

**ЧАСТЬ 7. ПРИБОРЫ  
НОЧНОГО ВИДЕНИЯ (ПНВ)  
И  
ТЕПЛОВИДЕНИЕ**

### **3. ПРИБОРЫ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ**

Глаз воспринимает узкий участок от 0,38 до 0,78 мкм, да и то начиная с определенного уровня освещенностей ( $\geq 0.01$  люкс)

**1. Приборы ночного видения** дают явное преимущество их владельцам. Они позволяют хорошо видеть не только при очень слабой освещенности, но и почти в полной темноте. Приборы ночного видения могут применяться в следующих сферах деятельности:

- ночном наблюдении
- ночных фото и видеосъемках
- при проведении военных и специальных операций
- патрулировании и охране объектов
- навигации воздушных и морских судов
- охоте и наблюдении за животными

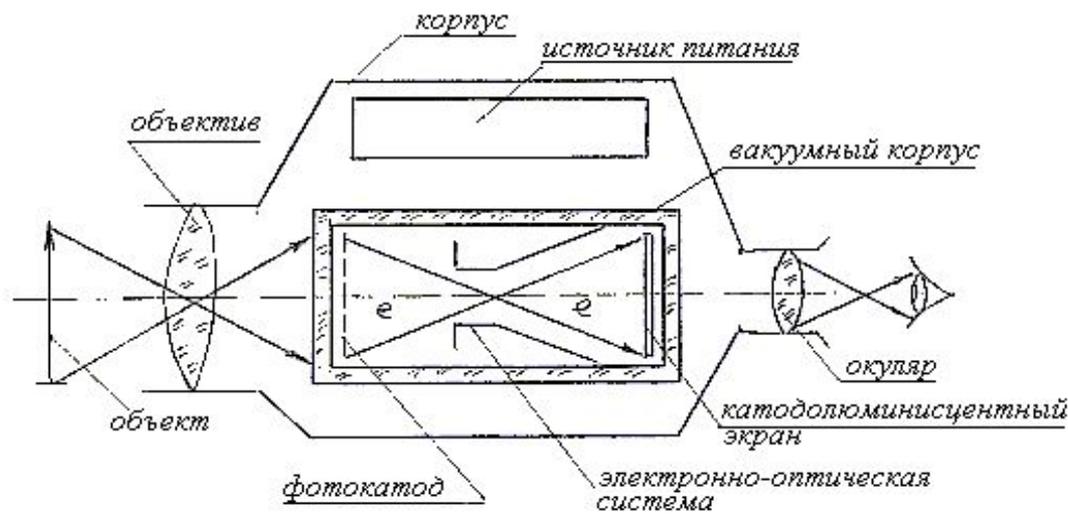


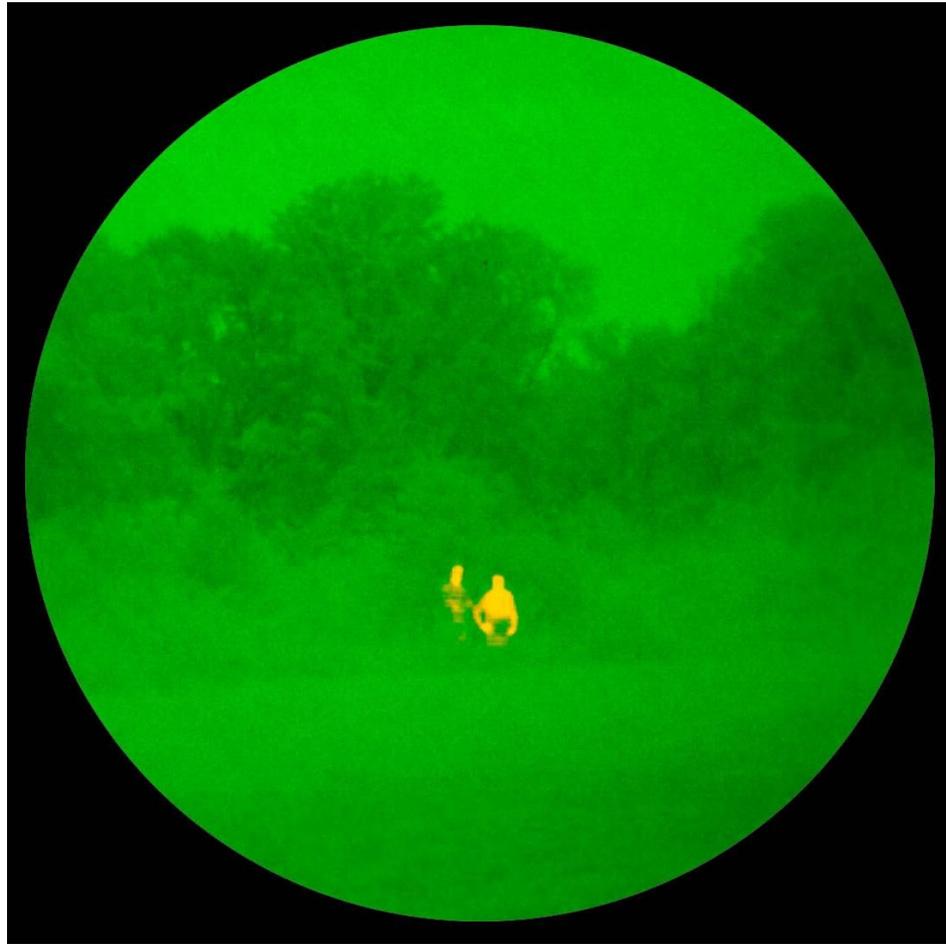
Рис. 1

**ПНВ** состоит из:

- **объектива**, прозрачного для ближней инфракрасной области света (от 0.78 мкм до 1 мкм). С помощью него оптическое изображение передается на экран электронно-оптического преобразователя (ЭОП)
- **ЭОП**– это основной элемент прибора. Он преобразует инфракрасное изображение предмета в видимое. Для этого на *фотокаатод* посредством внешнего фотоэффекта фотоны превращаются в поток фотоэлектронов, которые усиливаются *электронно-оптической системой*, и превращаются в яркое видимое изображение на *катодолюминесцентном экране*.



# ВИД НА ЭКРАНЕ ПНВ



## Основные технические характеристики ПНВ:

**Поколение I, I+.** ПНВ обеспечивают при освещенности 0,01 люкса (*освещенность, создаваемая ночью четвертью луны*) обнаружение ростовой фигуры человека на фоне зелени со 150-200 м и распознавание ее деталей примерно с 70-100 м. Стоимость таких ПНВ порядка 300 – 600 \$.

**Поколение II+.** Эти ПНВ дают возможность наблюдения даже в безлунную ночь, что соответствует освещенности на местности  $(1...5) \times 10^{-3}$  люкс. Фигура человека обнаруживается с расстояния 400-600 м, а ее детали - с 250-300 м. ПНВ обладают хорошей помехозащищенностью. Цена – не менее двух тысяч долларов.

**Поколение III.** Эти ПНВ дают возможность наблюдения в безлунную ночь на расстоянии 800 – 1500 м.

## ПНВ с документированием изображения

Многофункциональным ПНВ является система, в которой изображение с экрана ЭОПа оптически передается на ПЗС-матрицу с помощью фоконов. Электронная схема преобразует полученное изображение в видеосигнал, который наблюдается на мониторе. Возможна одновременная запись изображения, и передача на несколько мониторов для нескольких операторов.

Качество таких систем определяется числом телевизионных линий. При использовании ПНВ *поколения II* + 300-350 линий передается при освещенности  $(1-5) \times 10^{-3}$  люкс, а для ПНВ третьего *поколения III* - при  $1 \times 10^{-4}$  люкс.

Более сложный комплекс из двух ПНВ с ПЗС со специальными светофильтрами после цифровой обработки сигналов создает на мониторе изображение наблюдаемой ночной сцены в естественных цветах, что повышает эффективность обнаружения и распознавания объектов в ночных условиях на 30-60 процентов.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПНВ:**

- **более совершенные приборы ночного видения,**
- **комплексные приборы, сочетающие ПНВ, радиолокатор, низкоуровневый телевизор, тепловизор.**

**ТЕПЛОВИДЕНИЕ**

**Или**

**ТЕПЛОВАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ  
ИЗОБРАЖЕНИЙ**

# ТЕПЛОВАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Тепловизоры (ТПЗ) видят *не отраженное инфракрасное излучение, а собственное инфракрасное излучение целей и предметов, и работают по температурному контрасту.*

**Достоинства ТПЗ:**

- лишены многих недостатков приборов ночного видения,
- обладают меньшей разрешающей способностью, более сложны и более дороги, чем ПНВ аналогичного назначения.

