

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

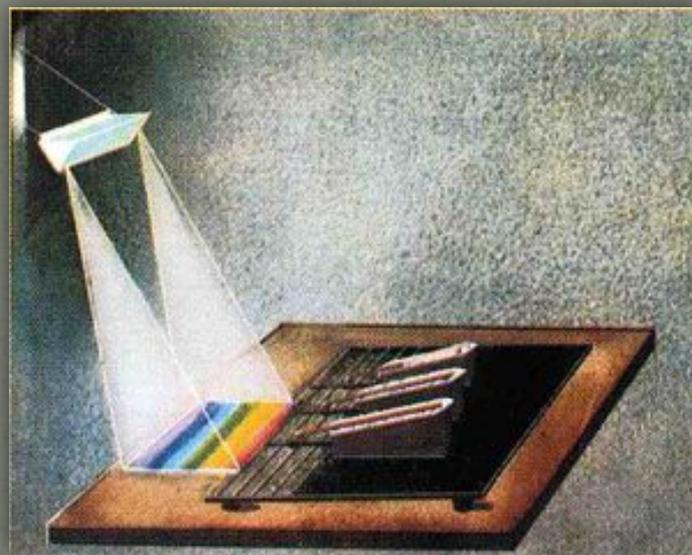
Введение в тепловидение. История.



Уильям Гершель

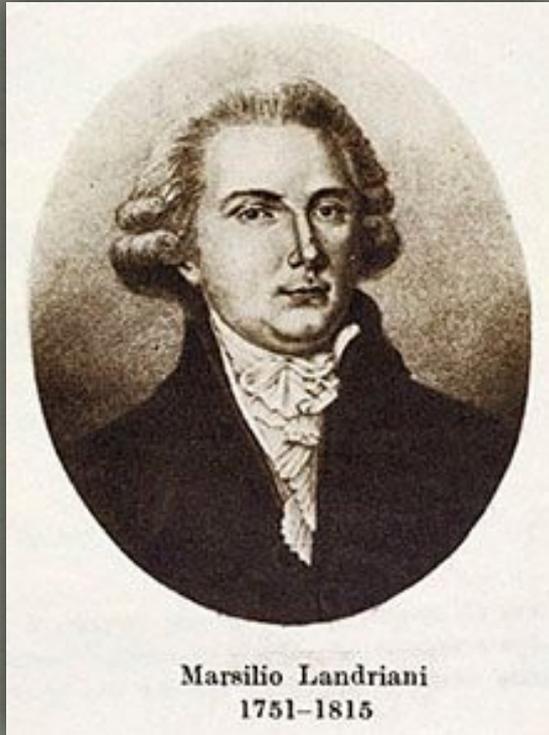
1738-1822

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 (NaCl), которая доступна в больших количествах, оказалась прозрачной для ИК излучения.

Термометр Ландриани может измерять температуру с погрешностью $0,2^\circ\text{C}$ ($0,36^\circ\text{F}$), поздние модели до $0,05^\circ\text{C}$ ($0,09^\circ\text{F}$.)

Введение в тепловидение. История.



