

# Тепловидение

---

Курс «Лазерные системы специального назначения»

# Основная литература

1. Дж. Ллойд, Системы тепловидения, Издательство «Мир», Москва 1978
2. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. -М.: Логос, 2004
3. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов. Учебник для вузов. - М.: Логос, 2004
4. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Конспект лекций «Многоэлементные приемники излучения». - М.: МИИГАиК, 2001
5. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Двух- и многодиапазонные оптико-электронные системы. -Логос, 2007
6. Тарасов В.В., Торшина И.П., Фотиев Ю.А., Якушенков Ю.Г. Сборник контрольных вопросов по дисциплинам «Оптические и оптико-электронные приборы и системы», «Источники и приемники оптического излучения», «Тепловизионные системы» (уч. пособие для вузов). - М.: МИИГАиК, 2004

# Дополнительная литература

1. Справочник по инфракрасной технике в 4-х томах./Пер. с англ. под ред. Н.В. Васильченко, В.А.Есакова и М.М.Мирошникова. - М.: Мир, 1998
2. The Infrared and Electro-Optical Systems Handbook. Ed by Y.S.Accetta and D.L.Shumaker. -Ann Arbor, ERIM, 1996
3. Парвулюсов Ю.Б., Родионов С.А., Солдатов В.П. и др. Проектирование оптико-электронных приборов. Под ред. Ю.Г.Якушенкова. - М.: Логос, 2000

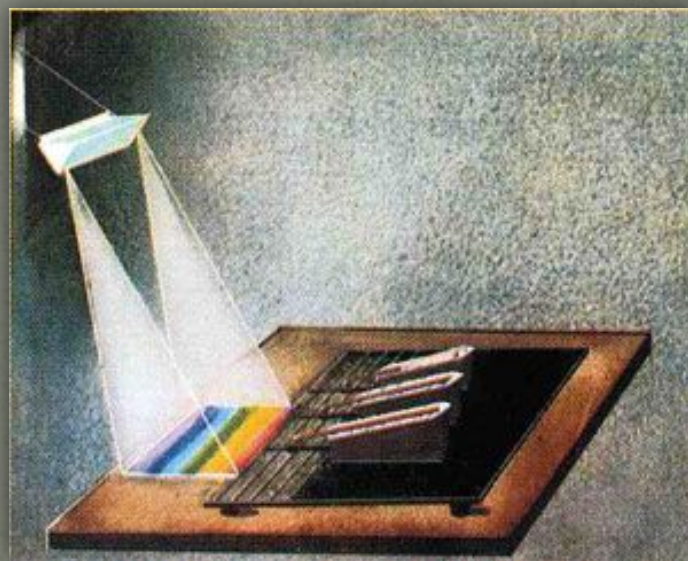
# Введение в тепловидение. История.



Уильям Гершель

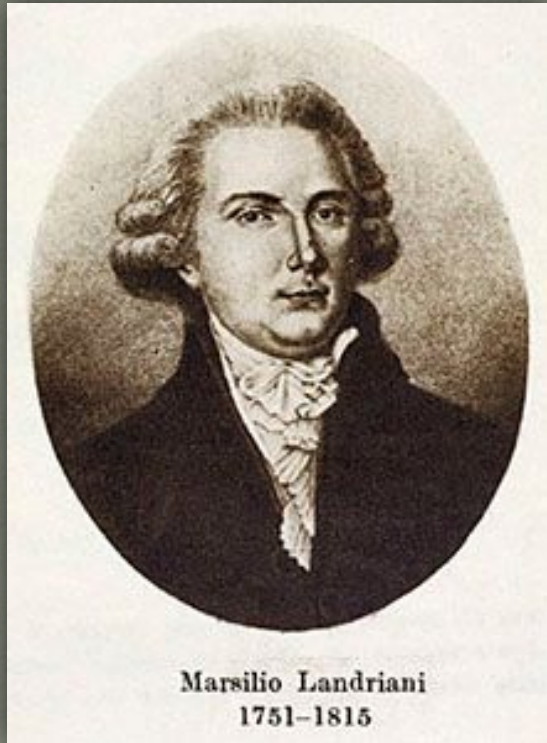
1738-1822

Опыт У. Гершеля (1800 г.) в результате которого было открыто тепловое излучение.



Занимаясь исследованием Солнца, Гершель искал способ уменьшения нагрева инструмента, с помощью которого велись наблюдения.

# Введение в тепловидение. История.



Сделал открытие, что каменная соль ( $\text{NaCl}$ ), которая доступна в больших количествах, оказалась прозрачной для ИК излучения.

Термометр Ландриани может измерять температуру с погрешностью  $0,2^\circ\text{C}$  ( $0,036^\circ\text{F}$ ), поздние модели до  $0,05^\circ\text{C}$  ( $0,09^\circ\text{F}$ .)

# Введение в тепловидение. История.



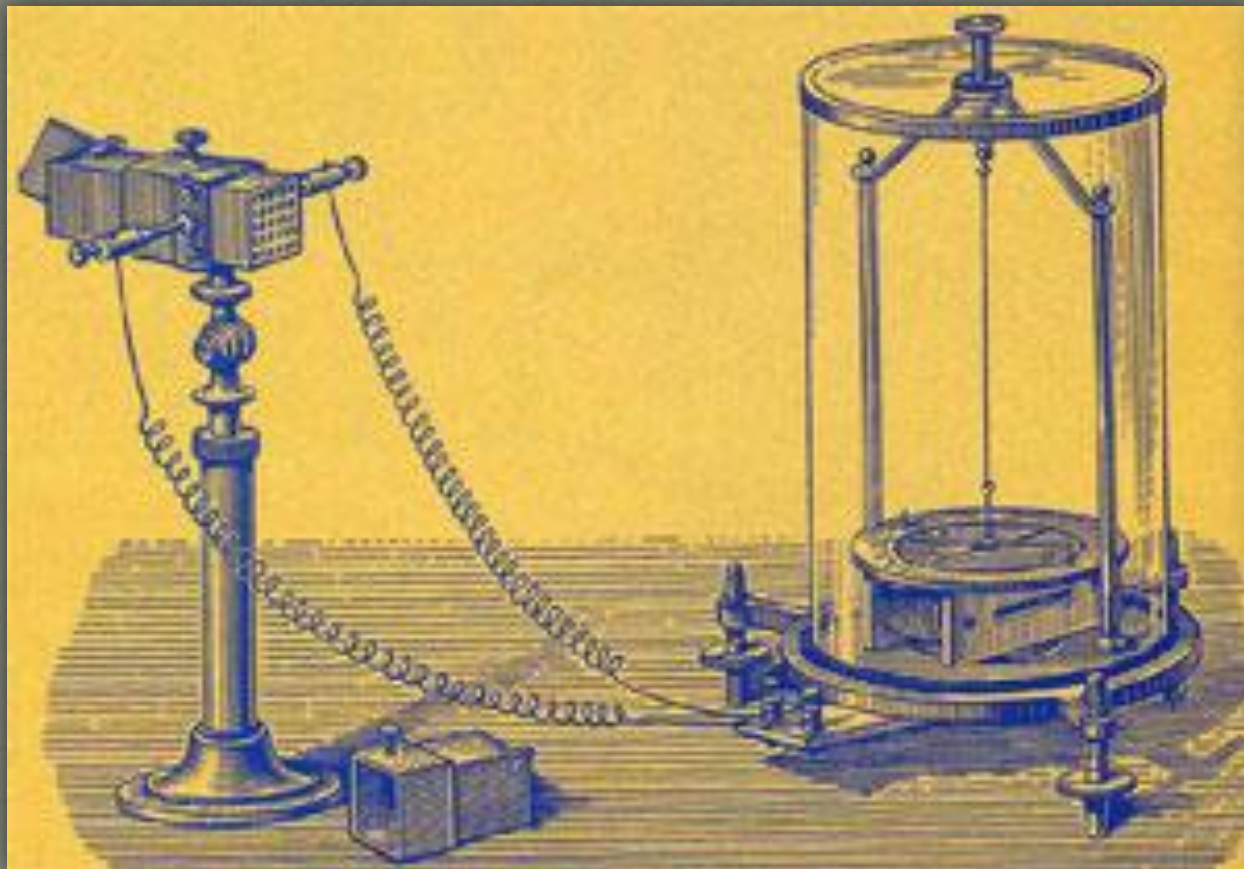
**Leopoldo Nobili**  
(1784-1835)



**Меллони Мачедонио**  
(Macedonio Melloni)  
(11.IV.1798 - 11.VIII.1854)

- Изобрёл термопару и термобатарею.
- Получил электричество, используя платиновые электроды в щелочном нитрате, послужившем электролитом.
- Изобрел астатический гальванометр для измерения электрического тока.
- Исследование тепловой радиации.
- Изобрел устройство для измерения теплового излучения, состоящее из гальванометра и термоэлемента (оптическая скамья Меллони).
- В 1831 совместно с Л. Нобили изучал тепловой спектр Солнца и «прозрачность» различных тел для тепловых лучей.

# Введение в тепловидение. История.



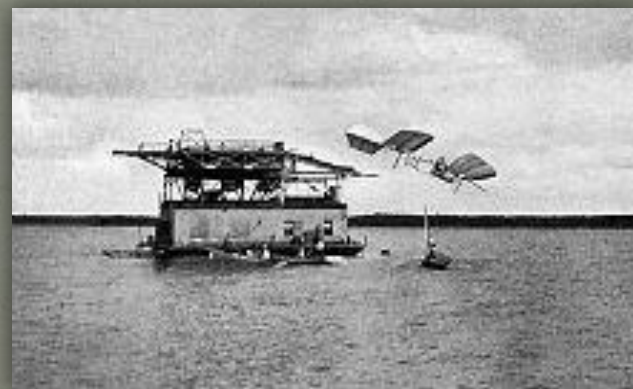
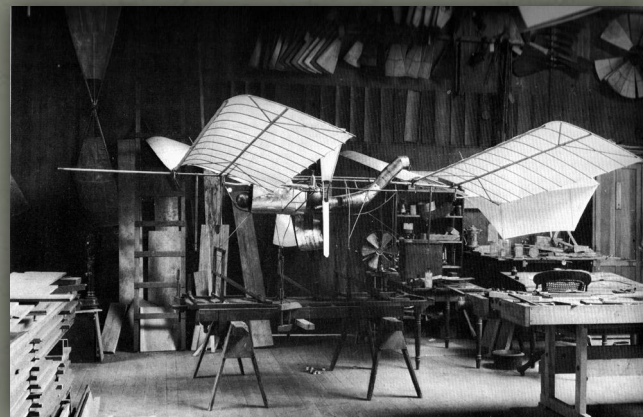
Приемник теплового излучения М. Меллони (1840 г.)  
с гальванометром (справа)

# Введение в тепловидение. История.



Сэмюэл Пирпонт Лэнгли  
(1834-1906)

- изобрел болометр;
- работы по созданию первого летательного аппарата;





# Введение в тепловидение. История.



Дьюар, Джеймс  
(1842-1923)



Важнейшие научные работы — в области физики низких температур, термодинамики, оптики, спектроскопии и радиоактивности.

В 1892 г. изобрёл сосуд для хранения охлажденных газов (сосуд Дьюара) и первый предложил использование сжиженных газов для охлаждения ПОИ

# Введение в тепловидение. История.



Густав Роберт Кирхгоф  
(1824-1887)

- Исследовал спектры веществ, поглощающих одноатомный газ, имеющий линейчатые спектры испускания, пропуская через него белый свет (1854 г.)
- Закон излучения Кирхгофа;
- Правила Кирхгофа для электрической цепи;



# Введение в тепловидение. История.



Макс Карл Эрнст  
Людвиг Планк  
(1858-1947)

Основатель квантовой теории  
предопределил основное направление  
развития физики с начала XX века.

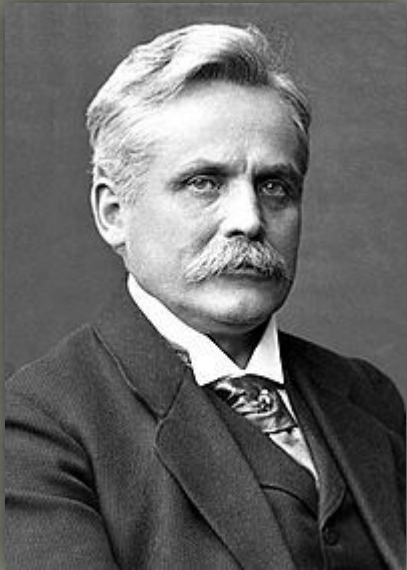
**Формула Планка** — выражение для  
спектральной плотности мощности  
излучения абсолютно чёрного тела

$$W_{\lambda b} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left( e^{hc/\lambda kT} - 1 \right)} \times 10^{-6} [\text{Watt} / \text{m}^2, \mu\text{m}]$$

Научные труды по:

- Термодинамике;
- Теории теплового излучения;
- Квантовой теории;
- Специальной теории относительности;
- Оптике;

# Введение в тепловидение. История.

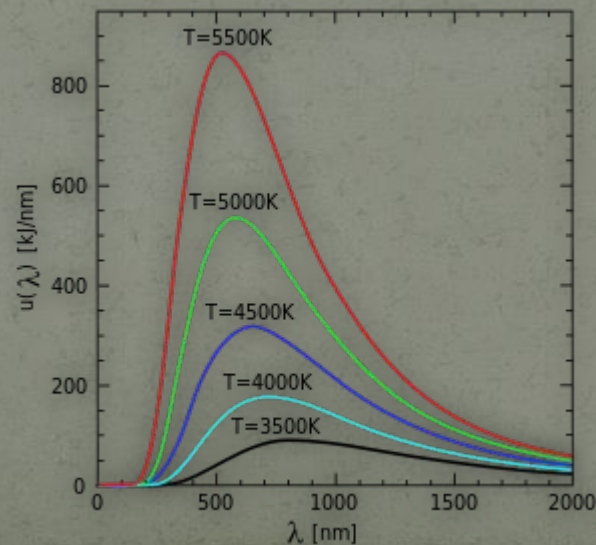


Вильгельм Карл Вернер  
Отто Фриц Франц Вин  
(1864-1928)

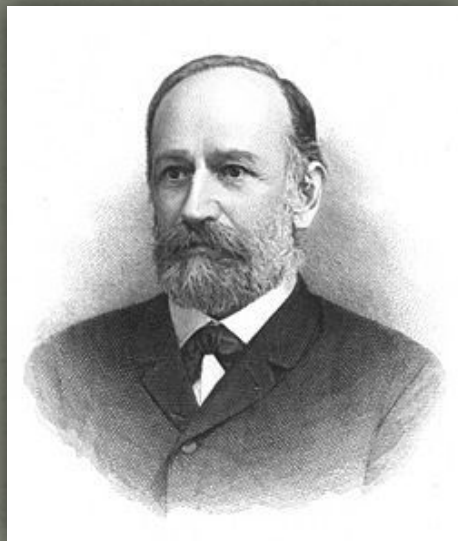
В 1893/94 гг. он вывел первый закон Вина, а из него - закон смещения Вина, в 1896 г. - второй закон Вина для теплового излучения

Длина волны, при которой энергия излучения абсолютно чёрного тела максимальна, определяется законом смещения Вина:

$$\lambda_{\max} = b/T \approx 0,002898 \text{ м}\cdot\text{К} \times T^{-1} (\text{К})$$



# Введение в тепловидение. История.



Йозеф Стефан  
(нем. *Joseph Stefan*)  
(1835-1893)



Лю́двиг  
Бо́льцман  
(1844-1906)

Мощность излучения абсолютно чёрного тела прямо пропорциональна площади поверхности и четвёртой степени температуры тела:

$$P = S\epsilon\sigma T^4,$$

# Введение в тепловидение. История.



**Мирошников  
Михаил Михайлович**  
(род. 1926)

Главные направления работ:

- использование ИК для создания авиационной тепловизионной аппаратуры и ИК-дальномеров (1949—1959);
- тепловидение — получение видимого изображения слабонагретых тел (с 1957);
- исследования оптического излучения Земли, околоземного пространства, Солнца и планет с космических кораблей;
- создание космической аппаратуры для измерения, обнаружения, навигации и наблюдения (с 1957).