**Области применений ТПЗ:**

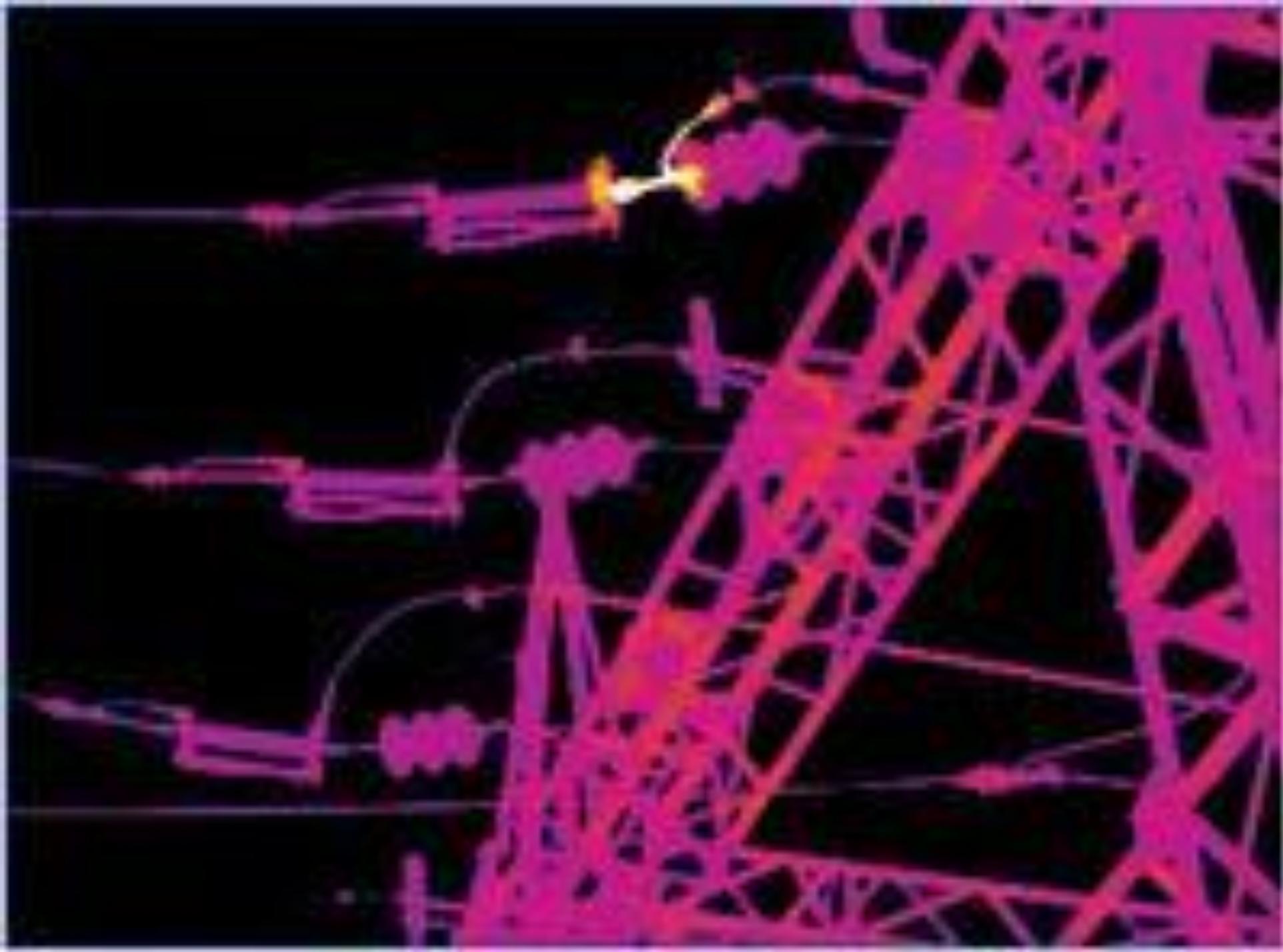
- военные и специальные применения.
- научные применения
- медицинская диагностика (температурная карта тела человека).
- мониторинг зданий – тепловизоры легко обнаруживают малейшие утечки тепла.
- утечки газа на газопроводах и нефтепроводах.
- в энергетике – большая нагрузка светится, как лампочка.
- теплоаудит в коммунальном хозяйстве
- и еще многое другое.



Так видит кабана малогабаритный тепловизор [КТ-3](#)

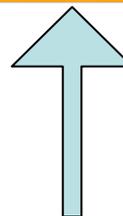


С помощью тепловизоров обычные предметы выглядят загадочно



# Примеры тепловизионных изображений

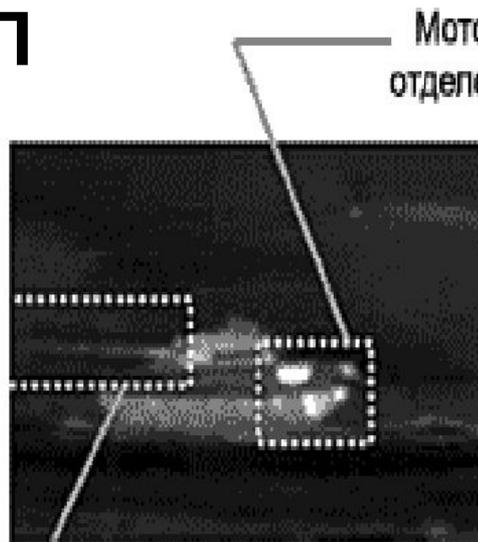
Монохромное изображение ТПЗ ([www.nighthunter.com](http://www.nighthunter.com)).



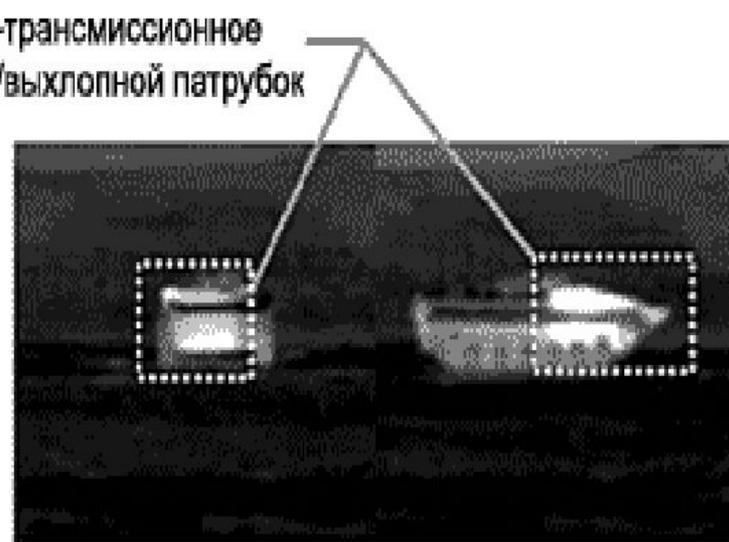
Цветное изображение ТПЗ ([www.nighthunter.com](http://www.nighthunter.com)).

# Вид танка и БМП в тепловизоре.

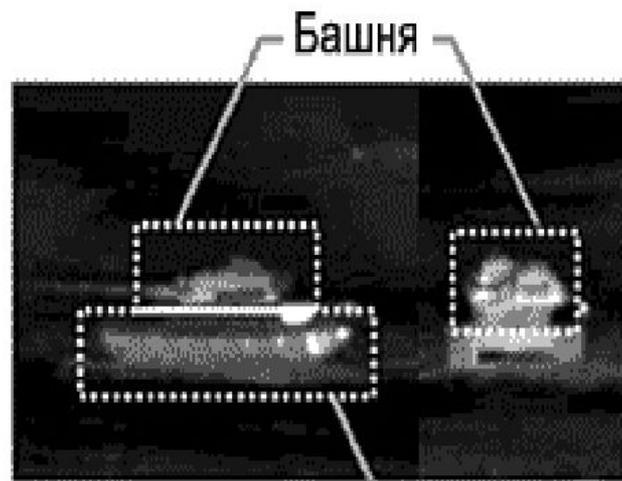
Представленные изображения демонстрируют наиболее уязвимые места для обнаружения тепловизором.



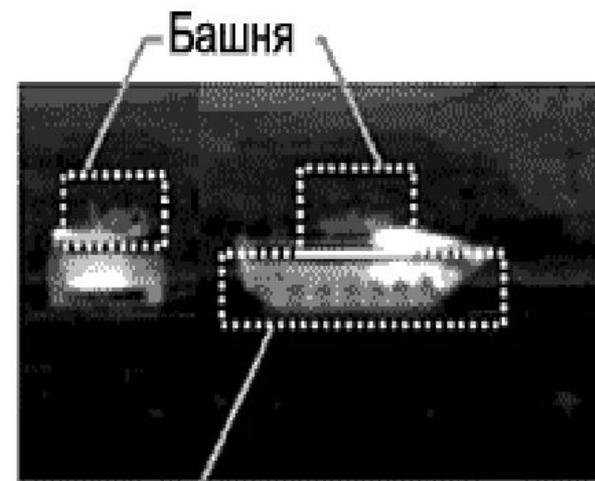
ТАНК



БМП



ТАНК



БМП

**Конструктивно, современный тепловизор имеет довольно простое устройство:**

- объектив,
- тепловизионная матрица
- электронный блок обработки сигнала



**Flir Thermacam P65** – профессиональный тепловизор для промышленного применения (\$60 000)

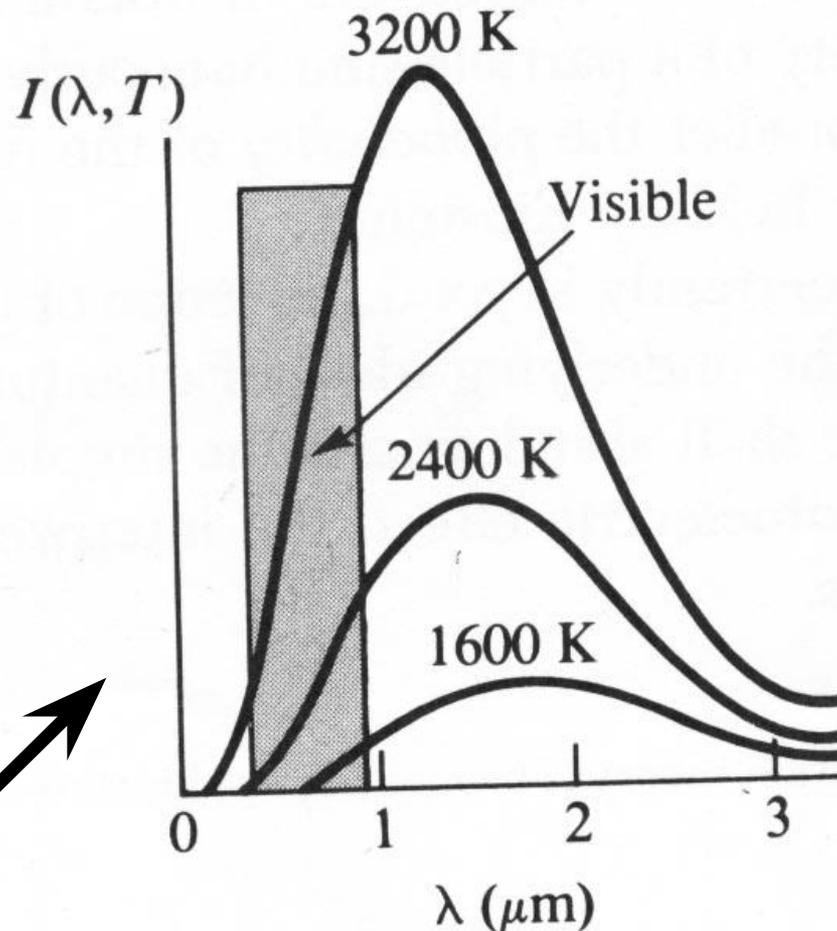
**Flir Infracam** – легкий и компактный тепловизор, самая недорогая (\$10 000) модель фирмы Flir

# ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВИДЕНИЯ

## • Тепловое излучение

Любое тело, находящееся при температуре  $T$  выше абсолютного нуля, излучает в широкой области электромагнитного излучения.