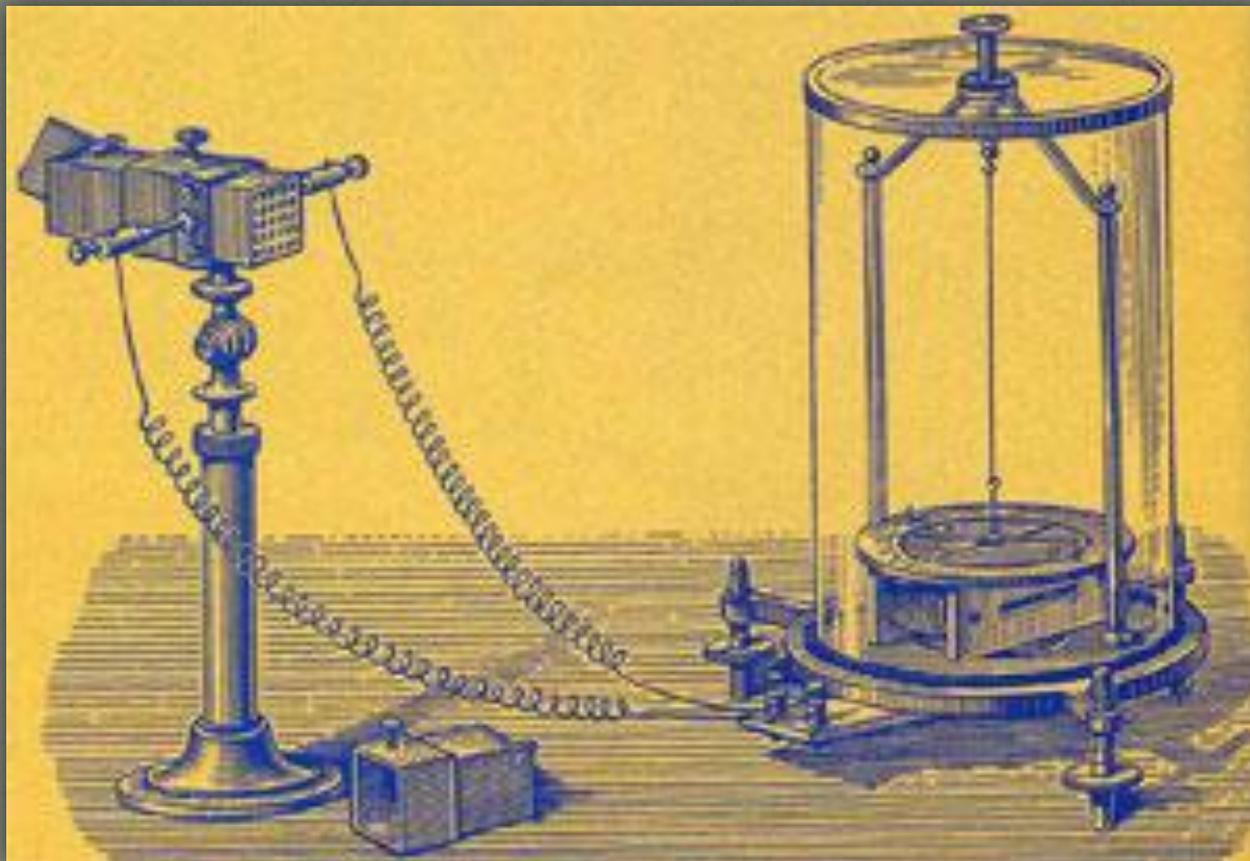
Leopoldo Nobili
(1784-1835)



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

- Изобрёл термопару и термобатарейю.
- 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.



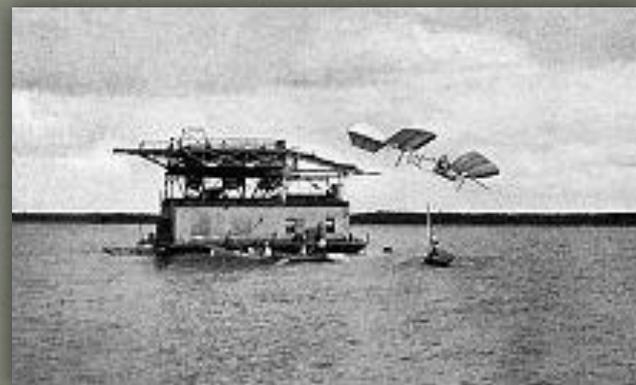
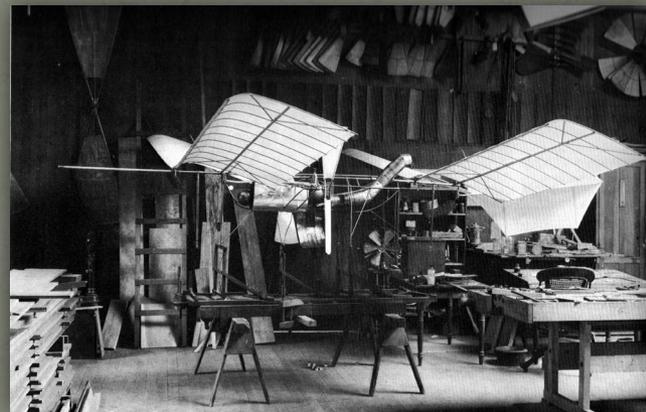
Приемник теплового излучения М. Меллони (1840 г.)
с гальванометром (справа)

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.