# Введение в тепловидение. История.

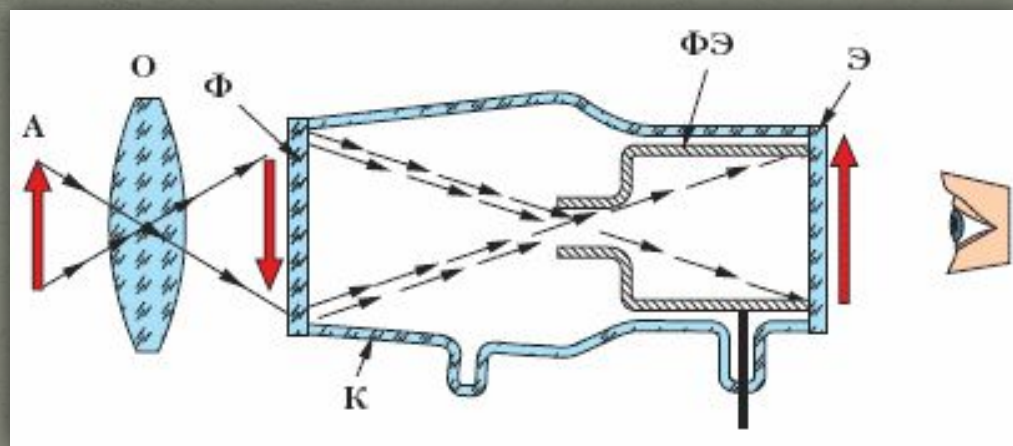


Изобрёл (1937) принципиально новый селективный оптико-акустический приемник - спектрофона, чувствительный от ультрафиолетовой до миллиметровой области спектра.

Вейнгеров Марк Леонидович  
(1903 - 1973)

Выдающийся учёный в области физики и техники инфракрасных лучей, доктор физико-математических наук, профессор, лауреат Государственной премии.

# Введение в тепловидение. История.



1934 г. – создание ЭОП



# Введение в тепловидение. История.

Советские ИК приборы ночного видения (ПНВ)  
во Второй мировой войне.



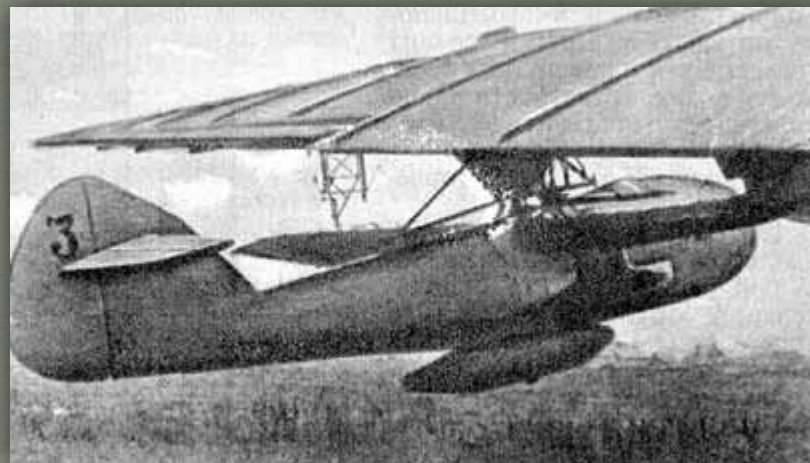
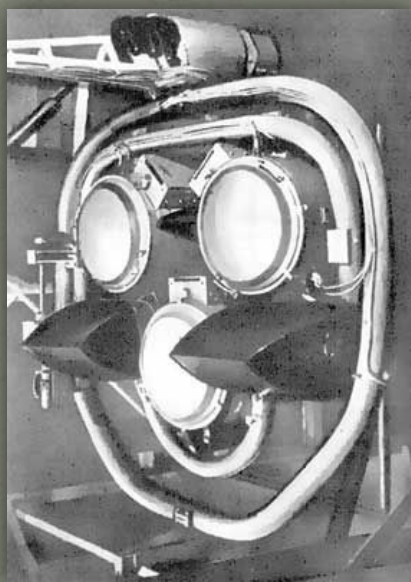
ППШ с ИК прицелом (1943 г.).



Прицел на М1 «Снайперскоп»

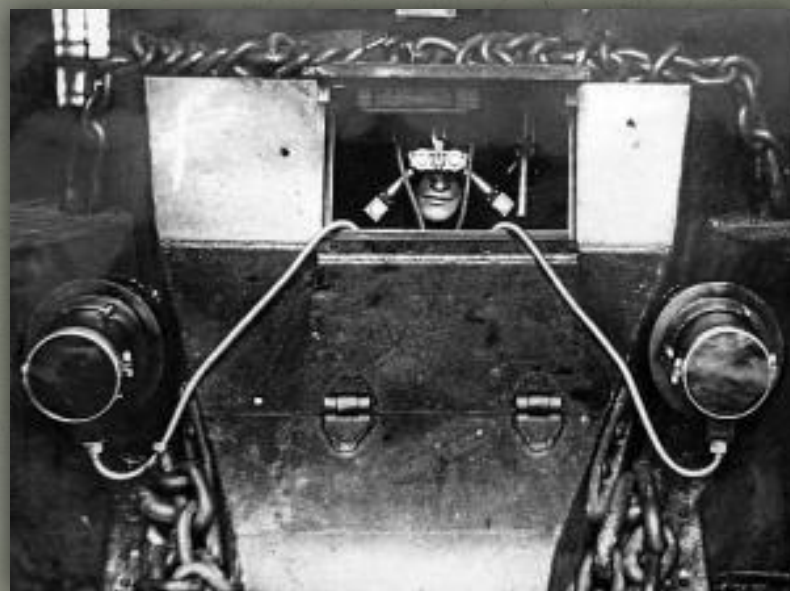
# Введение в тепловидение. История.

## Планирующие торпеды СССР.



# Введение в тепловидение. История.

Отечественные инфракрасные приборы ночного видения  
«Шип» и «Дудка»



# Введение в тепловидение. История.

Немецкий Sd.Kfz.251/20 Schützenpanzerwagen -  
Infrarotscheinwerfer («Uhu» - сова)



# Введение в тепловидение. История.

Эвапорография (от лат. еварого — испаряю и ...графия)

Предложен немецким физиком М. Черни в 1929.

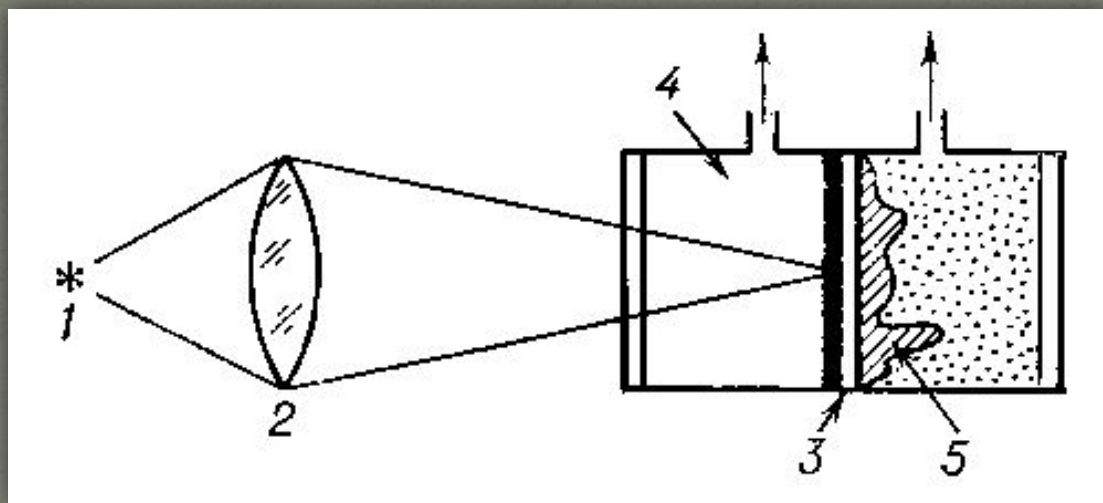


Схема получения изображения в эвапорографе:  
1 — объект; 2 — объектив (обычно ИК); 3 — тонкая зачернённая мембрана; 4 — вакуумная камера; 5 — жидкостный рельеф.

# Введение в тепловидение. История.

Пример кустарного эвапорографа



# Задачи тепловидения.

**ДВЕ ЗАДАЧИ  
ТЕПЛОВИДЕНИЯ**

```
graph TD; A[ДВЕ ЗАДАЧИ ТЕПЛОВИДЕНИЯ] --> B[Обнаружение/наблюдение, место положения (дальность)]; A --> C[Повышение скрытности объекта];
```

**Обнаружение/  
наблюдение,  
место положения  
(дальность)**

**Повышение  
скрытности  
объекта**

# Задачи тепловидения.

Различают три задачи для тепловизионного видения:

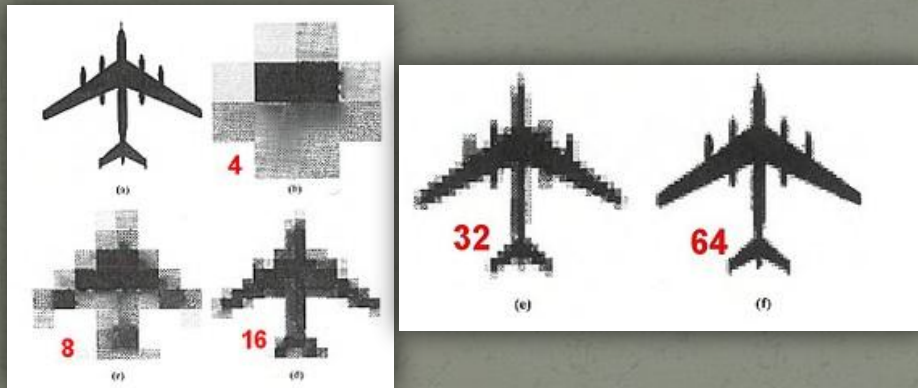
- *обнаружение объекта,*
- *распознавание объекта,*
- *идентификация объекта.*
  
- **Обнаружение:** Для того чтобы определить – есть объект или нет.
- **Распознавание:** Распознавание какого-либо объекта определяют как способность видеть класс объекта. Это означает возможность различать человека, автомобиль, грузовой автомобиль или любой другой объект.
- **Идентификация:** Этот термин часто используется в военном смысле этого слова, который означает – увидеть (определить) "свой" или "чужой". Или распознавание внутри класса объектов.

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



# Задачи тепловидения.

Обнаружение, распознавание, идентификация объекта типа «самолет»



Обнаружение, распознавание, идентификация объекта типа «человек»



**Критерий Джонсона:** для зрительного анализатора выделяются несколько уровней восприятия изображения. Нижний уровень (обнаружения объекта) соответствует выделению какого-то размытого пятна на фоне помех, а высший уровень соответствует точной идентификации объекта и определению его специфических особенностей.

# Основы тепловидения.

Энергия излучения фотона

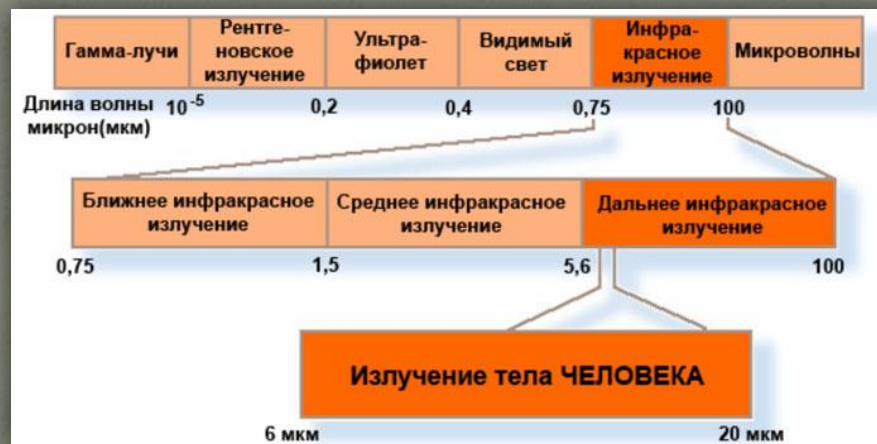
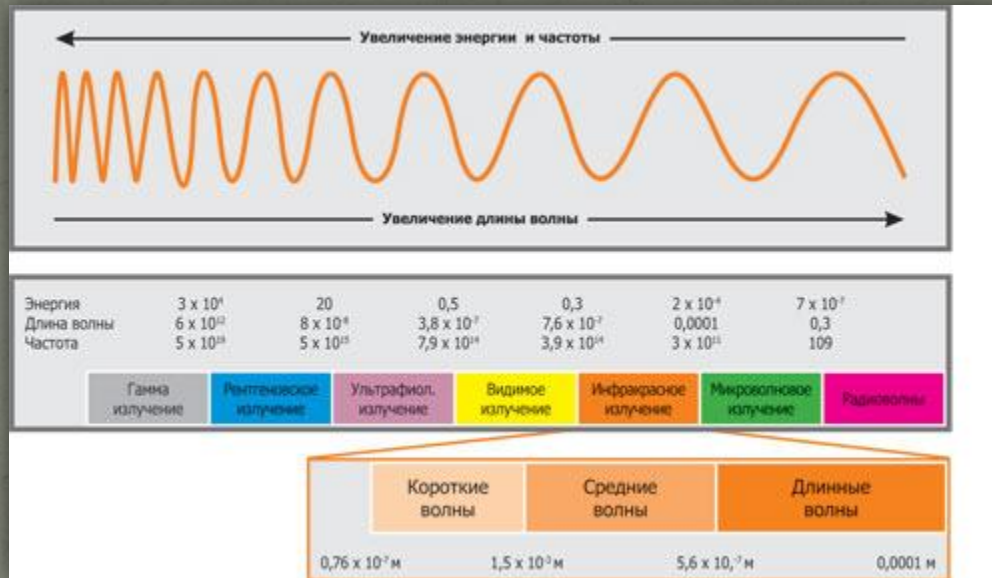
$$W = hc / \lambda,$$

где  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж  $\cdot$  с — постоянная Планка,  
 $c = 3 \cdot 10^8$  м/с — скорость света.

Инфракрасную область делят на три больших участка:

1. Ближняя инфракрасная область (0,75—1,5 мкм);
2. Средняя инфракрасная область (1,5—20 мкм);
3. Дальняя инфракрасная область (20—1000 мкм).

