагреве и последующем измерении температурного поля поверхности объекта и используются для обнаружения:

- дефектов, представляющих собой нарушения сплошности объектов (трещин, пористости, расслоений, инородных включений);

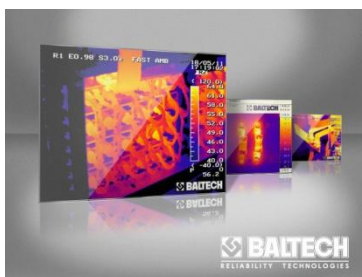
- изменений в структуре и физико-химических свойствах объектов, связанных с анизотропией теплопроводности, теплоемкостью и величиной коэффициента поглощения.

**Пассивные** – предполагают использование собственного излучения контролируемого объекта и применяются в целях обнаружения отклонений от заданных формы, геометрических размеров и теплового режима работы объектов.

## ЧТО ЭТО ТАКОЕ ТЕПЛОВИДЕНИЕ?

**Тепловидение** – это совокупность методов и средств получения видимых изображений по **тепловому излучению** объектов.

**Тепловое излучение** - естественное электромагнитное излучение, испускаемое любым объектом, температура которого выше абсолютного нуля ( $0 \text{ K} = -273,16 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Это излучение зависит от температуры объекта. С её повышением возрастает общая энергия испускаемого теплового излучения (пропорционально абсолютной температуре в четвертой степени), а максимум спектра излучения перемещается в область малых длин волн (см. рис. далее). Спектральный максимум теплового излучения солнца ( $5800\text{K}$ )  $0,5 \text{ мкм}$  расположен в видимой области спектра, а максимум теплового излучения тел комнатной температуры ( $18...22^\circ\text{C}$ )  $10 \text{ мкм}$  – в дальнем инфракрасном диапазоне.



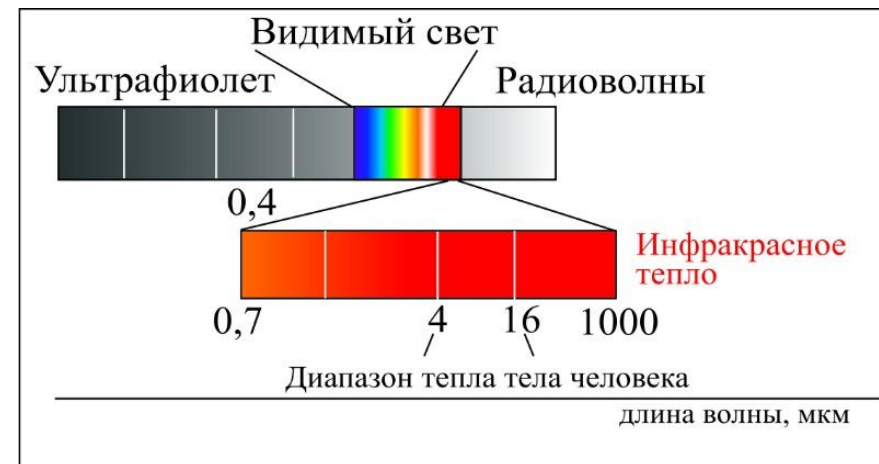
## Теория ИК излучения

ИК излучение является частью оптического излучения и занимает в спектре электромагнитных колебаний диапазон от **0,76** до **1000** мкм.

ИК область спектра принято делить на четыре части:

- Ближнюю  $\lambda = 0,76 \dots 3$  мкм
- Среднюю  $\lambda = 3 \dots 6$  мкм
- Дальнюю  $\lambda = 6 \dots 15$  мкм
- Сверхдальнюю  $\lambda = 15 \dots 1000$  мкм

(крайнюю)



