

# Основы и практические аспекты использования тепловизоров **testo**

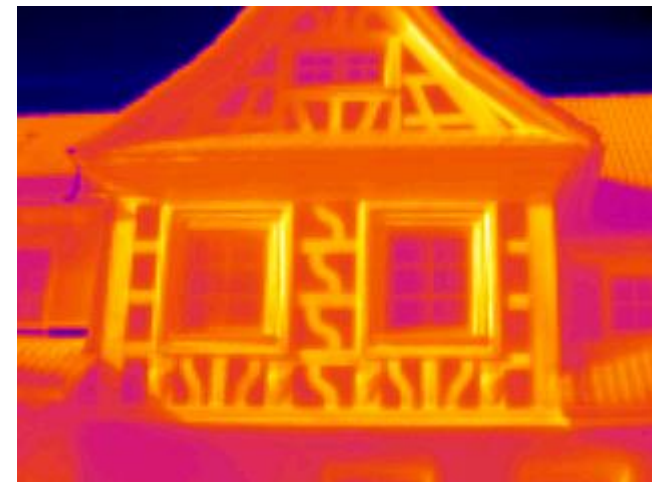
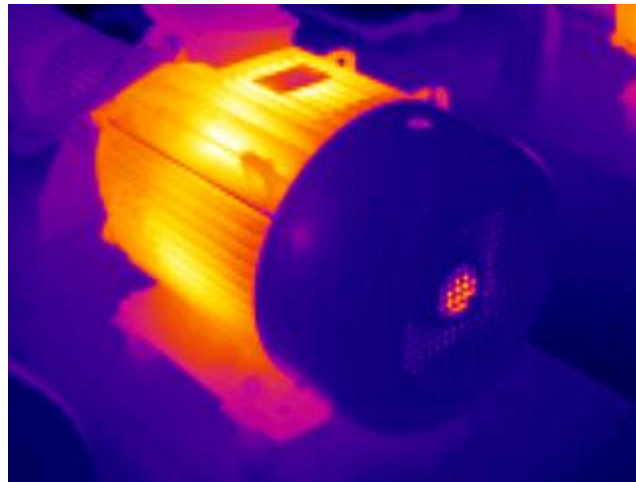
- Систематизировать имеющиеся знания в области физических основ телевизионной съемки.
- **Определиться с используемым функционалом, возможностями и областями применения тепловизора testo.**
- Систематизировать приемы использования тепловизора testo.
- **Выработать комплекс рекомендаций, позволяющий улучшить качество съемки и упростить процесс обработки изображений полученных с помощью тепловизора testo.**
- Сформулировать вопросы для упрощения дальнейшей работы с тепловизором testo.
- **Определиться при выборе тепловизора для наиболее распространенного применения**



Вы знаете, что...

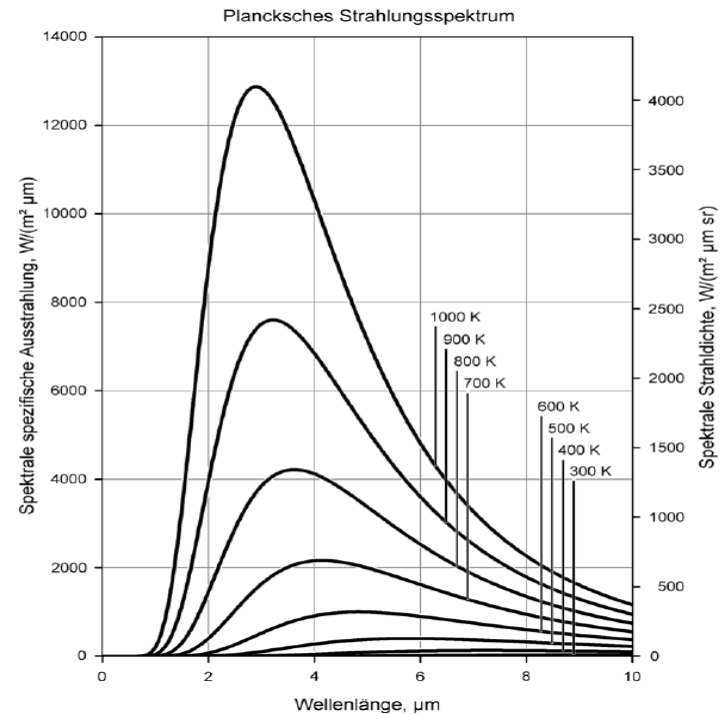
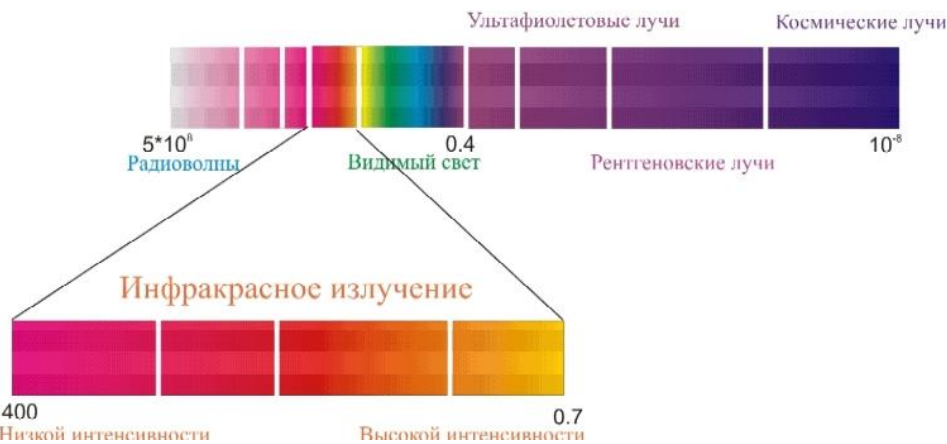
We measure it. **testo**

- каждое тело с температурой выше абсолютного нуля, испускает электромагнитное излучение.
- между температурой тела и интенсивностью исходящего от него потока инфракрасного излучения существует определенная взаимосвязь.
- тепловизор не измеряет температуру, а регистрирует инфракрасное излучение.
- тепловизионная съемка основана на законах теплового излучения



# Принципы получения ИК изображений

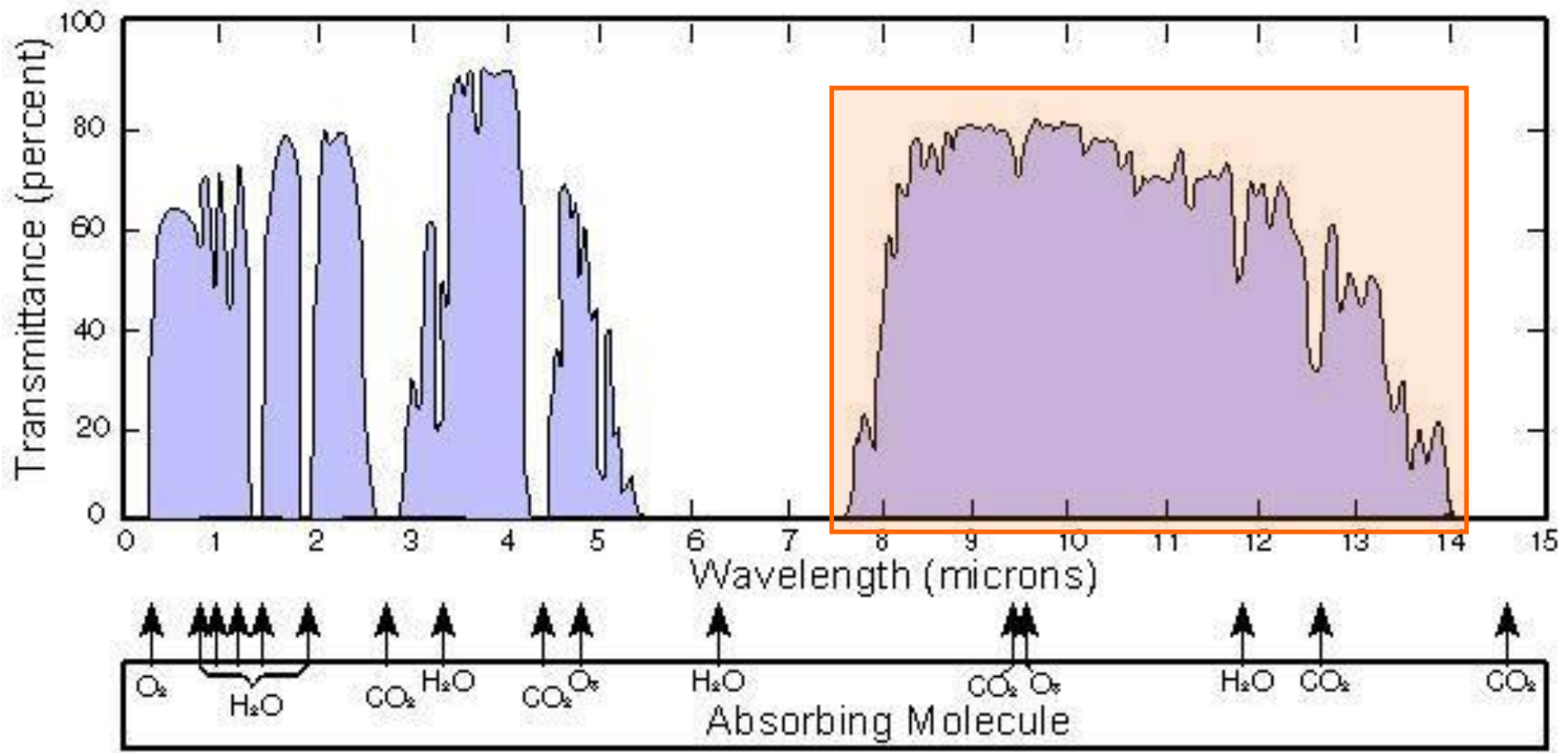
- ИК-спектр 8-14 мкм. Нет влияния воздуха между объектом и тепловизором.
- **Чем больше температура, тем больше мощность излучения**
- Чем выше температура тела, тем меньше длина волны при которой излучается максимальная тепловая энергия.



$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T}$$

**В тепловизоре происходит пересчет интенсивности излучения в температуру**

# Кривые передачи света в атмосфере

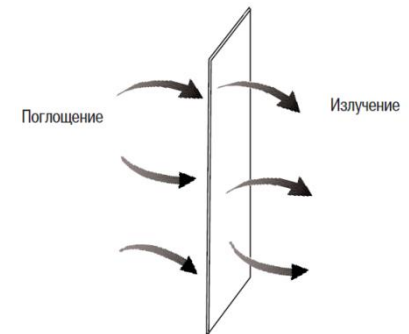


# «Основной закон» тепловизионной съемки

## Закон теплового излучения Кирхгофа

Инфракрасное излучение, регистрируемое тепловизором, состоит из:

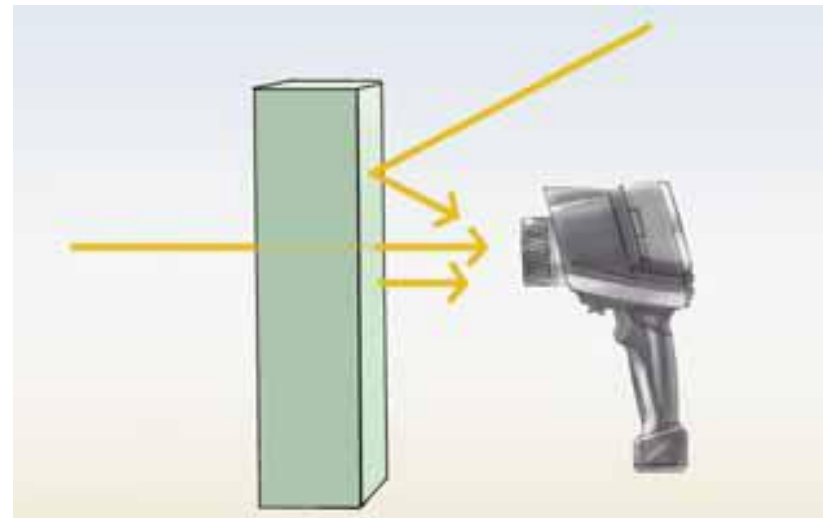
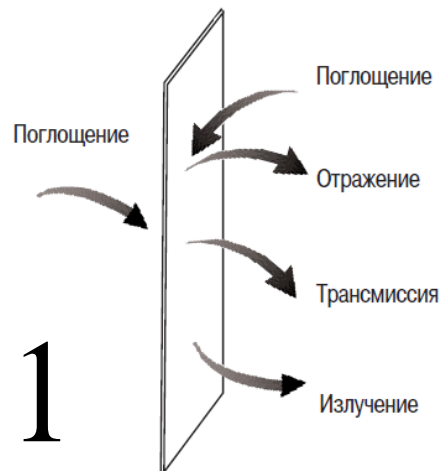
- излучения, испускаемого объектом измерения
- отраженного внешнего излучения
- пропущенного объектом измерения излучения.



$$\varepsilon + \rho + \tau = 1$$

На практике:

$$\varepsilon + \rho = 1$$



## Низкий коэффициент излучения:

- уровень отраженного инфракрасного излучения очень высок, точное измерение температуры без дополнительных мер осуществить сложно.
- необходима правильная настройка компенсации отраженной температуры (КОТ).

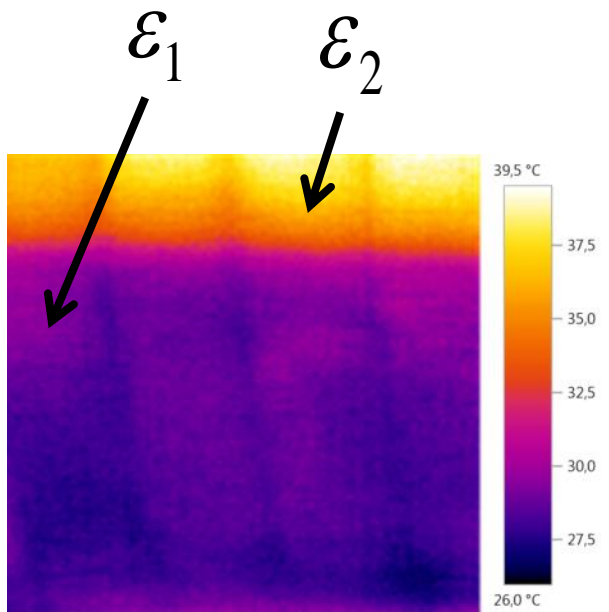
## Настройка коэффициента излучения:

Когда температура измеряемого объекта выше температуры окружающей среды:

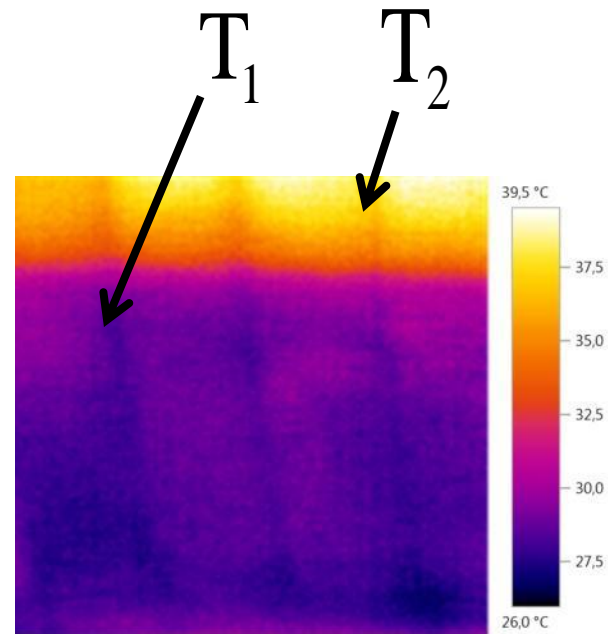
- Завышенный коэффициент излучения приведет к завышенным показаниям температуры.
- Заниженный коэффициент излучения приведет к заниженным показаниям температуры.



