

**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 (≥ 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

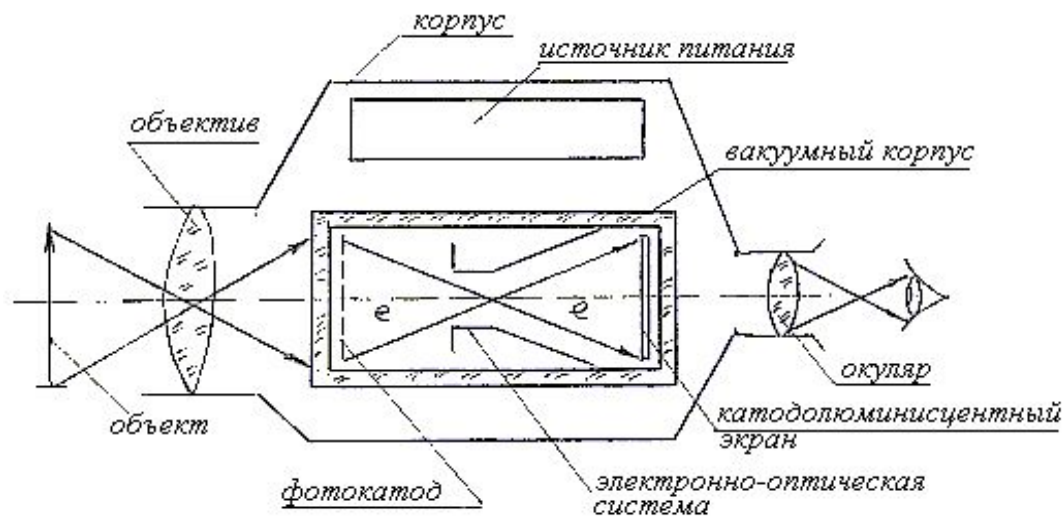


Рис. 1

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 *катодоллюминесцентном экране*.

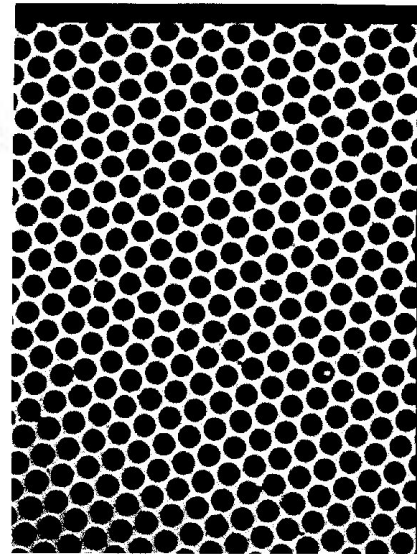
ЭОП как основная часть приборов ночного видения

ЭОП является одновременно приемником, преобразователем, усилителем и передатчиком излучения. Он служит для многократного усиления света. Все ЭОП можно упрощенно разделить на поколения I, II, II+ и III.

Поколение I, I+. ЭОП этого поколения изображен на рис. выше.

Поколение II+. Используется ЭОП с прямым переносом изображения с фотокатода на экран посредством МКП.

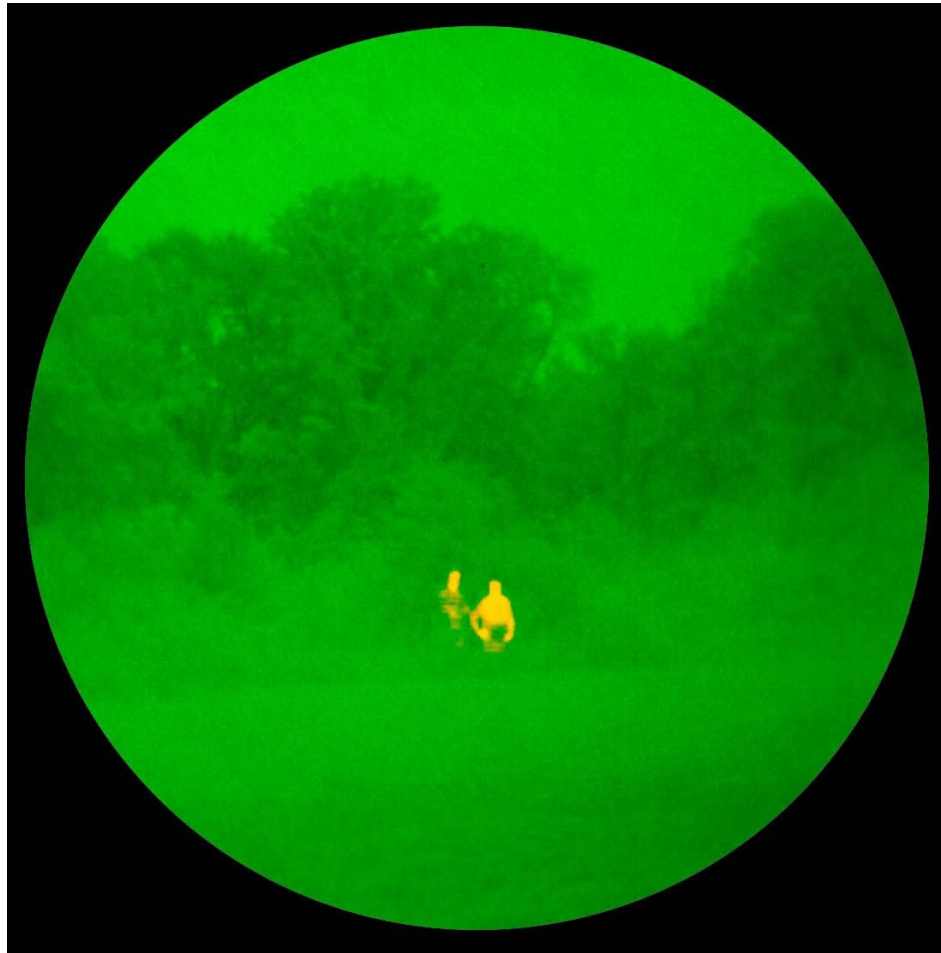
Поколение III. Используется фотокатод на основе арсенида галлия, Все остальное – как в предыдущем случае.