## Спектральная плотность энергетической светимости теплового излучения АЧТ

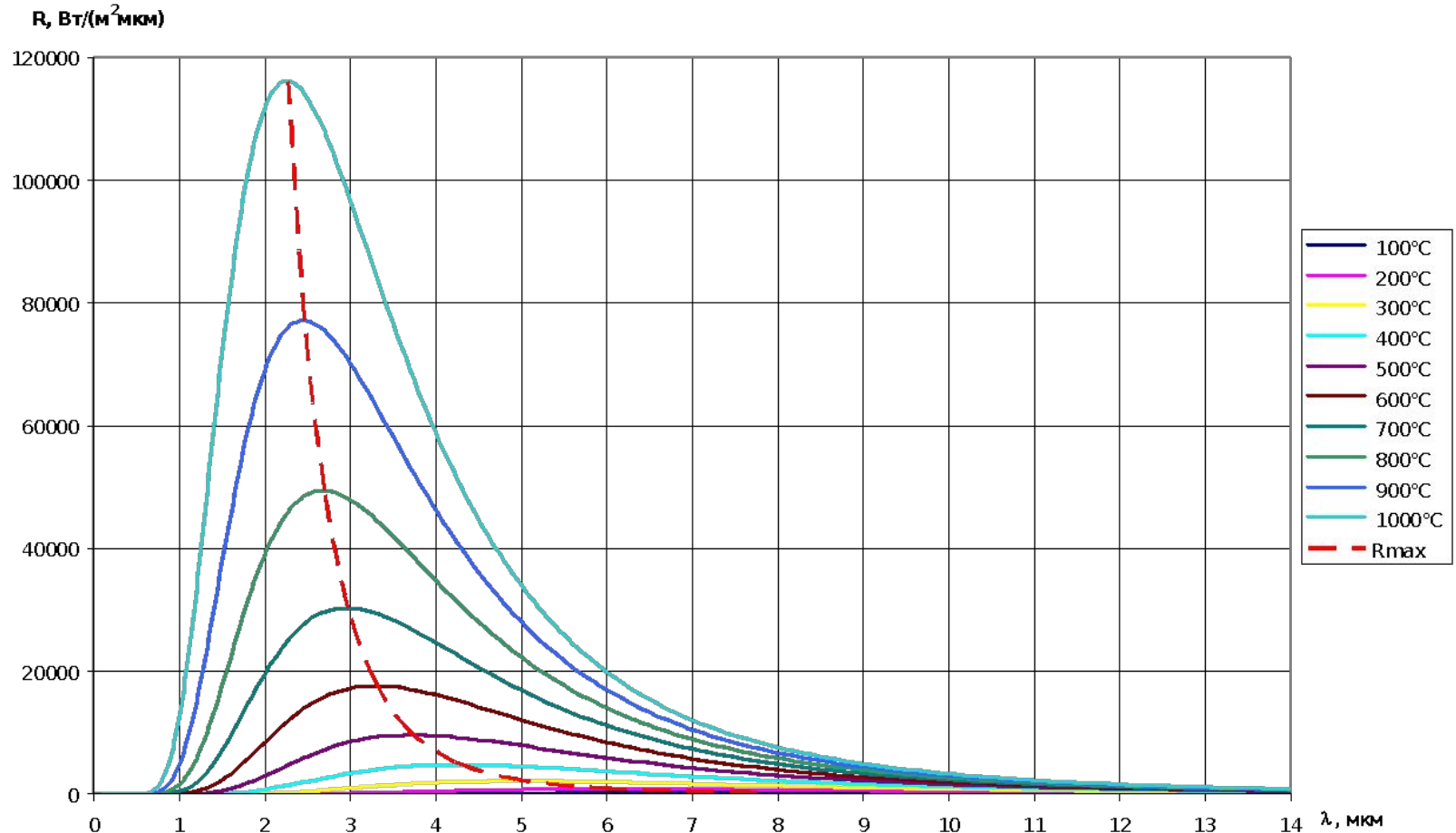


Рис. Спектральная плотность энергетической светимости абсолютно черного тела в зависимости от длины волны при различных температурах.

Штриховая линия, проходящая через максимумы кривых Планка, представляет закон смещения Голицына — Вина.