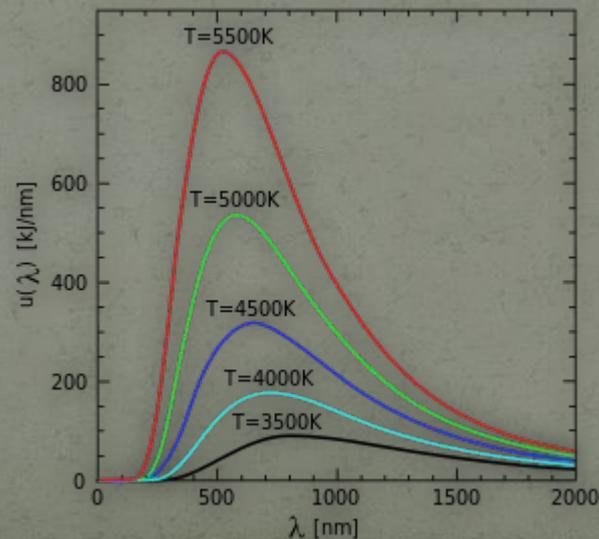


Вильгельм Карл Вернер
Отто Фриц Франц Вин
(1864-1928)

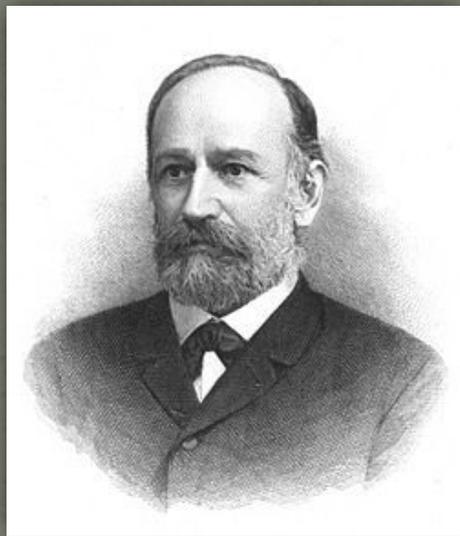
В 1893/94 гг. он вывел первый закон Вина, а из него - закон смещения Вина, в 1896 г. - второй закон Вина для теплового излучения

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.

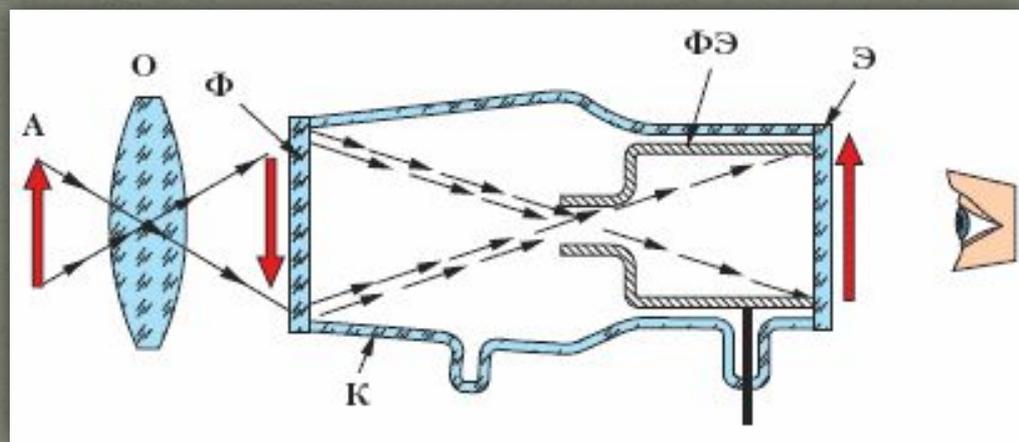


Изобрёл (1937) принципиально новый селективный оптико-акустический приемник - спектрофона, чувствительный от ультрафиолетовой до миллиметровой области спектра.

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.