**микроканаль-
ной пластины,
CERN**

Внутренний диаметр канала равен 12 мкм,
Толщина стенки между каналами – 1.5 мкм

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 1×10^{-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:

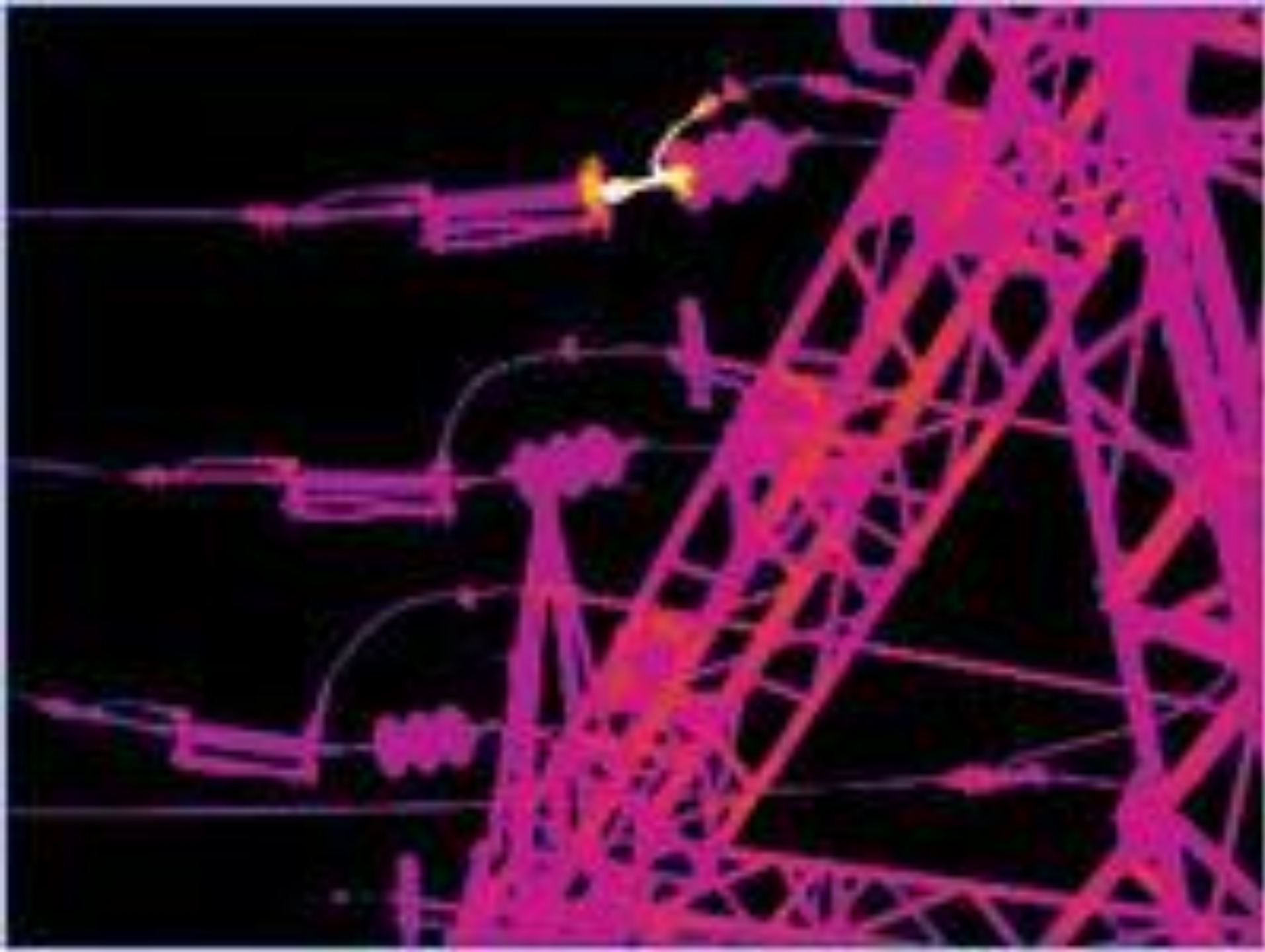
- военные и специальные применения.
- научные применения
- медицинская диагностика (температурная карта тела человека).
- мониторинг зданий – тепловизоры легко обнаруживают малейшие утечки тепла.
- утечки газа на газопроводах и нефтепроводах.
- в энергетике – большая нагрузка светится, как лампочка.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



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

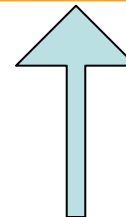


С помощью тепловизоров обыденные предметы выглядят загадочно



Примеры тепловизионных изображений

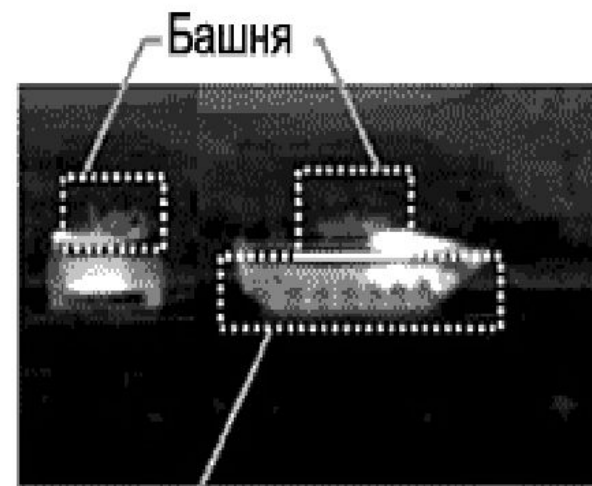
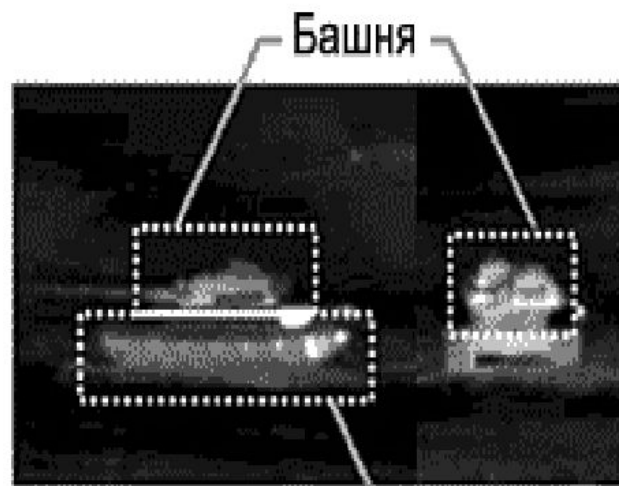
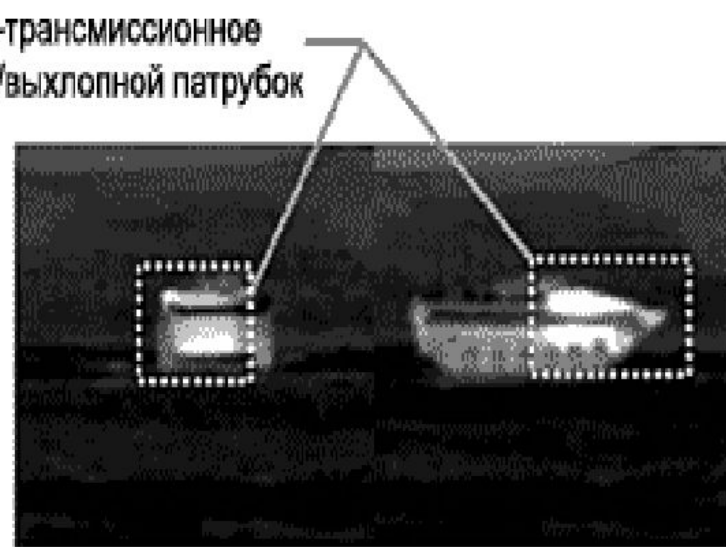
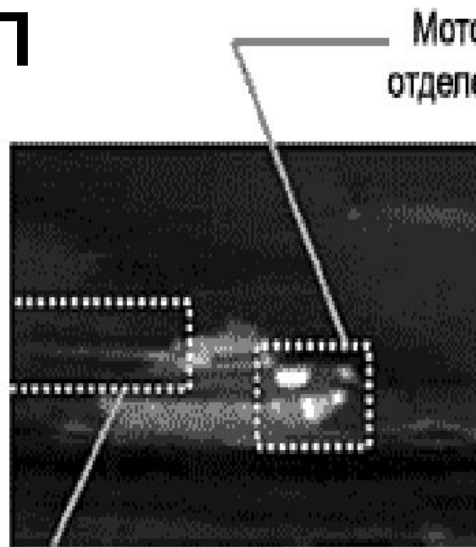
Монохромное изображение ТПЗ (www.nighthunter.com).