## Распределение энергии ИК излучения

Спектр излучения АЧТ характеризуется непрерывным распределением излучения по всему диапазону с единственным максимумом, положение которого зависит от температуры тела и определяется законом смещения Вина, который получен дифференцированием формулы Планка по длине волны. Согласно закону смещения Вина, длина волны в спектре излучения, соответствующая максимуму плотности потока, обратно пропорциональна абсолютной температуре:

$$\lambda_m = \frac{2897,8}{T} \quad (2)$$

- Распределение излучения АЧТ при температурах 25°C и 750°C по рабочим спектральным диапазонам тепловизоров показано на рис. 1.2
- Суммарную плотность излучения АЧТ, т.е. интегральную энергетическую светимость в диапазоне длин волн от 0 до бесконечности, определяют по закону Стефана-Больцмана:

$$M^{\square}(T) = \int_0^{\infty} M^{\square}(\lambda, T) d\lambda = \sigma T^4 \quad (3)$$

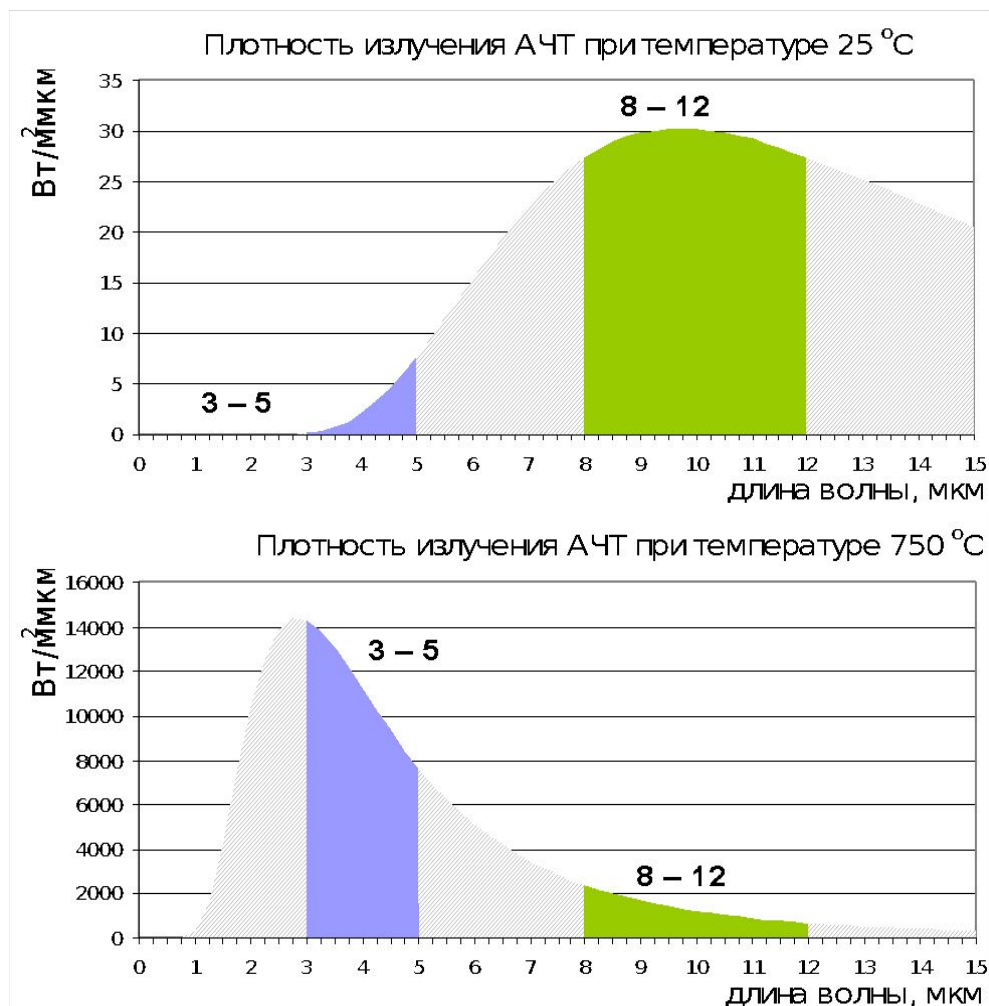


Рис. Распределение энергии ИК излучения по диапазонам чувствительности тепловизоров при температуре АЧТ 25С и 750С.