• Из курса физики известно, что абсолютно черное тело, имеющее температуру  $T$ , излучает в широком спектре длин волн электромагнитное излучения, плотность которого описывается формулой Планка



**Формула Планка представляет собой основной закон теплового излучения, из которого можно получить все остальные законы излучения и абсолютно черного тела, и любых других тел.**

# ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВИДЕНИЯ

- **Планковское излучение имеет максимум при соответствующей длине волны.** Этот максимум излучения сдвигается в область более длинных длин волн при уменьшении температуры тела. **Закон Вина** описывает зависимость максимума длины волны теплового излучения от температуры  $\lambda = 2880 /$

$T$  (мкм).

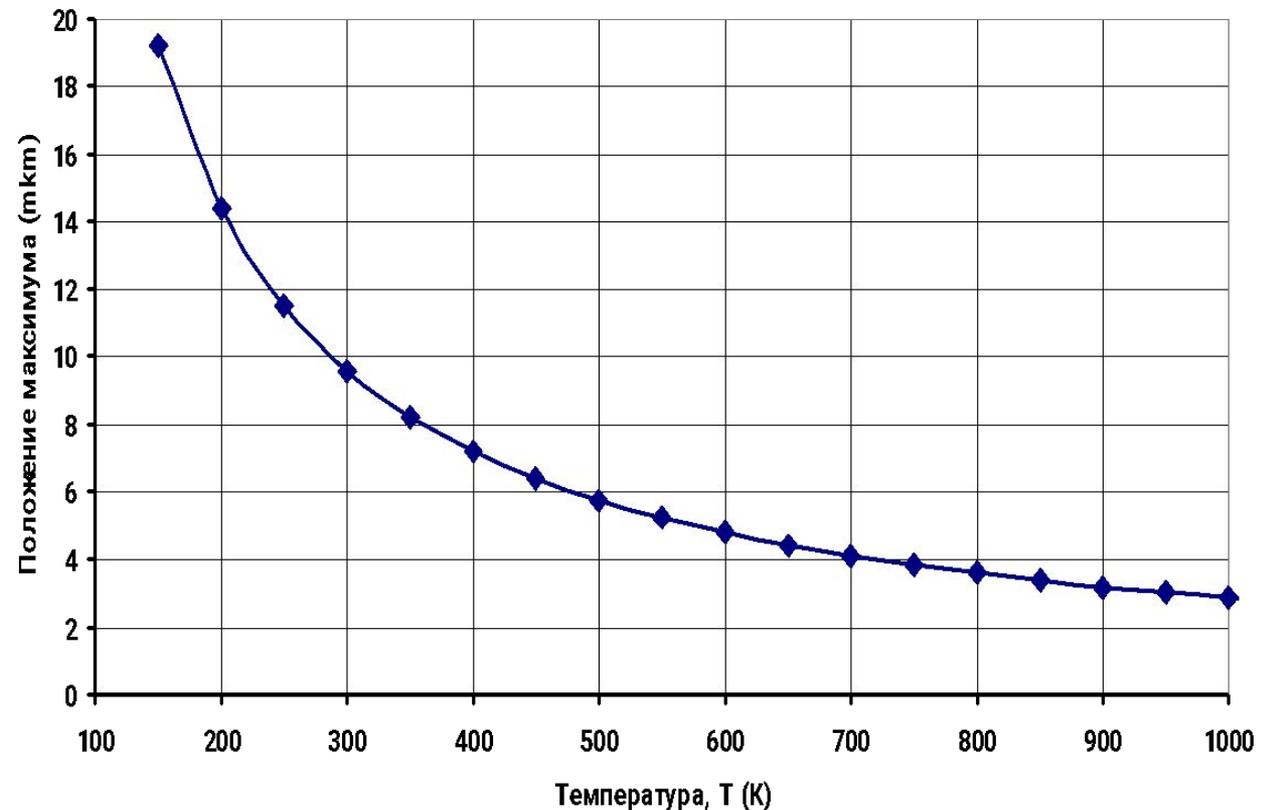
*Для тепловизионных наблюдений выбраны два диапазона инфракрасного излучения:*

**3 - 5 мкм и 8 - 16 мкм.**

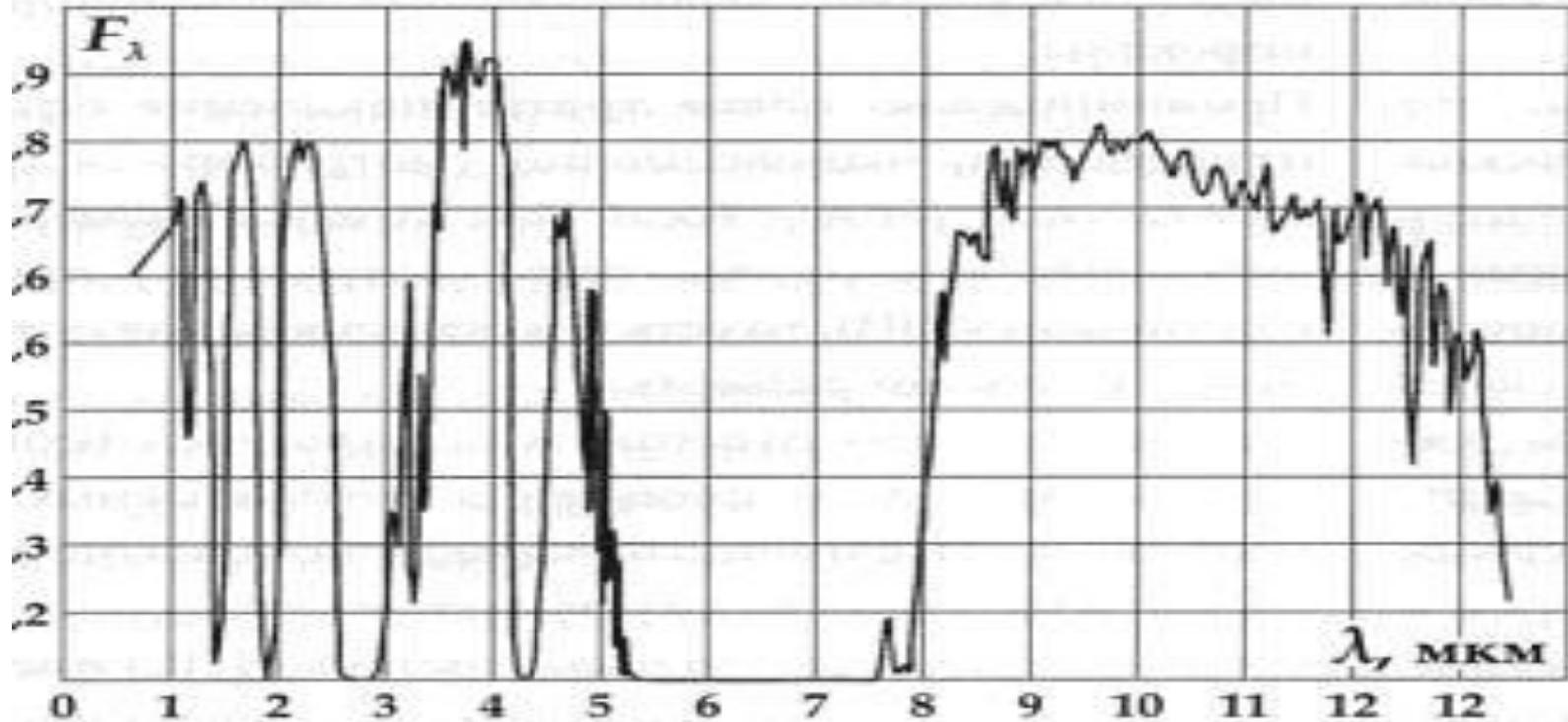
**Причины такого выбора:**

- ***Здесь находится максимум излучения для приложений ТПЗ,***
- ***В диапазонах 3 – 5 мкм и 8 – 13 мкм – существуют окна прозрачности в атмосфере для электромагнитного излучения***

Зависимость положения максимума излучения  $\lambda_{\max}$  (мкм) от температуры



- **Спектральный коэффициент пропускания атмосферы**



Наиболее информативный диапазон 8 – 14 мкм, так как:

- Полностью совпадает с наиболее широким окном прозрачности атмосферы,
- Соответствует максимальной излучательной способности наблюдаемых объектов в температурном диапазоне от  $-50$  до  $+500$  С.
- наименее подвержен атмосферным помехам (туман, пыль и т.д.)

# ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВИЗОРОВ

## 1. Терморезисторный (или болометрический).

**Принцип действия.** Излученное телом инфракрасное (ИК) излучение фокусируется **объективом прибора** (тепловизора), при этом изображение проецируется на **матрицу болометров (термоприемников)**, изготовленных из полупроводников, например, VO (оксид ванадия).

В болометре используется **внутренний фотоэффект**, состоящий в изменении электропроводности (электрического сопротивления) полупроводников под действием квантов ИК излучения (в диапазоне 8 – 16 мкм). Болометр имеет малые размеры (порядка 25 мкм x 25 мкм), матрица болометров - 640x480 пикселей.

Под действием собственного ИК излучения объектов возникают сигналы от матрицы болометров, которые после электронной обработки образуют тепловое изображение, видимое глазом.

**Эти тепловизоры недороги, компактны, могут работать при температурах от -30ОС до +30ОС, а при необходимости – и в большем диапазоне температур.**

# ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВИЗОРОВ

## 2. Внешний фотоэффект

**Принцип действия.** Излученное телом инфракрасное (ИК) излучение фокусируется **объективом прибора** (тепловизора), при этом изображение (в ИК диапазоне 3 - 8 мкм) проецируется на **матрицу фотоприемников**. Под действием собственного ИК излучения объектов возникают сигналы от матрицы болометров, которые после электронной обработки образуют тепловое изображение, видимое глазом.

В фотоприемнике используется **внешний фотоэффект**. ИК-фотоны, попадая на поверхность узкозонного полупроводника (HgCdTe, InSb), переводят носители заряда в свободное состояние.

Матрица фотоэлектрических детекторов, установленная в тепловизоре, обязательно должна охлаждаться жидким азотом (до -200 С). Размер матрицы — 640х480 пикселей, размер одного ФП — квадрат со стороной (100 – 1000) мкм

**Такие ТПЗ – наиболее чувствительные, но дорогие.**

# **ПРОБЛЕМА ПРОЗРАЧНОСТИ.**

**Главная проблема тепловизоров – объективы.** Дело в том, что традиционное стекло абсолютно непрозрачно для инфракрасного излучения с длиной волны 8–15 микрон (именно в этом диапазоне работают неохлаждаемые матрицы).