«Основная проблема «тепловизионной съемки»



$$T = const, \varepsilon_1 \neq \varepsilon_2$$



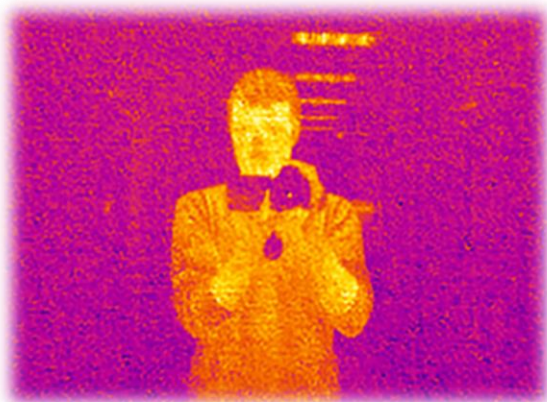
$$\varepsilon = const, T_1 \neq T_2$$

$$\varepsilon = f(x, y, \varphi, \theta, \lambda, T_{об})$$



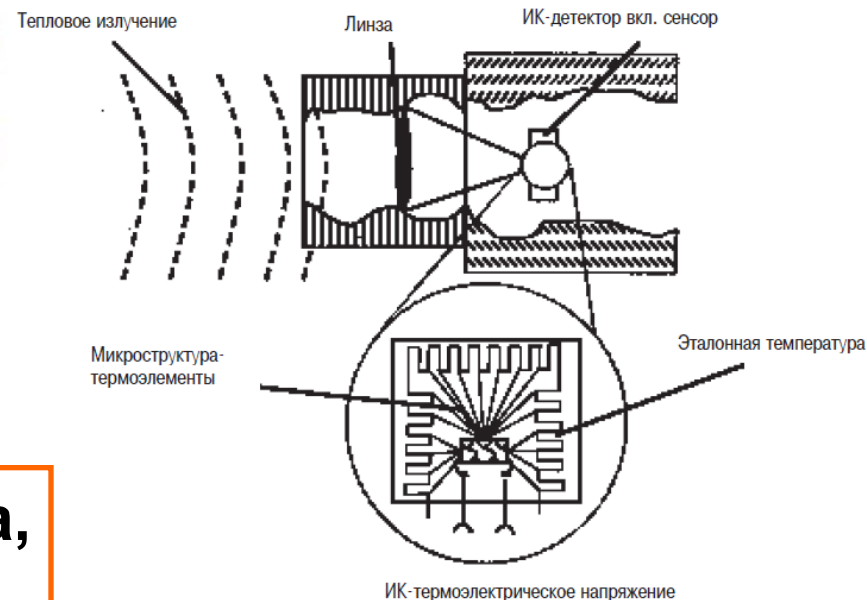
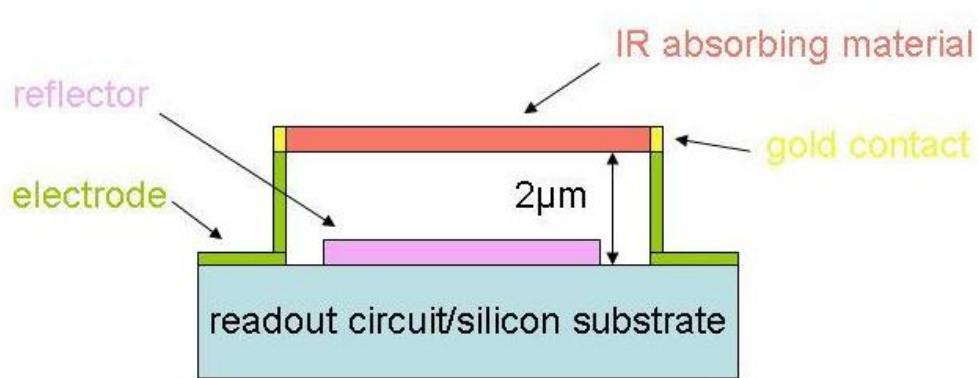
## Пример: Особенности ИК

- Для излучения в ИК-спектре справедливы все законы оптики.
- Оптические свойства материалов в ИК и видимом спектре могут быть противоположными.



- Температура, которую мы видим на термограмме, является расчетной.
- Расчет производится на основании введенных в прибор параметров (излучения, отражения, расстояния до объекта и др.)
- Коэффициенты излучения учитывается в приборе непосредственным вводом значения от 0 до 1 (доля собственного излучения в регистрируемом)
- Отражение учитывается вводом отраженной радиационной температуры (RAT)/ компенсации отраженной температуры (КОТ), величина которой влияет на поправку расчетных температур.
- Иногда есть возможность учитывать расстояние до объекта и влажность воздуха для корректировки при получении термограммы (testo 885, testo 890)

- ИК излучение с длиной волны 7.5-14 мкм попадает на детектор, детектор нагревается и изменяет свое сопротивление.
- Изменение сопротивления измеряется и переводится в значение температуры, которое используется для создания изображения.




**Важно разрешение детектора, а не экрана**

## Характеристики прибора

### Нормативная документация:

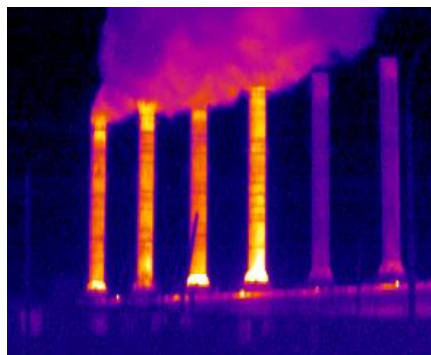
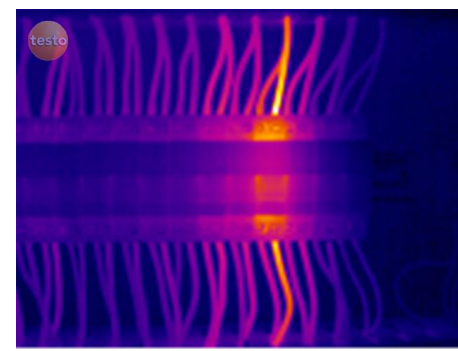
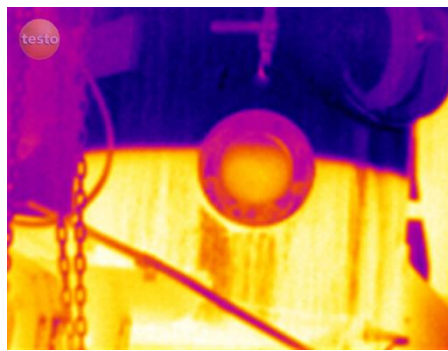
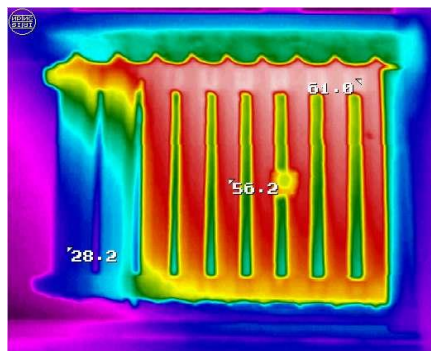
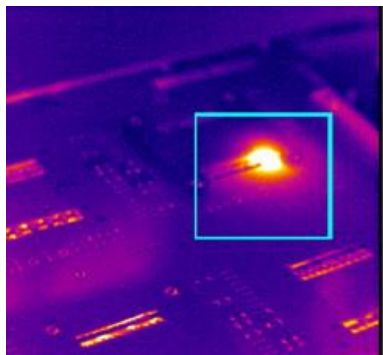
- Тепловизор с матрицей не менее 160x120
- Диапазон измерений  $-20^{\circ}\text{C} \dots +40^{\circ}\text{C}$
- Чувствительность не хуже  $0,1^{\circ}\text{C}$

	<b>testo 875-1i</b>
Размер детектора (в пикселях)	160 x 120
Температурная чувствительность (NETD)	< 50 мК
Измерительный диапазон	-20...+350°C





## Области применения и методики обследования



- **Сравнение**

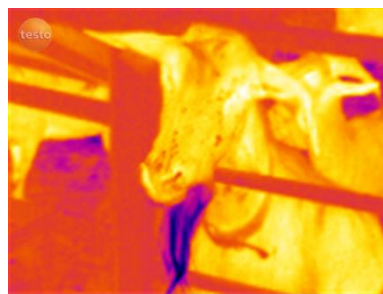
однородные объекты имеющие разную температуру

- **Опорные исследования**

Сравнение с изображением состояния взятого за эталон

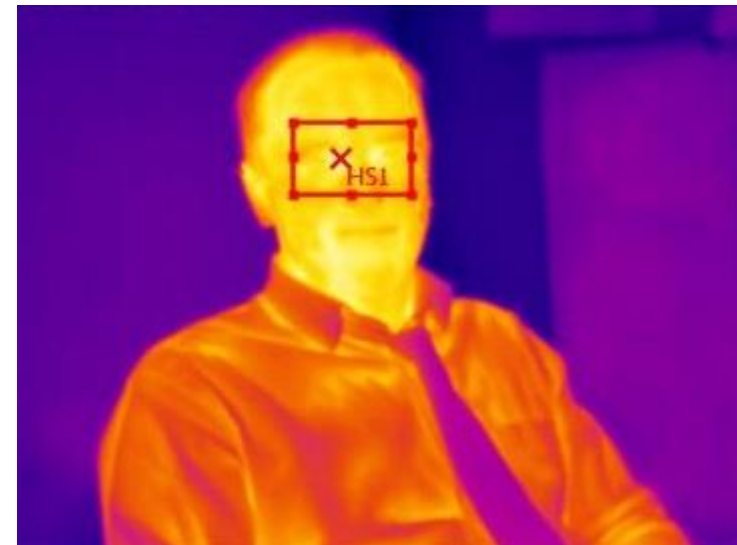
- **Тепловые тренды**

Медленное изменение температуры во времени



## Перед началом работы

- Включить тепловизор и дать ему стабилизироваться (5-10 минут)
- При необходимости выбрать в меню пункт «настройка», выполнить автокалибровку.
- Установить КИ 0,98 и комнатную температуру в настройках. (если выполняется при комнатных условиях, желательно избегать источников тепла холода при проверке)
- Выбрать меню «Измерения» -> «горячая точка» или «одноточечное измерение»
- Настроить фокус и навести прибор на «подопытного» :) с расстояния 1 метр и замерить температуру слезного канала глаза.
- Температура должна быть примерно равна 34-35 °С.



## Выбрать правильное расстояние до объекта

- **IFOV** Поле зрения тепловизора – область видимая тепловизором в границах которой происходит измерение.

Поле зрения зависит от объектива прибора.

- **Конвертор FOV**

<http://thermal-imager.ru/about/calculator/>

- **$IFOV_{meas} \approx 3 \times IFOV_{geo}$**

Для получения точных результатов измерения измеряемый объект должен быть в 2-3 раза больше наименьшего видимого объекта

### Конвертор поля зрения (FOV)

Какая у Вас модель тепловизора?

testo 875     testo 876     testo 881     testo 882

Выберите оптику

Ст. объектив 32° x 23°     Телеобъект. 9° x 7°

Расстояние до измеряемого объекта

10 метр

Наименьший измеряемый объект: ⓘ

**100 mm**

Наименьший распознаваемый объект ⓘ

**33,33 mm**

Поле зрения (FOV) ⓘ



testo 875



testo 876



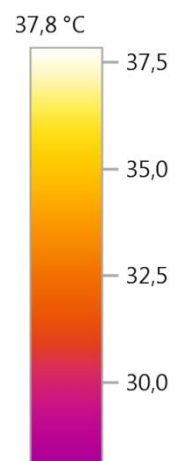
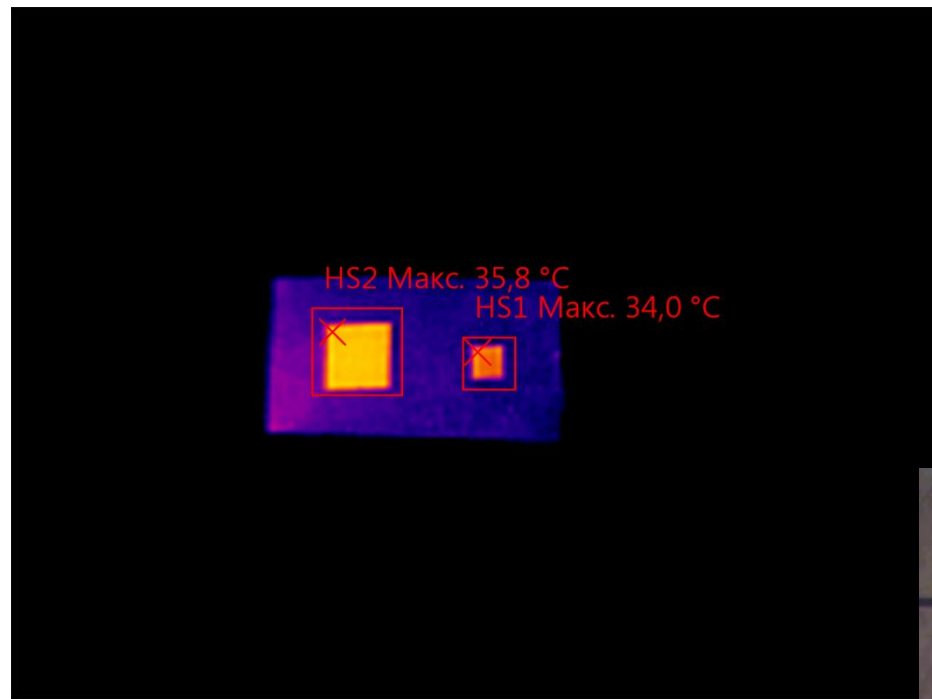
testo 881



testo 882



# Размер объекта измерения



## Правильно выбрать условия съемки

- Не проводите измерения при тумане и атмосферных осадках. А также когда влага конденсируется на тепловизоре.
- По возможности избегайте ветра и воздушных потоков около объекта измерений. При их наличии, учитывайте это при анализе снимков.
- Не проводите измерения в пыльном помещении/воздухе.
- Проводите измерения на минимальном расстоянии от объекта.
- Учитывайте влияние Вашего излучения.
- Проводите съемку с разных углов.
- Не проводите съемку рядом с горячими/холодными предметами.
- Проводите измерения рано утром/в облачную погоду, иногда – в темноте.
- Когда это возможно, используйте штатив (при съемке без Super Resolution ®)



## Технологическая карта

- Технологическая карта теплового контроля

*регламентирует технологию и параметры контроля, необходимые расчеты, анализ температурных полей и форму протокола с результатами проведенного контроля и рекомендациями*

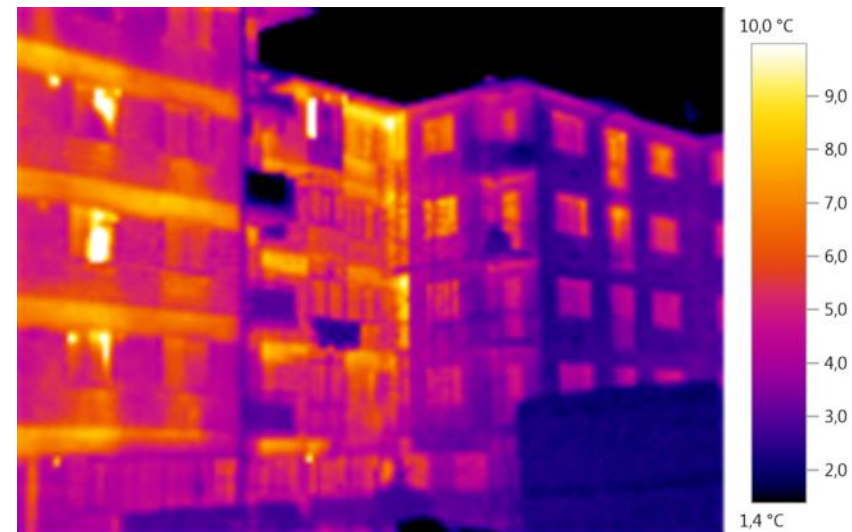
- **Условия съемки**

*осенне-зимний период, работающая система отопления, отсутствие сильного ветра и значительных осадков, отсутствие солнечной засветки в течение 12 часов до начала съемки, температурный напор не менее 10°C*

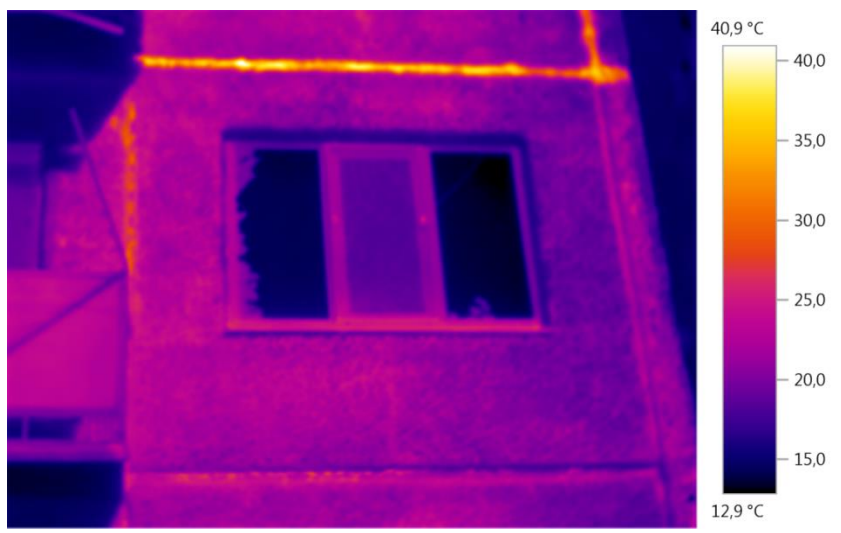
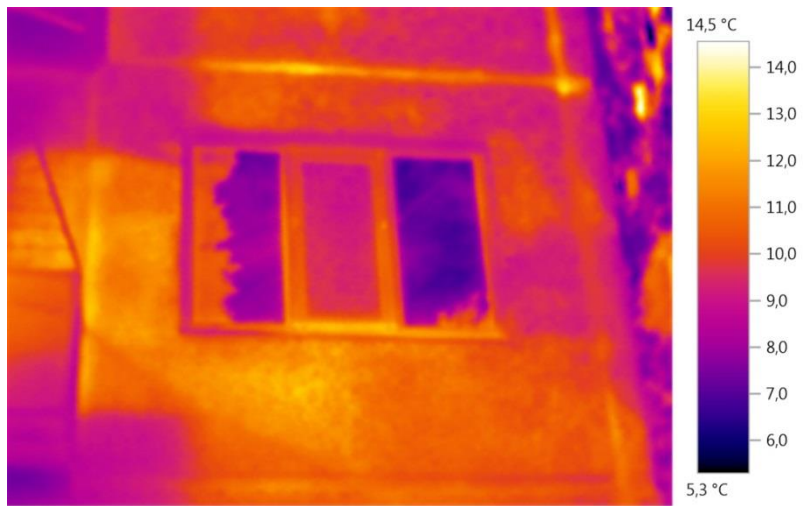
- Наружная обзорная съемка