Цветное изображение ТПЗ (www.nighthunter.com).

Вид танка и БМП в тепловизоре.

Представленные изображения демонстрируют наиболее уязвимые места для обнаружения тепловизором.



Конструктивно, современный тепловизор имеет довольно простое устройство:

- **объектив,**
- **тепловизионная матрица**
- **электронный блок обработки сигнала**



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

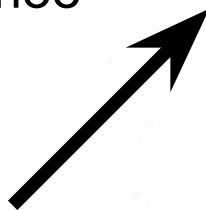
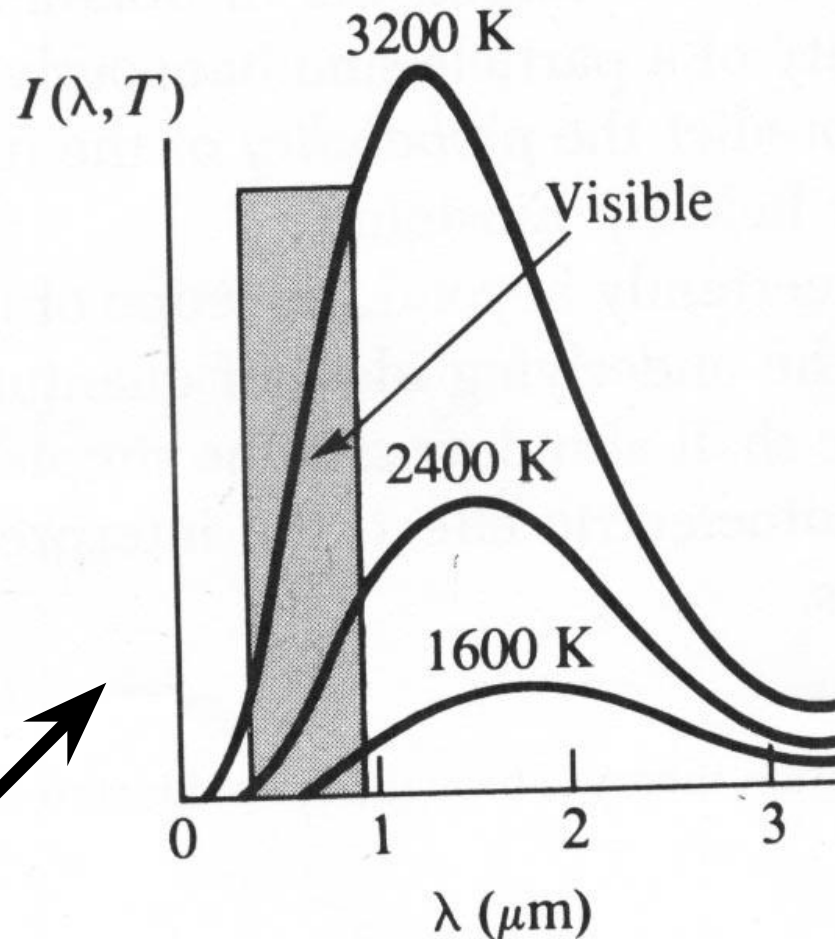
Flir Infracam – легкий и компактный тепловизор, самая недорогая (\$10 000) модель фирмы Flir

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).

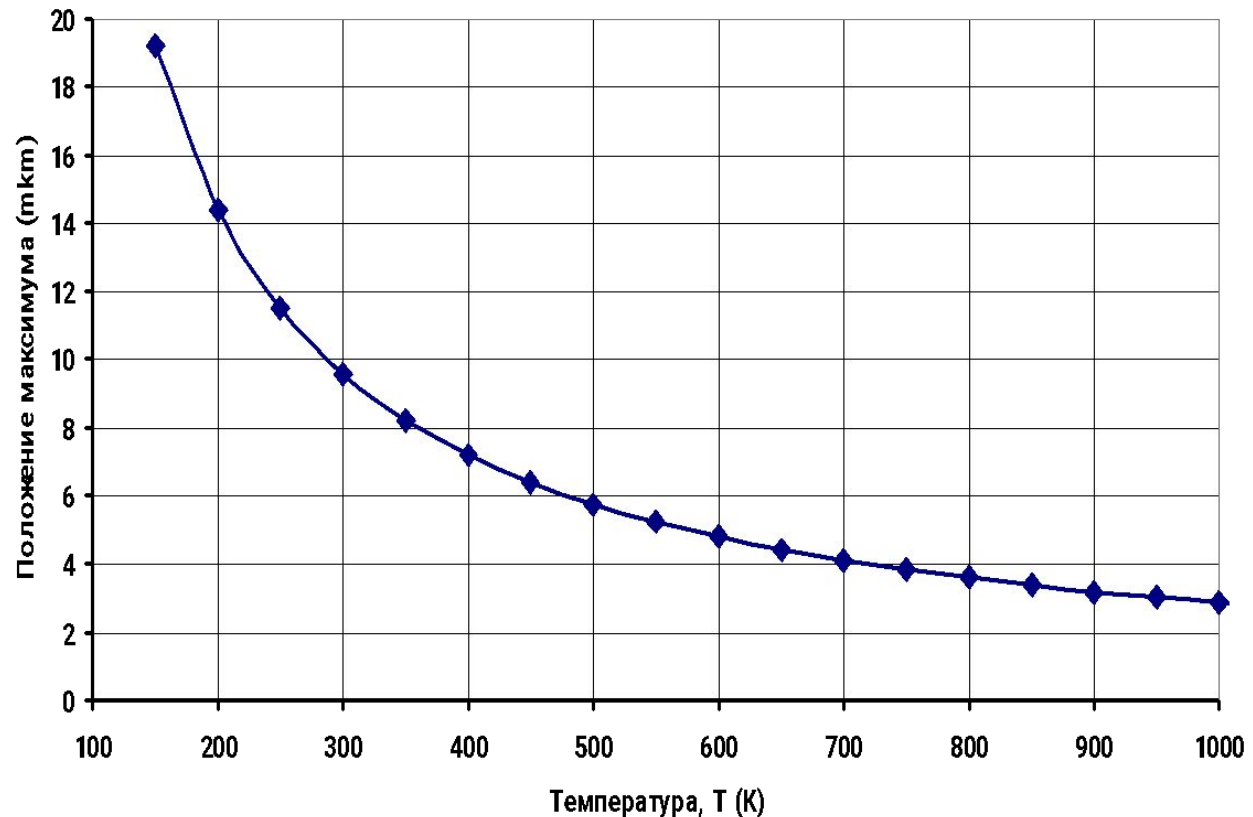
Для тепловизионных наблюдений выбраны два диапазона инфракрасного излучения:

3 - 5 мкм и 8 - 16 мкм.