# Основы тепловидения.

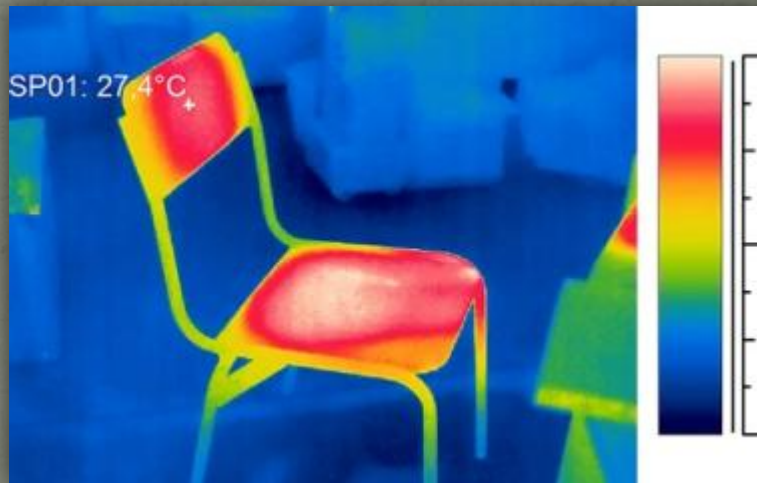
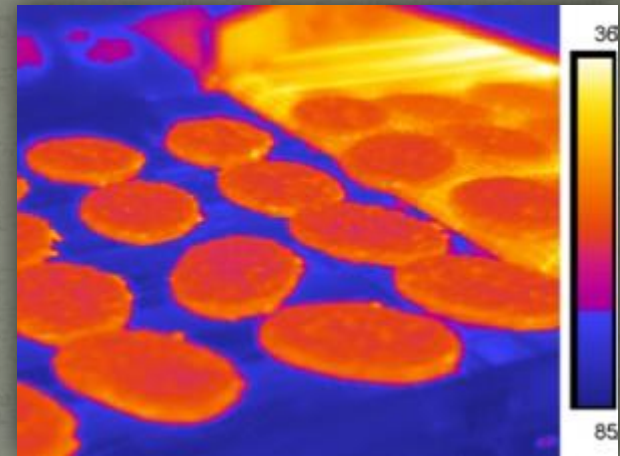
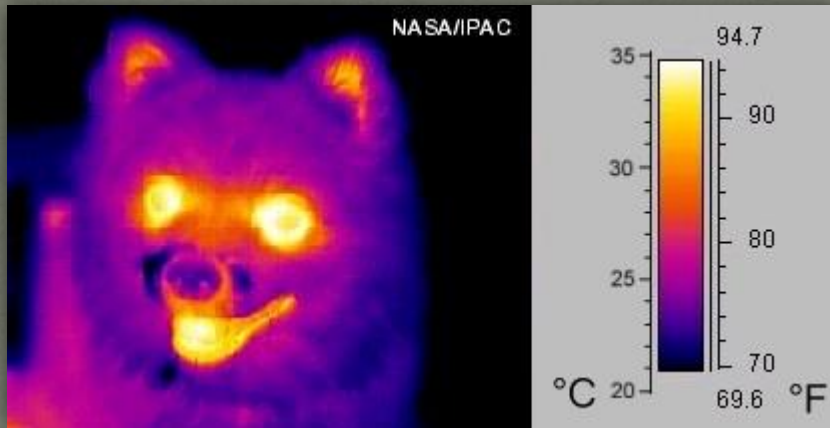


# Основы тепловидения.

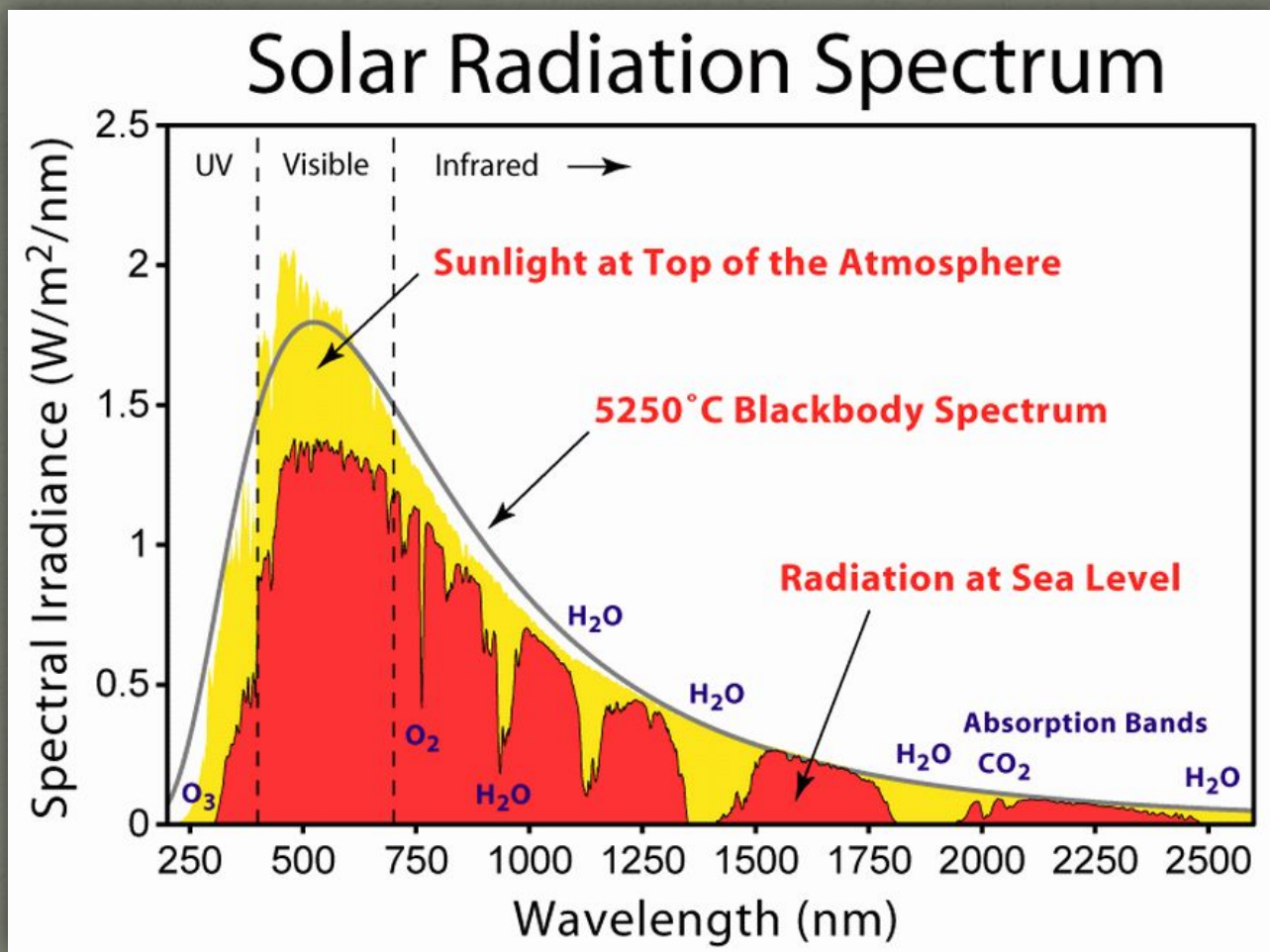


В системах безопасности используется ТГц (мм) излучение для сканирования багажа и людей.

# Основы тепловидения.

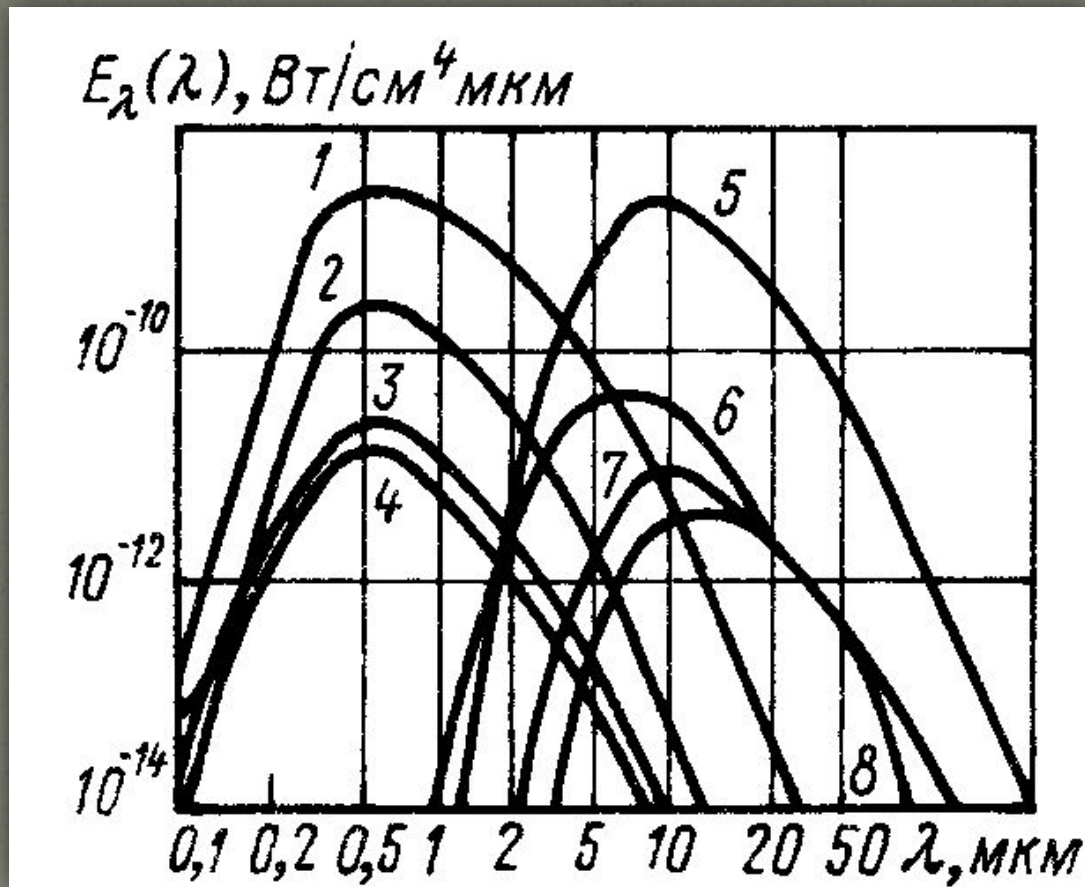


# Источники излучения.



Излучение Солнца.

# Источники излучения.



Расчетные значения спектральной энергетической освещенности, создаваемой  
Луной и планетами в верхних слоях атмосферы:

- 1 — полной Луны; 2 — Венеры; 3 — Марса; 4 — Сатурна;  
отраженное солнечное излучение: 5 — Луны; 6 — Юпитера;  
7 — Венеры (при наибольшем удалении); 8 — Марса (при противостоянии)

# Источники излучения.

Абсолютно черное тело



АЧТ-45/100/1100



Электра+



ФДСВ-07



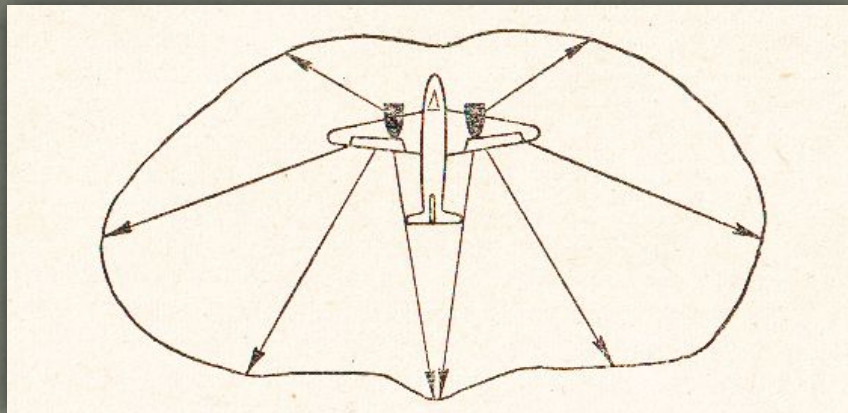
АЧТ-30/900/2500



# Источники излучения.

Излучение промышленных объектов

Самолет С-47 «Скайтрейн»



Индикатриса излучения в горизонтальной плоскости.

**$T=80\div 100$**

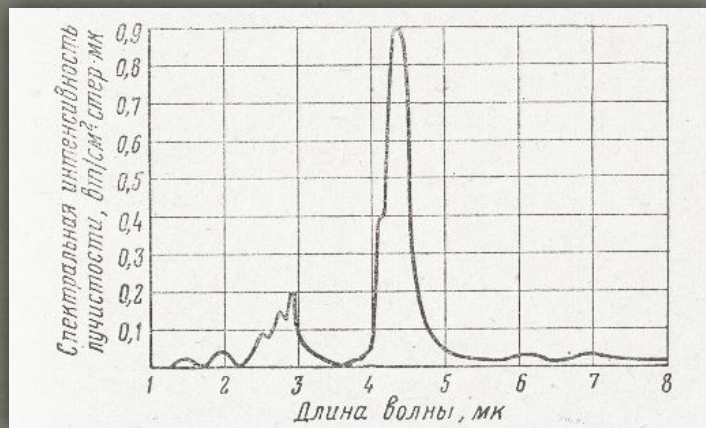
**$T_{\text{вых. газов}}=1000\div 1100$**

**$T_{\text{патрубков}}=800\div 700$**

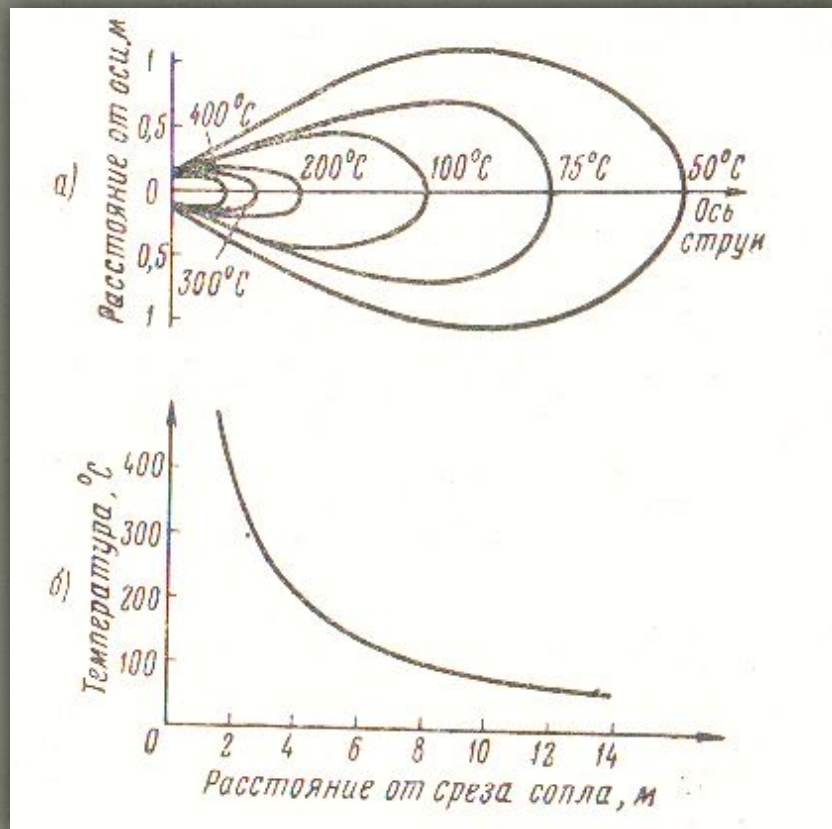
Коэффициент черноты капота 0,2-0,4; патрубка 0,8-0,9 .