- **Детальная съемка изнутри**

*В строго определенном порядке и направлении*



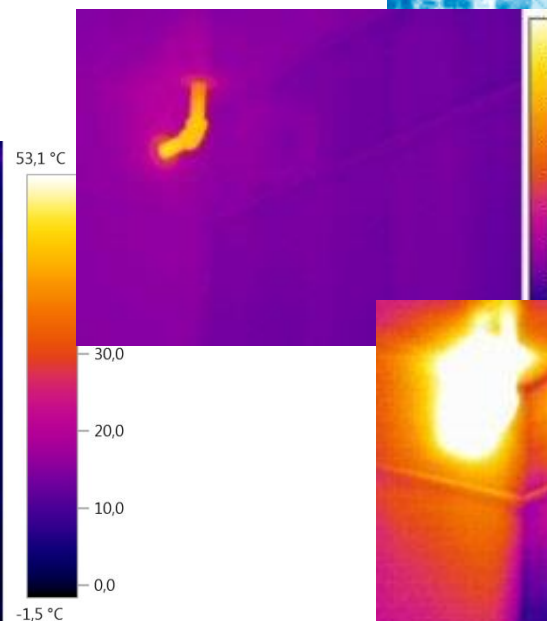
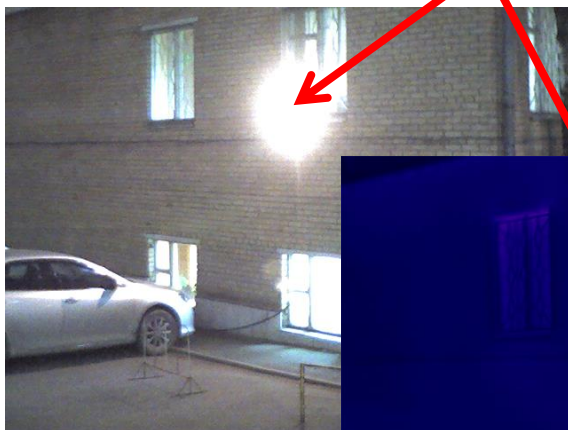
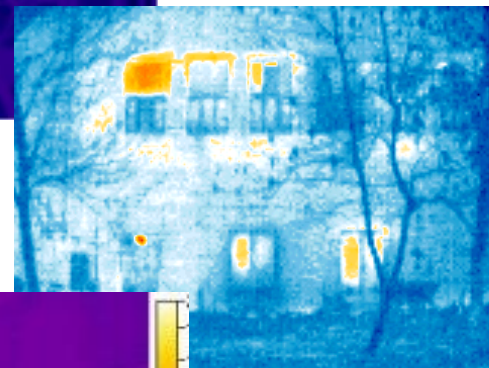
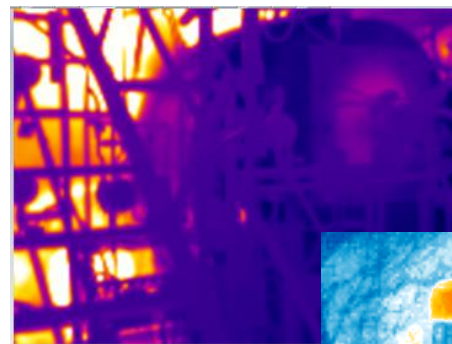
# Солнечное излучение



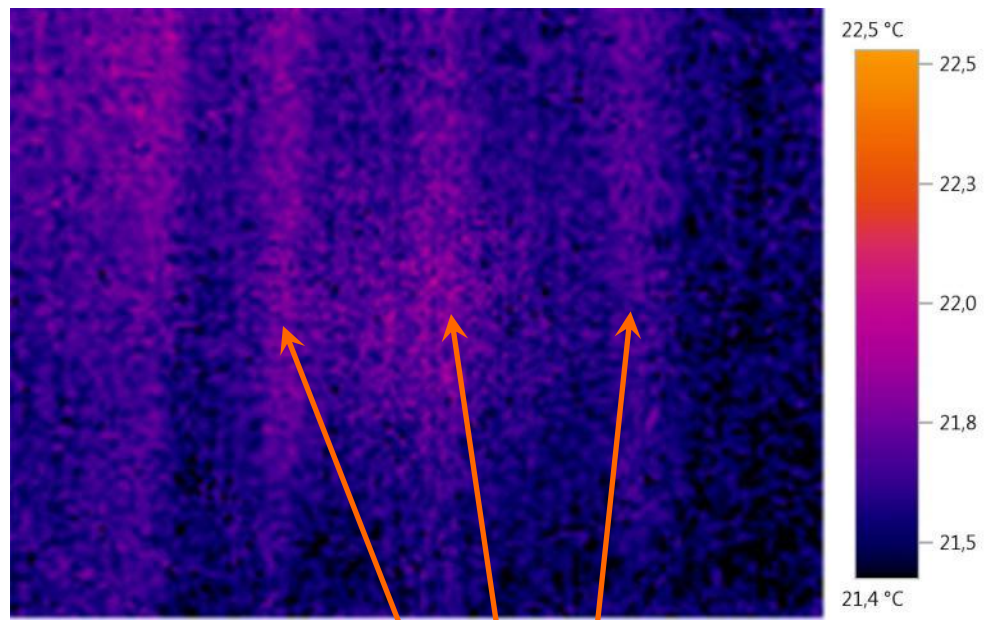


## Ошибки экспозиции

- Избегайте съемки при наличии посторонних предметов между камерой и объектом
- Следите за экспозицией
- Будьте внимательны при попадании в кадр сильно нагретых предметов (ламп, фонарей и т.п.)

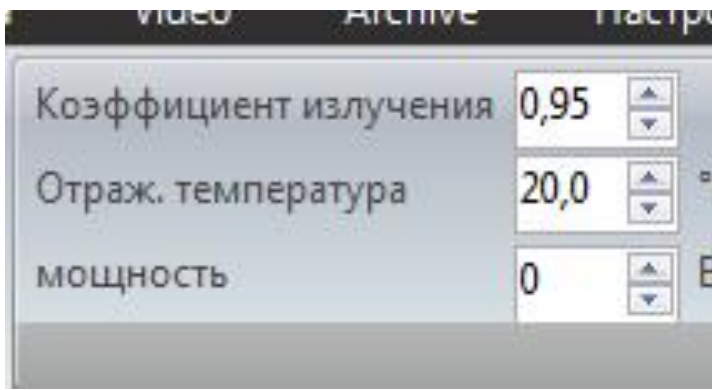
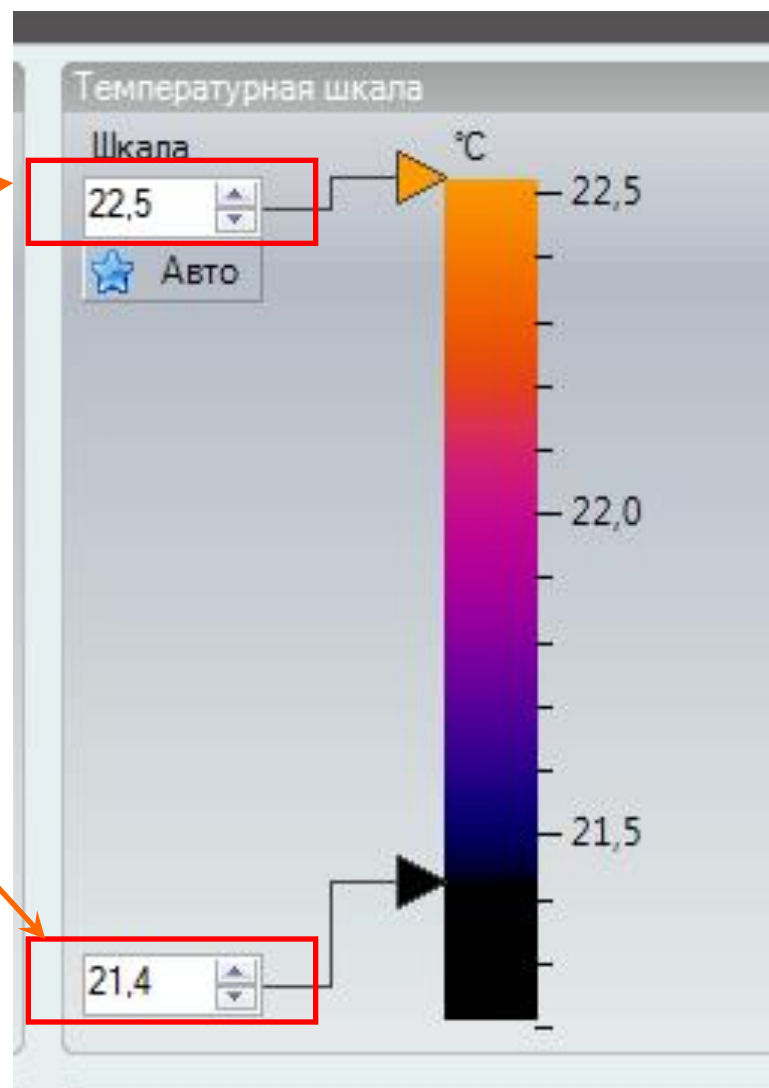
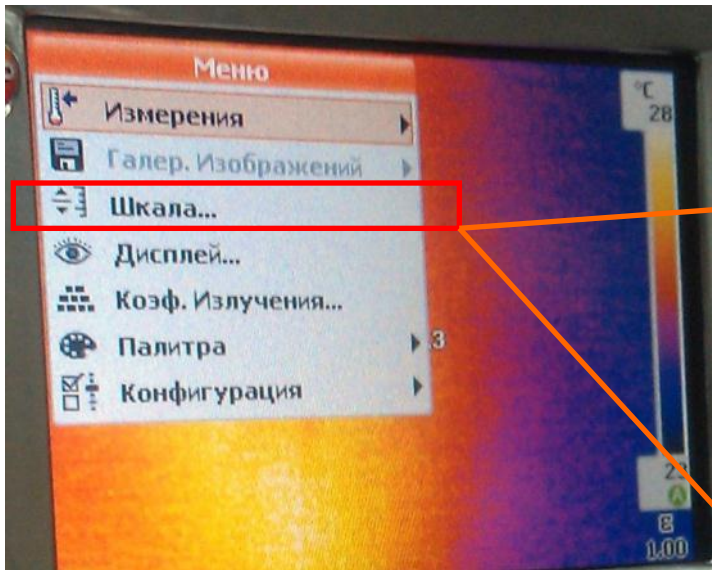


# Пример: поиск металлопрофиля за гипсокартоном



**Металлопрофиль**

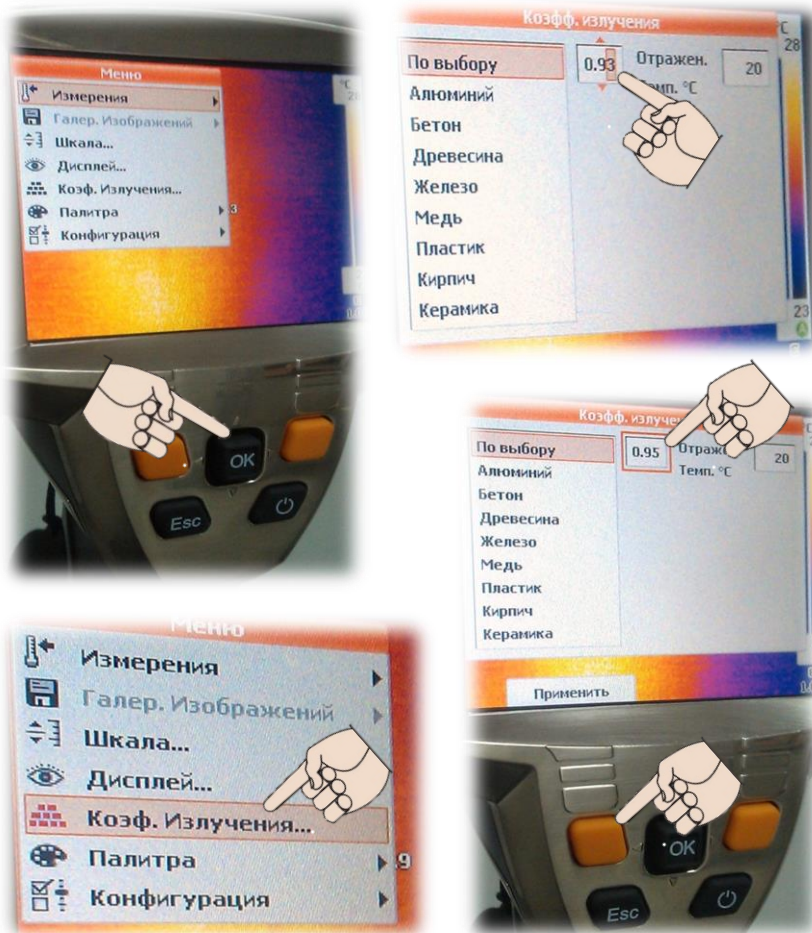
# Пример: поиск металлопрофиля за гипсокартоном





# Правильно настроить основные параметры

## ε - коэффициент излучения

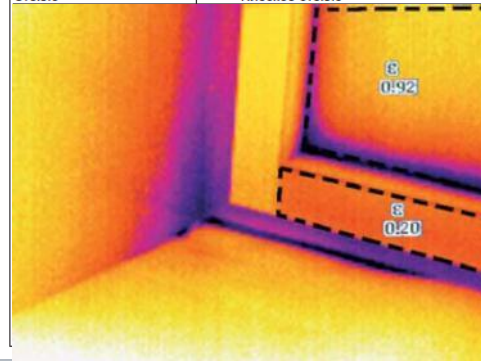


- Большинство конструкционных материалов имеют коэффициент излучения от 0,85 до 0,96.
- **Исключение составляют металлы, гладки и блестящие поверхности.**
- Коэффициент излучения для одного и того же материала может быть разным в зависимости от состояния поверхности (грязь, оксиды, влага, итд.)
- **Для первоначальных снимков используйте рекомендованные значения.**
- По возможности уточните значение коэффициента используя материал с известной излучательной способностью.
- Для сложных участков используйте ПО

# Определение коэффициента излучения

- Справочные таблицы (наиболее простой и наименее точный)
- Измерение температуры объекта контактным термометром
- Нанесение на поверхность покрытий (краска, пленка, изоленга (0,95) или нанести материал с заведомо известной излучательной способностью)
- Анализ изображения и подбор коэффициента излучения для отдельных участков в IR Soft

Неметаллы			
Материал	Тип/Качество/Элемент	Температура(°C)	ε
Алюминиевая краска	Алюминиевая краска	40	0.27–0.67
	10 % ал.	40	0.52
	26 % ал.	40	0.30
Асбест	Асфальт, слой износа	20	0.93
	Асфальт, толь	20	0.72
	- ткань	93	0.90
	- картон	38–370	0.93
	- плиты	40	0.96
	- цемент	0–200	0.96
Базальт	Базальт	20	0.72
Хлопчатобумажная ткань	Хлопчатобумажная ткань	20	0.77
Оксид свинца	Оксид свинца	100	0.93
Бронзовая краска	Бронзовая краска	низкая	0.84–0.80
Лед	Гладкий	0	0.97
	Неровный	0	0.98
Почва	Обычная	40	0.38
	Темная, суглинистая	20	0.66
	Пашня	20	0.38
Краски	Голубая, Si 203	25	0.94
	Черная, SiO	25	0.96
	Зеленая, Si 203	25	0.92
	Красная, Fe 203	25	0.91
	Белая, Al 203	25	0.94
Гипс	Гипс	20	0.80–0.90
Стекло	Плоское стекло	0–90	0.92–0.94
		100	0.80
		500	0.76
		100	0.82
		20	0.45
		25	0.94
		25	0.86
		низкая	0.80–0.90
		70	0.94
		40	0.91
		40	0.89
		40–260	0.90–0.92
40	0.95		