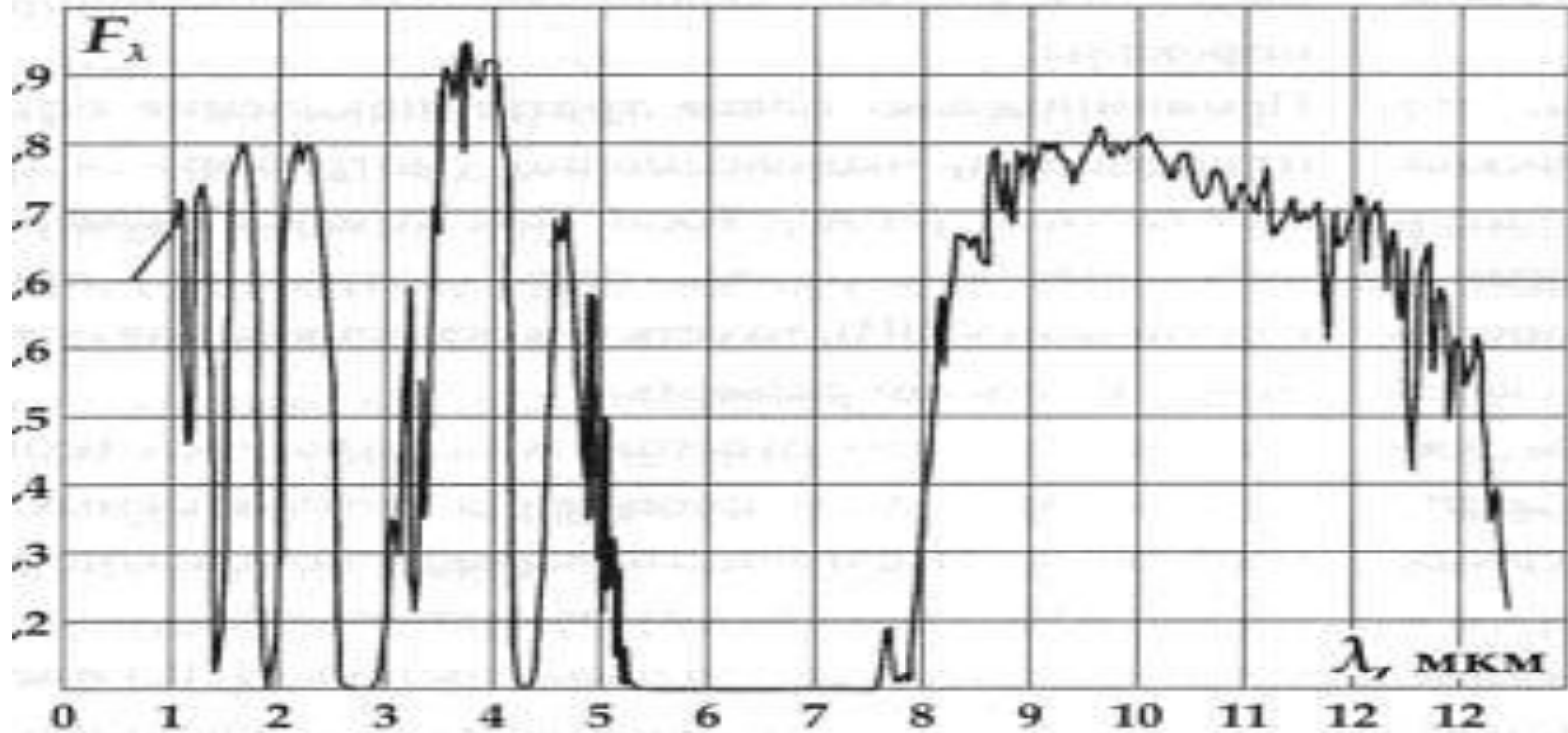
Причины такого выбора:

- *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 λ_{\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 -30°C до +30°C, а при необходимости – и в большем диапазоне температур.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВИЗОРОВ

2. Внешний фотоэффект

Принцип действия. Излученное телом инфракрасное (ИК) излучение фокусируется **объективом прибора** (теповизора), 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 — 640x480 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).

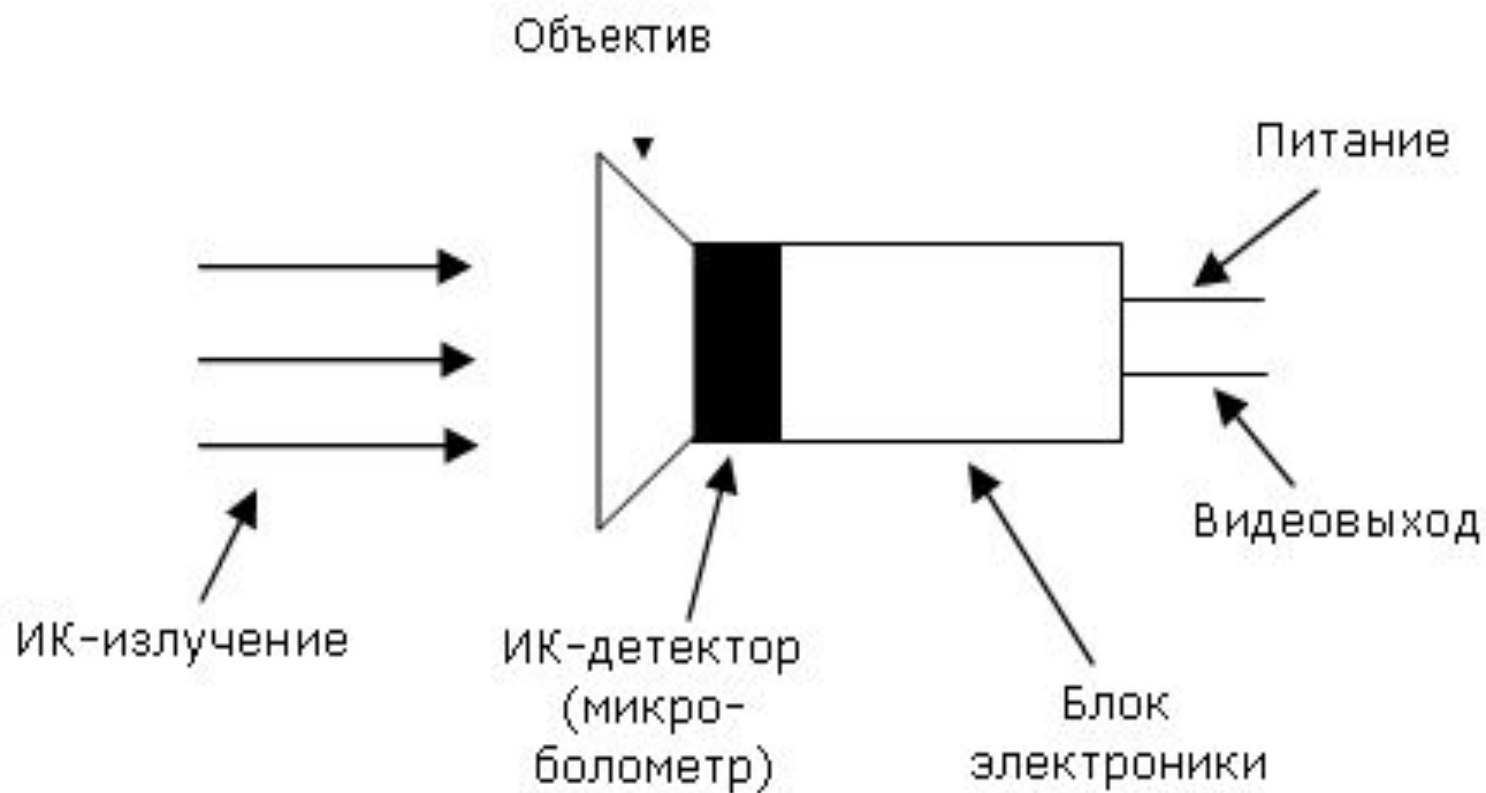
Для изготовления тепловизионных объективов применяется очень дорогой материал – чистый германий. Рыночная цена оптического германия – \$1800–2000 за килограмм.