# Источники излучения.

Газовая струя реактивного двигателя.



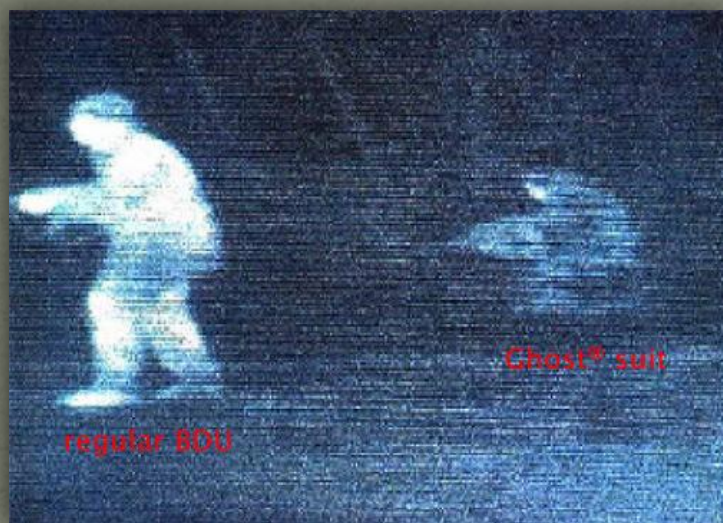
Форма факела (а) и распределение температуры в газовой струе реактивного двигателя с тягой 300 кг (б).



При  $\epsilon=0,1$  полная мощность  $6,8 \cdot 10^{-15} \cdot \text{Втм}^{-2} \cdot \text{град}^{-4}$

# Источники излучения.

Живая сила противника.



Коэффициент излучения  $\epsilon \approx 0,99$  для  $\lambda \geq 4$  мкм

# Источники излучения.

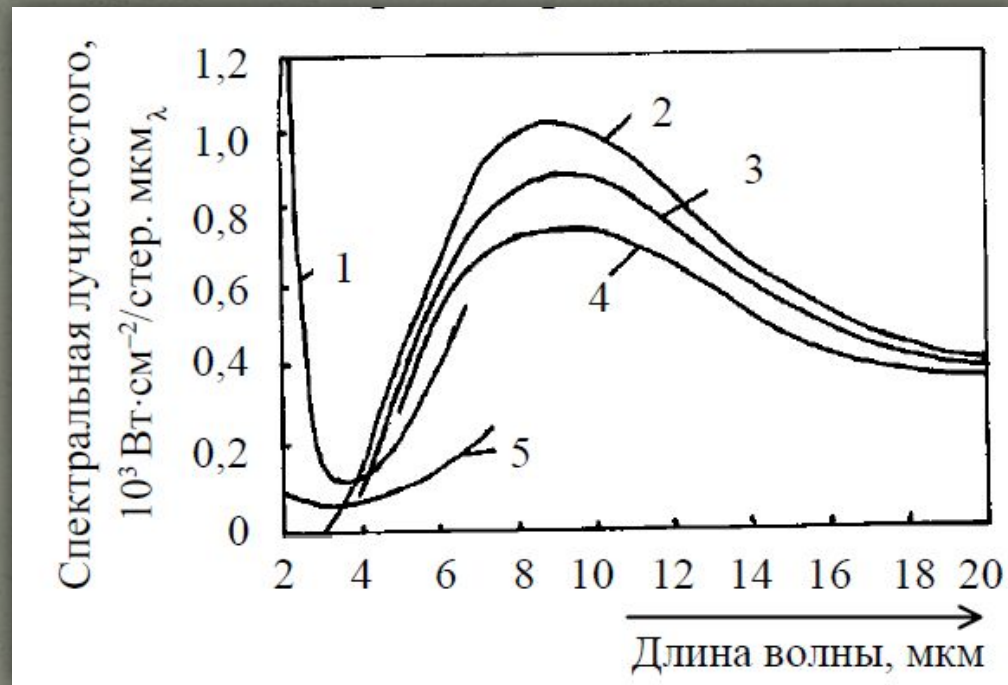
Наземные транспортные средства.



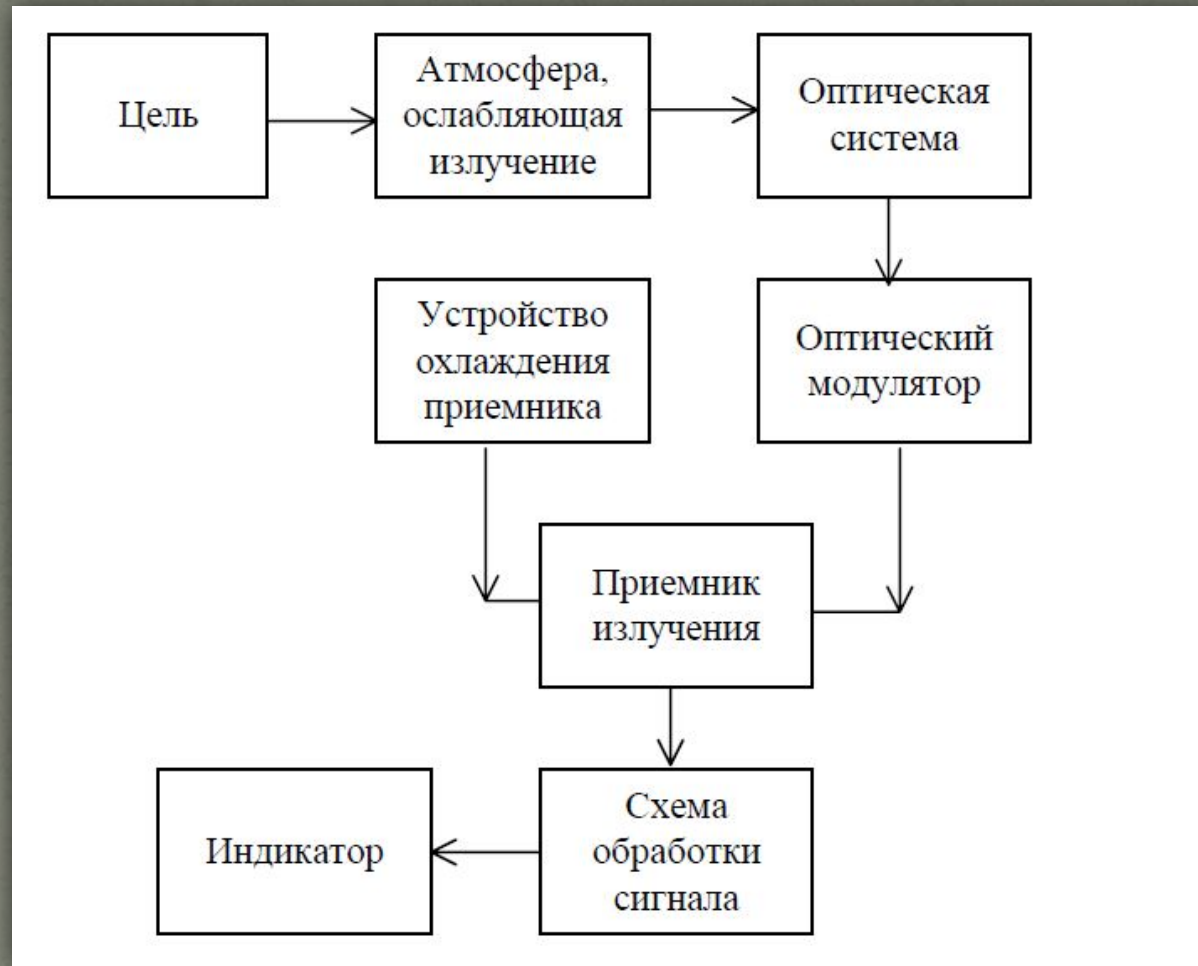
Коэффициент излучения  $\epsilon \approx 0,85$  и выше  
для  $\lambda \geq 3 \div 5$  мкм (холодные части автомобиля)  
для  $\lambda \geq 8 \div 12$  мкм (холодные части автомобиля)

# Источники излучения.

Излучение фона.



# Теория теплового излучения. Прохождение излучения через атмосферу.



# Теория теплового излучения. Прохождение излучения через атмосферу.

Закон Бугера — Ламберта — Бэра

$$\tau_a(\lambda) = \exp(-\gamma(\lambda) R),$$

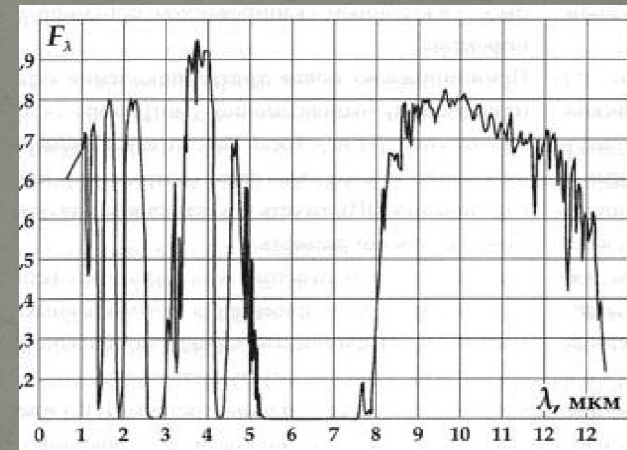
где  $R$  — расстояние или длина пути, а  $\gamma(\lambda)$  — показатель ослабления. Показатель ослабления равен сумме показателей рассеяния  $\sigma(\lambda)$  и поглощения  $k(\lambda)$ :

$$\gamma(\lambda) = \sigma(\lambda) + k(\lambda).$$

$$\sigma(\lambda) = \sigma_m(\lambda) + \sigma_a(\lambda),$$

$$k(\lambda) = k_m(\lambda) + k_a(\lambda).$$

В атмосфере имеются окна прозрачности



Спектральный коэффициент пропускания атмосферы в ИК-областях спектра (1)

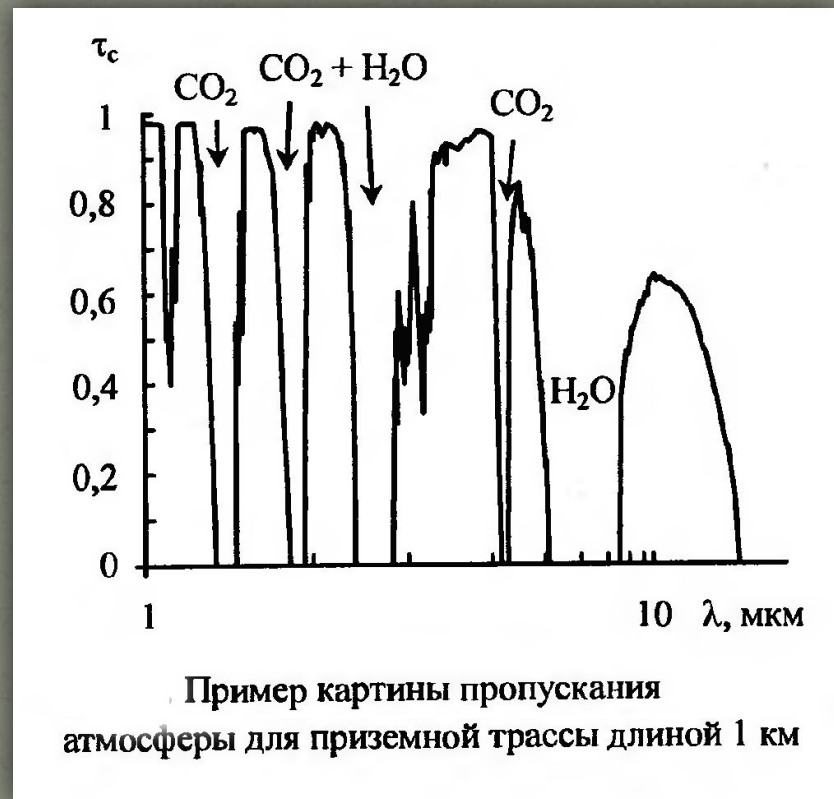
Окна прозрачности, стандартизованные в МФС:

- В, V, R, J-диапазон – до 1,2 мкм;
- Н-диапазон –  $(1,6 \pm 0,1)$  мкм;
- К-диапазон –  $(2,2 \pm 0,3)$  мкм;
- L-диапазон –  $(3,6 \pm 0,45)$  мкм;
- М-диапазон –  $(4,6 \pm 0,5)$  мкм;
- N-диапазон –  $(10,0 \pm 2,0)$  мкм;
- Q-диапазон –  $(20,0 \pm 0,4)$  мкм.

Полосы полного поглощения ИК-излучения,  
углекислым газом  $\text{CO}_2$  2,6–2,9 мкм;  
4,2–4,4 мкм и парами воды  $\text{H}_2\text{O}$ : 5,0–8,0 мкм.

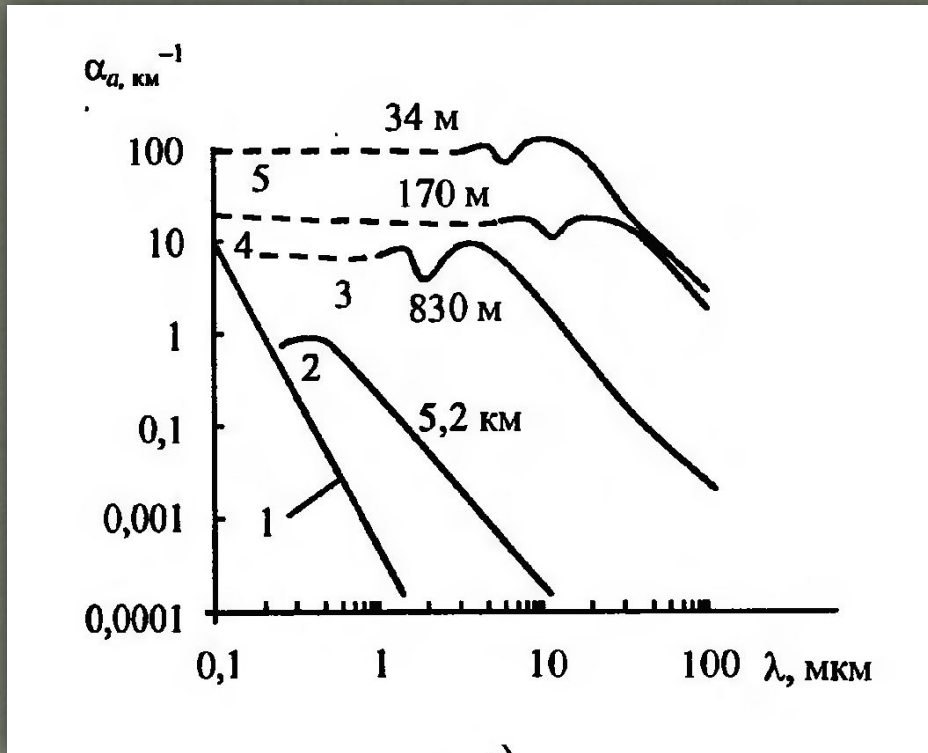
# Теория теплового излучения. Прохождение излучения через атмосферу.

Поглощение ИК излучения: вода (полосы поглощения) - 2,7; 3,2; 6,3 мкм, углекислый газ - 2,7; 4,3; 15 мкм, озона - 4,8; 9,6; 14,2 мкм, закиси азота - 4,7; 7,8 мкм, окиси углерода - 4,8 мкм и метан - 3,2; 7,8 мкм.