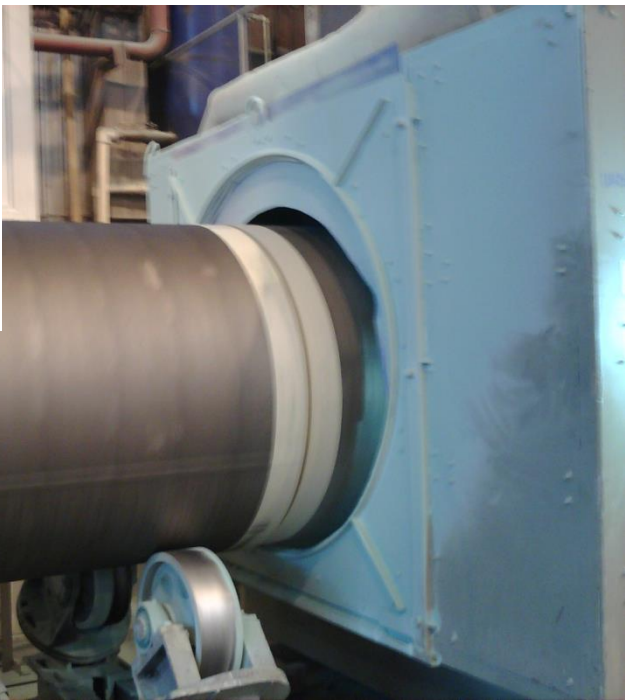
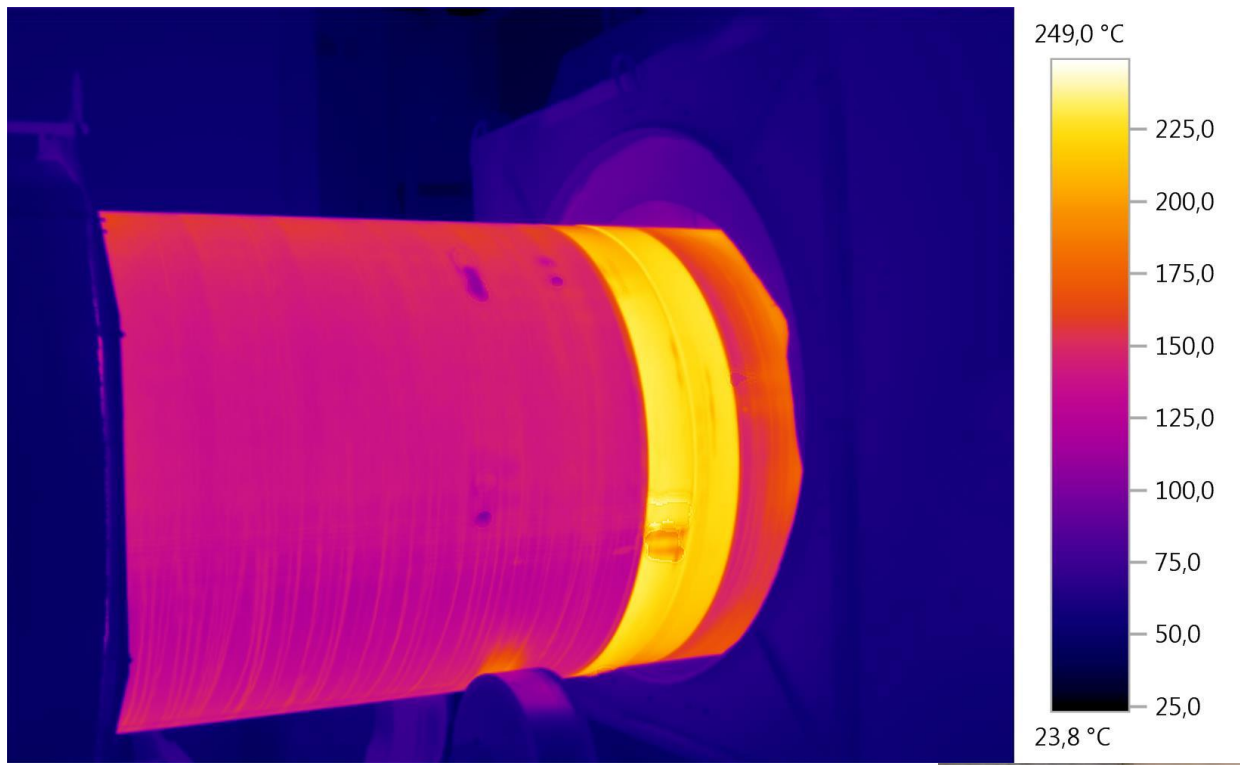
## Определение коэфф-та излучения

- Если излучательная способность объекта неизвестна, то ее можно определить с помощью следующего метода:
  1. Образец материала нагревается до определенной температуры, как-либо точно измеренной. (не менее чем на 20° выше температуры окр. среды)
  2. Температура поверхности образца измеряется ИК методом. Значение излучательной способности подбирается до тех пор, пока индикатор прибора не покажет известную температуру образца.
  3. Найденное значение излучательной способности фиксируется и используется для дальнейших измерений температуры этого материала.

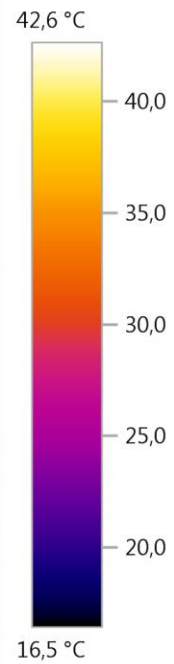
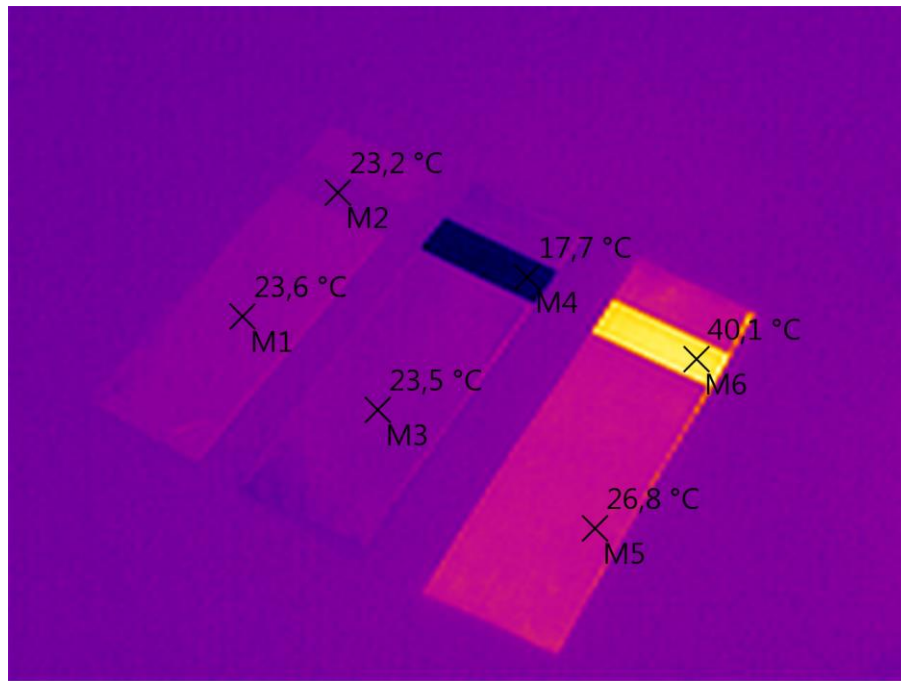




# Нанесение покрытия



# Погрешности измерения при ошибочном КИ



**Температура может быть как завышена, так и занижена (в зависимости от КОТ)**

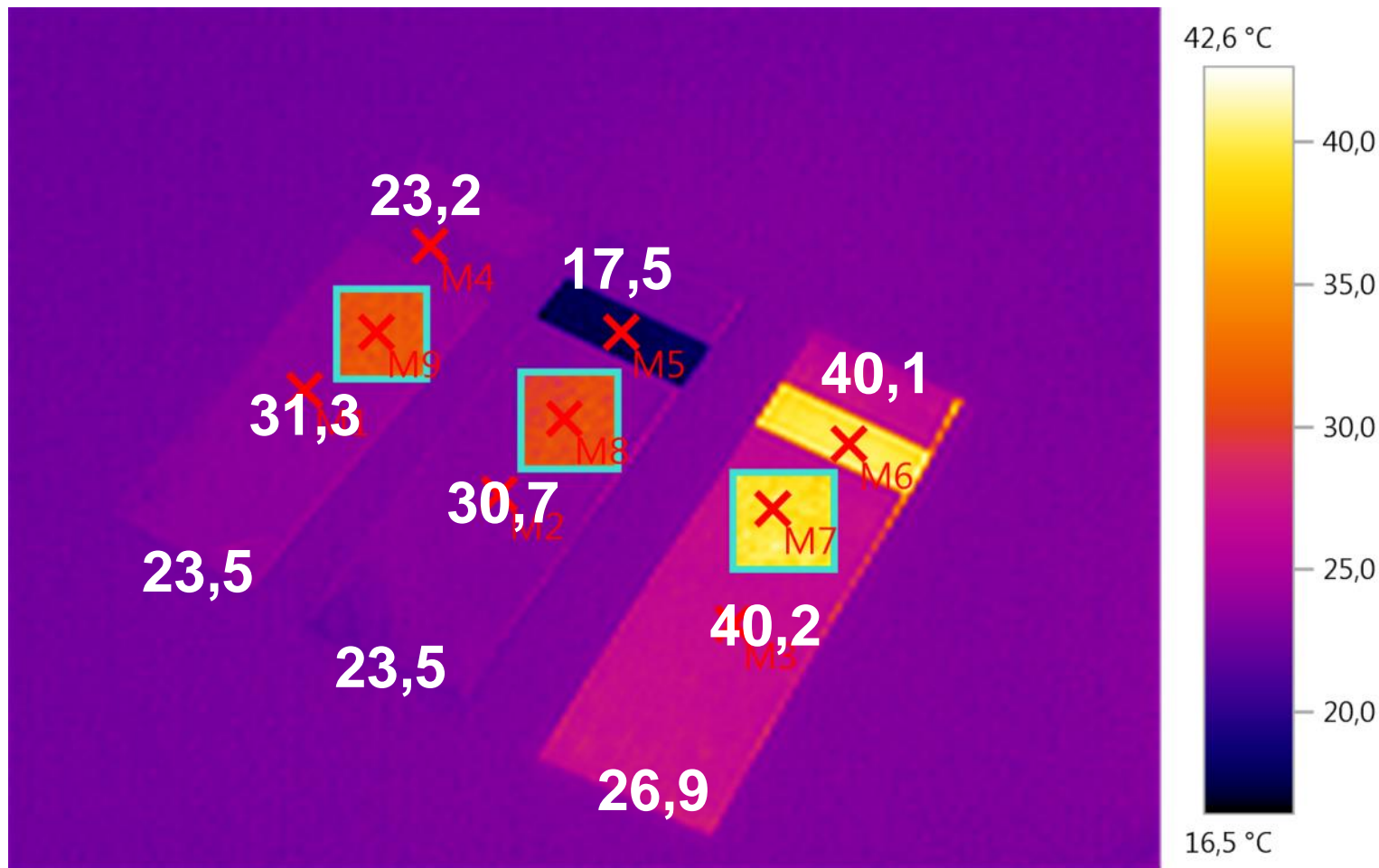
**Погрешность до 70%**

$\Delta T$ [°C]	Расчет
0,44	M1 - M2
5,80	M3 - M4
13,25	M6 - M5

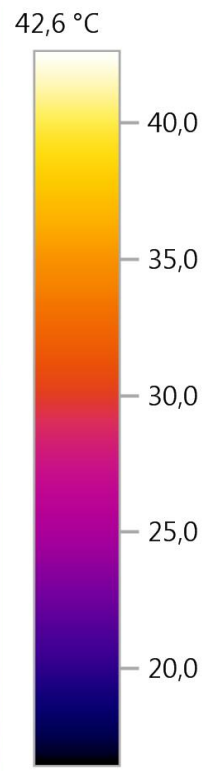
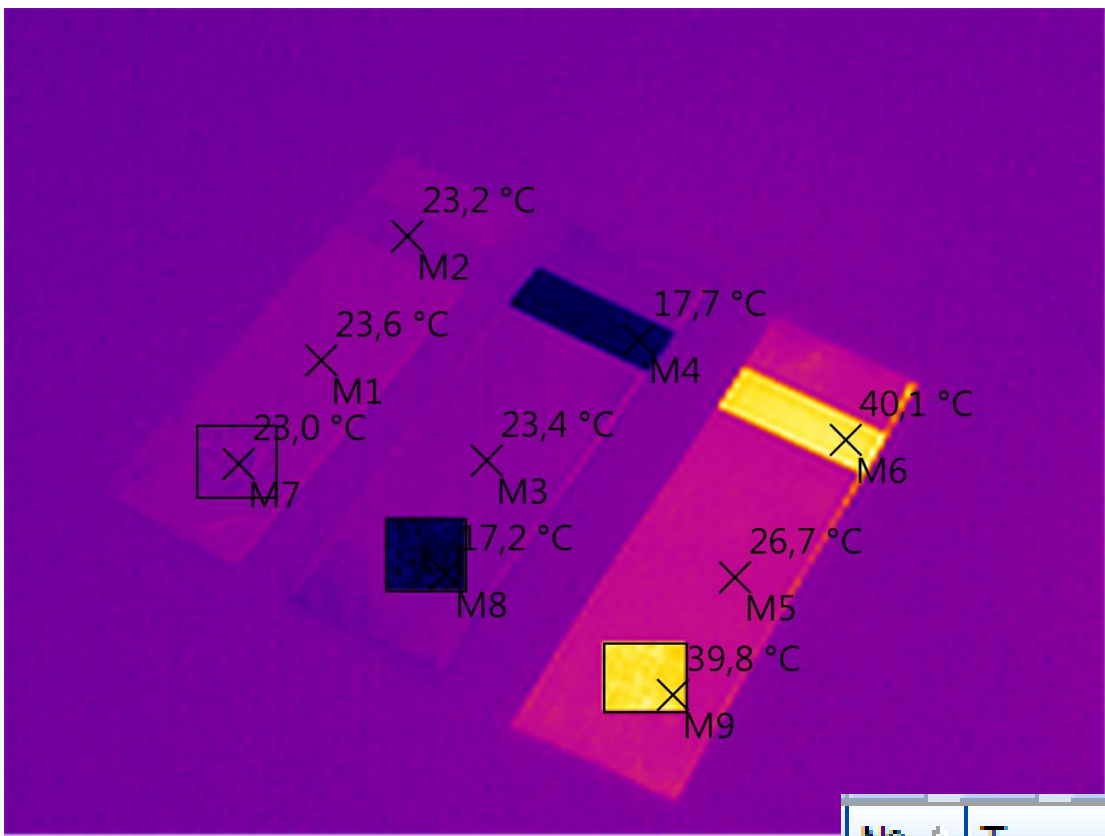
№:	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°]
M1	23,6	0,95	20,0
M2	23,2	0,95	20,0
M3	23,5	0,95	20,0
M4	17,7	0,95	20,0
M5	26,8	0,95	20,0
M6	40,1	0,95	20,0



# Проблема определения коэффициента излучения



Если температура объекта с низким КИ ниже Токр, то для корректировки температуры на термограмме нужно настраивать КОТ.



№ Δ	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°]
A1	-	0,32	20,0
A2	-	0,32	25,7
A3	-	0,32	23,5



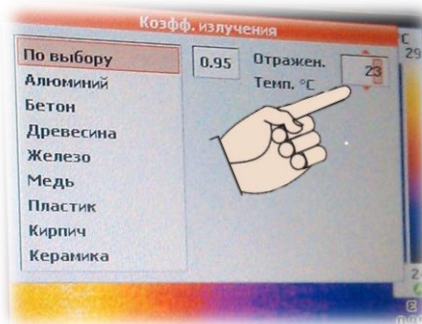
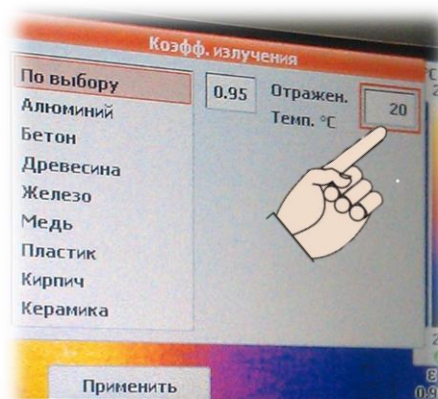
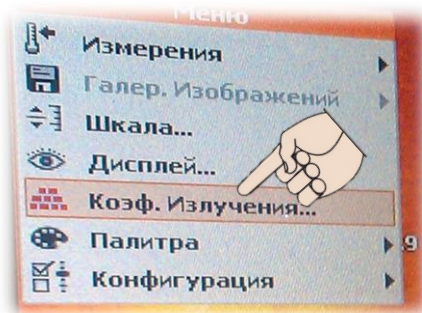
## Ограничения

- - рекомендуется проводить бесконтактные измерения температуры при значении коэффициента теплового излучения более 0.7;
- - при значении коэффициента теплового излучения в пределах от 0.3 до 0.7 проводить бесконтактные измерения температуры допускается, но не рекомендуется;
- - при значении коэффициента теплового излучения менее 0.3 результаты не могут быть признаны достоверными из-за того, что уровень сигнала от объекта очень слабый и от поверхности отражается много паразитного излучения.
- Коэффициент излучения зависит и от угла, под которым измеряется температура объекта. Так для воды при визировании перпендикулярно поверхности коэффициент излучения составит 0.98, то при уменьшении угла скольжения до  $10^\circ$  значение коэффициента излучения упадет до 0.01, то есть в 98 раз.