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.

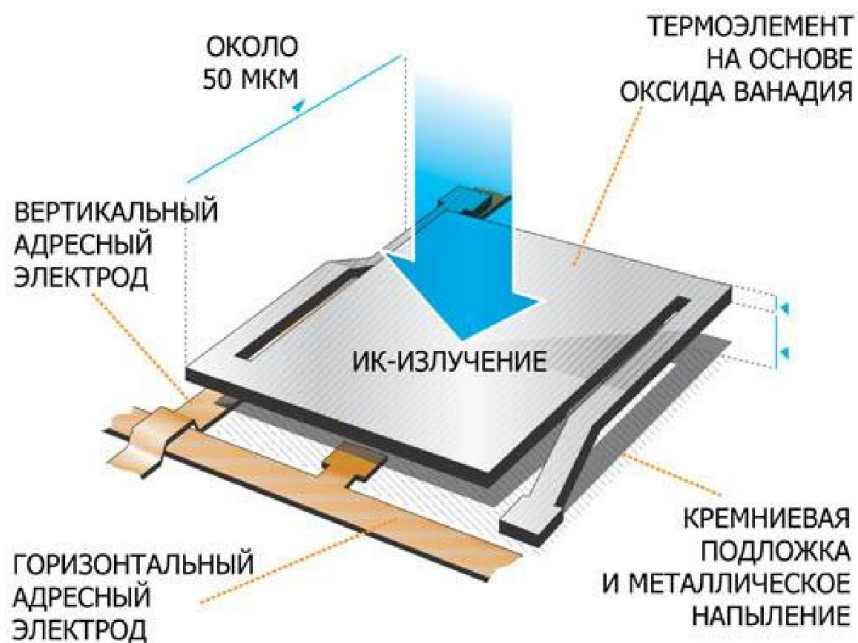
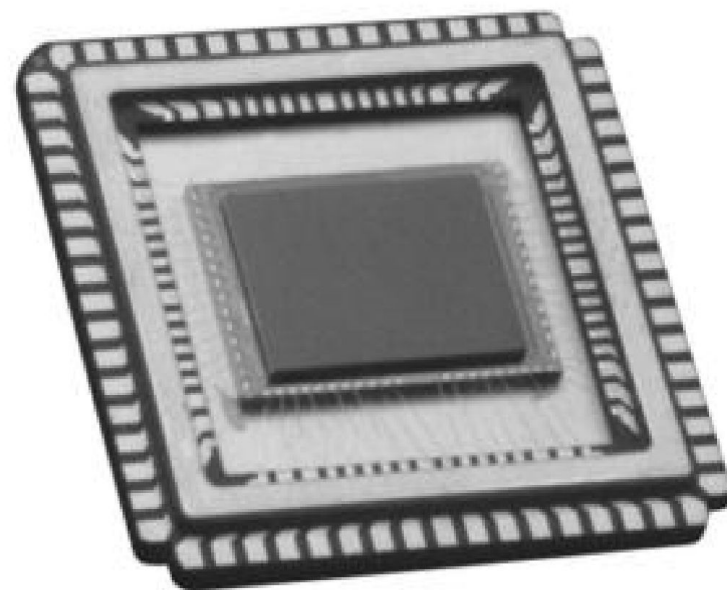
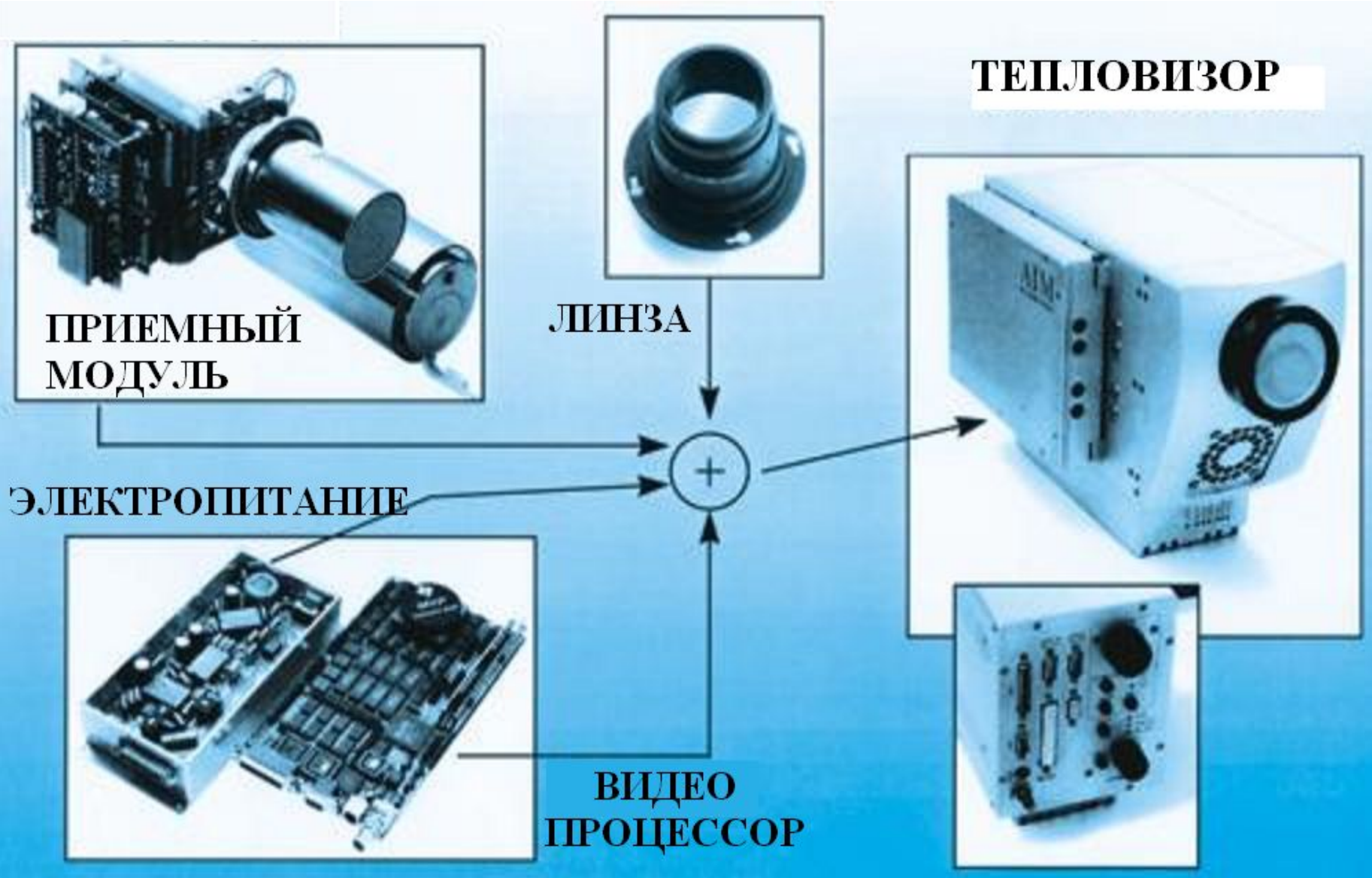