# Теория теплового излучения. Прохождение излучения через атмосферу.



## Рассеяние

$$\sigma_a(\lambda) = \sigma_p(\lambda) + \sigma_{\text{п}}(\lambda).$$

$\sigma_p, \sigma_{\text{п}}$  - коэффициенты  
рассеяния и поглощения

Зависимости показателя рассеяния от состояния атмосферы:

- 1 — рэлеевское рассеяние, 2 - чистый воздух, 3 - легкая дымка,
- 4 - дымка, 5 - легкий туман

# Теория теплового излучения. Прохождение излучения через атмосферу.

Международный код видимости, метеорологическая дальность видимости  $s_M$  и показатель рассеяния  $\alpha_{a0,55}$

<i>Кодовый номер</i>	<i>Погодные условия</i>	$s_M, \text{ м}$	$\alpha_{a0,55}, \text{ км}^{-1}$
0	Плотный туман	<50	>78,2
1	Густой туман	50...200	78,2...19,6
2	Обычный туман	200...500	19,6...7,82
3	Легкий туман	500...1000	7,82...3,91
4	Слабый туман	1000...2000	3,91...1,96
5	Дымка	2000...4000	1,96...0,954
6	Легкая дымка	10 000	0,391
7	Ясно	20 000	0,196
8	Очень ясно	50 000	0,078
9	Совершенно ясно	>50 000	<0,078

# Теория теплового излучения. Прохождение излучения через атмосферу.

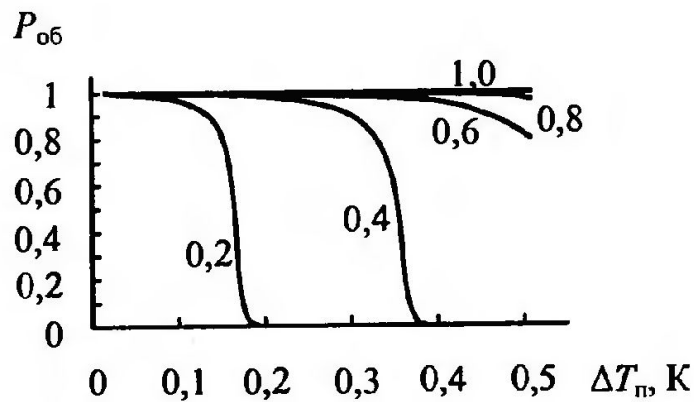
Эффективный коэффициент пропускания среды (атмосферы)  
в пределах рабочего спектрального диапазона  $\lambda_1 \dots \lambda_2$

$$\tau_{\text{сэф}} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L(\lambda) \tau_c(\lambda) \tau_o(\lambda) s_v(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L(\lambda) \tau_o(\lambda) s_v(\lambda) d\lambda},$$

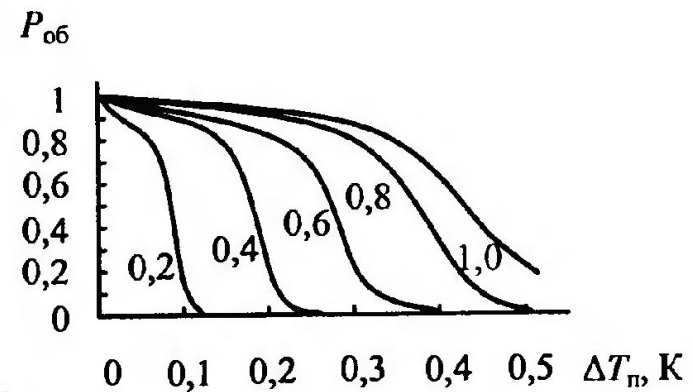
где  $L(\lambda)$  - спектральная плотность яркости источника излучения;  
 $\tau_c(\lambda)$  - спектральный коэффициент пропускания среды (атмосферы);  
 $\tau_o(\lambda)$  - спектральный коэффициент пропускания оптической системы ИКС;  $S_v(\lambda)$  - спектральная характеристика вольтовой чувствительности приемника излучения.

# Теория теплового излучения. Прохождение излучения через атмосферу.

Зависимости вероятностей обнаружения цели от значений  $\Delta T_{\Pi}$  при различных статистически усредненных  $\alpha$  (от 0,2 до 1,0) для расстояния до цели 500 м (а) и 5000 м (б)



а)



б)

# Теория теплового излучения. Прохождение излучения через атмосферу.

Зависимость показателя преломления воздуха от давления  $P$  и температуры  $T$  имеет вид

$$n = 7,9 \cdot 10^{-2} P/T + 1,$$

Для локально изотропной и однородной турбулентности (модель Колмогорова-Обухова) они имеют вид

$$D_n(r) = \begin{cases} C_n^2 l_0^{2/3} (r/l_0)^2 & \text{при } 0 < r < l_0; \\ C_n^2 r^{2/3} & \text{при } l_0 < r < L_0; \\ \text{const} & \text{при } r > L_0, \end{cases}$$

где  $r$  - расстояние между двумя точками случайного поля  $n$ ;  
 $l_0$  и  $L_0$  - внутренний и внешний масштабы турбулентности (размеры наименьших и наибольших неоднородностей атмосферы);  
 $C_n^2$  - структурная постоянная турбулентности показателя преломления, характеризующая влияние неоднородностей атмосферы на распространение оптического излучения

# Теория теплового излучения. Прохождение излучения через атмосферу.

Структурная постоянная турбулентности показателя преломления:

$$C_n^2(H) = C_{n0}^2 H^{-4/3}$$

Другая модель (Хафнагеля-Волли) предусматривает расчет по формуле:

$$C_n^2(H) = 5,94 \cdot 10^{-53} (v_H / 27) H^{10} \exp(-H / 1000) + 2,7 \cdot 10^{-16} \exp(-H / 1500) + A \exp(-H / 100),$$

В свою очередь скорость ветра  $v_H$  может быть рассчитана как

$$v_H = 5 + 30 \exp\{-[(H - 9400) / 4800]^2\}$$

Регрессионная модель:

$$C_n^2 = a_1 W + b_1 t + c_1 a_{\text{отн}} + c_2 a_{\text{отн}}^3 + c_3 a_{\text{отн}}^3 + d_1 v + d_2 v^2 + d_3 v^3 + e_1,$$

# Оптические материалы для ИК-области спектра

## Основные оптические и физико-механические параметры и характеристики материалов:

- спектральное пропускание или отражение;
- показатель преломления;
- дисперсия;
- изменение коэффициента пропускания и показателя преломления при изменении температуры;
- плотность;
- твердость;
- теплопроводность;
- коэффициент термического расширения;
- теплоемкость;
- модуль упругости;
- температуры размягчения и плавления;
- стойкость к воздействию различных сред.

# Оптические материалы для ИК-области спектра

Твердость по Кнупу = P/S.

Материал	Коэффициент линейного теплового расширения $\beta \times 10^6, \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$	Температура плавления, $^\circ\text{C}$	Плотность, $\text{кг/м}^3$
Платина	9		
Сталь	10		
Железо	12	1490	7780
Латунь	18		
Серебро	18	820	
Алюминий	23	660	2710
Плавленый кварц	0,6	1700	2200
Германий	5,5	958	5330
Обычные стекла	9	500	Различная
Флюорит	24	1360	3180
Пластмассы	90—170	66—123	



# Оптические материалы для ИК-области спектра

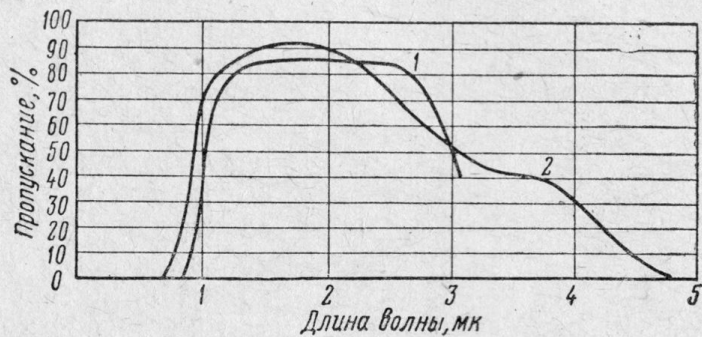
Число Аббе

$$V_i = \frac{n_{\lambda_1 i} - 1}{n_{\lambda_2 i} - n_{\lambda_3 i}}$$

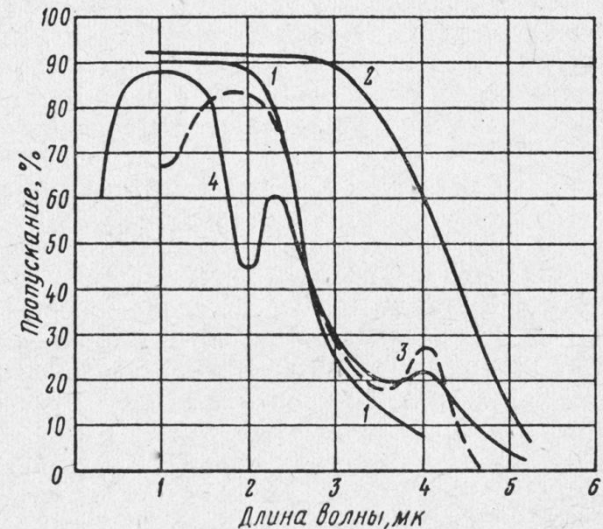
## Параметры инфракрасных стёкол

Марка	Диапазон пропускания, мкм	Показатель преломления $n_2$ для $\lambda = 2$ мкм	Коэффициент дисперсии $\frac{n_{2,0} - 1}{n_{2,2} - n_{1,8}}$	Коэффициент термического расширения $\alpha_T \cdot 10^7, ^\circ\text{C}^{-1}$	Максимальная рабочая температура, $^\circ\text{C}$
ИКС-23	0,8...9,0	2,4261	201	246	100
ИКС-24	0,8...11,0	2,4098	196	182	160
ИКС-25	1,5...1,7	2,8081	130	220	100
ИКС-27	1,5...16,0	2,6820	—	177	170
ИКС-28	1...12	2,7285	142	220	100
ИКС-29	1...15	2,6381	153	220	110
ИКС-30	1...11	2,5686	173	122	260
ИКС-31	1...15	2,6380	—	131	240
ИКС-32	1,5...15,0	3,0351	—	147	190
ИКС-33	7...16	2,673 для $\lambda = 10$ мкм	—	225	100

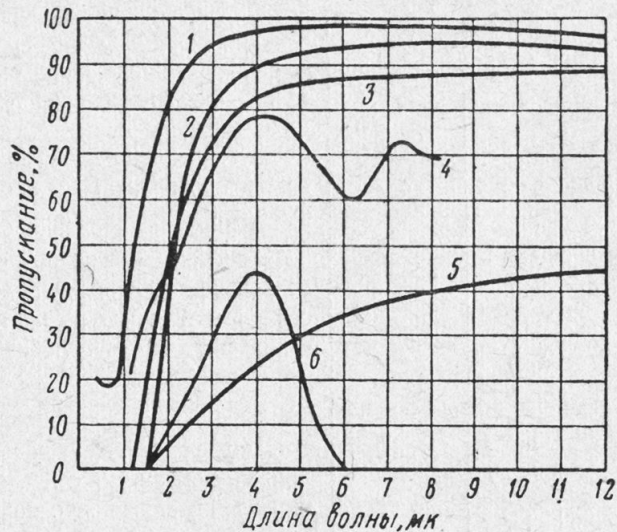
# Оптические материалы для ИК-области спектра



Пропускание стекол ИКС-1,  $d=2$  мм (1) и марганцевого  $d=2$  мм (2).



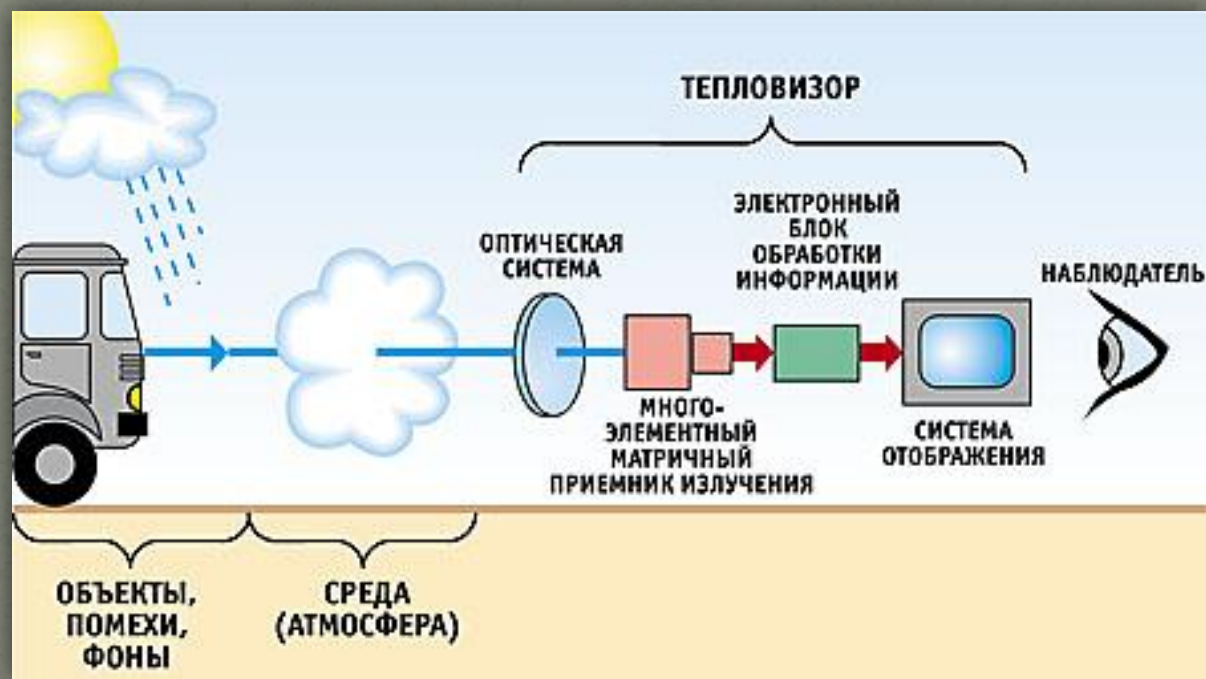
Пропускание стекол: зеркального (1), кварцевого (2), оконного (3) и монокристалла кварца (4).



- 1 — золотая чернь на сильвине;
- 2 — селен на сильвине;
- 3 — теллуровая чернь на сильвине;
- 4 — окись магния на слюде;
- 5 — висмутовая чернь на сильвине;
- 6 — окись магния на стекле ( $d=0,1$  мм).