# Пример: межпанельные швы



## КОТ - компенсация отраженной температуры



- При отсутствии источников излучения (холодного или теплого) равна окружающей температуре в градусах Цельсия
- Может быть измерена воздушным термометром в непосредственной близости от измеряемого объекта.
- При наличии «рассеянного небесного излучения» КОТ можно принять равной  $-55^{\circ}\text{C}$
- Для качественной съемки необходимо удалить все источники излучения или минимизировать их влияние.
- Ambient temperature compensation is important where targets are cooler than the surrounding environment

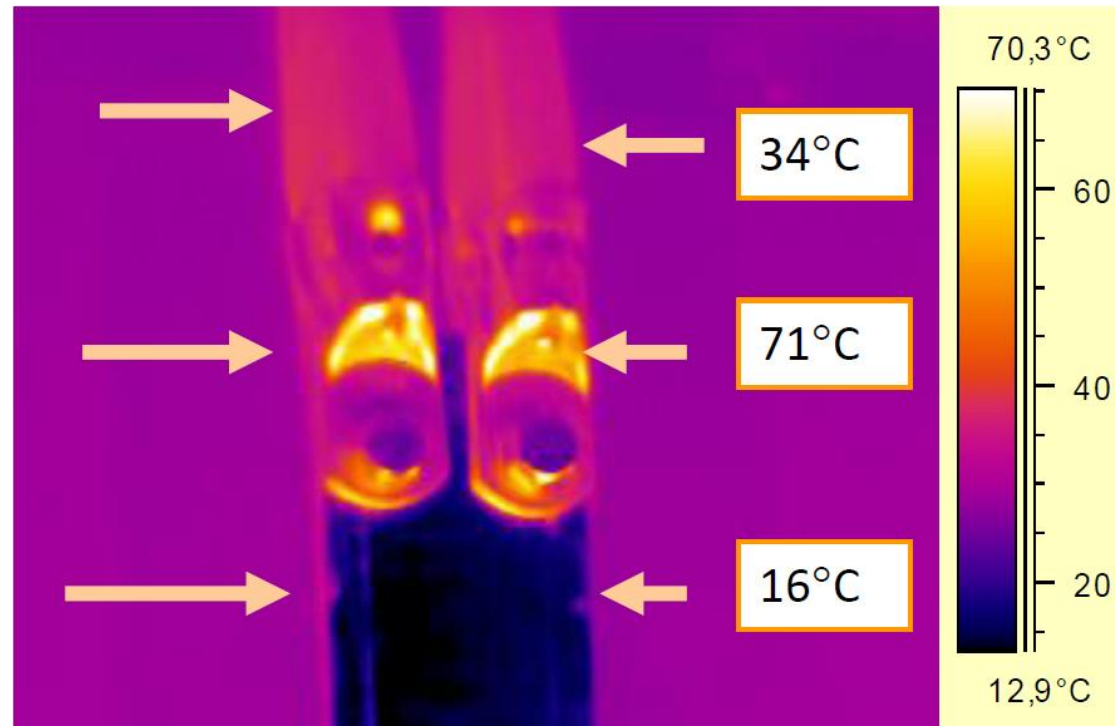
## Отраженная и видимая температура

Видимая температура:

Кабель: высокий коэффициент излучения показывает истинную температуру

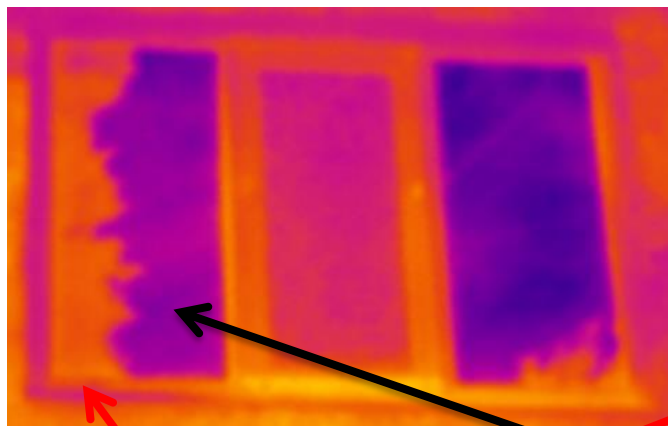
Кабельный наконечник: низкий коэф. излучения. Отражение от горячего трансформатора.

Металлическая шина: Низкий коэф.излучения. Отражение от холодной стены за спиной термографа.





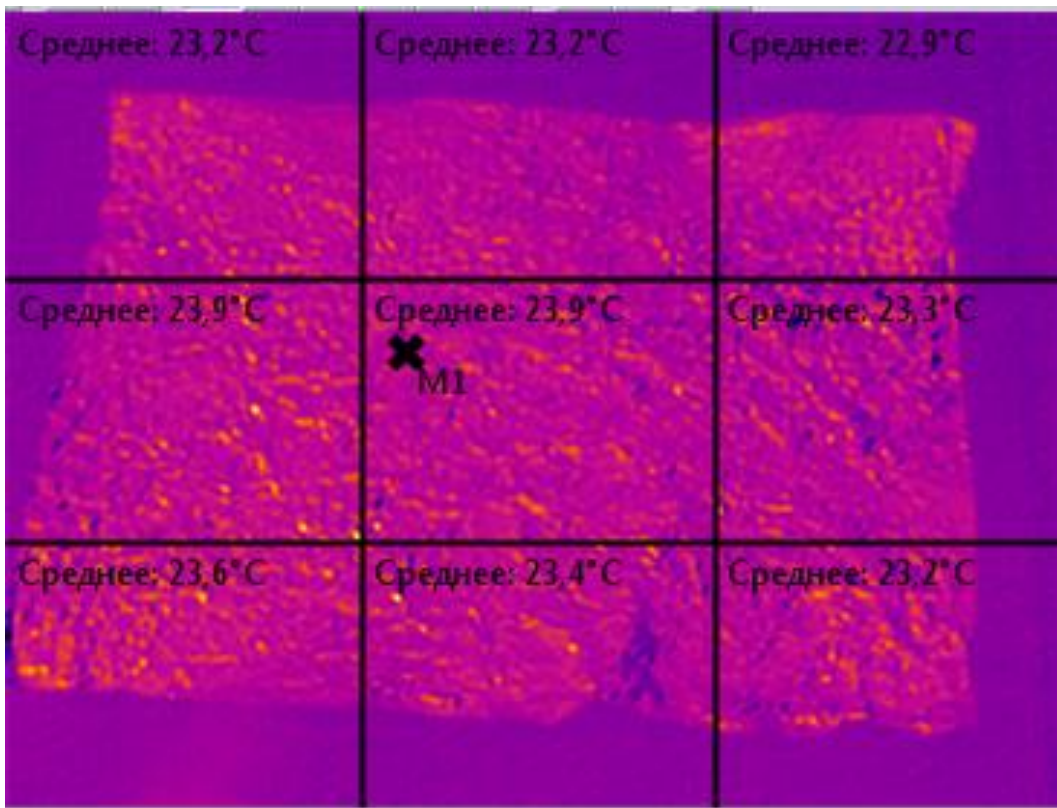
# Отражения



• Отражения дерева

• Отражения неба

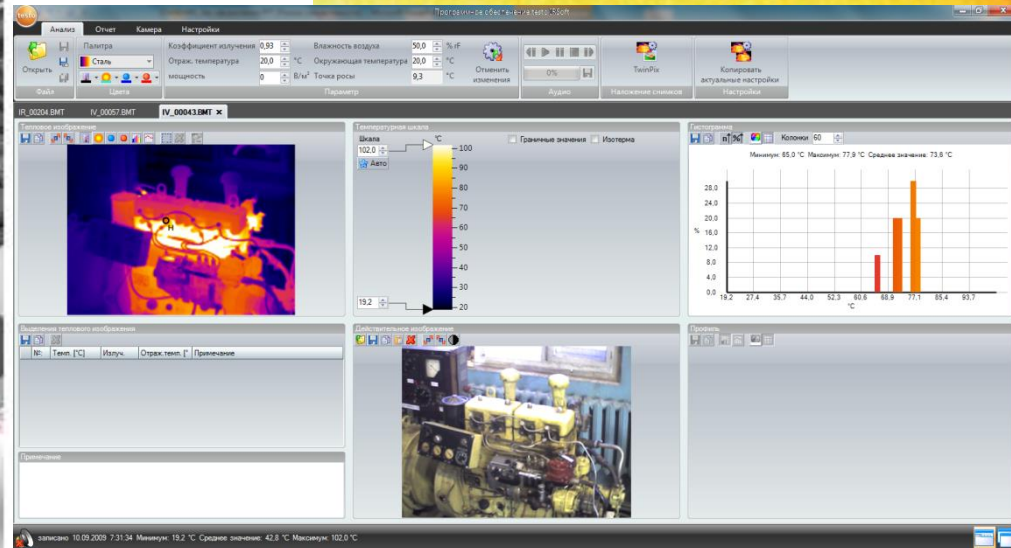
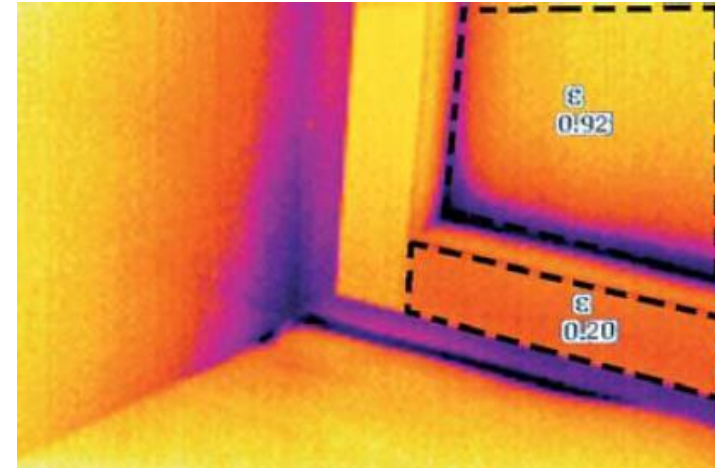
# Определение отраженной температуры



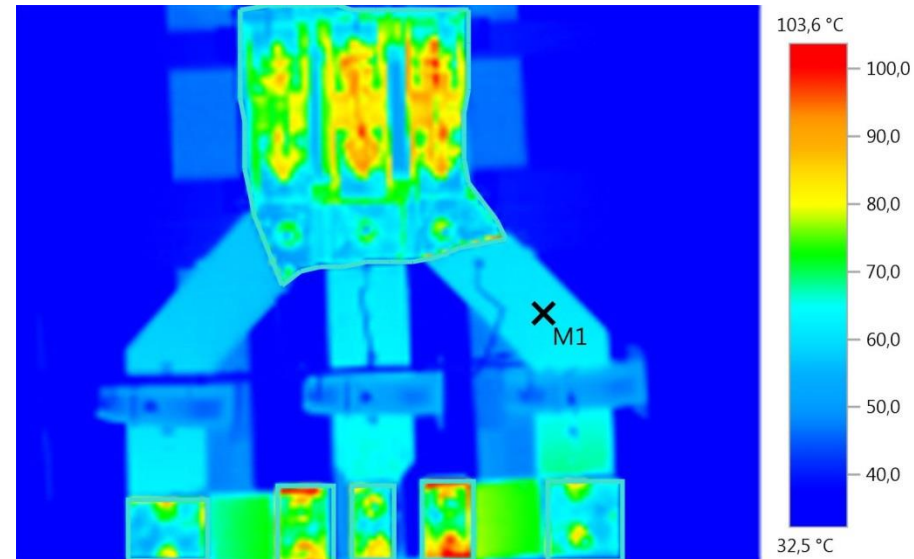
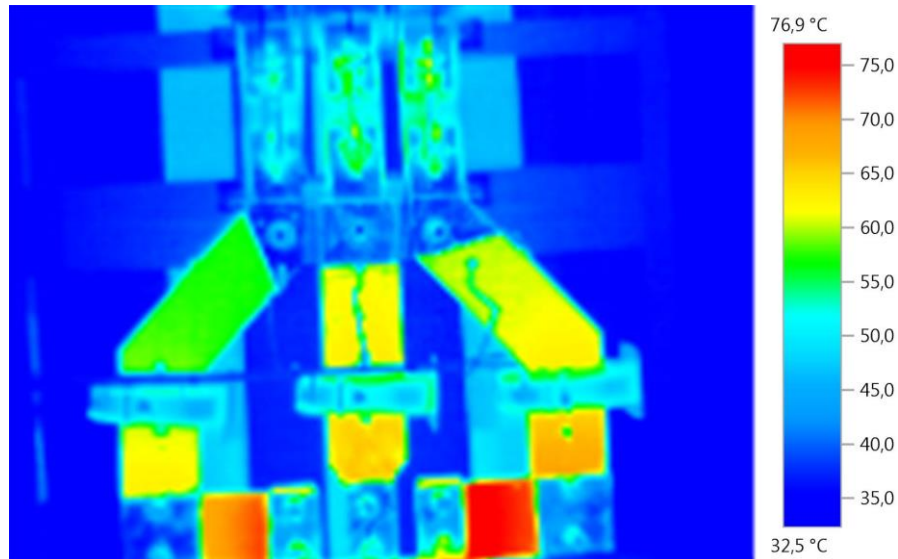
№:	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°C]
M1	23,7	1,00	20,0

# Правильно обработать и интерпретировать изображение

- **IR soft** с функцией наложения реального и инфракрасного снимков **TwinPix** и поддерживающий **Super Resolution**



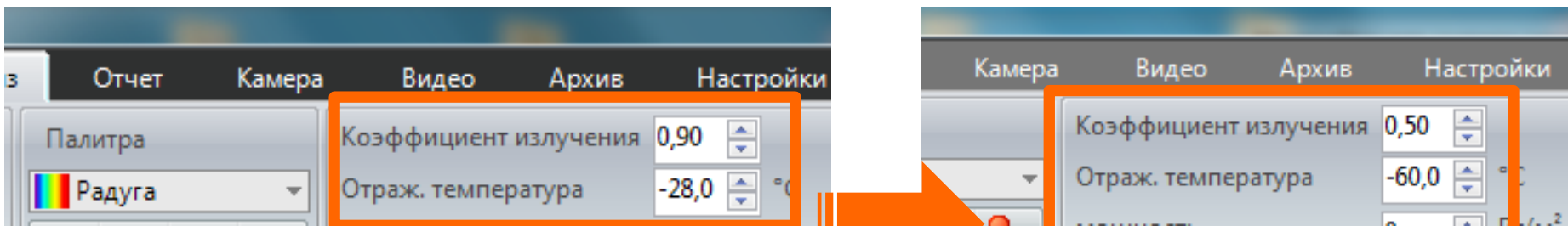




- Более понятная визуализация объекта
- Обнаружение дефектов скрытых низкой излучательной способностью

## Пример: Настройка тепловизора для съемки в холодных условиях

We measure it. **testo**

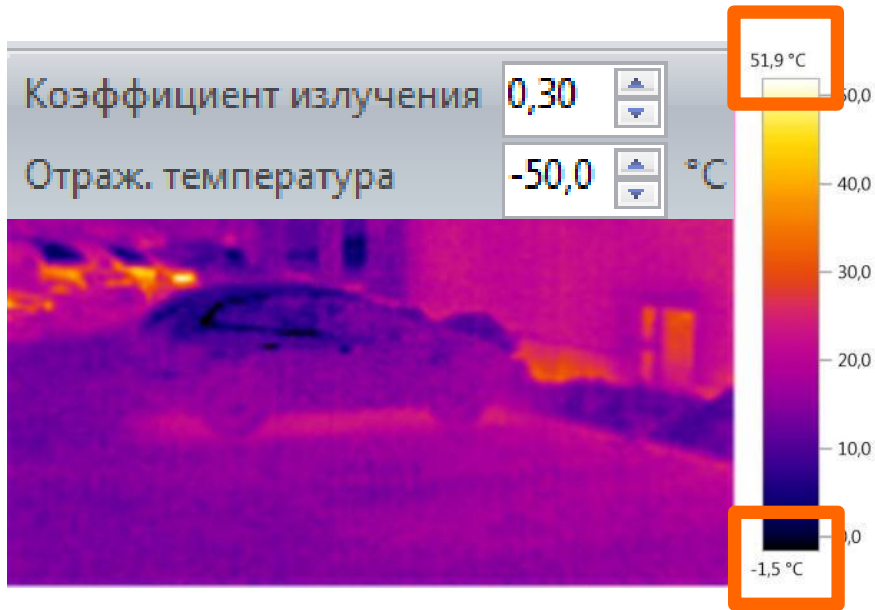


- 50% принятого тепловизором излучения – «собственное» излучение объекта (температура  $-28^{\circ}\text{C}$ )
- 50% - принятого тепловизором излучения - «отраженное» от окружающих объектов с температурой ниже реальной, (например  $-60^{\circ}\text{C}$ )
- Тепловизор «вычитает» составляющую отражения с заниженной температурой из общего регистрируемого излучения
- «Видимая» температура завышается и попадает в измерительный диапазон

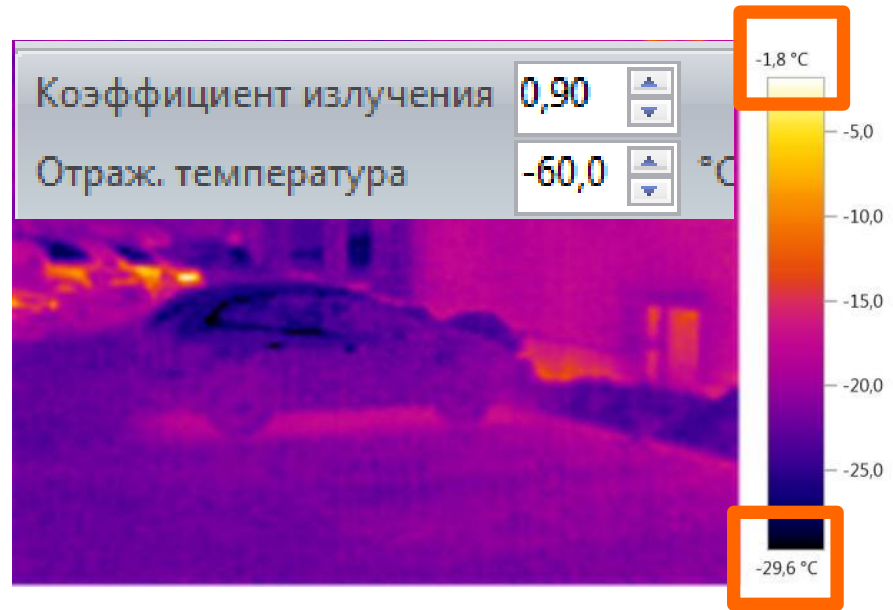
- Полученные значения температуры не имеют ничего общего с реальными значениями температуры объекта!
- Требуется дополнительная корректировка в ПО!