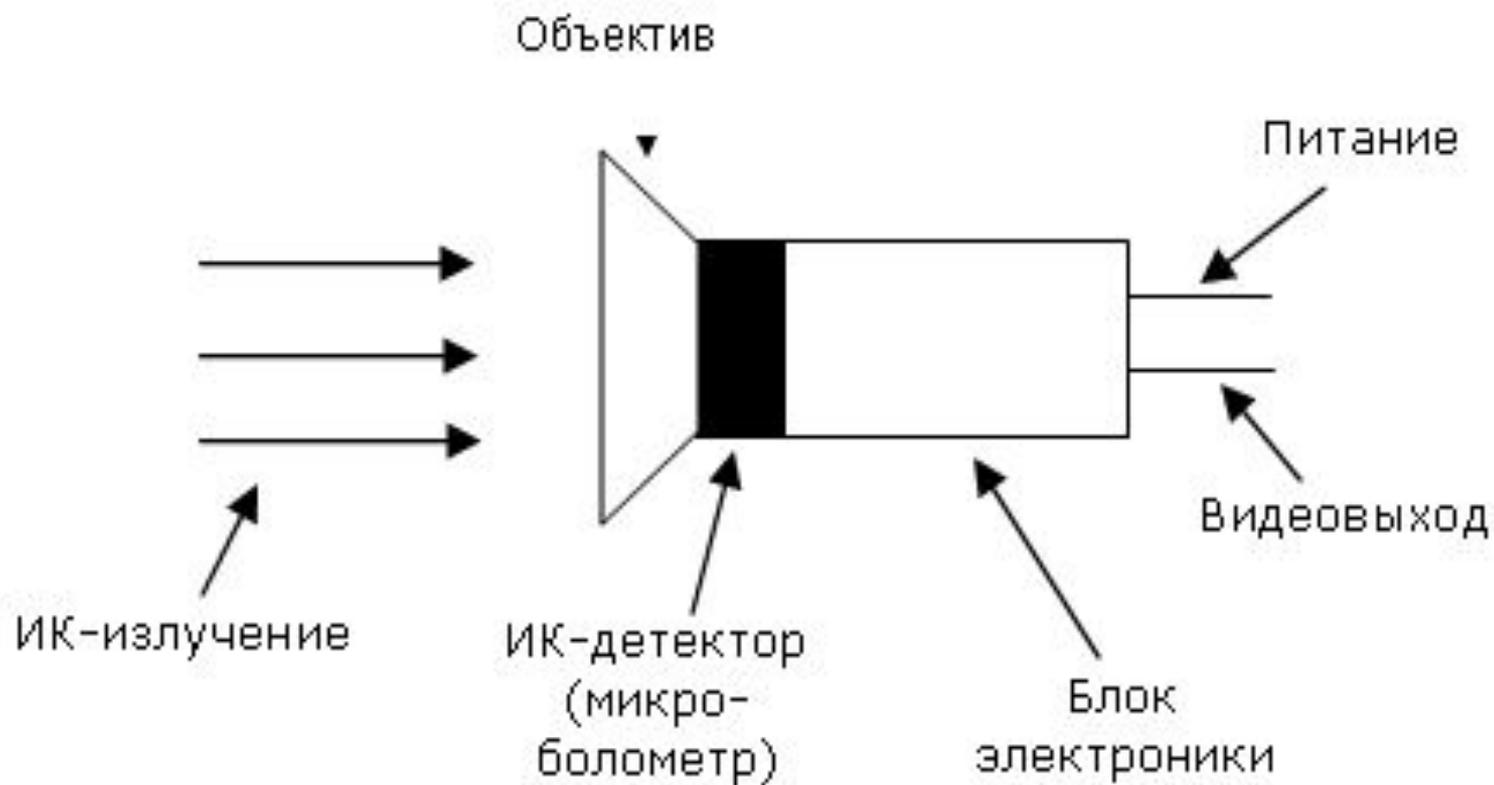
Для изготовления тепловизионных объективов применяется очень дорогой материал – чистый германий. Рыночная цена оптического германия – \$1800–2000 за килограмм.

Чтобы разглядеть на расстоянии 1 км человека, требуется объектив с входной линзой не менее 100 мм, который стоит около \$7000.

Более «дальнобойные» объективы стоят \$20 000 и выше.

**Таким образом, стоимость объектива составляет не менее 40-45% стоимости прибора.**

# Принципиальная схема тепловизора.



# Конструкция современных ТПЗ.

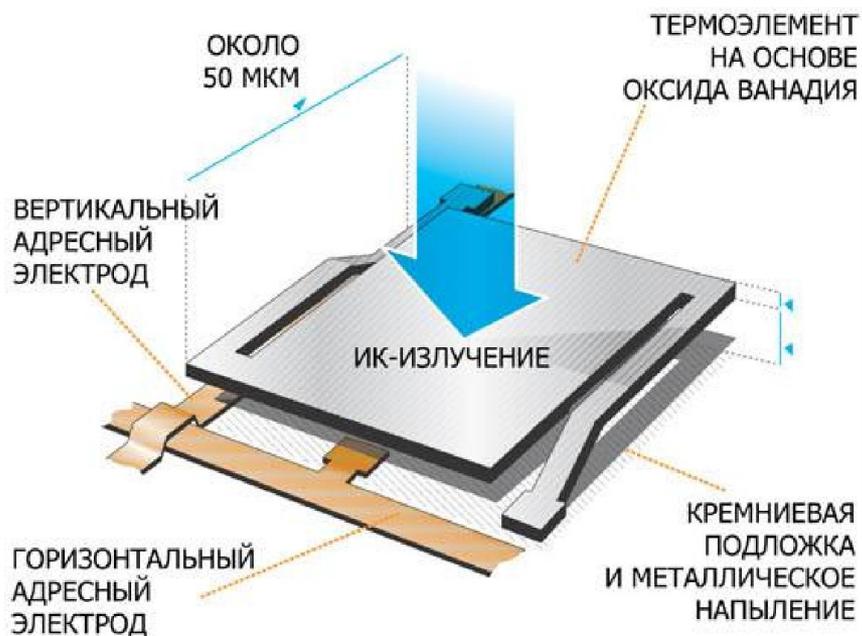
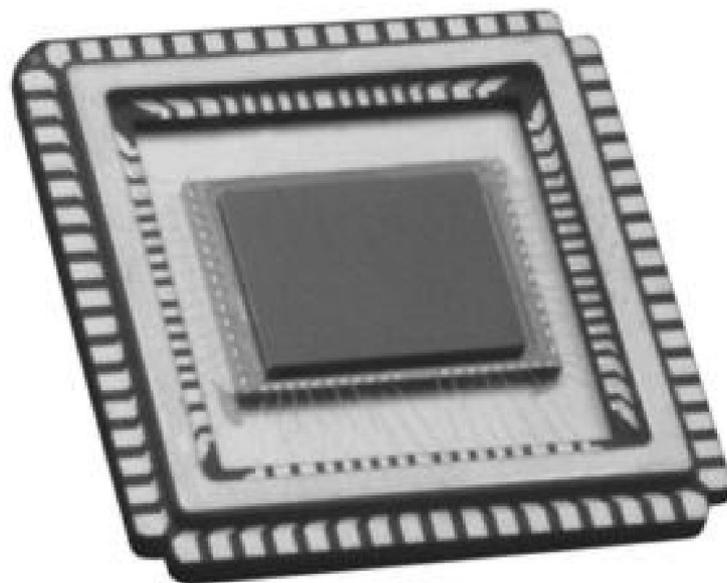
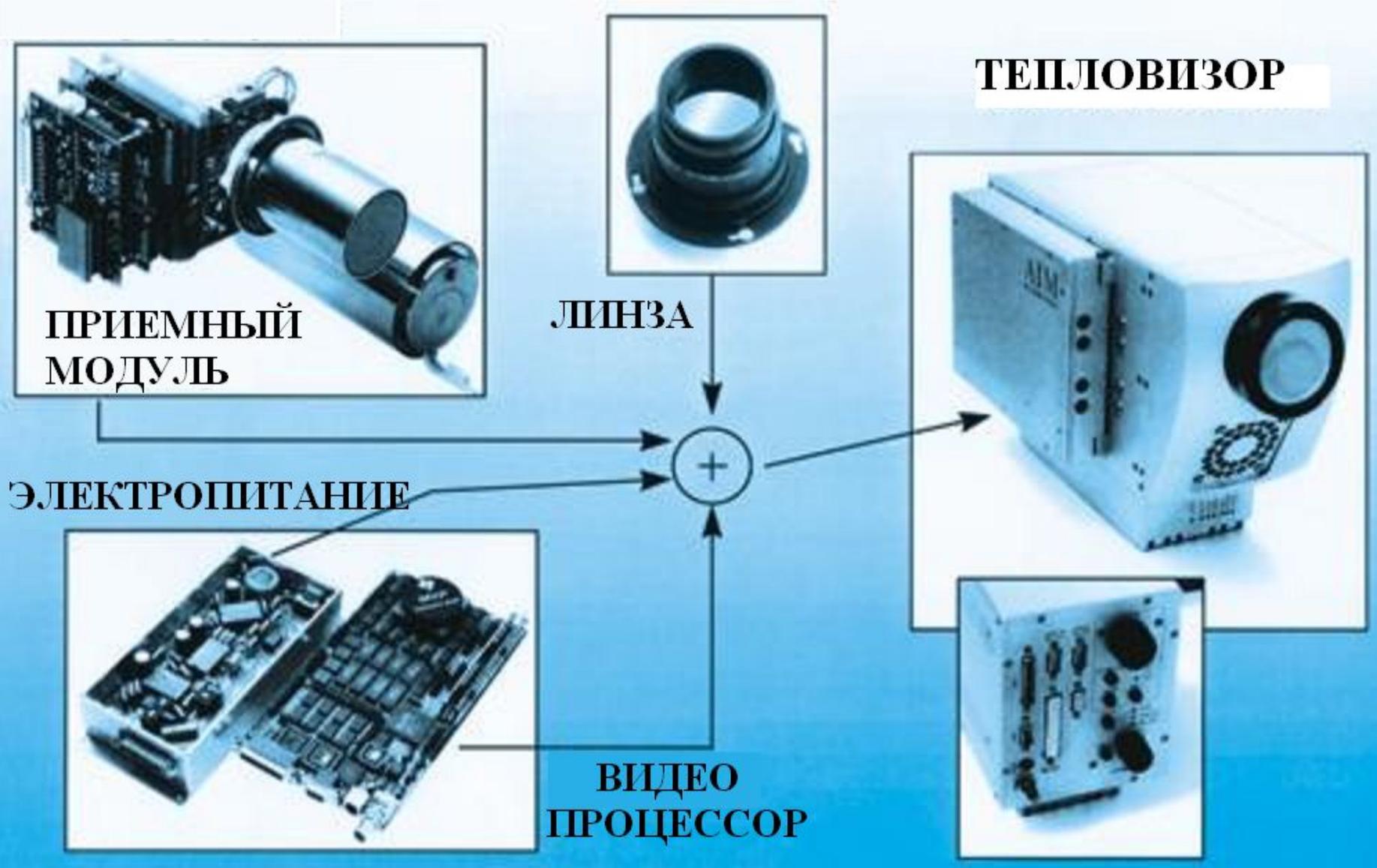