Схема
микроболометрической
матрицы
(МБМ) ([www](http://www.) (МБМ)
(www. (МБМ)
(www.poptech (МБМ)
(www.poptech. (МБМ)
(www.poptech.ru)



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



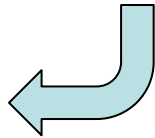
137 м
16 пикселей



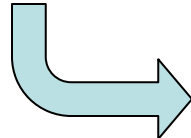
ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАССТОЯНИЯ



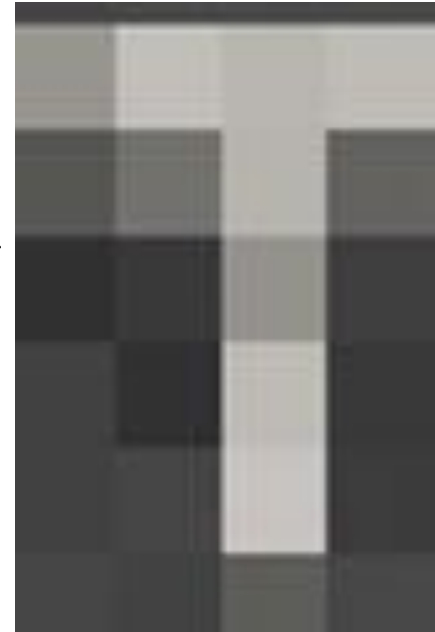
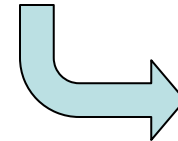
182 м
10 пикселей



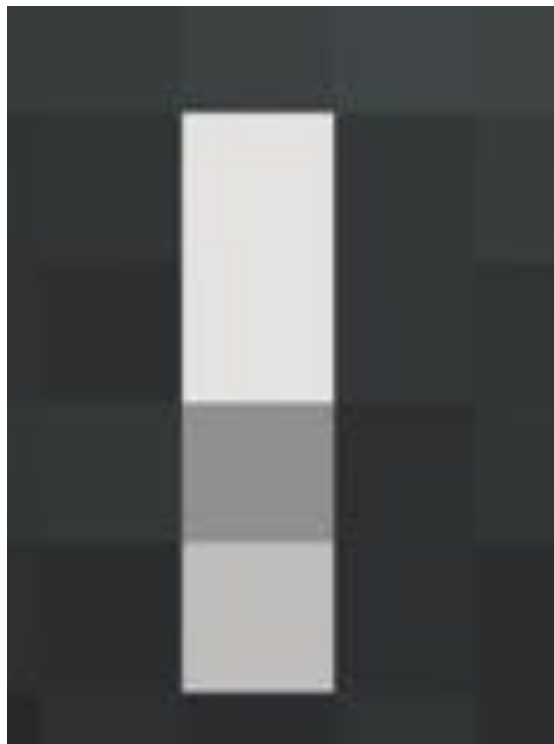
275 м
7 пикселей



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

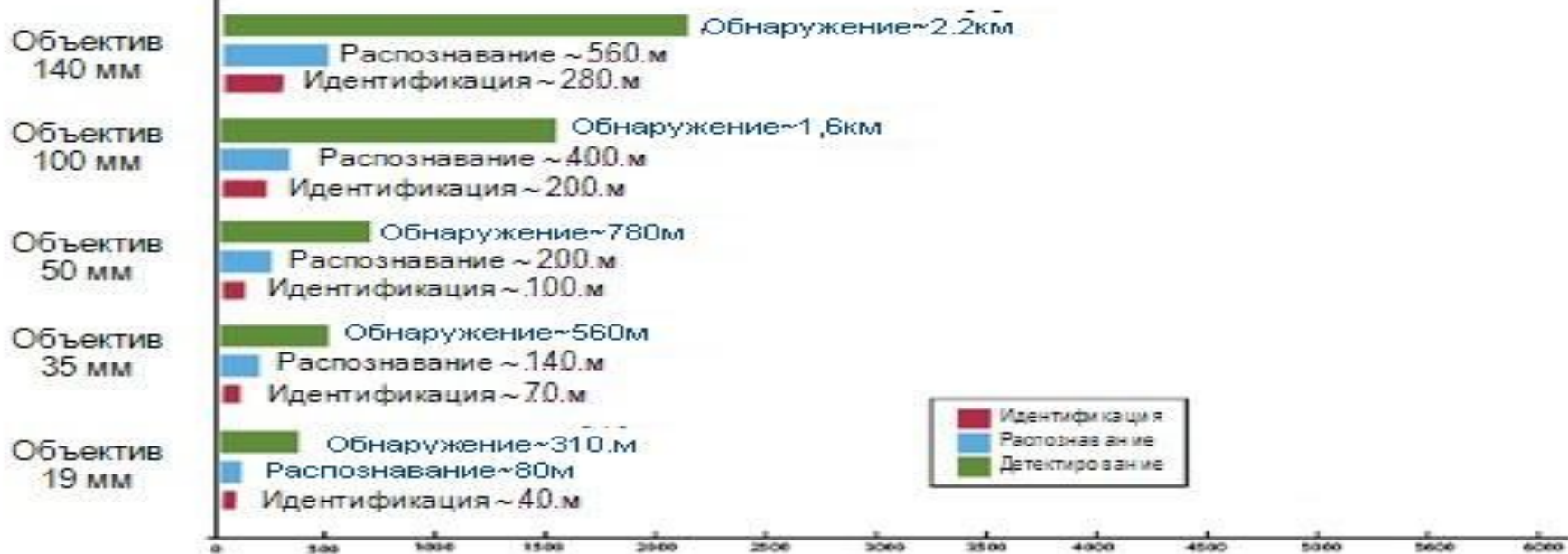
30 пикселей

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).