# Пример: Настройка тепловизора для съемки в холодных условиях

- Настройка тепловизора



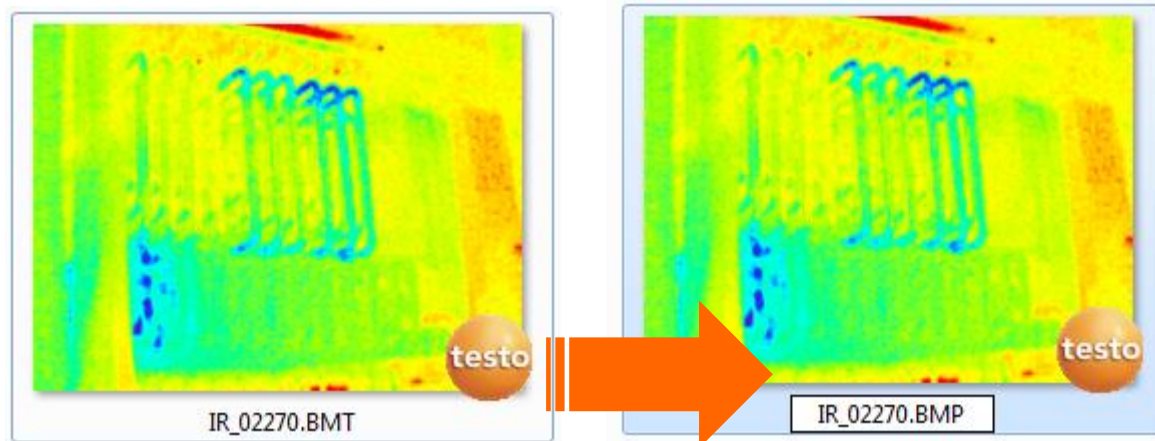
- Корректировка в ПО



- Корректировка коэффициента излучения и отраженной температуры в ПО дают возможность приблизить значения температур на термограмме к реальным.
- **Установка таких значений в приборе привела бы к выходу за измерительный диапазон**

## Пример: Настройка тепловизора для съемки в холодных условиях

We measure it. **testo**

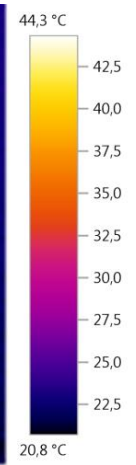
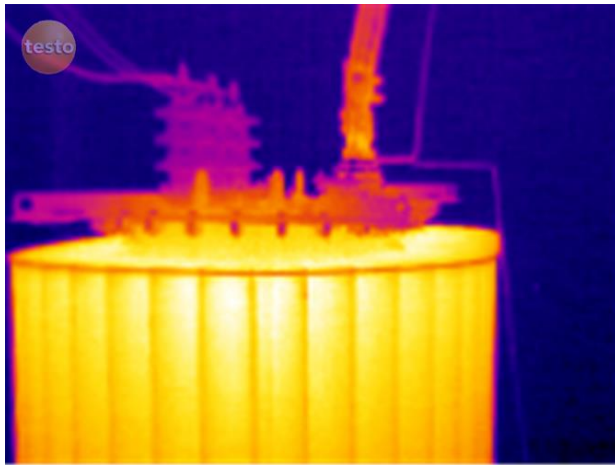


- Изменение расширения «испорченного» снимка на \*.bmp или \*.jpg позволяет также получить картинку термограммы, но без возможности обработки в IRSoft

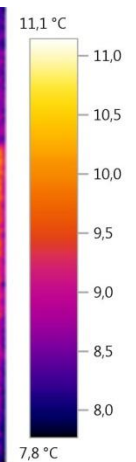
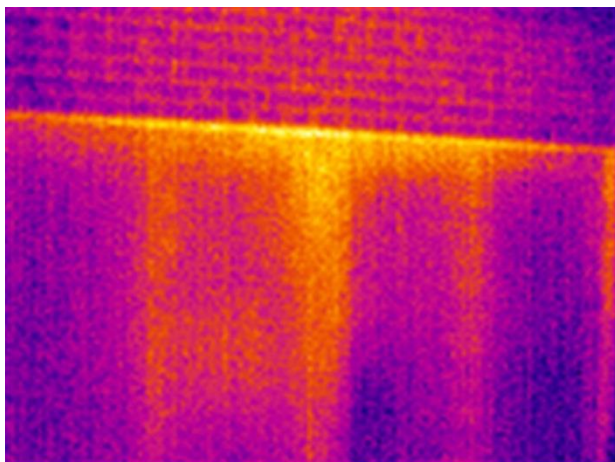
- **Изменение отраженной температуры при установленных коэффициентах излучения более 0,7 – не дает заметного эффекта**
- Изменение только отраженной температуры или только коэффициента излучения – не дает заметного эффекта
- **Необходим одновременный подбор пары значений: коэффициента излучения и отраженной температуры**



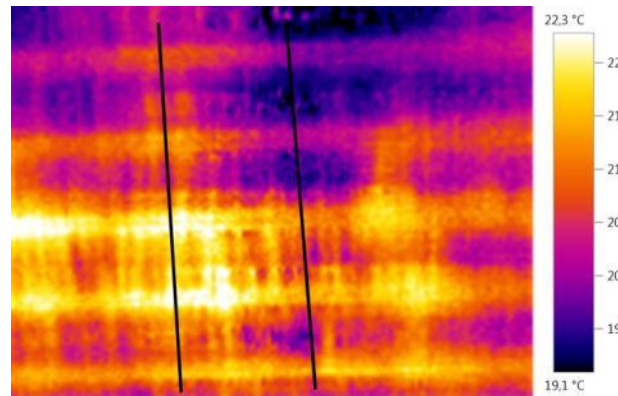
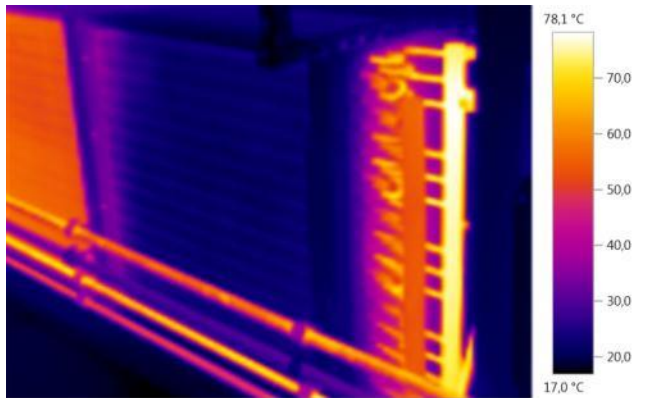
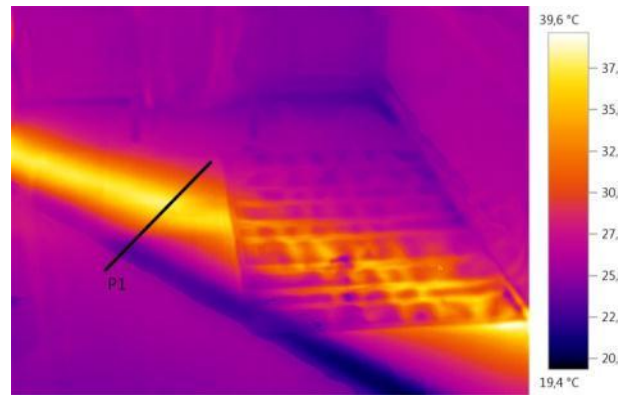
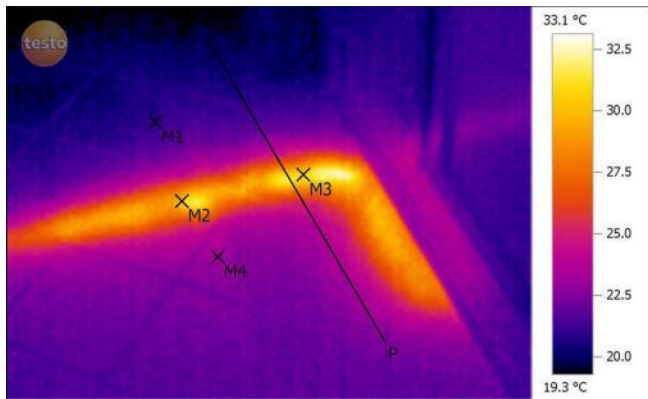
# Примеры «простых» объектов



- Однородное покрытие с одинаковой излучающей способностью
- Ярко выраженные теплые/холодные участки
- Высокая теплопроводность материала



## Примеры «простых» объектов

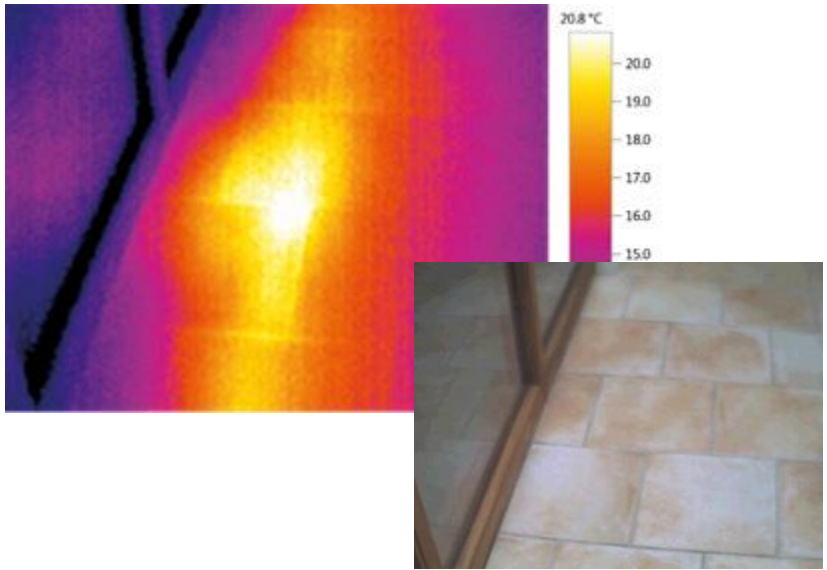
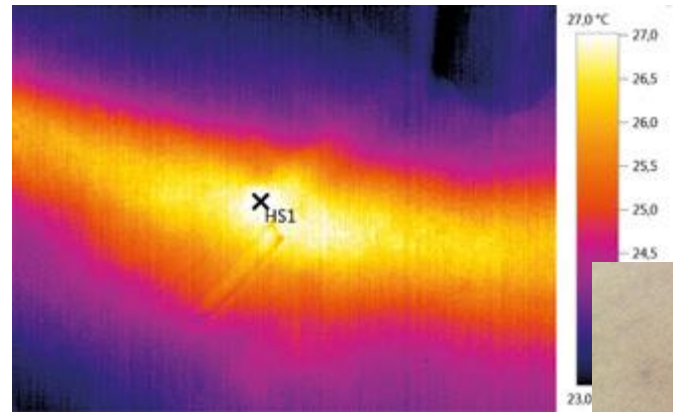
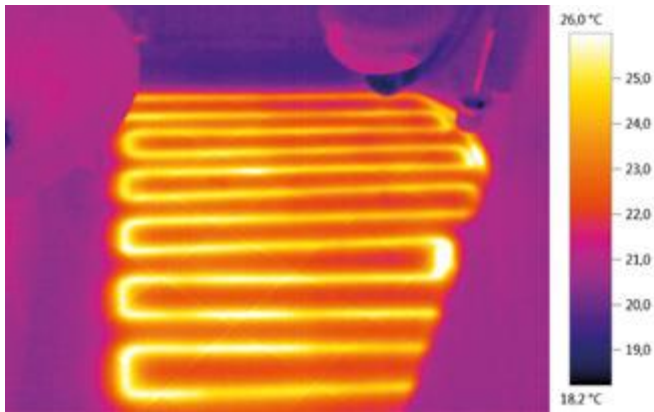


- Однородное покрытие с одинаковой излучающей способностью
- Ярко выраженные теплые/холодные участки
- Высокая теплопроводность материала
- Качественное обследование



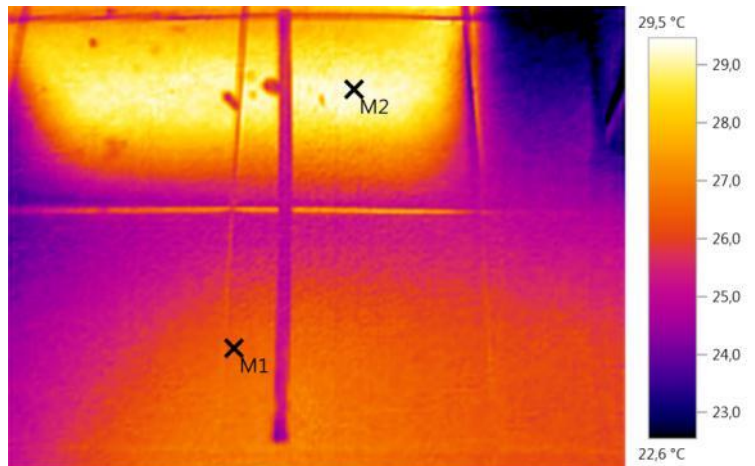
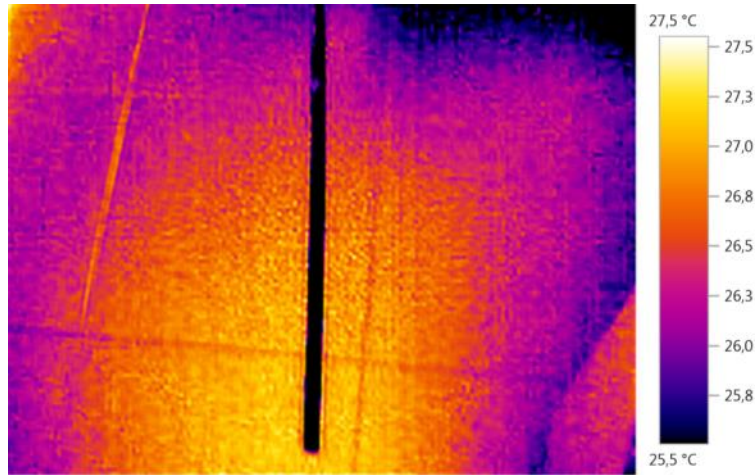
# Примеры «простых» объектов