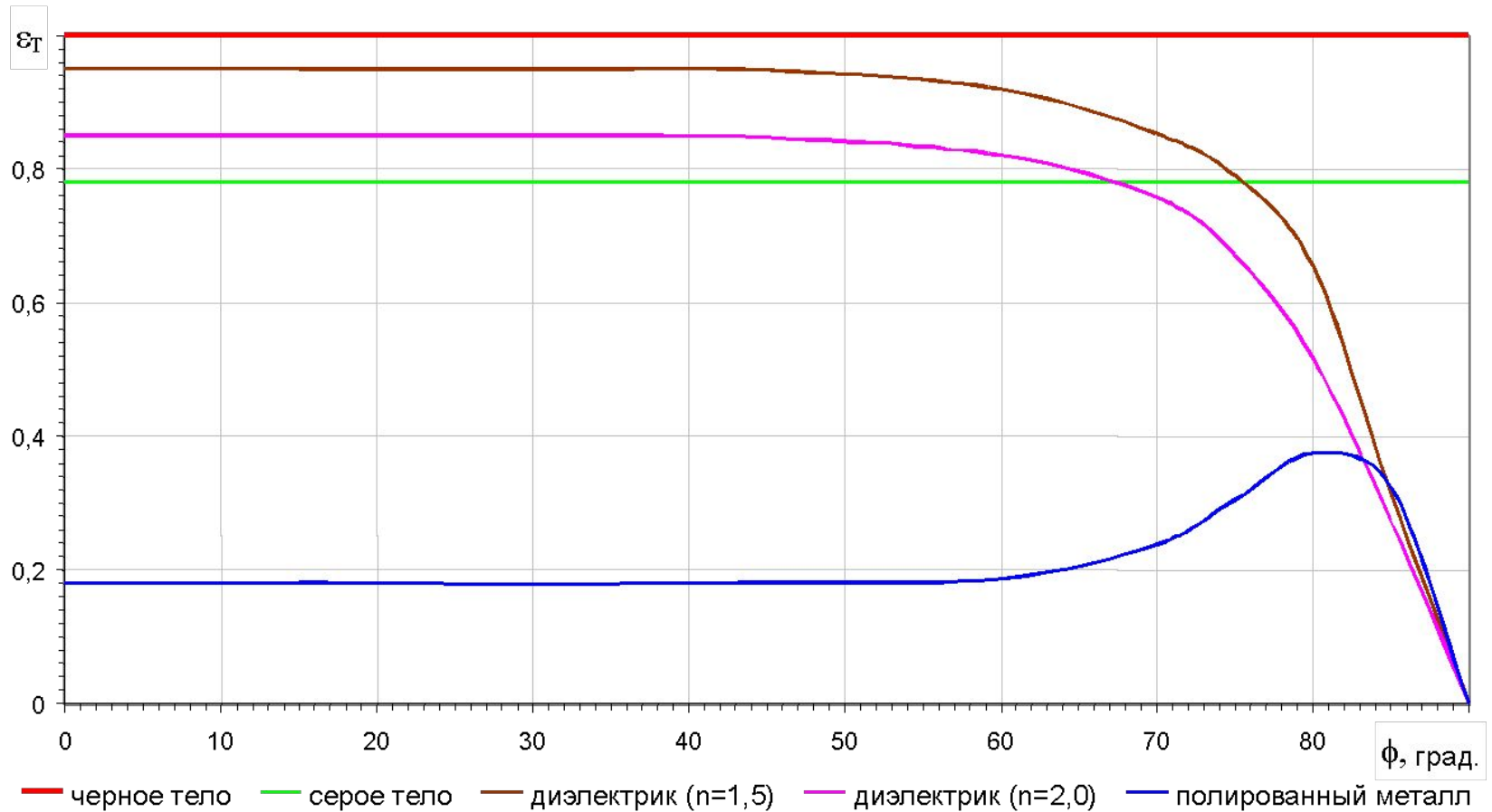
## Зависимость коэффициента излучения от угла наблюдения

АЧТ в природе не существует, но многие тела могут рассматриваться как АЧТ в ограниченной области спектра. К ним относятся, например, поверхность, покрытая сажей, небольшое отверстие в стенке замкнутой полости, конус или клин с малым углом при вершине и т.д. Это положение необходимо учитывать при диагностике, когда обнаруживаются участки поверхности электрического аппарата, отличающиеся по температуре. Коэффициент излучения зависит от состояния излучающей поверхности и степени ее окисления или вида покрытия.