Пропускание порошковых фильтров

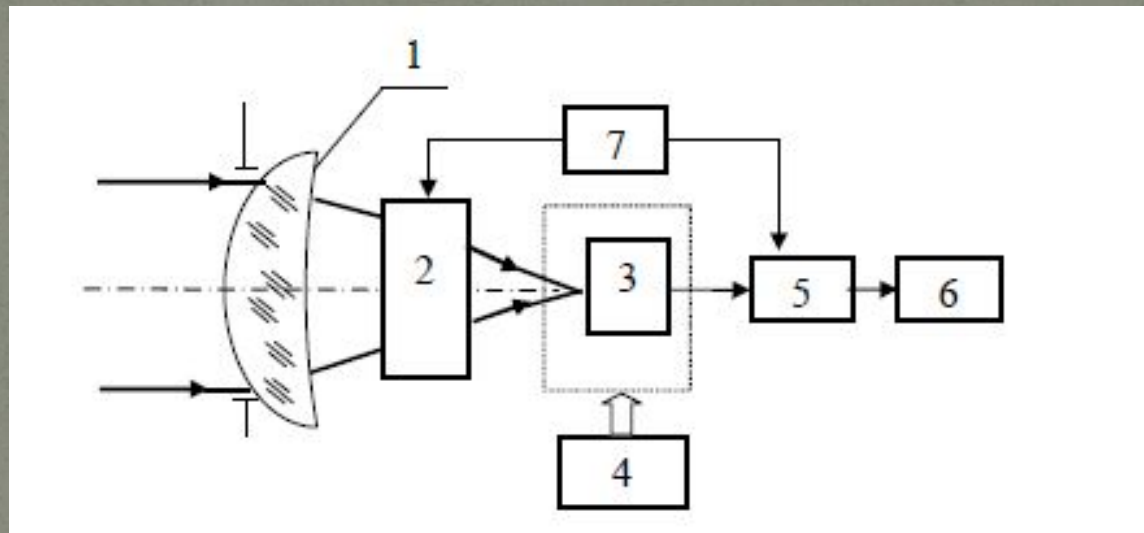
# Основы построения тепловизионных систем.



# Основы построения тепловизионных систем.

Типовые схемы тепловизионных систем 0-го, 1-го и 2-го поколений

Обобщенная функциональная схема сканирующего тепловизора

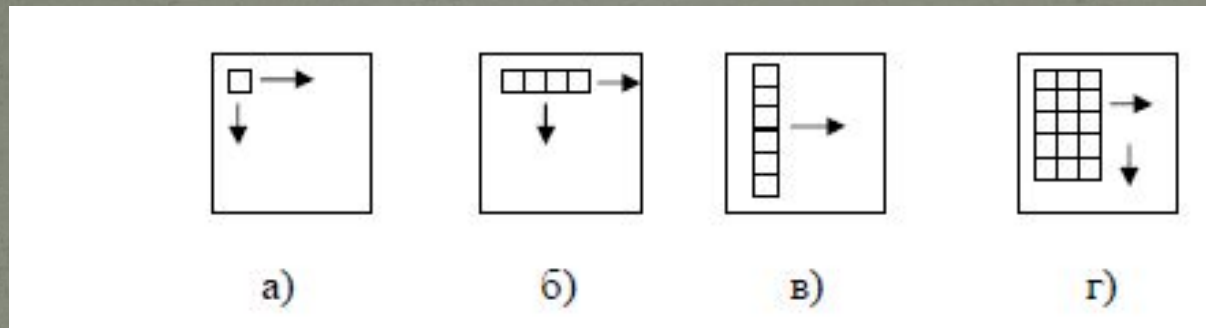


1 – оптическая система; 2 – блок оптико-механического сканирования;  
3 – приемник излучения; 4 – система охлаждения; 5 – электронный тракт;  
6 – видеоконтрольное устройство; 7 – система синхронизации.

# Основы построения тепловизионных систем.

Типовые схемы тепловизионных систем 0-го, 1-го и 2-го поколений

Методы сканирования:

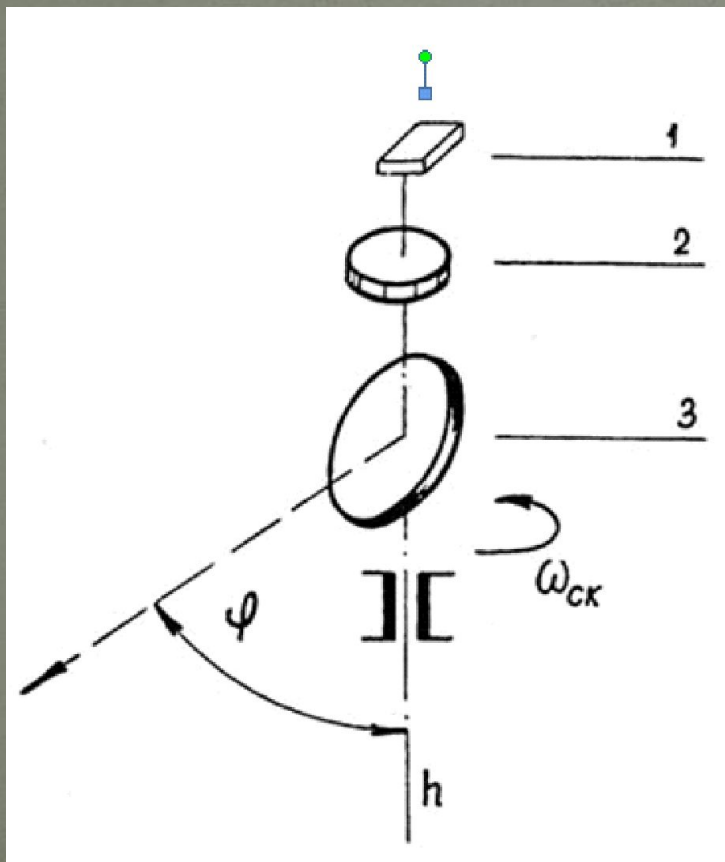


- а) сканирование одноэлементным ПИ;
- б) последовательное сканирование линейкой чувствительных элементов;
- в) параллельное сканирование линейкой чувствительных элементов;
- г) параллельно-последовательное сканирование матричным ПИ.

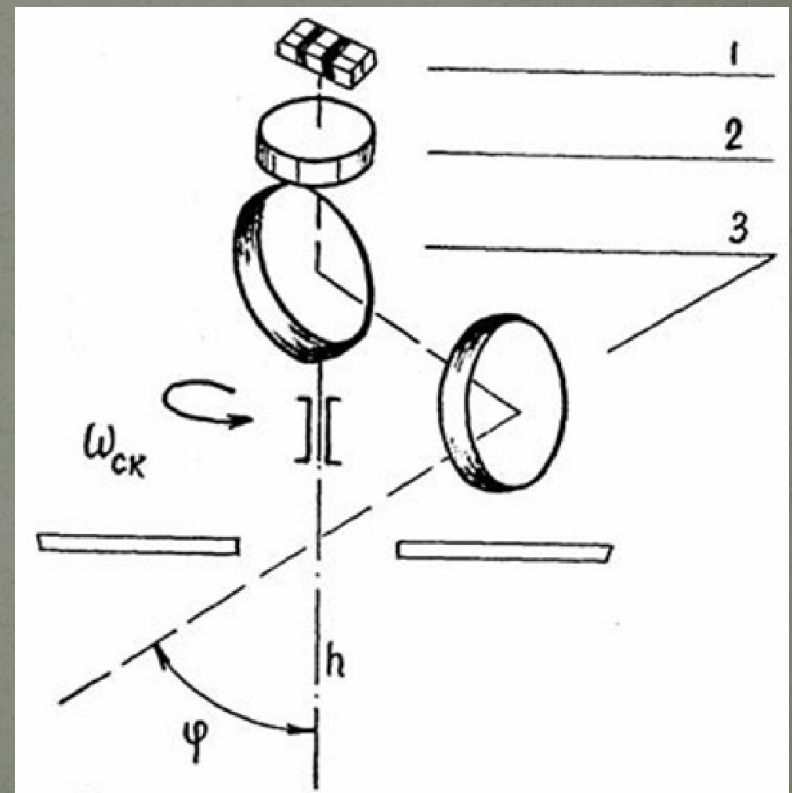
# Основы построения тепловизионных систем.

Типовые схемы тепловизионных систем 0-го, 1-го и 2-го поколений

Однозеркальная схема  
кругового сканирования



Двухзеркальная схема  
кругового сканирования



# Основы построения тепловизионных систем.

Типовые схемы тепловизионных систем 0-го, 1-го и 2-го поколений

Двухзеркальная схема кругового сканирования с переменным углом визирования

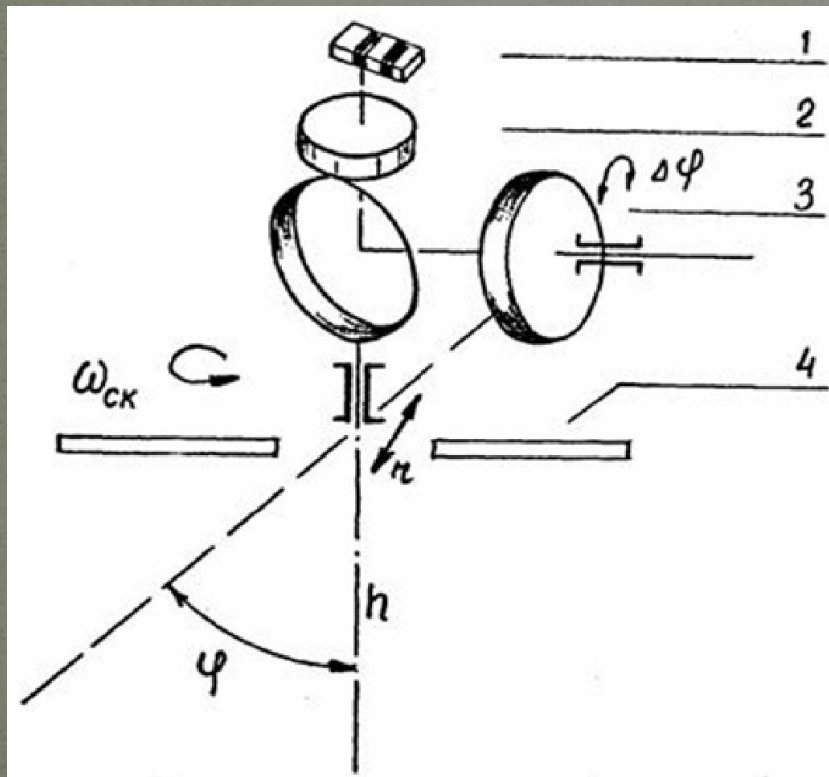
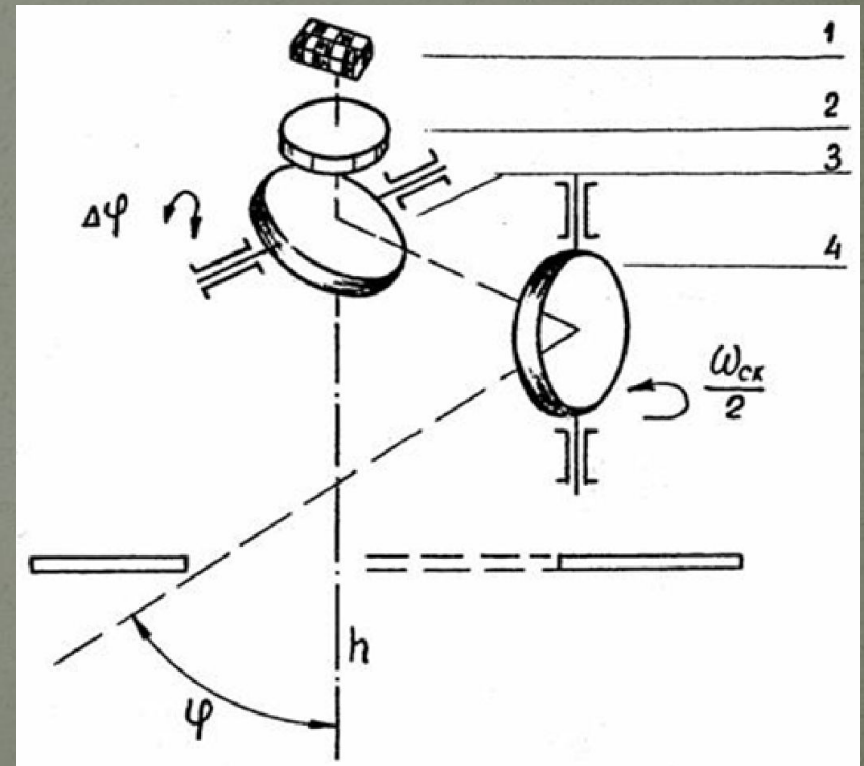


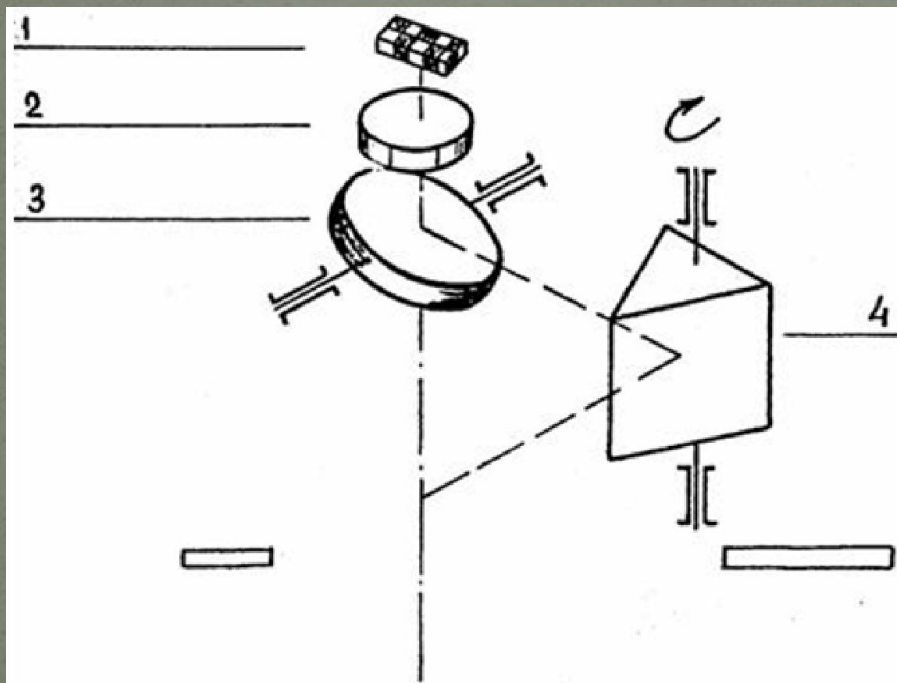
Схема кругового сканирования с удвоением скорости визирного луча



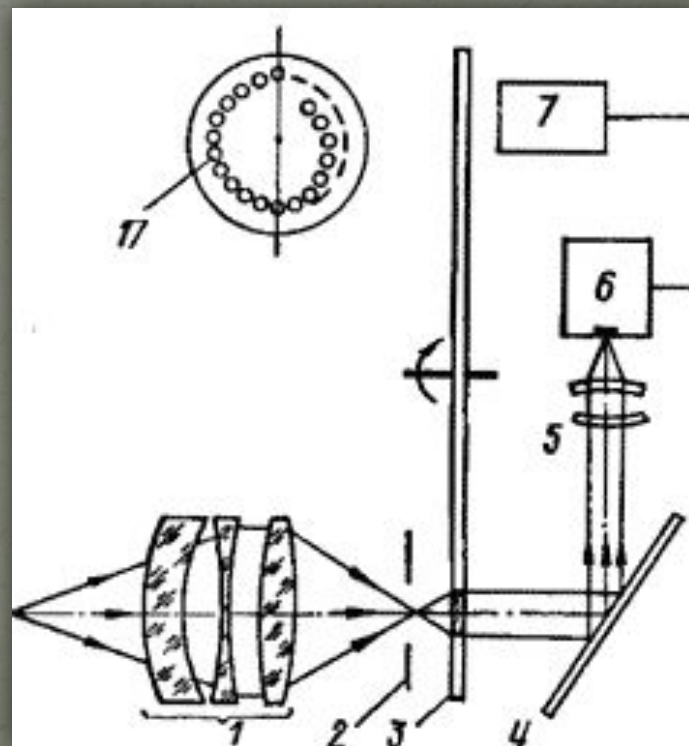
# Основы построения тепловизионных систем.