Схема  
микроболометрической  
матрицы  
(МБМ) ([www](http://www.) (МБМ)  
([www.](http://www.) (МБМ)  
([www.poptech](http://www.poptech) (МБМ)  
([www.poptech.](http://www.poptech.) (МБМ)  
([www.poptech.ru](http://www.poptech.ru))



Внешний вид  
ИК - матрицы

# Составные части тепловизионного прибора



# Задачи тепловизионного видения

Различают три задачи для тепловизионного видения:

- *Обнаружение объекта,*
- *Распознавание объекта,*
- *Идентификация объекта.*

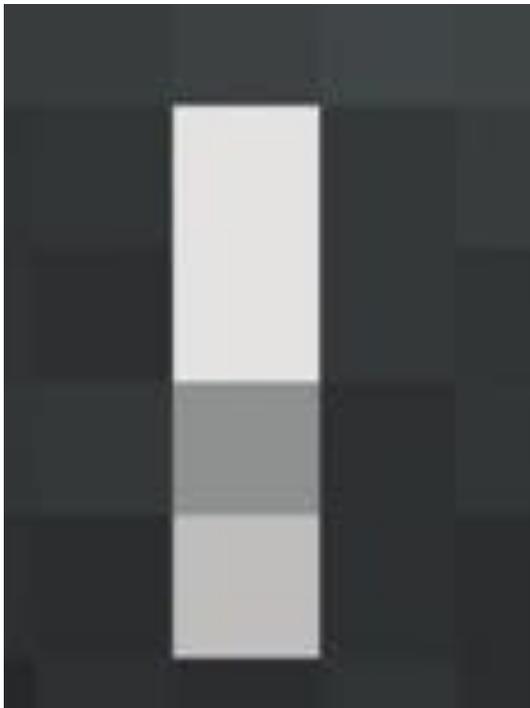
Дальность работы тепловизоров с одним и тем же объектом для каждой из этих задач уменьшается при переходе от предыдущей к следующей.

Дальность работы тепловизора определяется:

- Потерей светового потока вследствие уменьшения угловой апертуры видности объекта,
- размытием теплового изображения объекта (уменьшением числа пикселей матрицы детектора).
- Свойствами объекта обнаружения и условиями наблюдения

# Задачи тепловизионного видения

**ОБНАРУЖЕНИЕ**  
*4 пикселя*



**РАСПОЗНАВАНИЕ**  
*14 пикселей*



**ИДЕНТИФИКАЦИЯ**  
*30 пикселей*



**23 м**  
**84 пикселя**



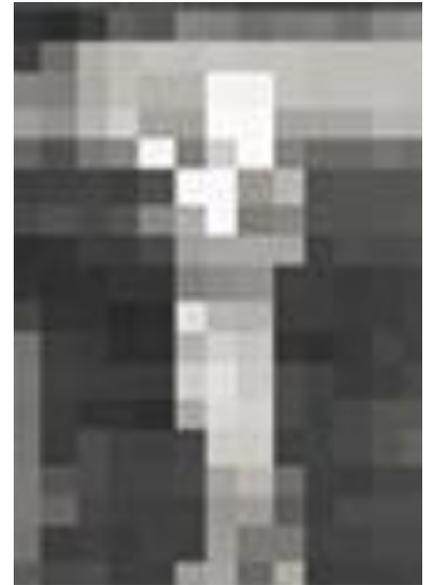
**45 м**  
**42 пикселя**



**91 м**  
**21 пиксель**



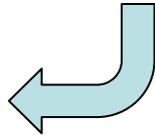
**137 м**  
**16 пикселей**



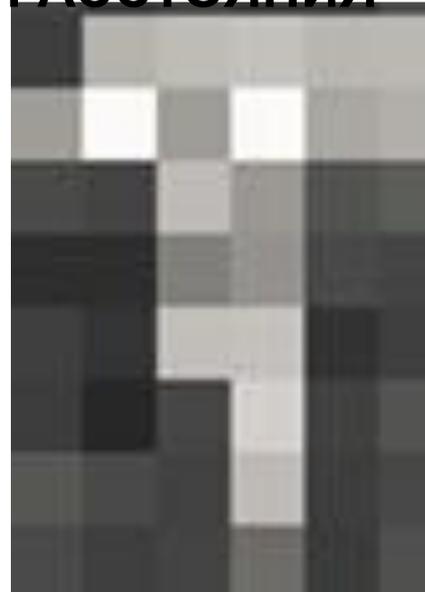
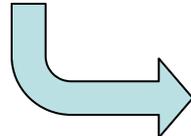
## ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАССТОЯНИЯ



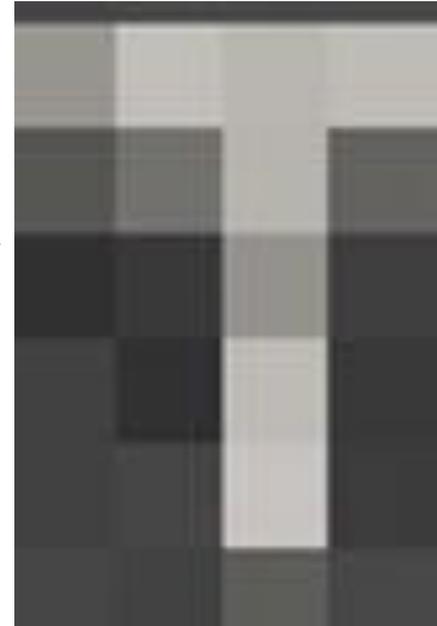
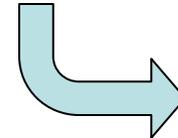
**182 м**  
**10 пикселей**



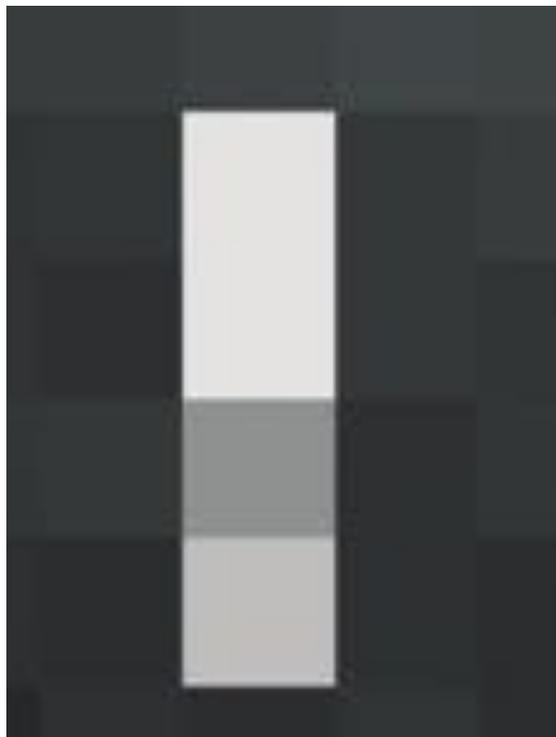
**275 м**  
**7 пикселей**



**364 м**  
**5 пикселей**



# Обнаружение, распознавание, идентификация



**ОБНАРУЖЕНИЕ**

*4 пикселя*

Вы можете видеть, что здесь что-то находится.



**РАСПОЗНАВАНИЕ**

*14 пикселей*

Вы можем видеть, что там кто-то есть.



**ИДЕНТИФИКАЦИЯ**

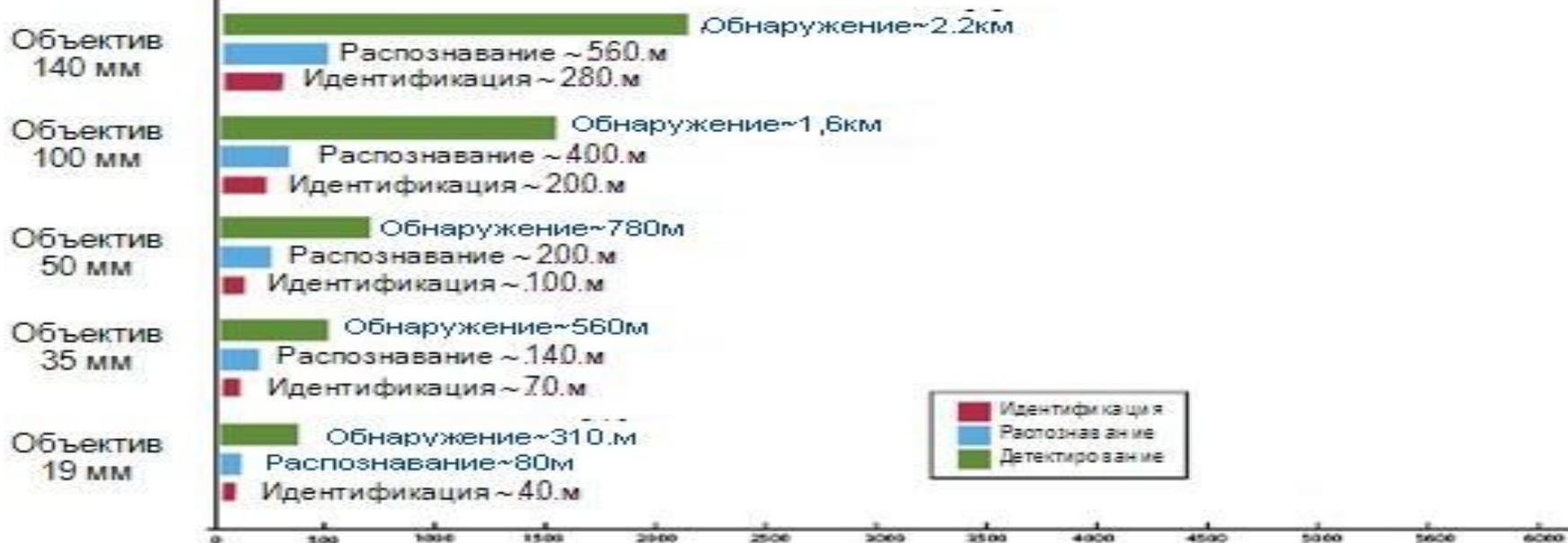
*30 пикселей*

Вы можете видеть, человека держащего в руках винтовку.