- Визуализация трубопроводов системы отопления и локализация утечек

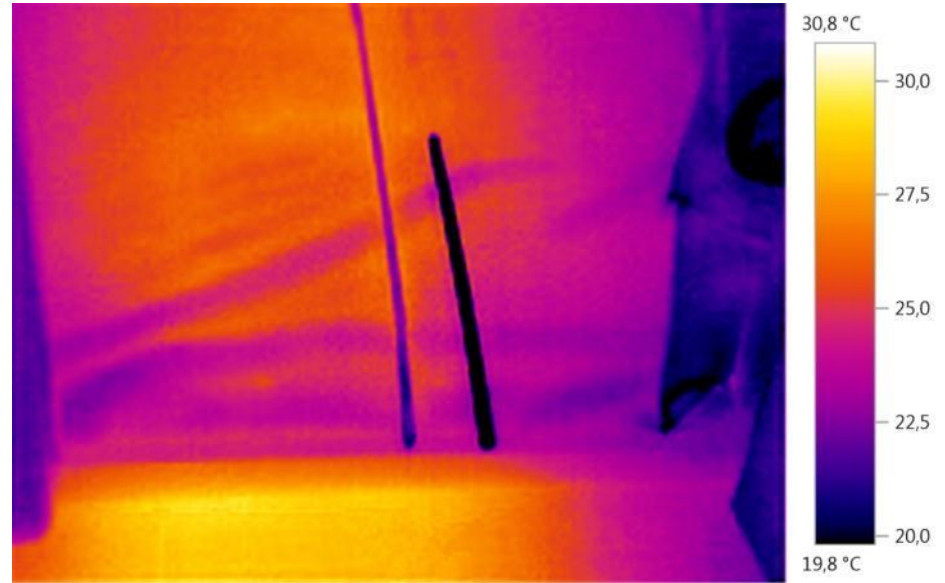


## Пример: возможные ошибки

- Отражения оператора
- Тепловой карман

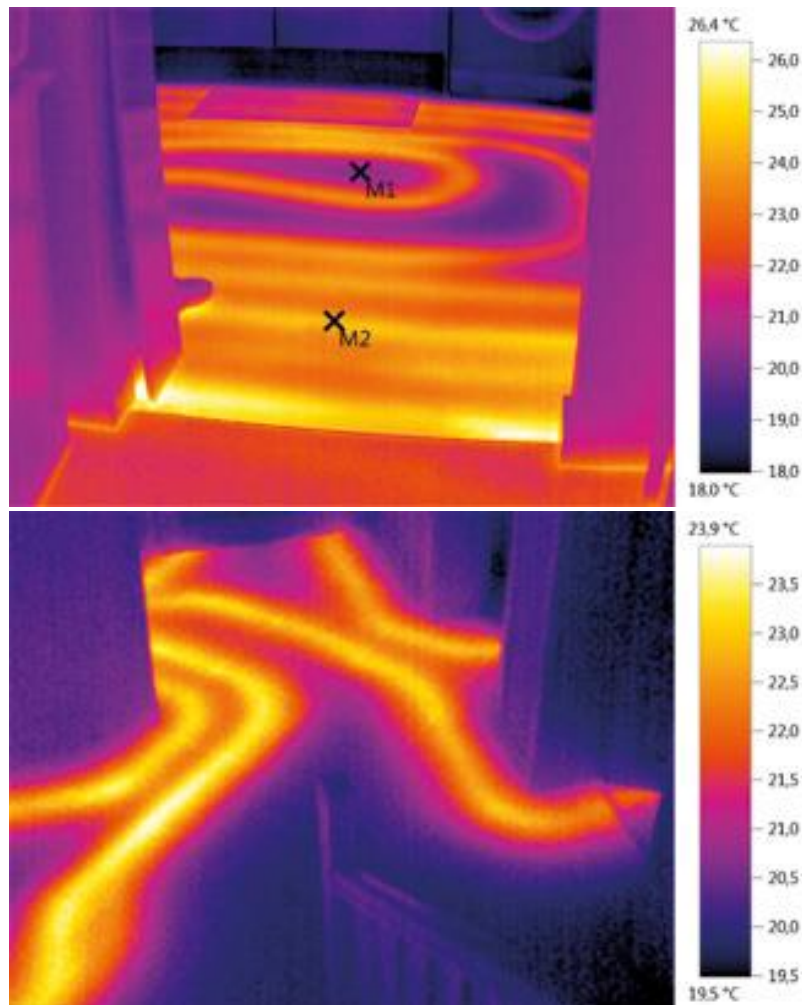


- Маркеры

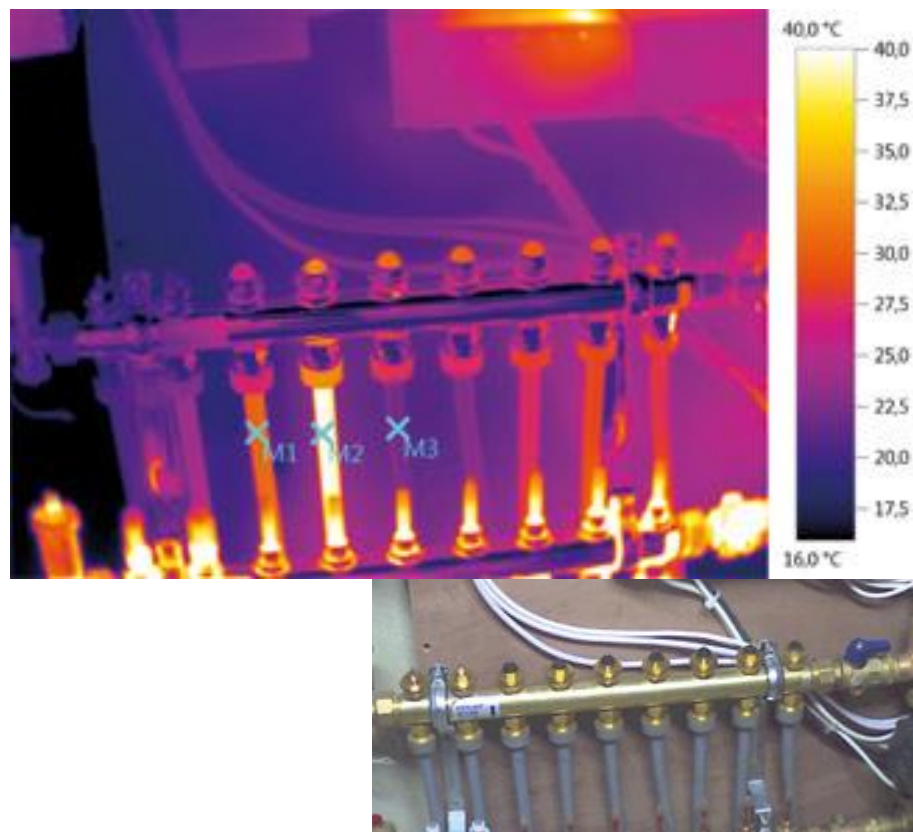




- Визуализация укладки и проверка работы системы напольного отопления

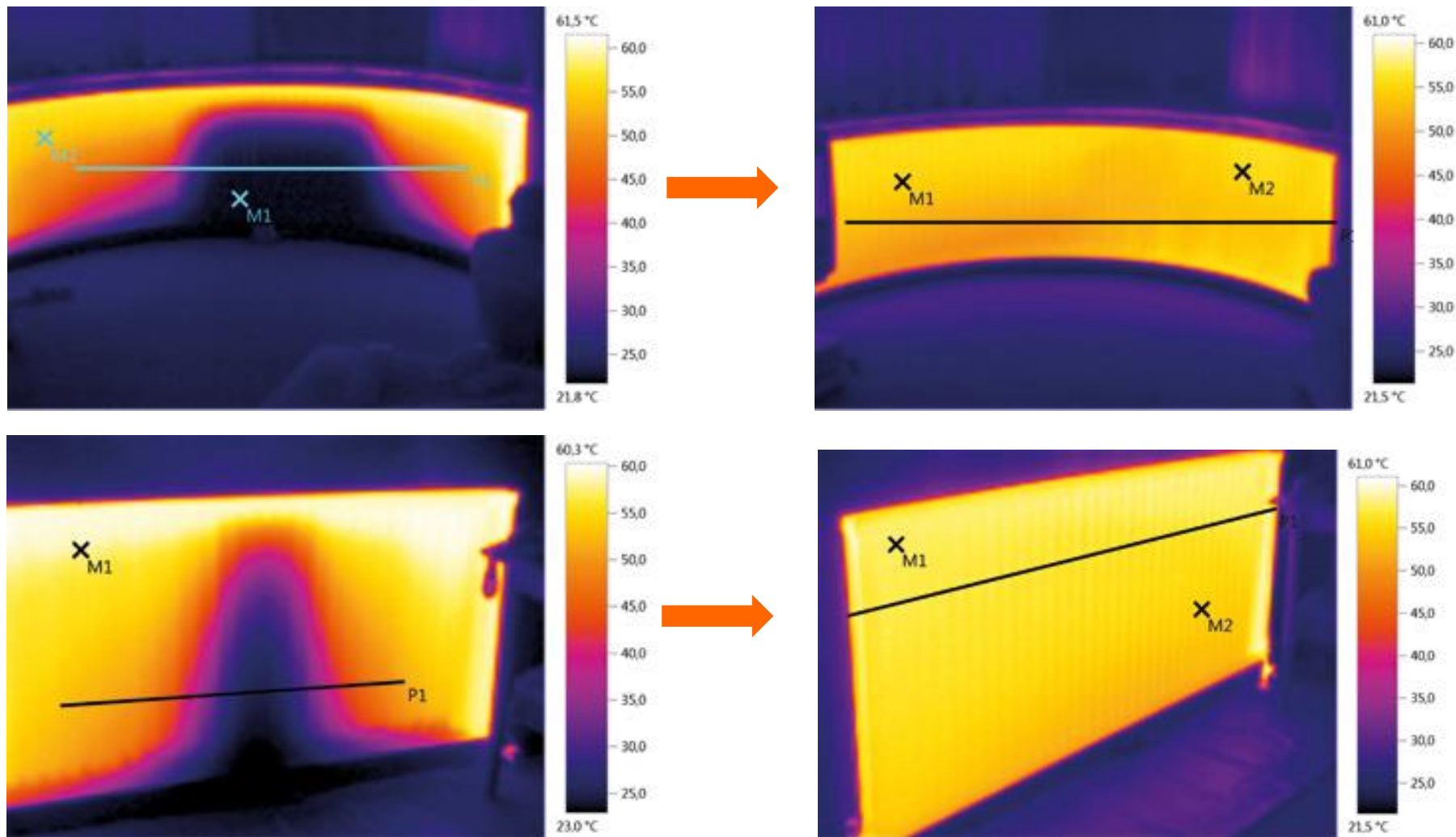


- Визуализации состояния подающей и обратной линии трубопровода



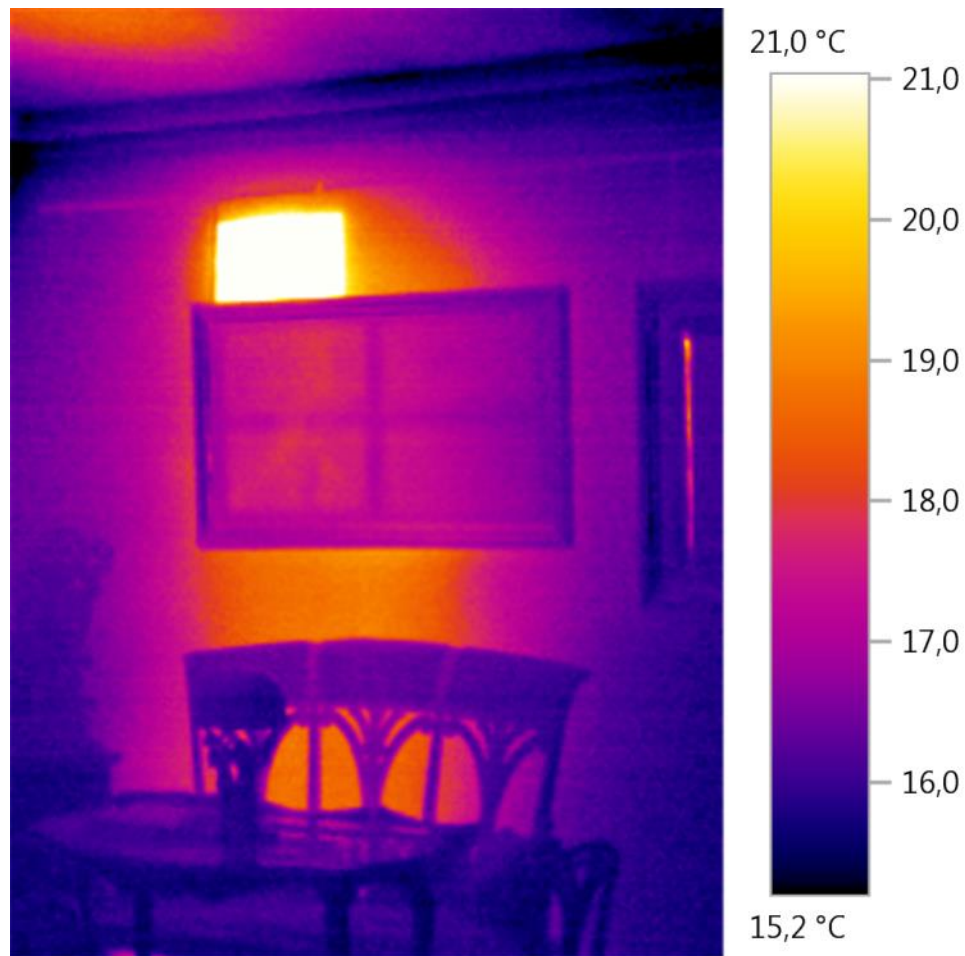
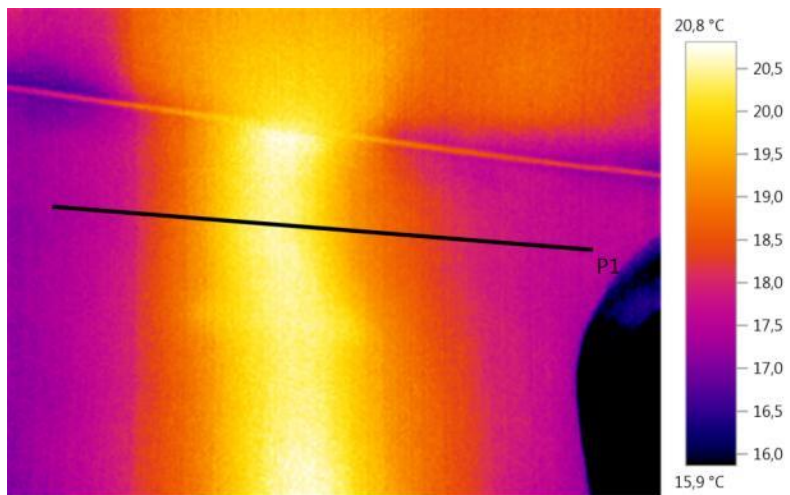
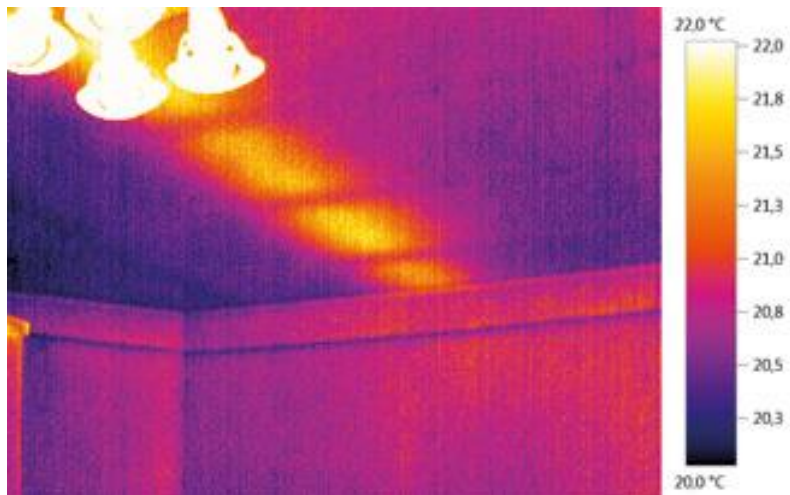
# Примеры «простых» объектов

- Проверка работы батарей отопления до и после промывки

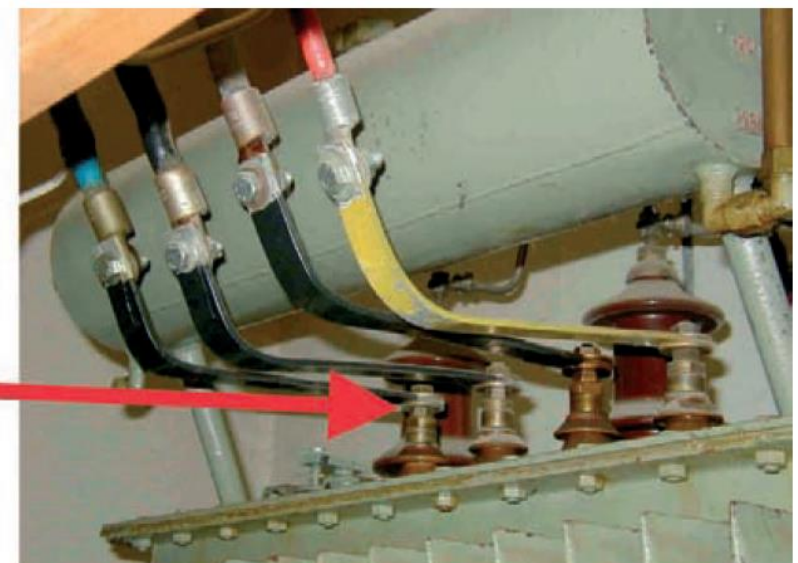
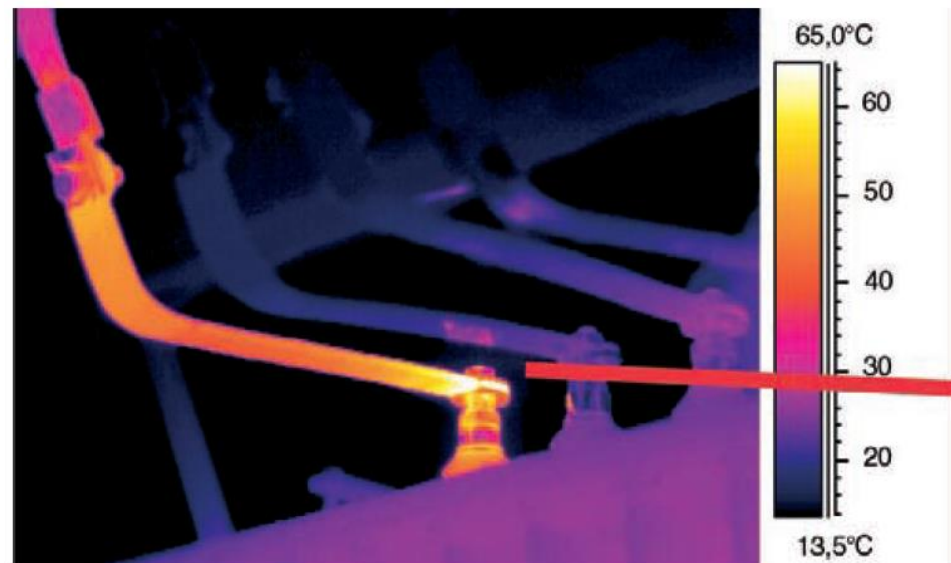
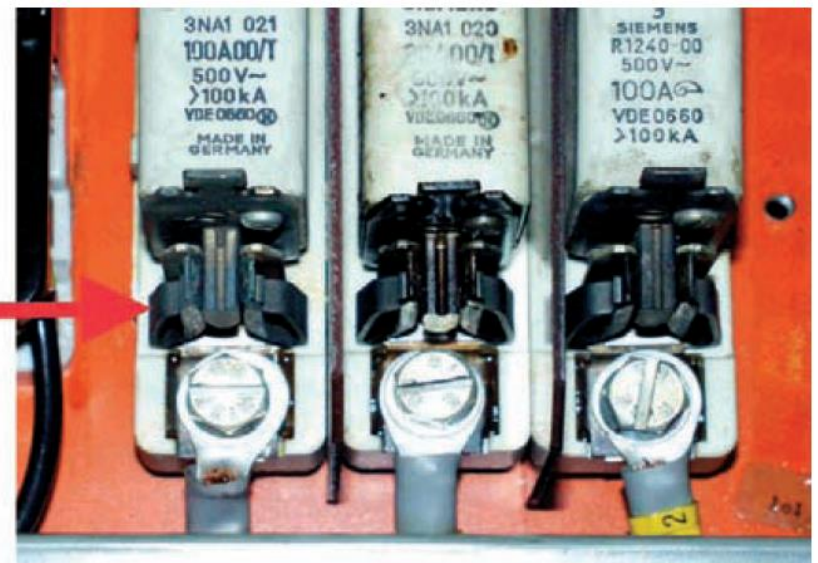
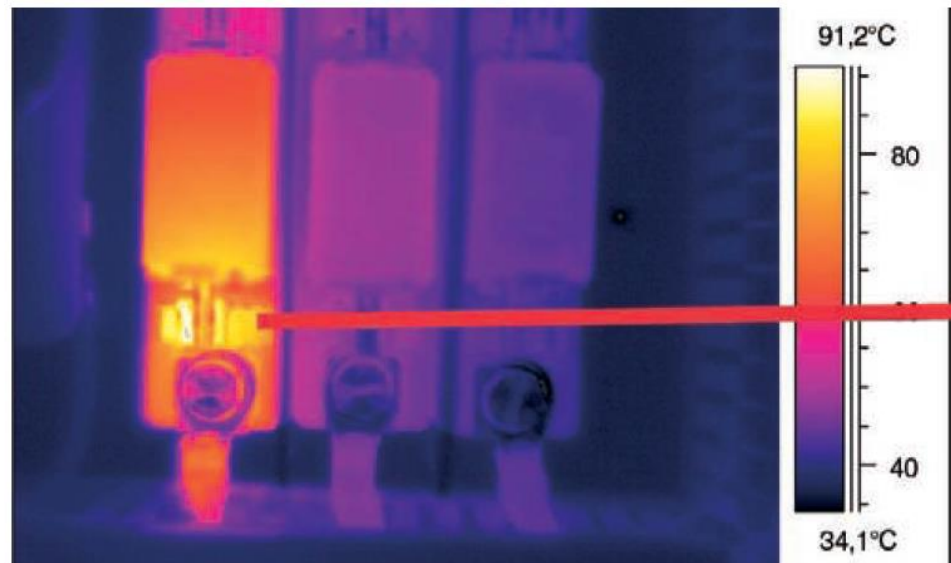