Как правило, металлические шины и элементы конструкций высоковольтного оборудования окрашены, и в этом случае необходимо ориентироваться только на коэффициент излучения покрытия.

При оценке интенсивности ИК излучения большое влияние на результаты оказывает угол между оптической осью системы приемника и нормалью к излучающей поверхности. Для каждого типа реальных излучателей существует предельный угол, превышение которого приводит к существенному понижению коэффициента направленного излучения, и в принимаемом излучении поверхности доля собственного теплового излучения падает а отраженного - растет. Это обстоятельство необходимо учитывать при выборе точки расположения тепловизионных приборов, стараясь наблюдать тепловизором контролируемую поверхность под углами меньше критических. Для большинства типов материалов и покрытий таким углом можно условно считать  $60^\circ$ .





Зависимость коэффициента излучения от угла наблюдения для различных источников и материалов.

## Коэффициенты излучения материалов

Материал	Длина волн $\lambda$ , мкм	Температура поверхности $t$ , С	Коэффициент излучения $\epsilon_T$
Алюминий: фольга	3	28	0.09
фольга	10	28	0.04
окисленный	3...5	17	0.83 – 0.94
Медь: полированная	3	20	0.03
полированная	10	20	0.02
сильно окисленная	3...5	20	0.78
Железо: литое, окисленное	3...5	100	0.64
листовое ржавое	3...5	20	0.91 – 0.96
Никель: гальванич., полир.	3...5	20	0.05
Нержавеющая сталь: полированная	3...5	20	0.16
оксидированная	3...5	60	0.85
Сталь: блестящая листовая	-	25	0.82
шероховатая	-	50	0.95 – 0.98
ржавая, красная	-	20	0.69
оцинкованная	-	20	0.28
окисленная шероховатая	-	40 – 370	0.94 – 0.97
Чугун шероховатый, сильно окисленный	-	40 – 250	0.95
Кирпич обычный красный	3...5	20	0.93
Углеродная сажа	3...5	20	0.95



Пример: На термограмме, кажущаяся температура расширителя ввода фазы В отличается от соседнего (фаза А) на  $\Delta T=15\text{C}$ . Разница в температуре вызвана разным состоянием поверхности головок вводов (поверхность расширителя ввода фазы А окислена и её коэф.изл.= 0,8-0,9, а поверхность ввода фазы В не окислена и её коэф. изл. = 0,3-0,5).

## Виды тепловизионных систем

При температурах поверхности тел 500-600°C тепловое излучение становится видимым - малиновое свечение. Следовательно для наблюдения теплового излучения тел с температурой ниже 600°C тепловизионная система должна быть чувствительна в инфракрасном диапазоне (длины волн более 0,76 мкм).

Современные тепловизионные системы, как правило, работают в спектральном диапазоне дальнего ИК (8...12 мкм) и контролируют объекты с минимальной температурой до -40°C.

Тепловизионные системы делятся на **наблюдательные** и **измерительные**. **Наблюдательные тепловизионные приборы** – оптико-электронный приборы для поиска, обнаружения и распознавания объектов по их тепловому излучению. Они формируют временную последовательность **тепловых изображений** – электронных изображений (черно-белых или в условных цветах) где яркость или цвет соответствуют распределению интенсивности теплового излучения в поле зрения прибора.



Измерительные тепловизионные приборы - оптико-электронные приборы, предназначенные для бесконтактного (дистанционного) наблюдения, измерения и регистрации пространственно-временного распределения радиационной температуры объектов, находящихся в поле зрения прибора, путем формирования временной последовательности **термограмм** и определения истинной температуры поверхности объекта по известным значениям коэффициента излучения и параметров съемки (температуры радиационного фона, дистанции и т. д.).



Рис. Тепловое изображение.  
Получено в спектральном диапазоне 8...12 мкм наблюдательным прибором.