**ОБНАРУЖЕНИЕ, РАСПОЗНАВАНИЕ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА  
с критическим измерением 2,3 м** используя тепловизор с 38 микронным точечным детектором



**ОБНАРУЖЕНИЕ, РАСПОЗНАВАНИЕ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЧЕЛОВЕКА  
с критическим измерением 1,8 м** используя тепловизор с 38 микронным точечным детектором



## Развитие тепловидения связано с делением на четыре поколения:

- **1-е поколение:** тепловизоры (ТПЗ) на одиночных линейках фотоприемников на основе КРТ с двумерной разверткой;
- **2-е поколение:** тепловизоры (ТПЗ) на субматрицах на основе КРТ с суммированием сигналов не менее чем по 2 элементам и одномерной разверткой;
- **3-е поколение:** тепловизоры (ТПЗ) на матрицах CdHgTe с размером чувствительных элементов 20мкм. Высокая чувствительность таких **фотоприемников** позволяет получить температурную чувствительность тепловизора  $T < 0,07$  °С;
- **4-е поколение:** тепловизоры (ТПЗ) на тепловых неохлаждаемых матрицах на основе **микроболометров** из кремния и других материалов (типа VO), а также на основе **пироэлектрических** матриц. В тепловизорах 4-го поколения **отсутствуют сканер и система глубокого охлаждения.**

## **Концепция развития тепловизоров**

**В России** разработана концепция построения ТПЗ на линейках с малым числом элементов (10 - 32). Они уступают импортным на 60-элементных фотоприемниках. Предприятиями МО была разработана концепция модульного принципа ТПЗ.

Большинство модулей в виде отдельных образцов изготовлены для четырех классов тепловизоров. Образцы ТПЗ на основе модулей не изготовлены, не проведены их испытания.

**В России** быстрыми темпами велись работы по созданию ПНВ и ТПЗ гражданского применения. Количество разработок ТПЗ разработчиками перевалило за сотню, однако ничего нового в этих разработках нет.

**В армии США и НАТО** полностью обеспечено решение всех задач ночного видения с помощью ТПЗ 1-го поколения. Во всех приборах принят принцип модульного конструирования. По насыщенности ТПЗ армии США и НАТО существенно опережают Российскую Армию.

Тепловизор модели Catherine FC, французской компании Thales устанавливаются на танках Т-90 российской армии ([www.warinform.ru](http://www.warinform.ru)).



## Некоторые разработки тепловизоров в России

**В России** в серийном производстве освоены тепловизоры первого поколения ("Пособие-2", "Агава-2"). "Пособие-2" - тепловизионный прибор разведки на 50-элементном фотоприемнике из JnSb для разведывательного пункта.

ТПЗ "Поколение-2" на основе фотоприемного устройства, представляющего 64- элементную линейку из КРТ.

Выпускается серийно тепловизионный прицел "Агава-2" на базе фотоприемного устройства "Арча" на 128-элементного фоторезистора из КРТ.

На основе субматрицы из четырех столбцов по 128 элементов с шахматным расположением площадок, на основе матрицы из КРТ (128x128 элементов) в НПО "Орион" разработаны тепловизоры с достаточно хорошей системой обработки сигналов.

## Некоторые разработки тепловизоров.

За рубежом в виде образцов существуют тепловизоры (ТПЗ) всех поколений. В частности,

- бинокль Sophie французской фирмы CSF на основе субматрицы 4x288 элементов 0,03x0,03 мм массой 2 кг. Дальность опознавания человека 1200-1300 м.
- тепловизор (ТПЗ) для вождения различных военных машин и некоторые другие тепловизоры.
- Фирмы Texas Instruments, Hughes (США) разработали гамму тепловизоров (ТПЗ) на основе микроболометрических и пироэлектрических матриц. В частности, прицел для стрелкового оружия массой 1,77 кг и дальностью действия 800 м, и некоторые другие тепловизоры.



**Тепловизионный охотничий прицел «Канюк». Дальность обнаружения лося – 2 км, кабана – 1,6 км.**



Thermal-Eye 2400xp - наблюдательная  
двусенсорная камера стационарного  
типа для систем охраны и безопасности.



Портативная тепловизионная камера Thermal-Eye X200xp



**Flir Infracam – легкий  
и компактный  
тепловизор, самая  
недорогая (\$10 000)  
модель фирмы Flir**



**профессиональный  
тепловизор для  
промышленного  
применения (\$60 000)**

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:**

### **- Диапазон измерений:**

Диапазон 1: от - 40°C до +160°C

Диапазон 2: от +160°C до +650°C По специальному заказу - диапазоны до +1500°C и +2000°C

### **- Минимальная разность температур:**

0,08°C (при +30° С)

### **- Точность измерений:**

+2°C или +2% от значения показаний

### **- Тип детектора:**

FPA микроболометр 320 x 240, матричного типа, без охлаждения

### **- Спектральный диапазон:** 7.5-13 мкм

### **- Фокусировка:** от 30 см до ∞,

### **Общие отличительные особенности:**

\* Неохлаждаемая матрица 320 x 240 точек!

\* Температурная чувствительность 0,08 °С

\* Встроенная видеокамера.

\* Лазерный целеуказатель.

\* Коррекция по окружающей температуре

\* Автономность. Работает до 2,5 часов от аккумулятора.

\* Ударопрочный. Влагозащищенный. Работает от -15° С.

\* USB 2.0 выход на компьютер. Прилагается специальная программа для обработки и создания отчетов.

## **Другие области применения ТПЗ :**

- **армейские специальности тепловизоров**
- обнаружение замаскированного противника
- различные нарушения почвы – например, от установки мин, проезда автотранспорта, и др.
- контроль пусковых космических установок (утечек)

## **Комплексные тепловизоры**

**Полное решение проблемы всепогодности, круглосуточности, помехозащищенности, видимости через дымы и в условиях пыли, реализуется включением в состав комплексного тепловизионного прибора радиолокационного канала.**



**Комбинированное устройство «Гарпия-Сыч» разработки ЦНИИ «Циклон». Дальность обнаружения человека – 1 км**

# Два принципа действия анти тепловизионной защиты (АТВЗ)

**АТВЗ**

```
graph TD; A[АТВЗ] --- B[Нейтрализация приборов наблюдения (тепловизоров)]; A --- C[Выравнивание температур поверхности объекта и внешней среды (воздух, земля)];
```

**Нейтрализация при-  
боров наблюдения  
(тепловизоров)**

**Выравнивание  
темпе-  
ратур поверхности  
объекта и внешней  
среды (воздух,  
земля)**

# Первый принцип реализации АТВЗ

- Это создание покрытий, полностью отражающих исходящее от объекта инфракрасное излучение в диапазонах длин электромагнитных волн 3-5 мкм и 8-16 мкм. Именно в этих диапазонах инфракрасных волн работают современные тепловизоры.
- Таким образом, такое анти тепловизионное отражающее покрытие (АТВОП) решает задачу «обнуления» инфракрасного излучения, регистрируемого тепловизором.
- Этот подход аналогичен поглощающим оптическим и антирадарным покрытиям, применяемым в технологии «Стелс» для самолетов, или кораблей. Техника расчета таких покрытий существует и успешно используется как для оптических покрытий, так и для антирадарных покрытий.

# Первый принцип реализации АТВЗ

- **Недостатком такого подхода** является небольшая область углов, под которыми это покрытие эффективно работает, т. е. эти покрытия хорошо работают, когда тепловизор расположен под небольшими углами перед объектом. С увеличением угла между нормалью к плоскости защитного покрытия и осью тепловизора эффективность работы АТВП резко падает.
- **Второй проблемой**, которая возникает при реализации такого АТВОП является проблема выбора материалов для покрытия. Для многих приложений (например, для стрелков) АТВОП должны быть прозрачными одновременно в оптической и инфракрасной областях электромагнитного излучения. Таких материалов мало, и все они весьма дорогие (наиболее распространенный - германий). Кроме того, и технология нанесения тонких слоев (порядка долей микрометров) усложняется с увеличением поверхности их нанесения.

# Первый принцип реализации АТВЗ

Таким образом

- *наиболее приемлемая область применимости таких АТВОП – это защитные лицевые передние щитки для стрелков*
- Ниже приведено фото первого отечественного шлема с анти тепловизионным покрытием, выполненным по такой технологии ([www.nistali.ru](http://www.nistali.ru)) . Оно совмещено вместе с антирадарным покрытием, нанесенным поверх АТВОП.



*Рис. 1. Основные технические характеристики*

Полностью экранирует лицо от тепловизионного обнаружения в

диапазонах 3...5 и 8...16 мкм .

Коэффициент отражения антирадарного

покрытия - 0,005...0,015

(в диапазоне длин волн 0,8...11 см).

Имеет деформирующую



# Два принципа действия анти тепловизионной защиты (АТВЗ)

**АТВЗ**

```
graph TD; A[АТВЗ] --- B[Нейтрализация приборов наблюдения (тепловизоров)]; A --- C[Выравнивание температур поверхности объекта и внешней среды (воздух, земля)];
```

**Нейтрализация при-  
боров наблюдения  
(тепловизоров)**

**Выравнивание  
темпе-  
ратур поверхности  
объекта и внешней  
среды (воздух,  
земля)**

# Второй принцип реализации АТВЗ

- *Второй принцип реализации АТВЗ* – это «обнуление» температурного контраста между поверхностью объекта и температурой среды. Как известно, мощность теплового излучения  $w$  абсолютно черного тела в среде с температурой  $T_0$  описывается законом Стефана-Больцмана:

$$w = \sigma ( T^4 - T_0^4 ) ; \sigma = 5,66 \cdot 10^{-12} \text{ вт}/(\text{см}^2 \text{ град}^4) .$$

- Тепловизоры регистрируют, в основном, тепловое излучение *поверхности тела*. Поэтому, если температуры *поверхности объекта и среды выровнять*, то тепловой поток с поверхности тела будет равен нулю.
- Назовем такое состояние объекта *принципом «обнуления» температуры поверхности объекта*.

**Классификация АТВЗ по принципу действия  
(привлечения источников энергии или  
вещества)**

**Обнуление**

**температурног**

**о**

**контраста**

**Пассивные  
анти  
тепловизионные  
покрытия (АТВП)**

**Активные  
АТВП**

# Некоторые практические способы второго принципа реализации АТВЗ

- Системы АТВЗ можно классифицировать по принципу привлечения или непривлечения источника энергии или вещества, на:
- **Пассивные АТВЗ** - без привлечения каких-нибудь источников вещества или энергии (электрических, физических, химических и т.д.)
- **Активные АТВЗ** - могут иметь источники энергии или вещества,
- **Комбинированные АТВЗ** - включают в себя сочетание пассивных и активных АТВЗ.