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) . 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).

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).

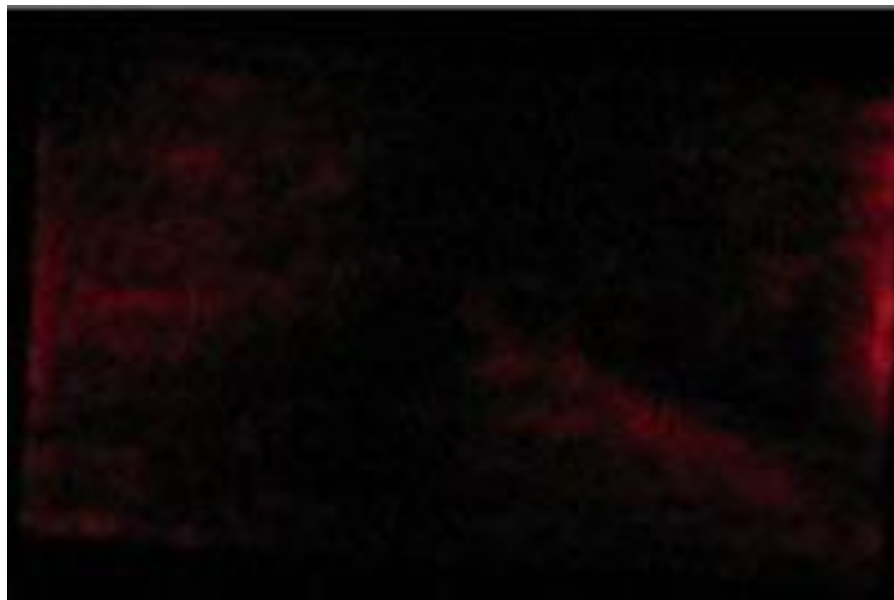
Общий вид АТВЗ костюма



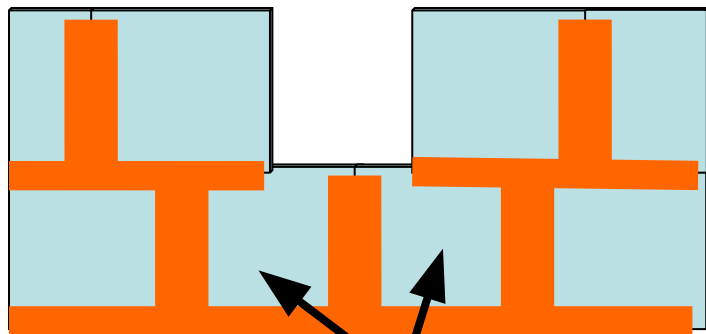
Изображение в тепловизоре (вблизи)



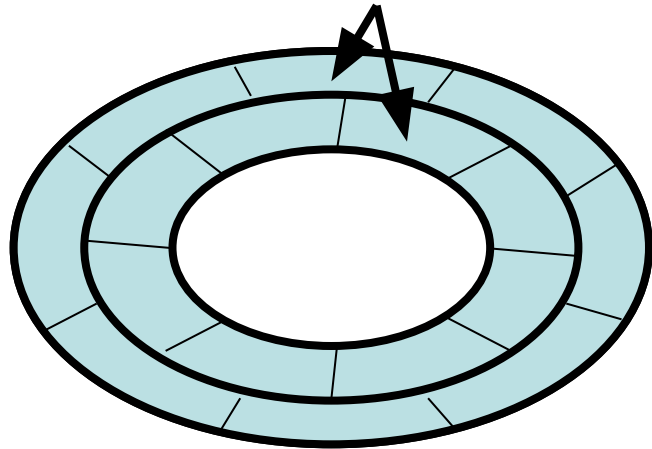
Изображение в тепловизоре на расстоянии 180 м.



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

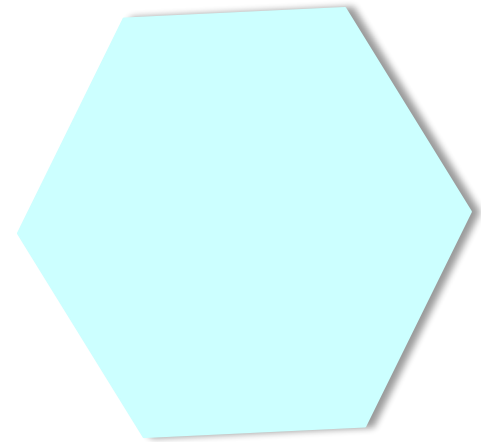
Универсальный модуль (УМ) – основа многоцелевого пассивного АТВП

В качестве УМ можно использовать элементы простой геометрии:

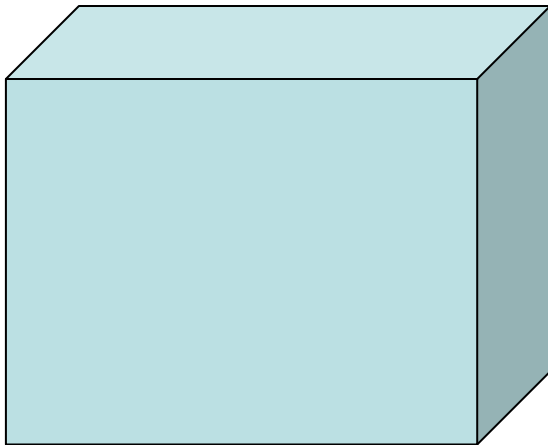
Правильный
треугольник



Правильный
шестигранник

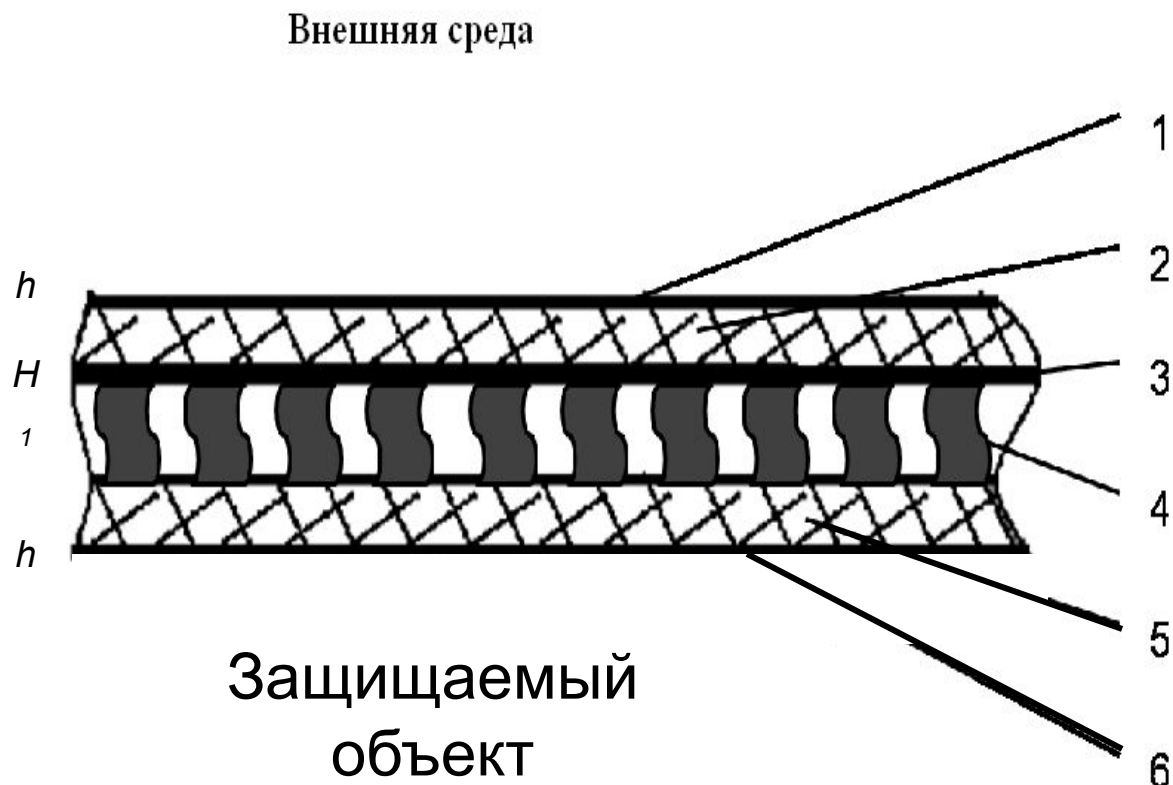


Квадрат



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

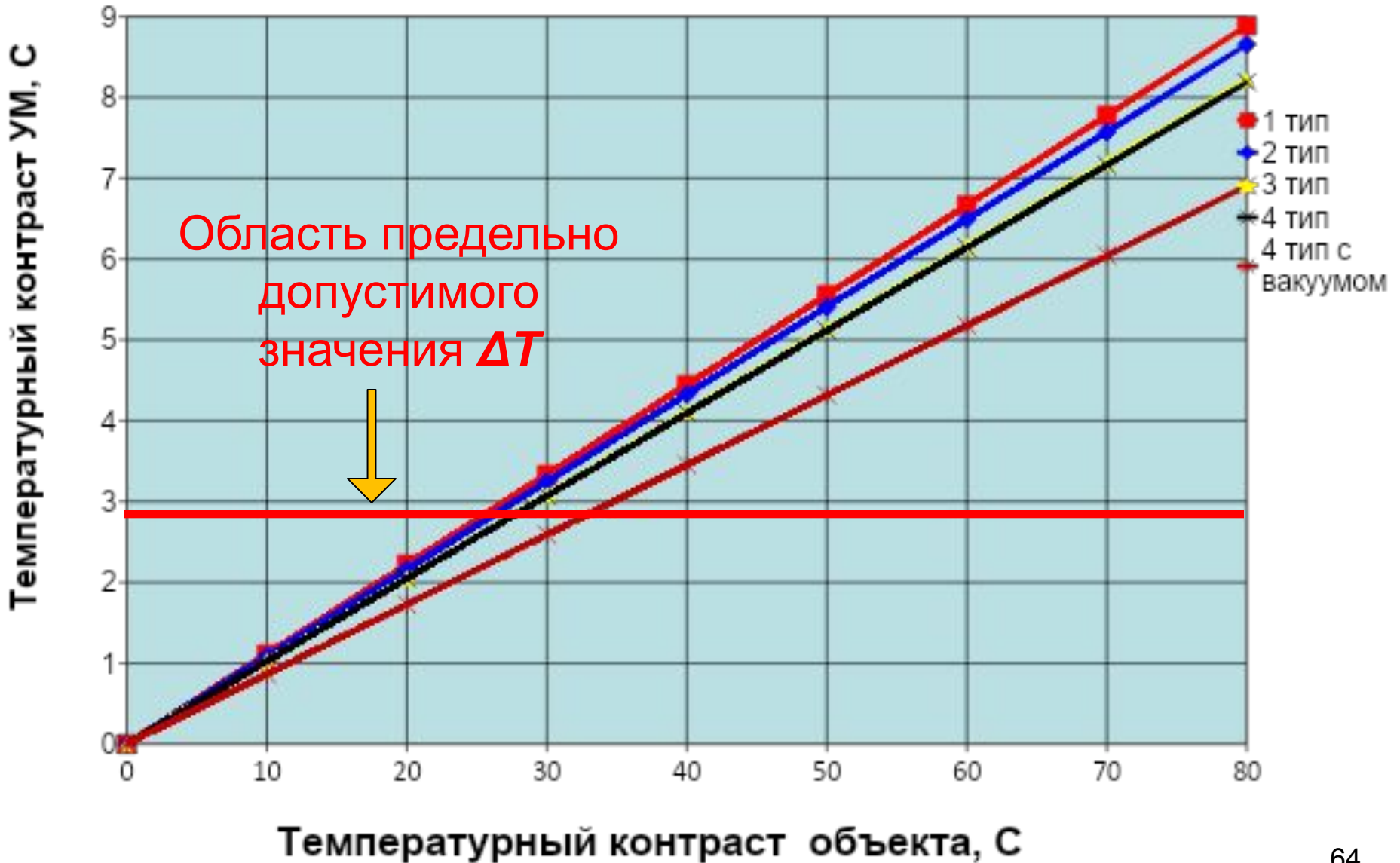
$$K = 1 / (1 + \alpha_2 R_K + \alpha_2 2 h / \lambda + \alpha_2 H_1 / \lambda_{\text{эф}} + d / \lambda_1).$$

Здесь α_2 – коэффициент теплообмена с внешней поверхностью УМ, h – толщина материала УМ,
 R_K – контактное термическое сопротивление между поверхностью выступов УМ 7, и поверхностью объекта
 λ – коэффициент теплопроводности материала УМ,
 $\lambda_{\text{эф}}$ – эффективный коэффициент теплопроводности для связующих элементов 4, и вакуумом между ними,
 λ_1 - эффективный коэффициент теплопроводности

Результаты расчетов качества различных типов УМ

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