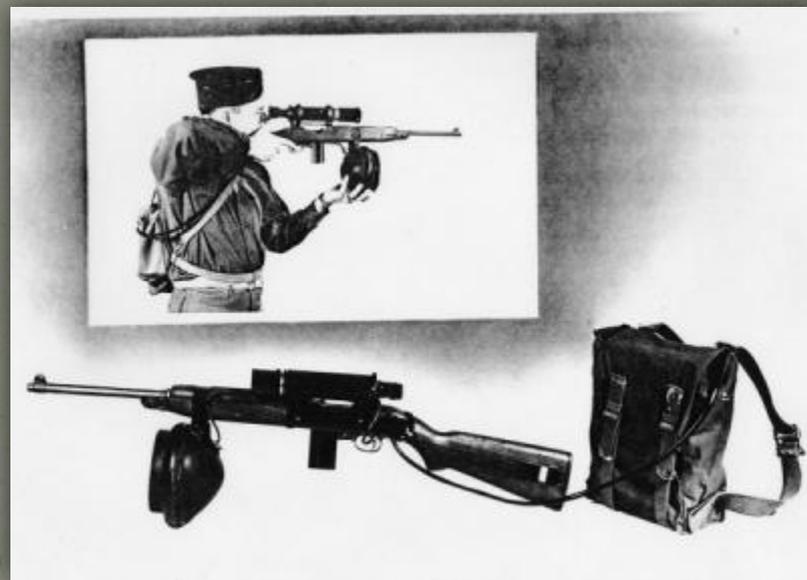
1934 г. – создание ЭОП

Введение в тепловидение. История.

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



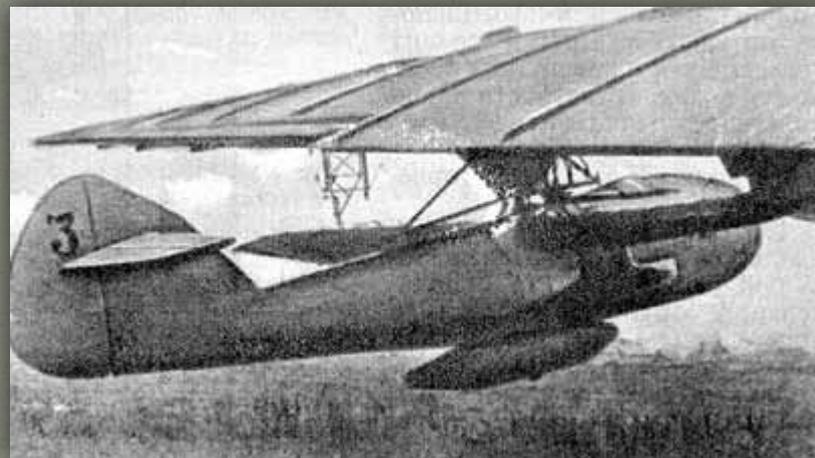
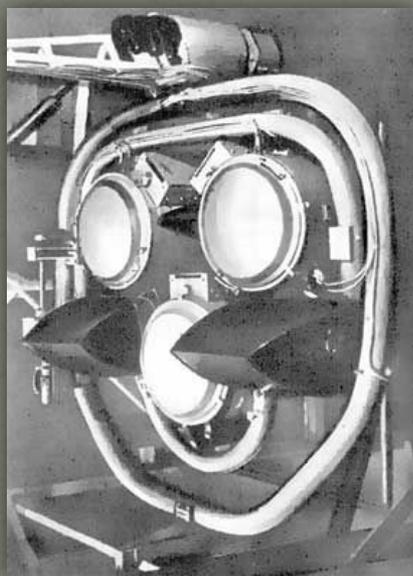
ППШ с ИК прицелом (1943 г.).



Прицел на М1 «Снайперскоп»

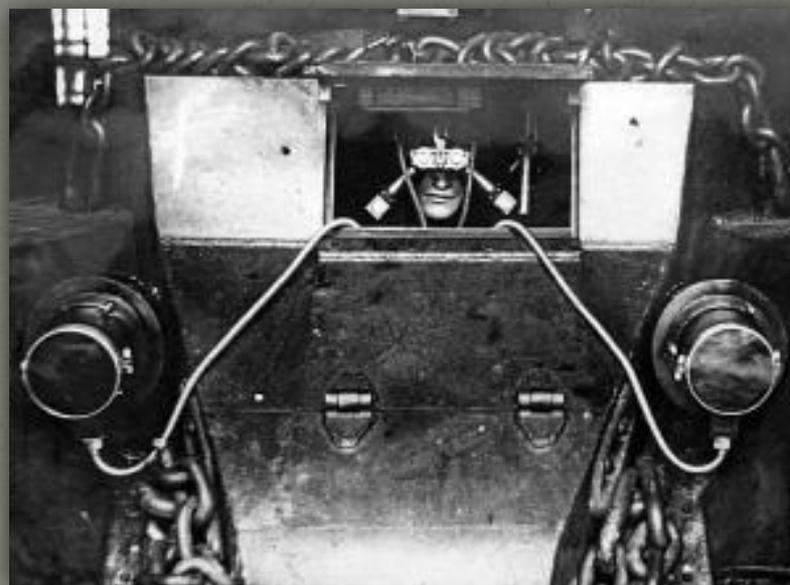
Введение в тепловидение. История.