# **Теплофизический критерий качества АТВП**

- Критерий качества АТВП (степень анти  
тепловизионной защиты АТВП) – это

**отношение температурного контраста  
на поверхности АТВП к  
температурному контрасту на  
поверхности объекта :**

$$K = \Delta T / \Delta T_0 \quad , \quad 0 < K < 1.$$

$\Delta T_0 = T_0 - T_{CP}$ ,  $T_0$  - температура поверхности объекта,

$\Delta T = T_{п} - T_{CP}$ ,  $T_{п}$  – температура поверхности АТВП

# Существующее положение.

Различные задачи → специальные АТВП

**АТВП**

**Танк**

**БТР**

**Стрелок**



**Классификация АТВЗ по принципу действия  
(привлечения источников энергии или  
вещества)**

**Обнуление**

**температурног**

**о**

**контраста**

**Пассивные  
анти  
тепловизионные  
покрытия (АТВП)**

**Активные  
АТВП**

# Пассивные АТВЗ

Их можно разделить на две группы:

- *Первая группа АТВЗ - это анти тепловизионные поглощающие покрытия (АТВПП)*, которые обеспечивают на внешней стороне покрытия температуру, равную температуре среды. Это теплоизолирующие покрытия, которые можно выполнять по разным технологиям.
- Например, АТВПП может быть выполнена в виде ячеистой или сотовой структуры из теплоизоляционного материала с пустотами, заполненными воздухом. Также может быть использован теплоизоляционный материал с высокой пористостью (на базе вспененного пенопласта и др.). На внутреннюю поверхность такой структуры можно нанести металлизированный слой для лучшего отражения от объекта инфракрасного электромагнитного излучения.

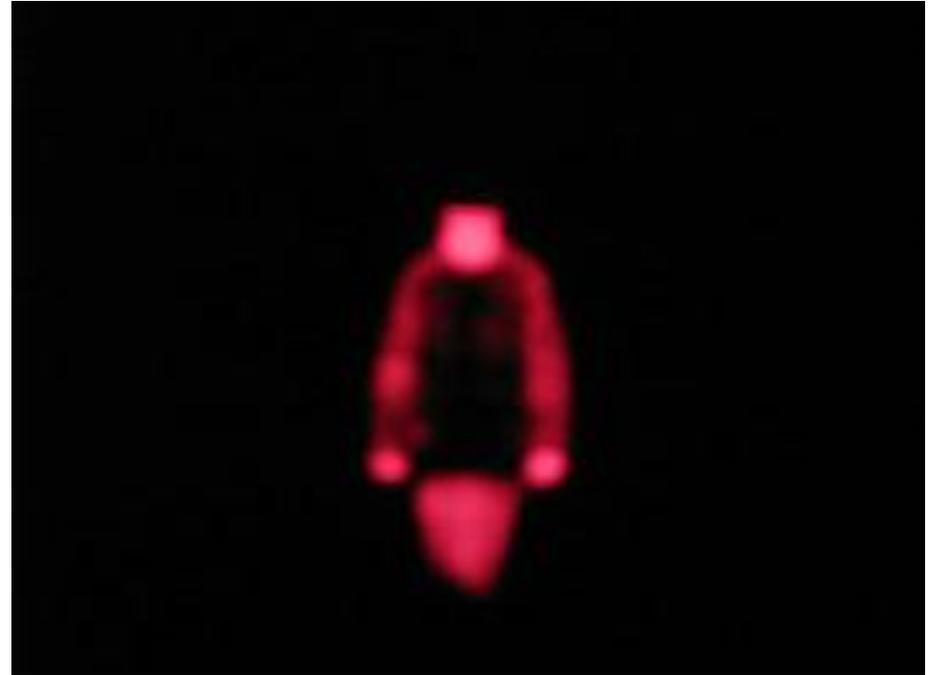
# Пассивные АТВЗ первого типа

- Примером такого покрытия может являться первый отечественный защитный костюм для стрелка, показанный на рис. На следующих рисунках показаны изображения стрелка на экране тепловизора ([www.nistli.ru](http://www.nistli.ru)).

Как и шлем, анти тепловизионное покрытие для стрелка должно быть совмещено с антирадарным покрытием.



# Тепловизионное изображение стрелка в защитном анти- тепловизионном костюме



*Вид стрелка в зимнем общевойсковом (утепленном) обмундировании (слева), а справа - вид в тепловизоре (с близкого расстояния).*

*Общий вид АТВЗ костюма*



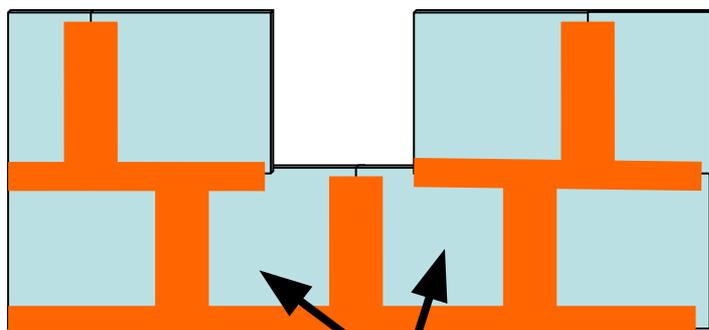
*Изображение в тепловизоре (вблизи)*



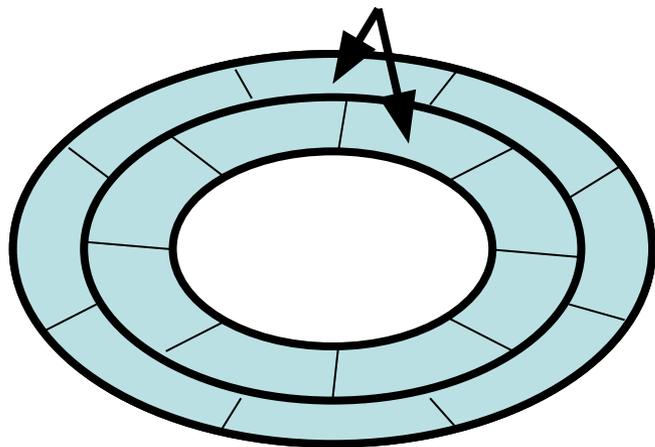
*Изображение в тепловизоре на расстоянии 180 м.*



# Многоцелевое АТВП на основе унифицированного модуля



УМ



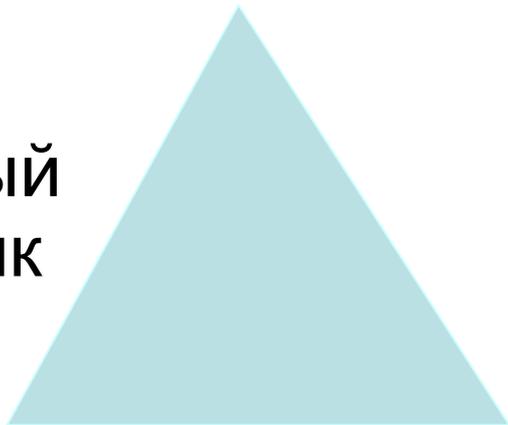
Многослойная  
сборка АТВП

- АТВП разного назначения для разных объектов (танк, стрелок, БТР, машина) может быть набрано из унифицированных анти тепловизионных модулей.
- УМ в АТВП набираются при помощи различных технологий

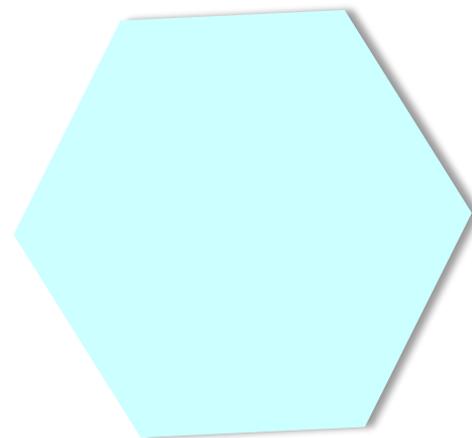
# Универсальный модуль (УМ) – основа многоцелевого пассивного АТВП

В качестве УМ можно использовать элементы простой геометрии:

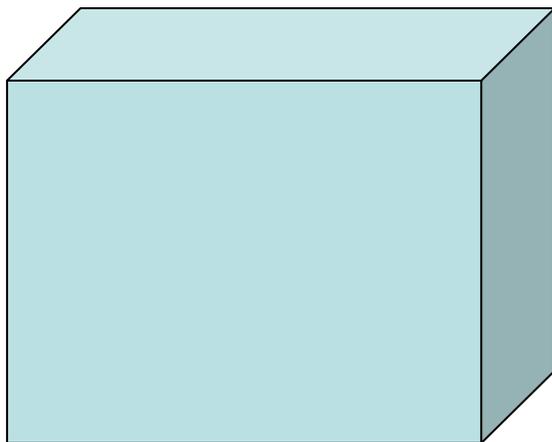
Правильный  
треугольник



Правильный  
шестигранник

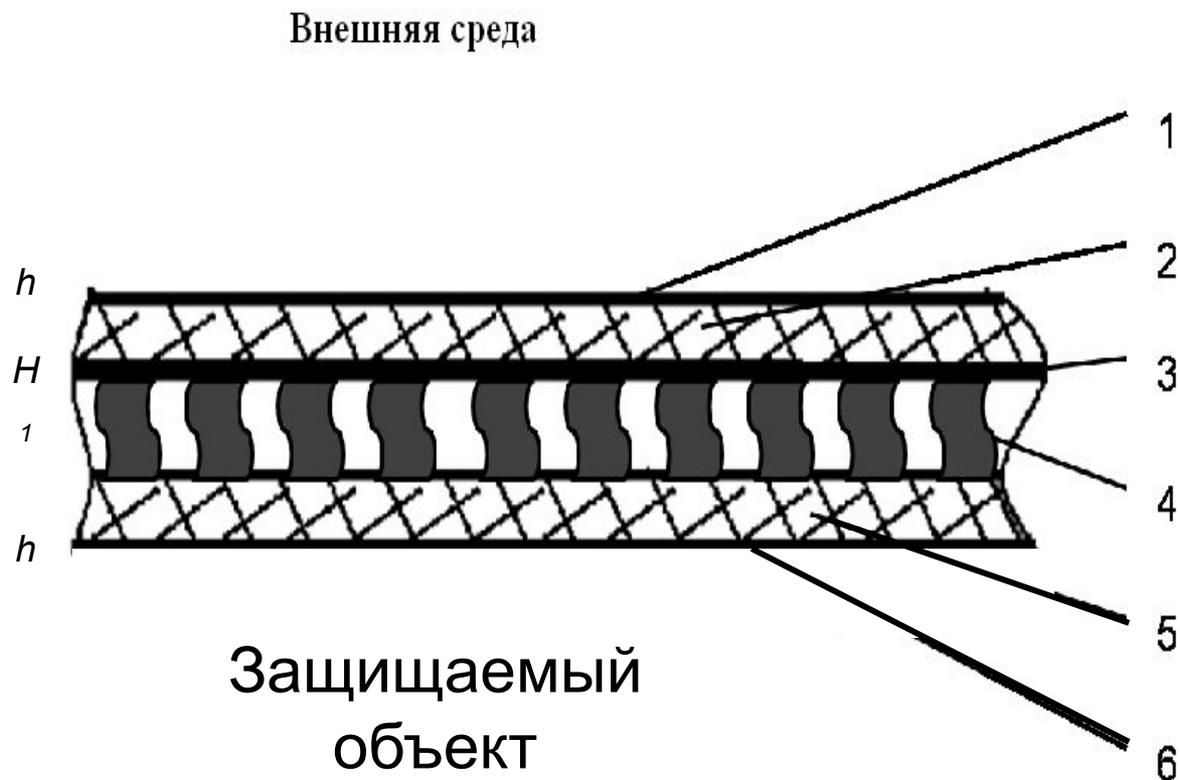


Квадрат



# Двухслойная конструкция УМ с газом или вакуумом между слоями

- 1—Ткань (плащевка защитного цвета);
- 2,5— Пенополиуретан (толщина  $h$  мм) с металлизированным внутренним слоем,
- 3 —Металлизированные слои (0.2-0.5мм) для отражения теплового излучения;
- 4 — Связующие пенополиуретановые выступы высотой  $H$  мм;
- 6 — Металлизированный слой для отражения теплового излучения, исходящего от объекта;



*Полная высота УМ:*

$$H = 2h + H_1 + d .$$

## 4. Двухслойная конструкция УМ с разрежением (вакуумом) между слоями

Степень анти тепловизионной защиты  
двухслойного УМ можно оценить выражениями

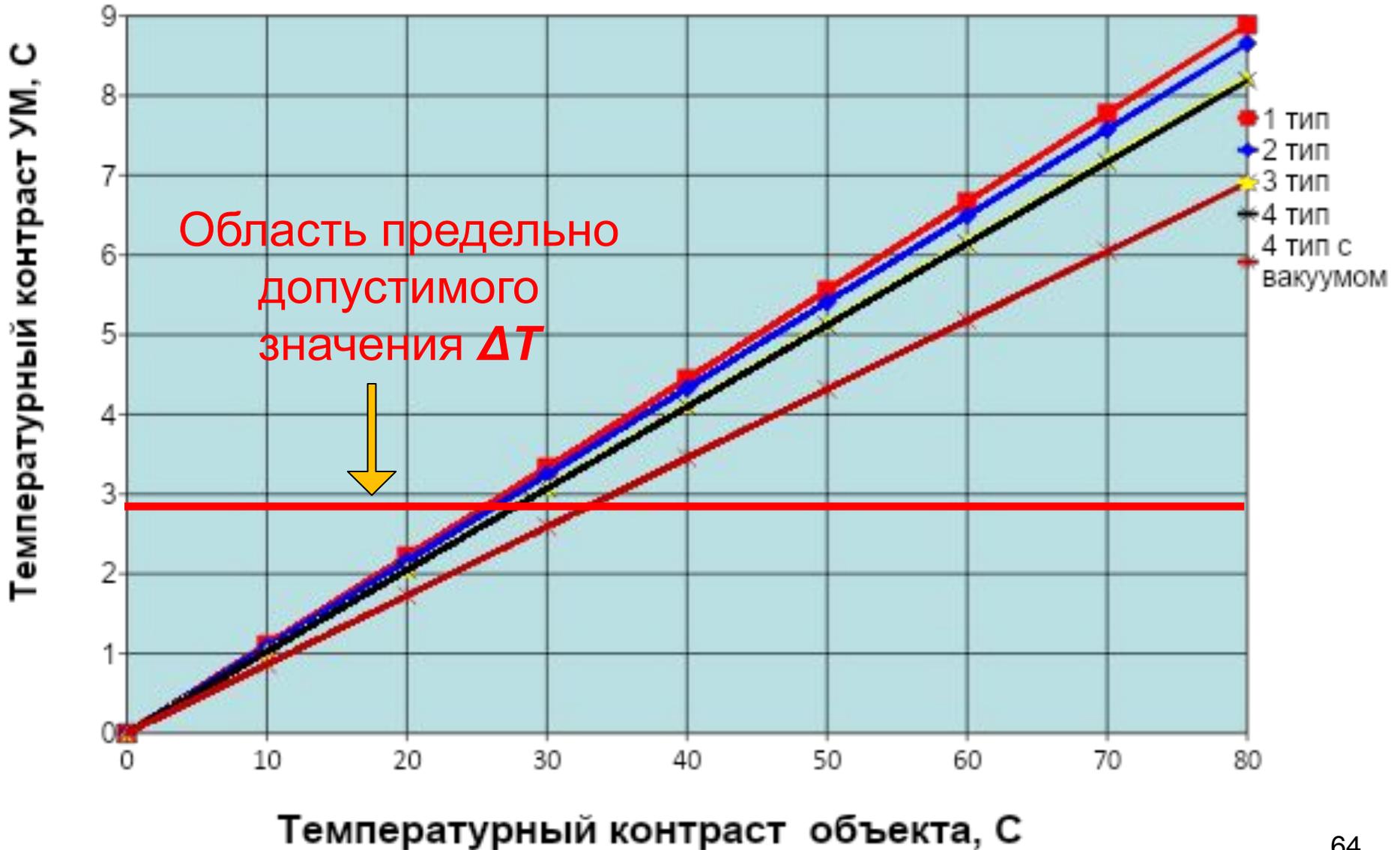
$$K = 1 / (1 + \alpha_2 R_K + \alpha_2 2 h / \lambda + \alpha_2 H_1 / \lambda_{\text{эф}} + d / \lambda_1).$$

Здесь  $\alpha_2$  – коэффициент теплообмена с внешней поверхностью УМ,  $h$  – толщина материала УМ,  
 $R_K$  – контактное термическое сопротивление между поверхностью выступов УМ 7, и поверхностью объекта  
 $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала УМ,  
 $\lambda_{\text{эф}}$  – эффективный коэффициент теплопроводности для связующих элементов 4, и вакуумом между ними,  
 $\lambda_1$  - эффективный коэффициент теплопроводности

# Результаты расчетов качества различных типов УМ

| Тип УМ  | $\lambda_{\text{эф}}$<br>межслойного<br>пространства | Коэффициент<br>качества УМ | Объем<br>материала $m^3$ |
|---|--|----------------------------|--------------------------|
| Однослойный УМ                                  | -  | <i>0,111111</i>            | <i>0,0032</i>            |
| Однослойный УМ<br>с односторонними<br>выступами | <i>0,022295</i>                                      | <i>0,108193</i>            | <i>0,0008</i>            |
| Однослойный УМ<br>с двусторонними<br>выступами  | <i>0,022295</i>                                      | <i>0,102795</i>            | <i>0,0008</i>            |
| Двухслойный УМ с<br>воздухом между<br>слоями    | <i>0,022295</i>                                      | <i>0,102357</i>            | <i>0,0016</i>            |
| Двухслойный УМ с<br>вакуумом между<br>слоями    | <i>0,002454</i>                                      | <i>0,086336</i>            | <i>0,0016</i>            |

# Температурный контраст разных типов УМ с общей толщиной модуля, равной 2см.



# Пассивные АТВЗ второго типа

- **Вторая группа пассивных АТВЗ – это уменьшение поверхности излучения объекта.**
- Полная мощность  $W$  теплового излучения объекта, попадающая в объектив, получается в результате интегрирования  $w$  по поверхности  $S$  объекта, которая видна из объектива тепловизора:
- $$W = \sigma \int \varepsilon(r) ( T^4 - T_0^4 ) dr ;$$
- Здесь коэффициент  $\varepsilon$  учитывает коэффициент черноты и координату нахождения на поверхности объекта, причем  $0 < \varepsilon < 1$ .
- Из формулы следует, что **уменьшение поверхности  $S$  излучения уменьшает полный тепловой поток, и затрудняет тепловизионное обнаружение объекта.**

# Пассивные АТВЗ второго типа

- Простейшее реализация такого метода – окапывание, или самоокапывание (как для БМД-2 ). Варианты могут быть предложены разные. Такой способ может быть применен как в боевых условиях, так и на других этапах.
- Особенно интересными и эффективными является сочетание уменьшения поверхности излучения и вышеописанных АТВПП для оставшейся излучающей части объекта.
- Так, применение самоокапывания и пассивных АТВПП весьма перспективно для бронетехники, особенно имеющей переменный клиренс (например, БМД–2).

# Активные АТВЗ

АТВЗ с постоянно действующими источниками энергии или вещества (с неограниченным временем действия).

К ним можно отнести анти тепловизионные покрытия, которые имеют активные элементы, позволяющие выравнять температуру поверхности с температурой внешней среды, например, термоходильники /нагреватели, работающие на эффекте Пельтье, При этом необходимо иметь источник электрического тока для питания такой охладительно-нагревательной системы.

В качестве второго примера можно привести такие средства тепловизионной защиты, как водяные завесы. При их применении необходим постоянный источник воды с температурой окружающей среды.

Такие активные средства АТВЗ могут эффективно затруднить все три задачи (обнаружение, распознавание и идентификация) тепловизионного видения.

# Активные АТВЗ

**АТВЗ с заранее запасенными источниками вещества или энергии (с ограниченным временем действия).**

- В качестве примера такого АТВЗ можно привести *систему охлаждения наиболее горячих зон танка (двигатель, выхлопная труба (газы)) с помощью бака с жидким азотом*. Эта система работает до тех пор, пока весь азот не испарится.

# Комбинированные АТВЗ

- Это – наиболее перспективное направление АТВЗ.
- В них могут участвовать и пассивные, и активные АТВЗ в разумной пропорции.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ.**