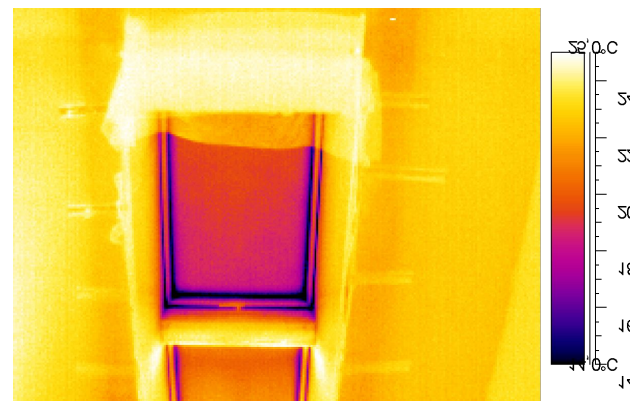


Рис. Термограмма.  
В отличие от теплового изображения имеет температурную шкалу, устанавливающую соответствие цвета температуре.

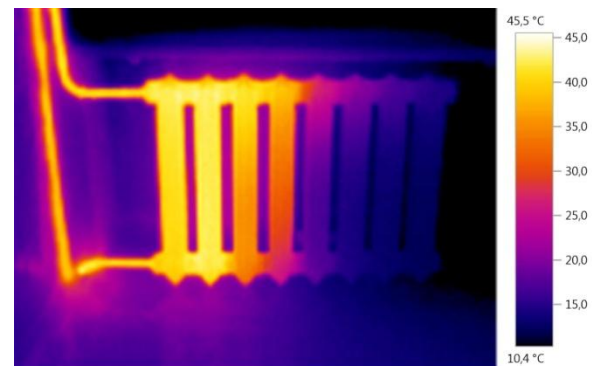
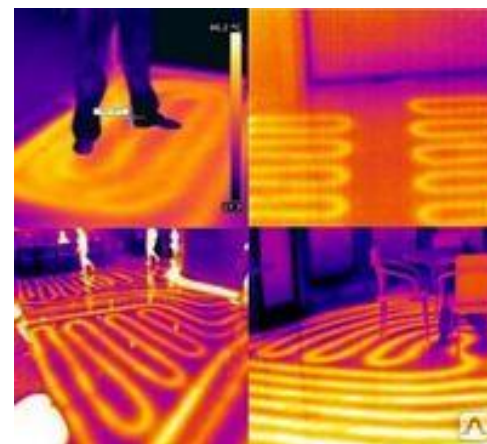


## Определение термограммы

**Термограмма** - двумерное цифровое изображение, каждому элементу которого присваивается яркость или цвет, определяемый в соответствии с условной температурной шкалой термограммы.

Для целей диагностики и контроля качества инженерно-технических объектов и сооружений, в том числе и ограждающих конструкций зданий, используются измерительные тепловизоры.

Как любые средства измерения измерительные тепловизоры для правомочного использования на территории Российской Федерации должны иметь Сертификат ГОССТАНДАРТА (теперь РОСТЕХРЕГУЛИРОВАНИЯ) России об утверждении типа средств измерений. Измерительные тепловизоры должны проходить периодическую поверку и иметь соответствующее Свидетельство о поверке. Сертификат устанавливает межповерочный интервал. Для тепловизоров, как и для пирометров – 1 год.



## Основные параметры и характеристики тепловизоров

**1. Согласно РД 34.45-51.300-97 "Объем и нормы испытаний электрооборудования" для тепловизионного контроля электрооборудования и ВЛ рекомендуется применение тепловизоров со **спектральным диапазоном 8-12 мкм**. Это связано с тем, что интенсивность ИК излучения в диапазоне волн 8-12 мкм больше, чем в диапазоне 3-5 мкм при рабочей температуре электрооборудования.**

Однако, на практике возможно использование как коротковолновых (3-5 мкм), так и длинноволновых (8-14 мкм) камер, позволяющих давать оценку температур с **разрешающей способностью не хуже 0.1 С**.