## Примеры «простых» объектов

- Визуализация скрытых дымоходов котельной установки



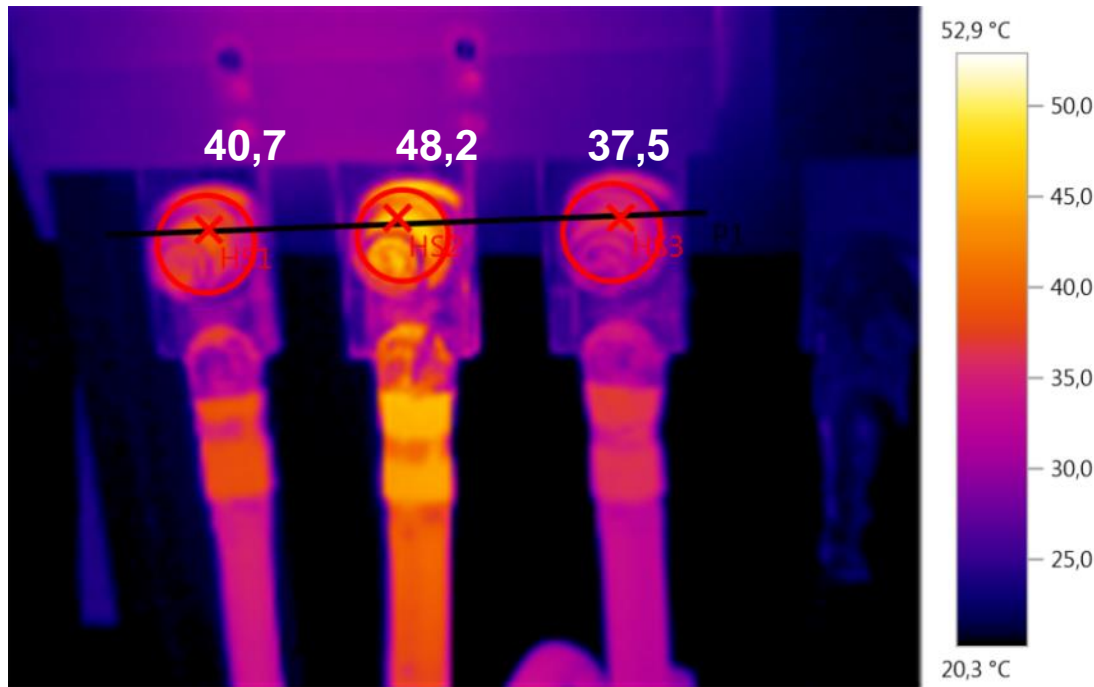






## Пример: электрооборудование

- $I_{раб} = 80A$ ,  $I_{ном} = 100A$ ,  $T_{окр} = 15\text{ }^{\circ}C$
- $I_{раб}/I_{ном} = 0,8$  лежит в пределах от (0.6-1.0)  $I_{ном}$
- Используем критерий «превышение температуры»
- **\*РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования»**



$$\frac{\Delta T_{НОМ}}{\Delta T_{раб}} = \left( \frac{I_{НОМ}}{I_{раб}} \right)^2$$

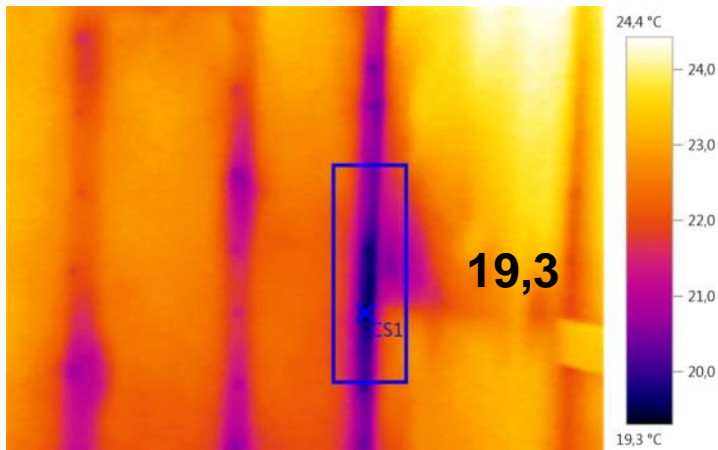
	точка1	точка2	точка3
Траб	40,7	48,2	37,5
дельтаТраб	25,7	33,2	22,5
дельтаТном	40,16	51,88	35,16
Допуск (болт. конт. из алюм)	50	50	50

## Пример: ограждающие конструкции

- Температура вн. поверхности стены (измер) = 19,3 °C
- Температура снаружи (измер) = 5 °C
- Температура внутри (измер) = 21 °C

$$T_p = t_p^e - (t_\phi^e - T_\phi) \cdot \frac{(t_p^e - t_p^H)}{(t_\phi^e - t_\phi^H)}$$

$$T_p = 20 - (21 - 19,3) \cdot \frac{(20 - (-28))}{(21 - 5)} = 14,9$$

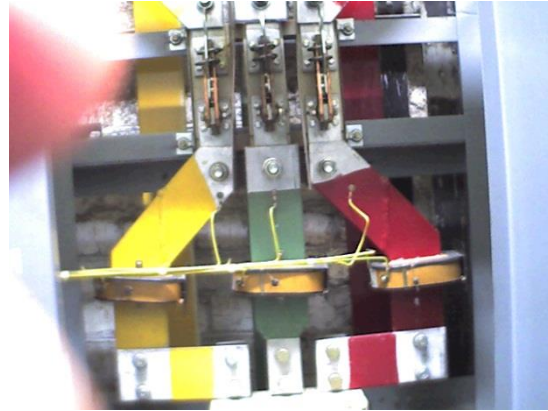
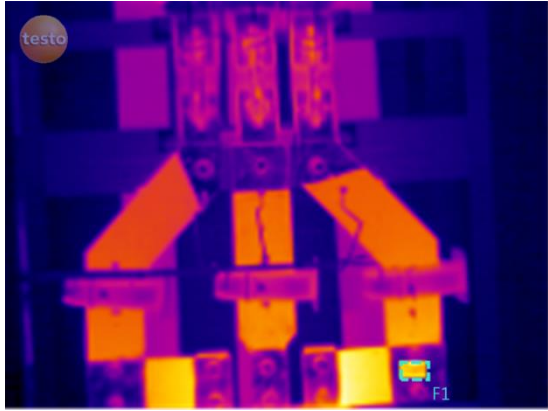


- Температура снаружи (расч. Москва) = -28 °C
- Температура внутри (расч. Москва) = 20 °C

Влажность	40,0	% ОВ
Окружающая температура	21,0	°C
Точка росы	6,9	°C

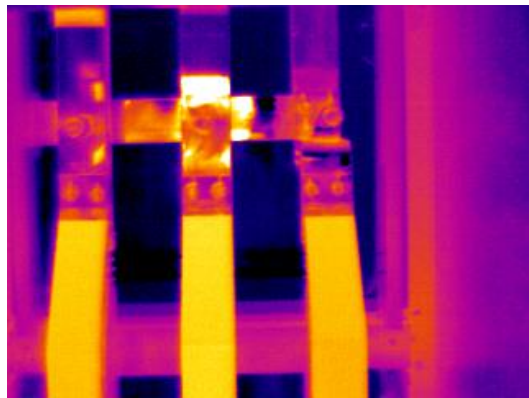
- Перепад (фактич.) = 21-19,3 = 1,7 °C < 4 °C
- Перепад (расч.) = 20-14,9 = 6,1 °C > 4 °C

# Объекты требующие дополнительной интерпретации

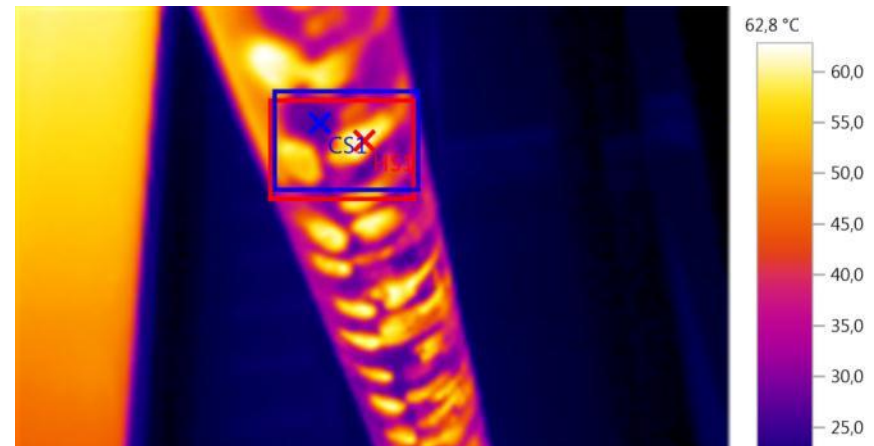
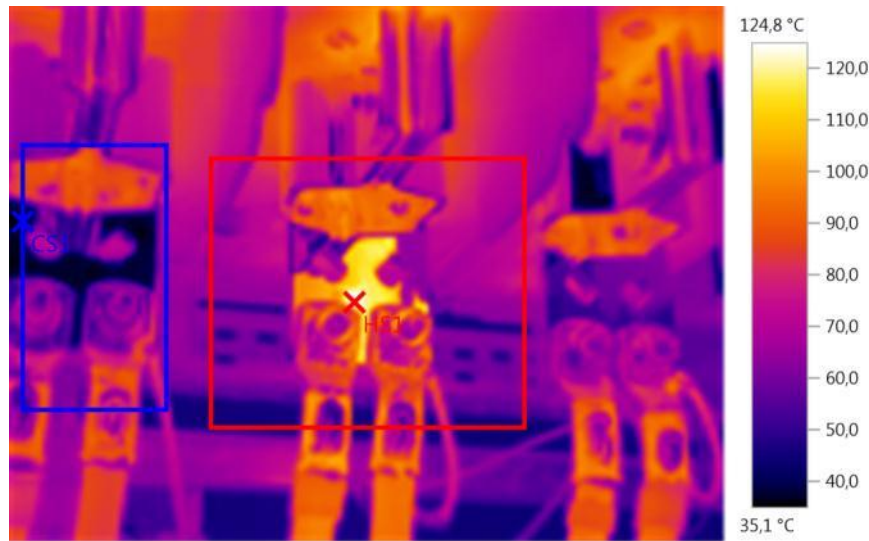


- Часть шины которая не окрашена кажется более холодной.
- Эффект отражения температуры холодной стены за спиной термографа.

- Раскаленный участок электрической шины?
- Нет! Отражение излучения создаваемого человеком.



# Пример: отражение или нагрев?

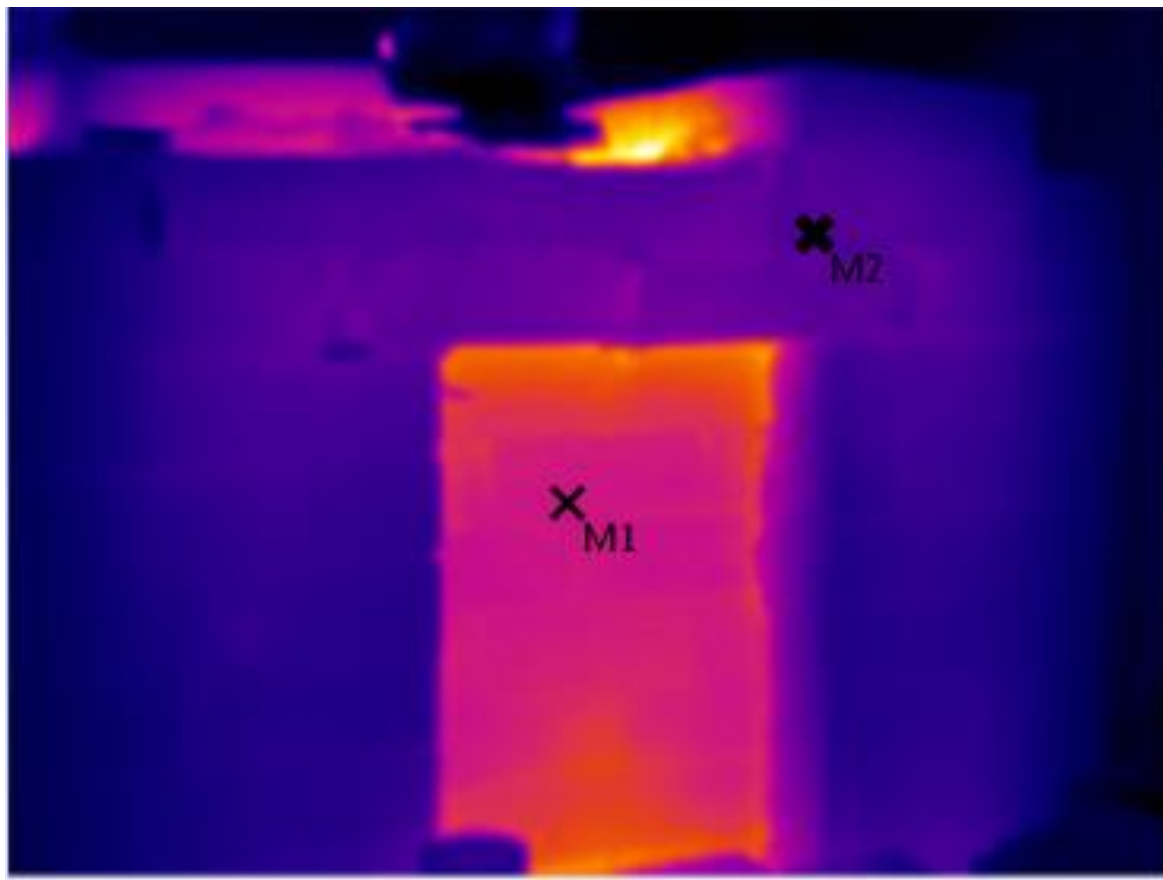


№:	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°C]
CS1	36,0	0,93	20,0
HS1	124,8	0,93	20,0

- Характер изображения указывает на отражение нагретого объекта поверхностью с низким коэффициентом излучения. Нормальная работа.
- Отличие коэффициентов излучения участков поверхности медной трубы приводят к различию в температуре до 37 градусов. О температуре трубы можно судить по окислившимся пятнам с высоким коэффициентом излучения: около 62 градусов.



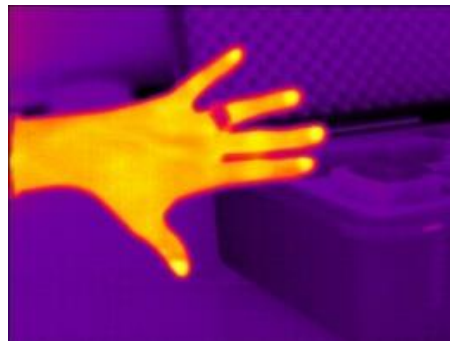
Пример: Объекты требующие дополнительной интерпретации



№:	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°]
M1	124,9	0,98	12,0
M2	74,8	0,98	12,0

## Важно помнить

- Фокус сохраненных изображений не может быть изменен позже
- **Точная фокусировка на тепловом контрасте крайне важна для точного измерения температуры**
- Излучаемое инфракрасное излучение зависит от температуры, а не от цвета поверхности измеряемого объекта.
- **Загрязнения, пар, дождь солнце искажают результаты измерений**
- Измерение объектов расположенных внутри возможно только благодаря теплопроводности материала.
- **Влага имеет высоки коэффициент излучения, но при этом охлаждает поверхность**



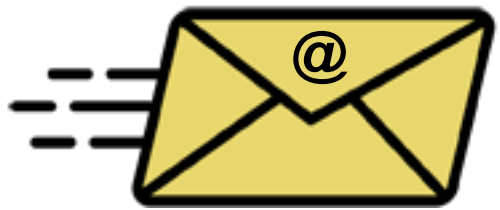


[www.testo.ru](http://www.testo.ru)

[www.termografia.ru](http://www.termografia.ru)

**Успехов!**

<http://www.youtube.com/user/testoRussia>



[helpdesk@testo.ru](mailto:helpdesk@testo.ru)

**+7 (495) 221-62-13**