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.

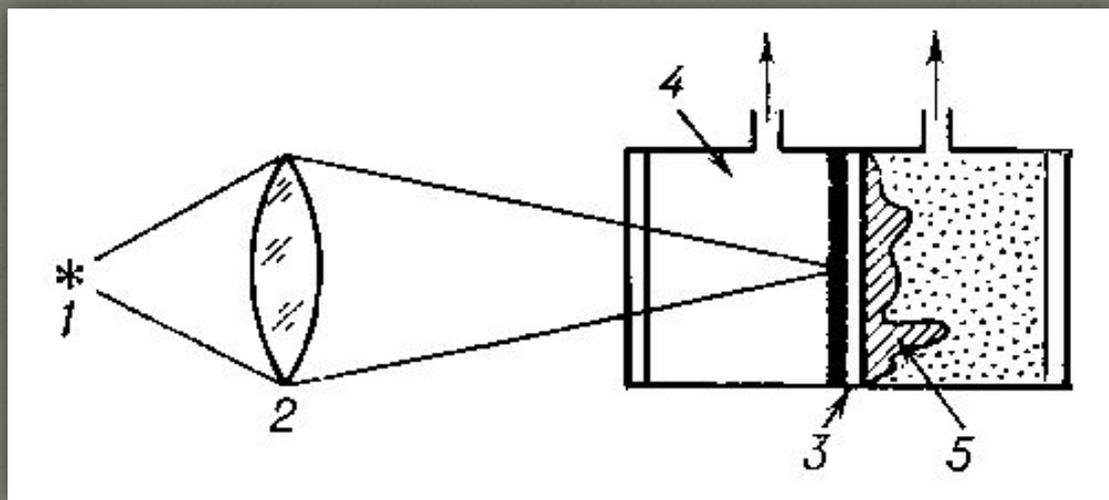
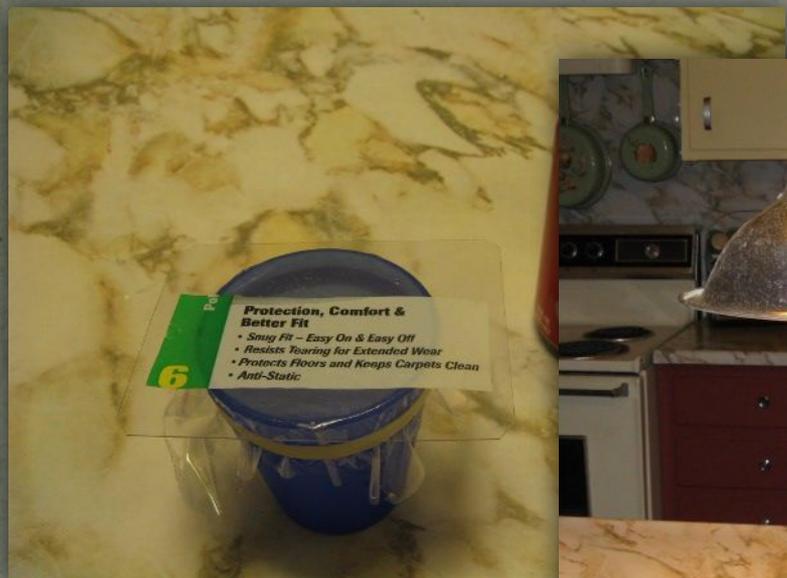


Схема получения изображения в эвапорографе:

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:

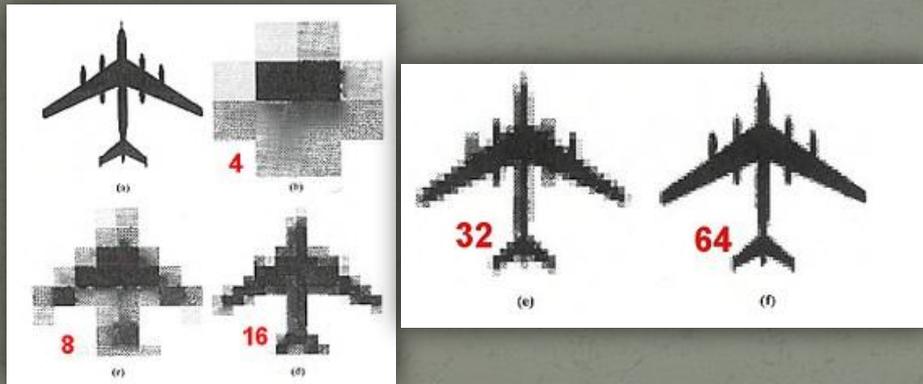
- *обнаружение объекта,*
- *распознавание объекта,*
- *идентификация объекта.*

- **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:

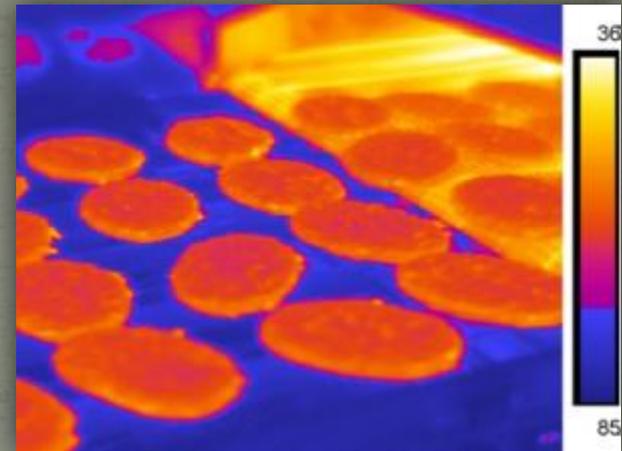
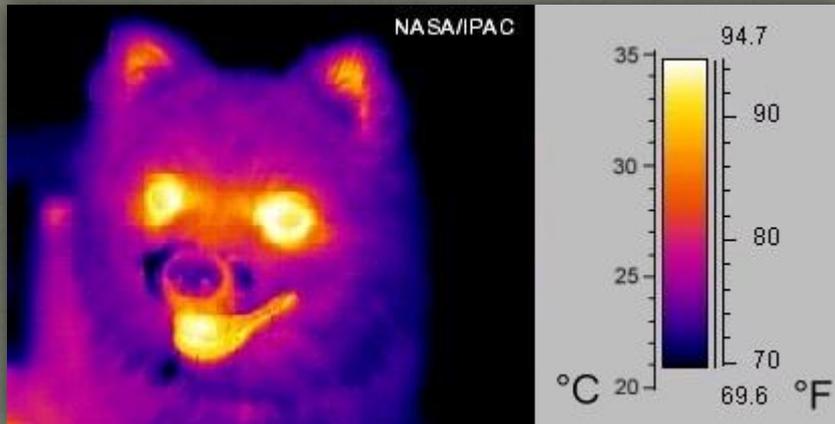
1. Ближняя инфракрасная область (0,75—1,5 мкм);
2. Средняя инфракрасная область (1,5—20 мкм);
3. Дальняя инфракрасная область (20—1000 мкм).

Основы тепловидения.