**2. Необходимо выбирать аппаратуру с подходящим диапазоном измерения температуры и погрешностью (200-500С и 0,1С при 30С)**

**3. Температурное разрешение** – определяется разностью температур, эквивалентной шуму (его среднеквадратическому значению) и является оценкой погрешности относительных измерений.

**4. Рабочий спектральный диапазон** – необходим для учета оптических свойств контролируемых материалов.

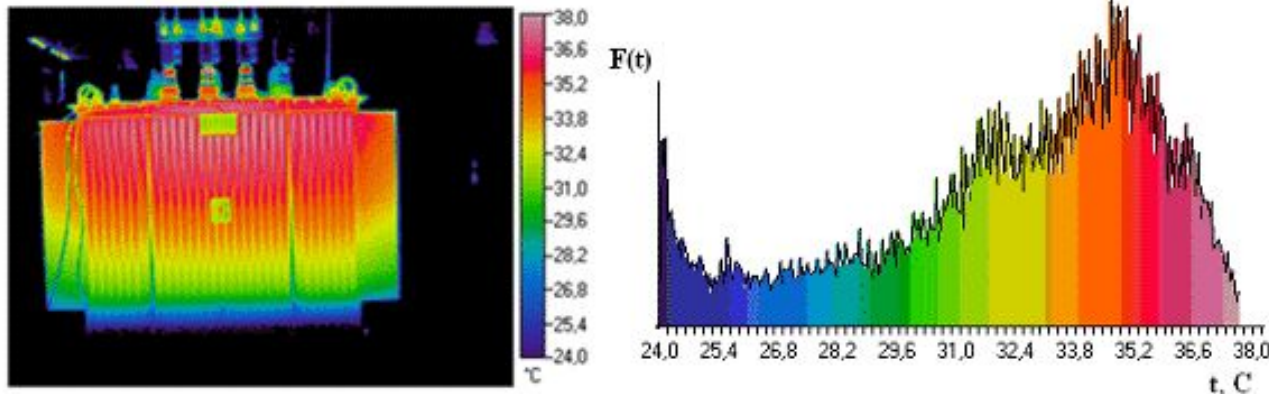
**5. Формат разложения изображения:** количество уровней яркости, количество элементов в строке, количество строк и частота кадров. Эти характеристики определяют информационную емкость термограмм, формируемых системой. А частота кадров определяет временное разрешение системы и позволяет определить - может ли камера работать "с рук" или для работы с ней потребуется штатив, а также может ли система работать с подвижного носителя (например с вертолета).

**6. Пространственное разрешение** - определяется функцией рассеяния системы и проявляется в степени "размытости" изображения, формируемого системой. Знание функции рассеяния необходимо для определения минимального углового размера объекта, температура которого может быть измерена системой с установленной погрешностью. Для тепловизионных систем функция рассеяния, как правило, определяется с помощью функции реакции на щель – зависимости степени ослабления температурного перепада в изображении щели от ширины щели.

**7. Использовании различной оптики (дополнительных объективов).**

## Основные параметры и характеристики тепловизоров

8. **Автокомпенсация.** Воздействия внешних факторов. В тепловизоре должна быть предусмотрена компенсация температуры окружающей среды, излучательной способности объекта, расстояния, с которого выполняется съёмка
9. Важна информация о **приемнике ИК** излучения термографической системы.
10. **Скорость формирования изображения.** Число изображений получаемых в секунду. Важна при регистрации высокочастотных тепловых процессов и при съёмке с автомобиля или вертолёта;
11. **Энергопотребление.** Расход энергии является основным фактором при выборе параметров батареи для работы в полевых условиях;
12. **Масса.** При работе в полевых условиях имеет большое значение и характеризует портативность системы;
13. **Специфические требования к эксплуатации** тепловизора. К ним относятся климатические факторы, вибрационные воздействия, удобства пользования при работе в любое время суток и т.п.
14. Минимальные возможности **ПО** для ведения базы данных.



# **ООО «Балтех»**

**Россия,  
Санкт-Петербург, 194044,  
ул. Чугунная, 40**

**Тел/Факс: (812) 335-00-85**

**E-mail: [info@baltech.ru](mailto:info@baltech.ru)**

**Internet: [www.baltech.ru](http://www.baltech.ru)**