Типовые схемы тепловизионных систем 0-го, 1-го и 2-го поколений

Схема кругового сканирования с зеркальной призмой



Тепловизоры, в которых для развертки изображения использовался диск Нипкова

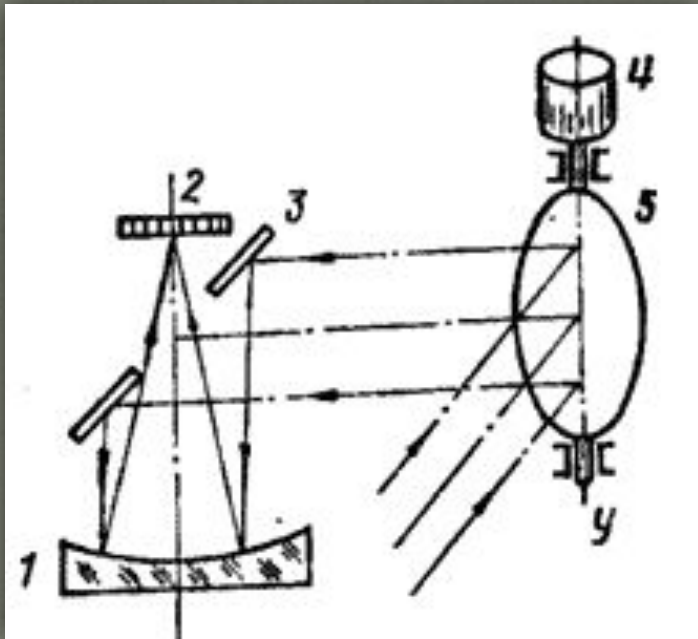




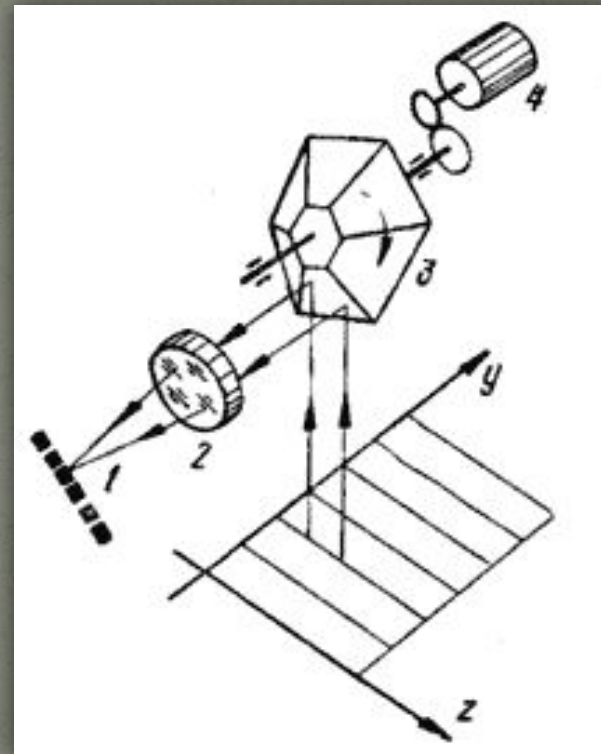
# Основы построения тепловизионных систем.

Типовые схемы тепловизионных систем 0-го, 1-го и 2-го поколений

Сканирующие устройства с колеблющимся зеркалом



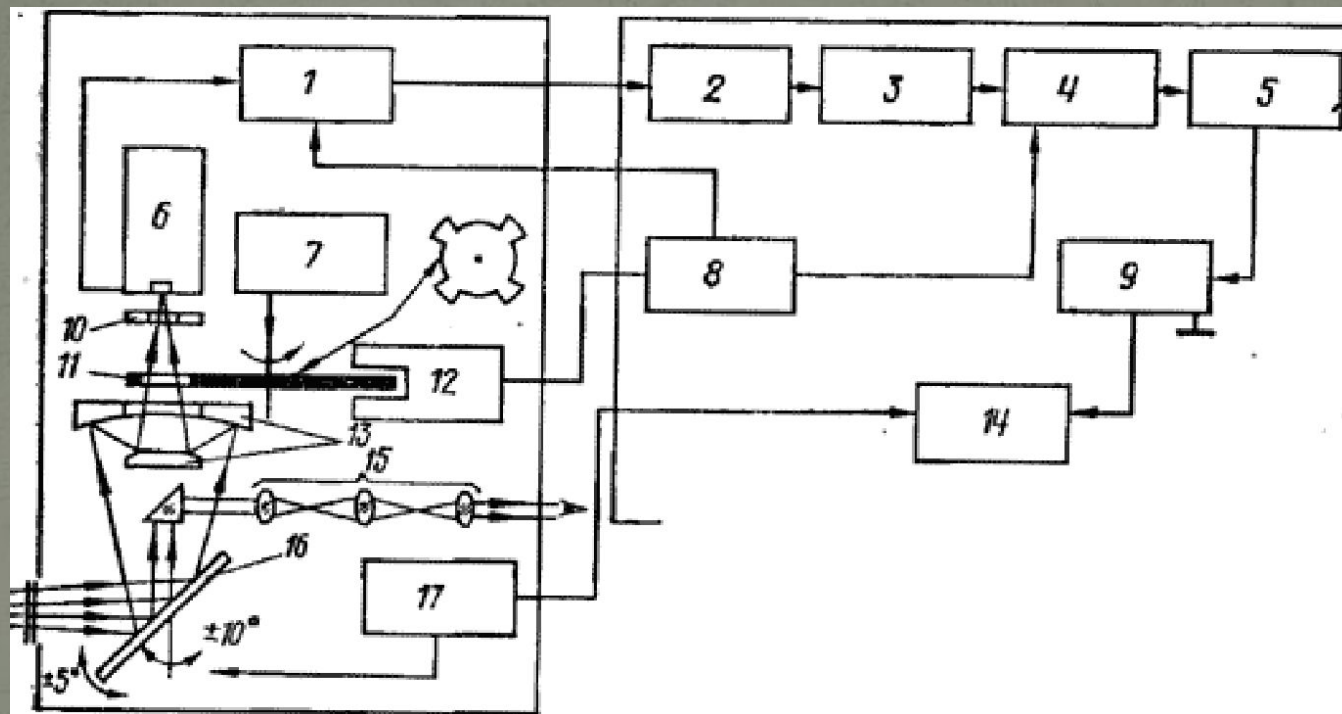
Сканирующее устройство с вращающейся усеченной зеркальной пирамидой



# Основы построения тепловизионных систем.

Типовые схемы тепловизионных систем 0-го, 1-го и 2-го поколений

Схема кругового сканирования с зеркальной призмой «Рубин-МТ»



# Основы построения тепловизионных систем.

Типовая схема тепловизионной системы 3-го поколения

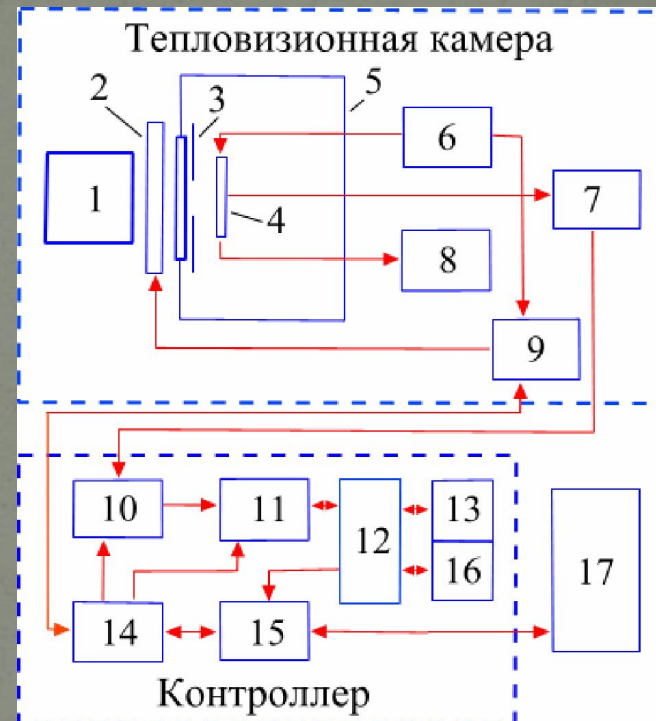
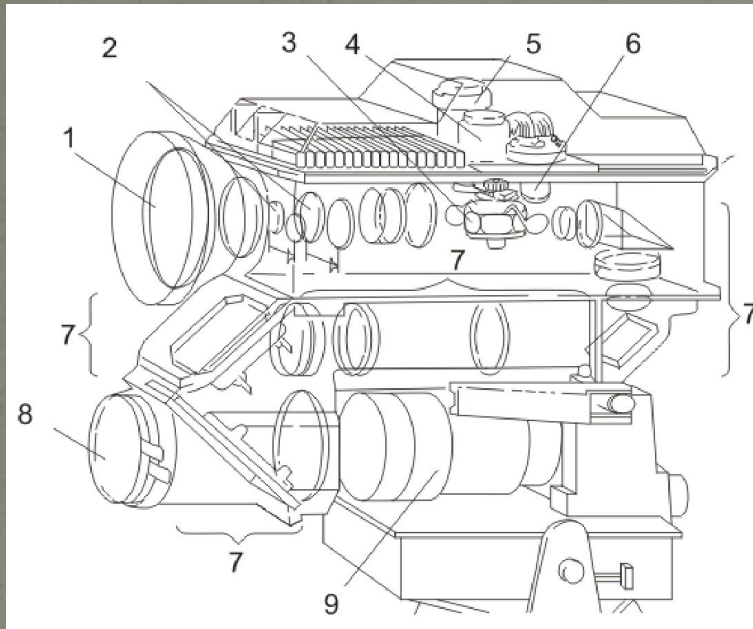


Схема ТПВ-прицела Bill Night Sight (BNS):

- 1 – ИК-объектив, 2 – его сменные компоненты,
- 3 – сканирующий зеркальный барабан, 4 – ФПУ, 5 – блок его охлаждения,
- 6 – светодиодный индикатор, 7 – проекционная система,
- 8 – фильтр, 9 – ЭОП с окуляром

# Современное состояние развития тепловизионных систем.

Классификация по дальности действия:

- малой дальности действия:

до 0,7-1 км по ростовой фигуре человека

до 1,5-2 км по автомашине;

- средней дальности действия:

до 1,2-1,5 км по ростовой фигуре человека

до 2-4 км по автомашине

до 8 км по самолету

- повышенной дальности действия:

превышающие показатели, указанные выше.

# Современное состояние развития тепловизионных систем.

Тепловизионные приборы малой дальности действия

Панорамные очки ночного видения (PVNG)



# Современное состояние развития тепловизионных систем.

Тепловизионные приборы малой дальности действия

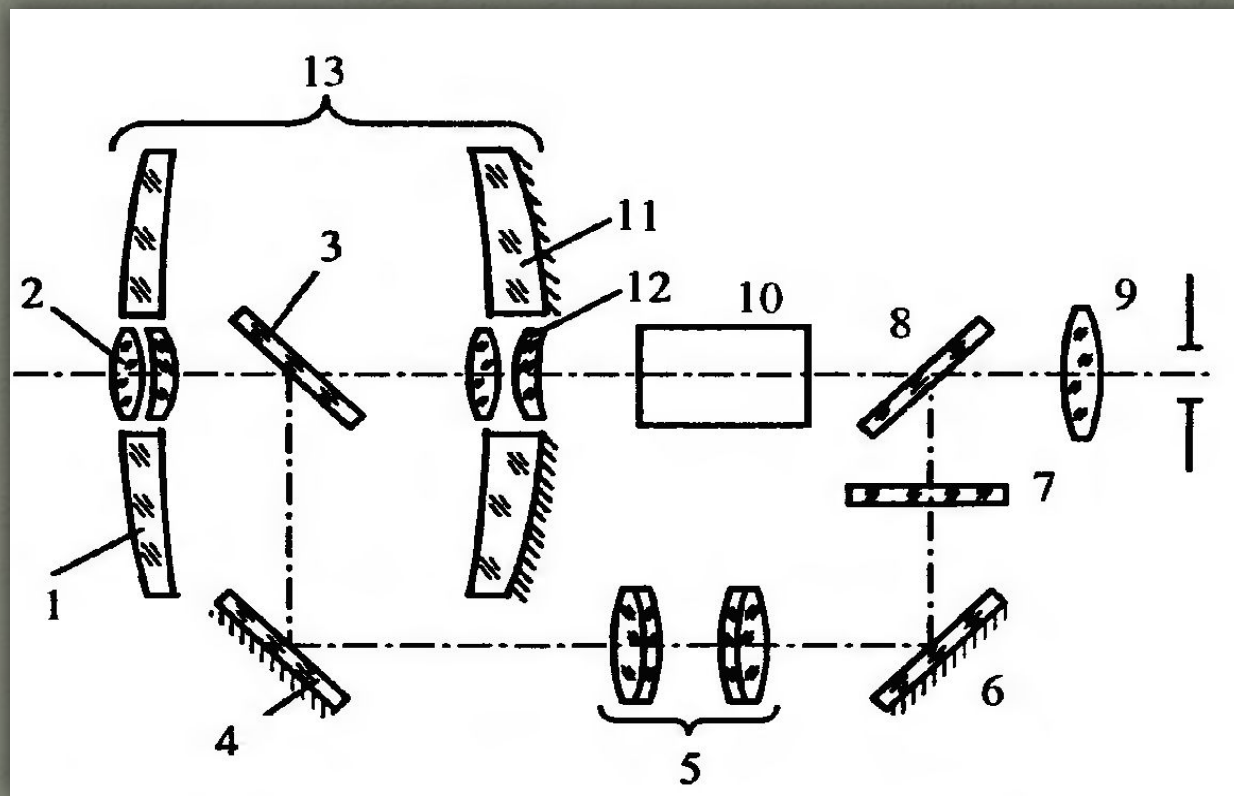
Панорамные очки ночного видения (PVNG)



# Современное состояние развития тепловизионных систем.

Тепловизионные приборы малой дальности действия

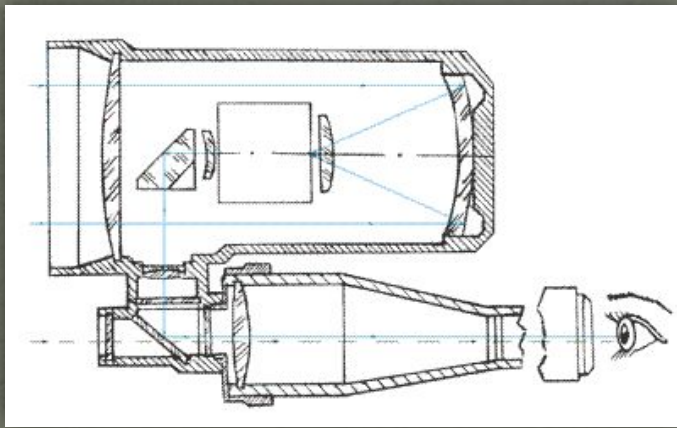
Оптическая схема двухканального прицела «день-ночь»  
с зеркально-линзовым объективом



# Современное состояние развития тепловизионных систем.

Тепловизионные приборы малой дальности действия

Насадка KN250 норвежской фирмы «Simrad»