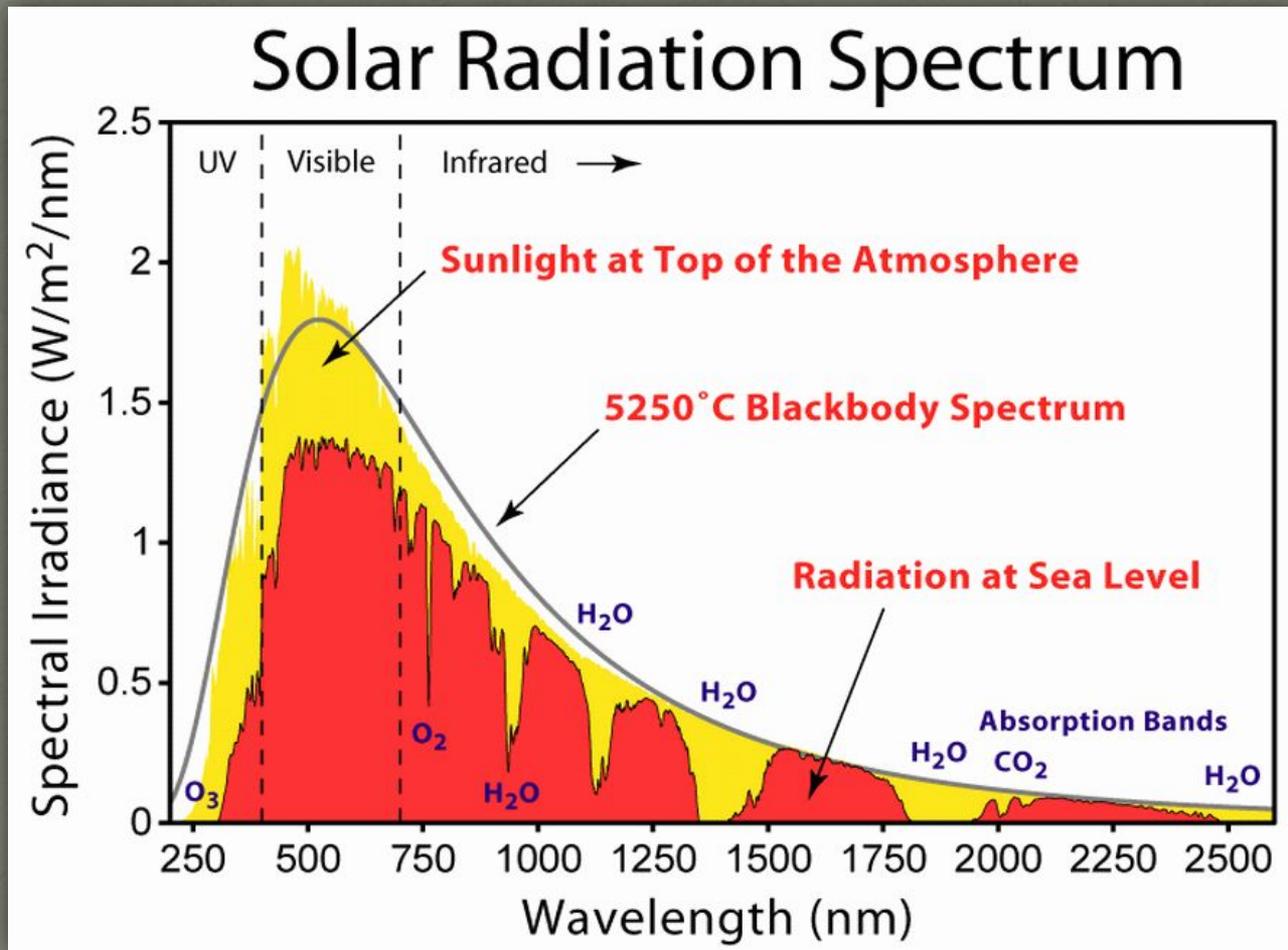


В системах безопасности используется ТГц (мм) излучение для сканирования багажа и людей.

Основы тепловидения.