# Современное состояние развития тепловизионных систем.

Тепловизионные приборы средней дальности действия

Комплекс "Корнет"



# Современное состояние развития тепловизионных систем.

Тепловизионные приборы средней дальности действия

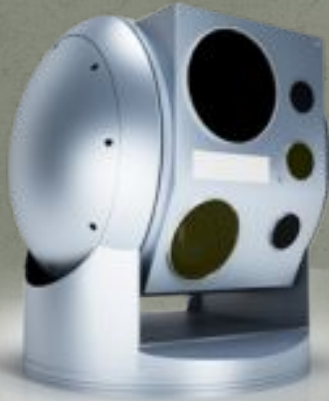
Противотанковый ракетный комплекс "НОТ"  
(Haut subsonique Optiquement teleguide tire d'un Tube)



# Современное состояние развития тепловизионных систем.

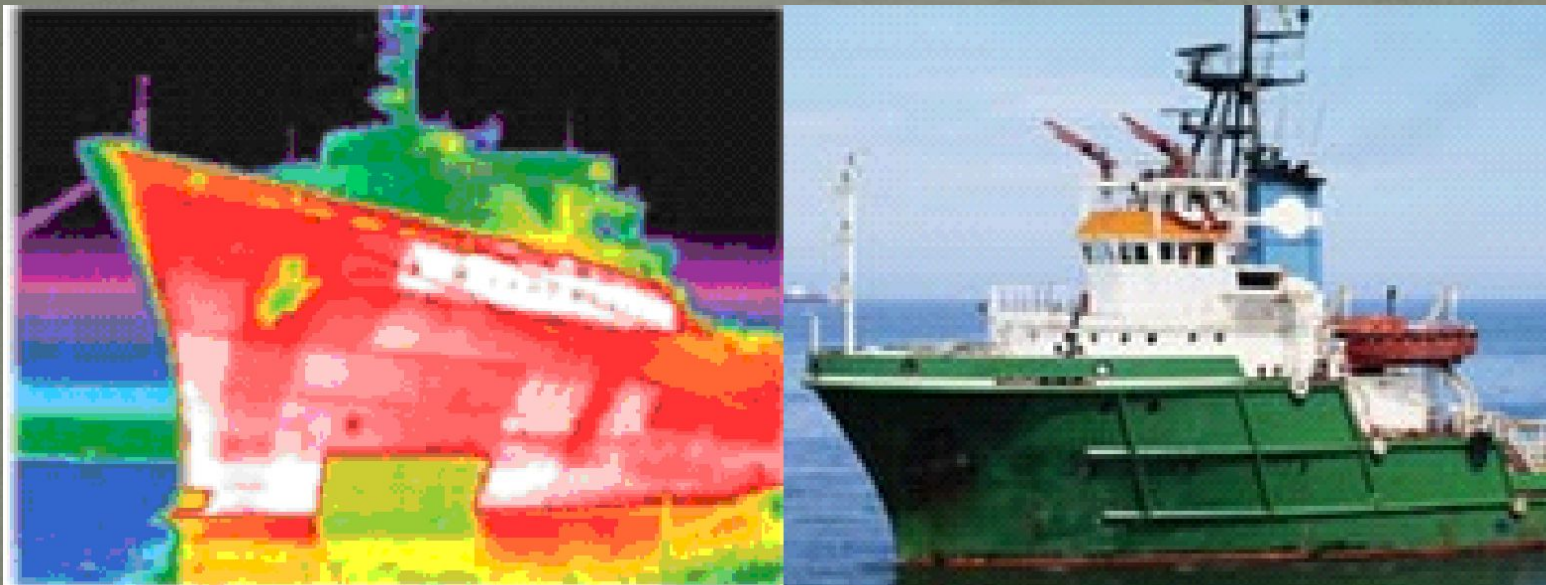
Тепловизионные приборы повышенной дальности действия

НПО «Карат»



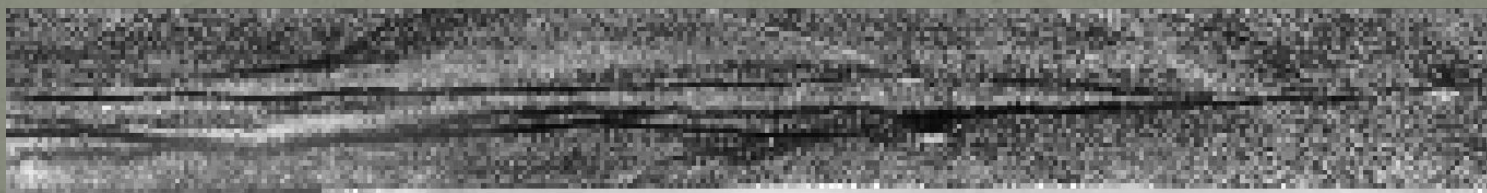
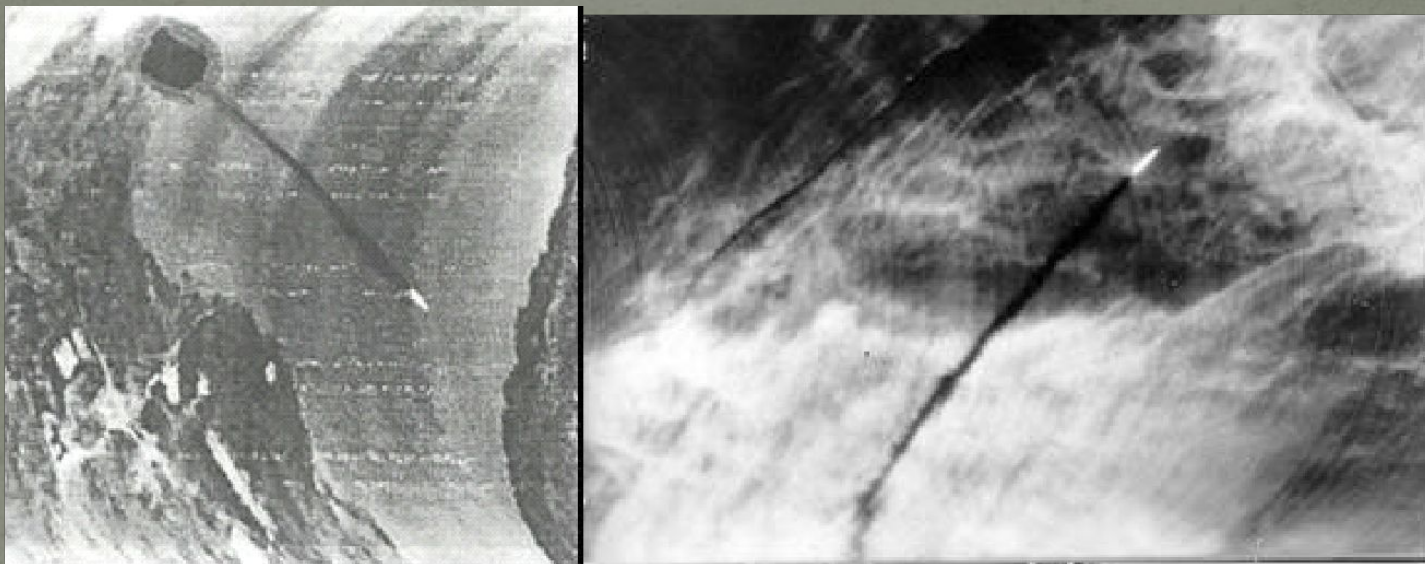
# Применение тепловизионных систем

Тепловое изображение корабля, полученное тепловизором FLIR Systems, и изображение в видимом диапазоне



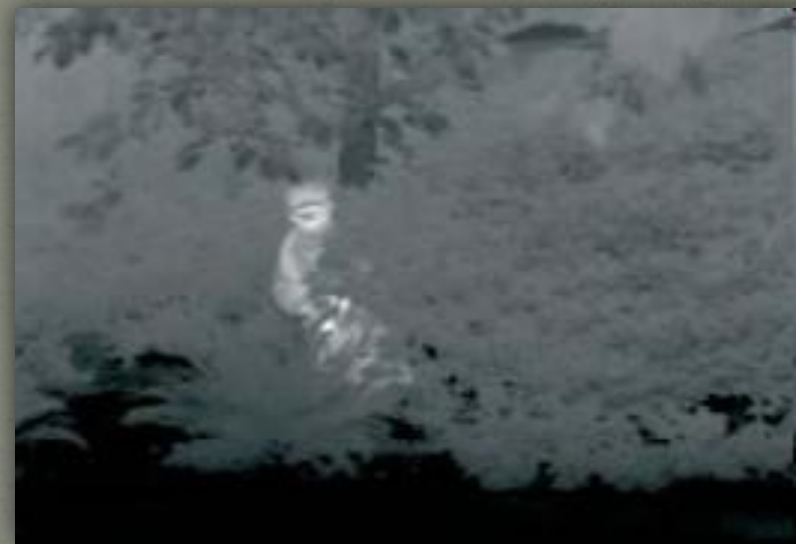
# Применение тепловизионных систем

Спутный тепловой след надводных и подводных кораблей



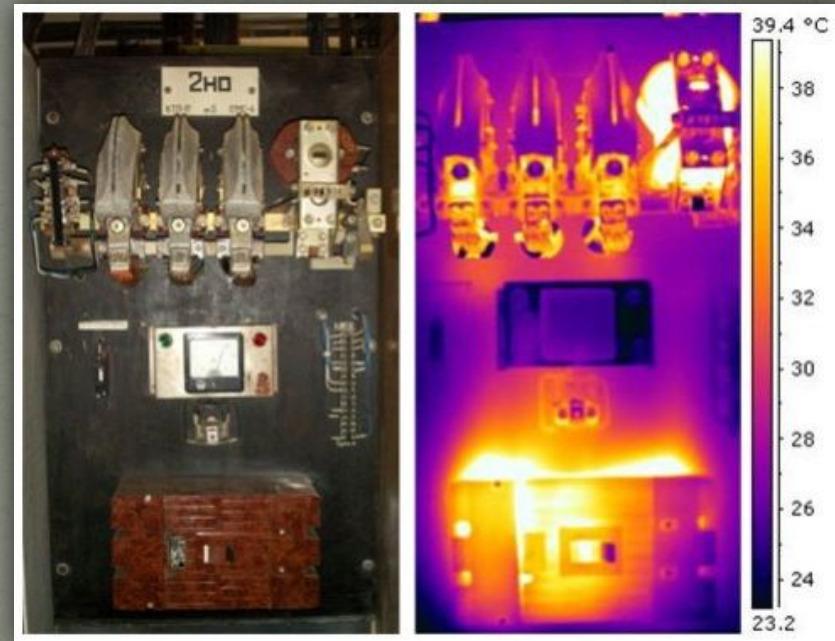
# Применение тепловизионных систем

Военное применение: наблюдение за объектами



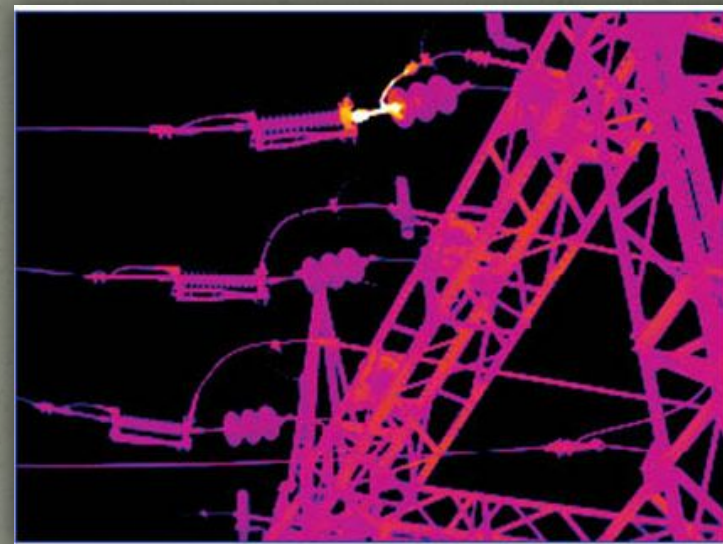
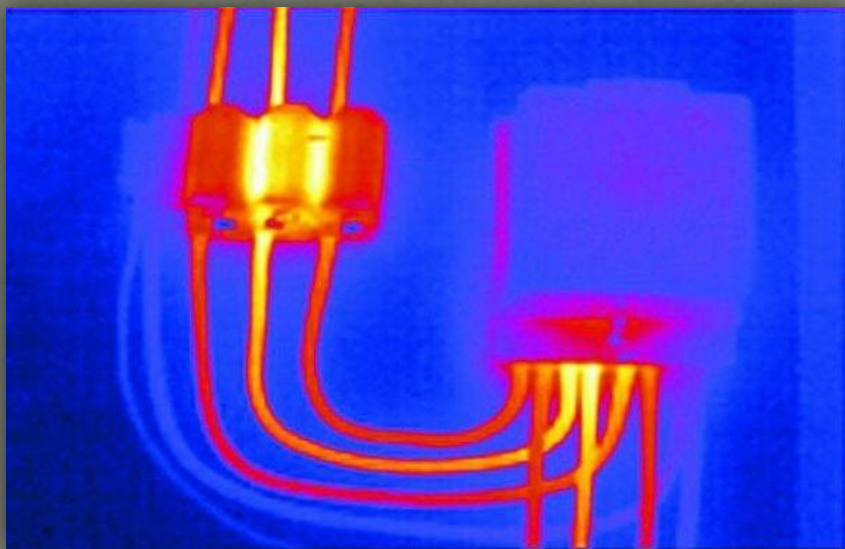
# Применение тепловизионных систем

Наблюдение за гражданскими объектами



# Применение тепловизионных систем

Наблюдение за гражданскими объектами





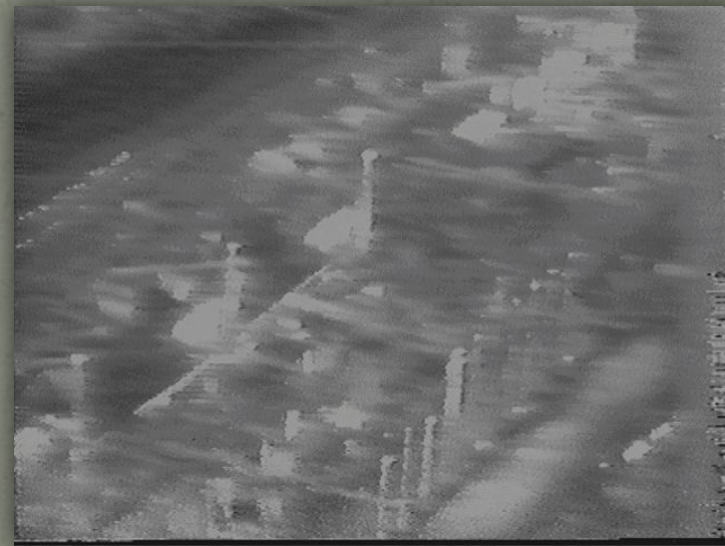
# Применение тепловизионных систем

Сравнительные представления наблюдаемости объектов в благоприятных и неблагоприятных погодных и климатических условиях тепловизором Прогресс

Благоприятные условия



Неблагоприятные условия



# Применение тепловизионных систем

Сравнительные представления наблюдаемости объектов в благоприятных и неблагоприятных погодных и климатических условиях тепловизором Прогресс

Благоприятные условия



Неблагоприятные условия