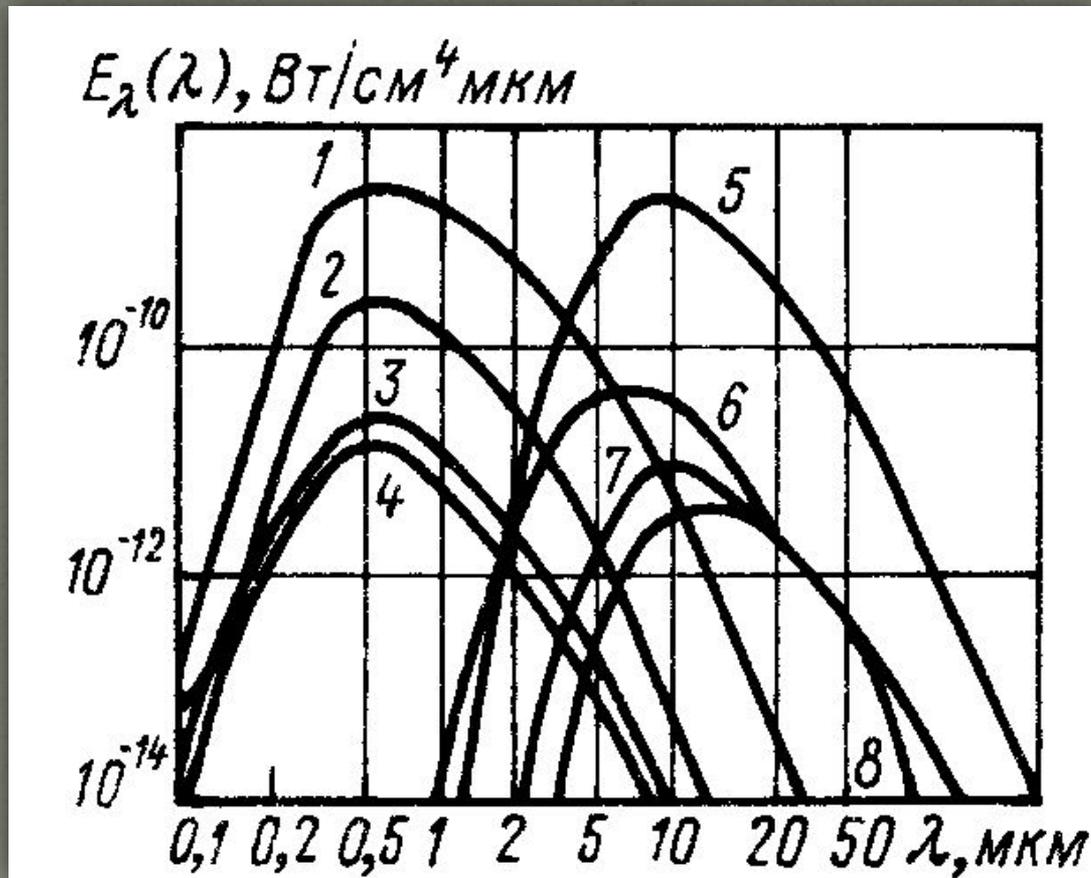


Источники излучения.



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

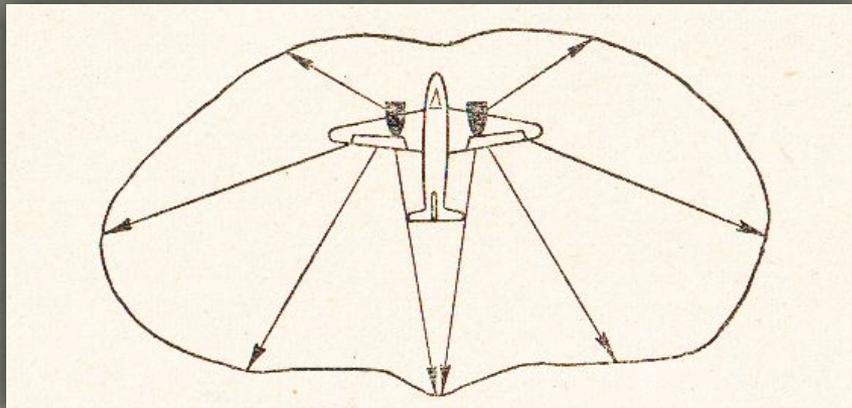


АЧТ-30/900/2500

Источники излучения.

Излучение промышленных объектов

Самолет С-47 «Скайтрейн»



Индикатриса излучения в горизонтальной плоскости.

$$T=80\div 100$$

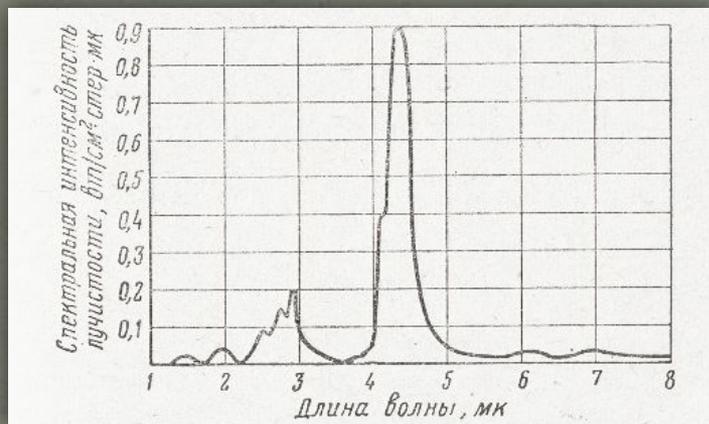
$$T_{\text{вых. газов}}=1000\div 1100$$

$$T_{\text{патрубков}}=800\div 700$$

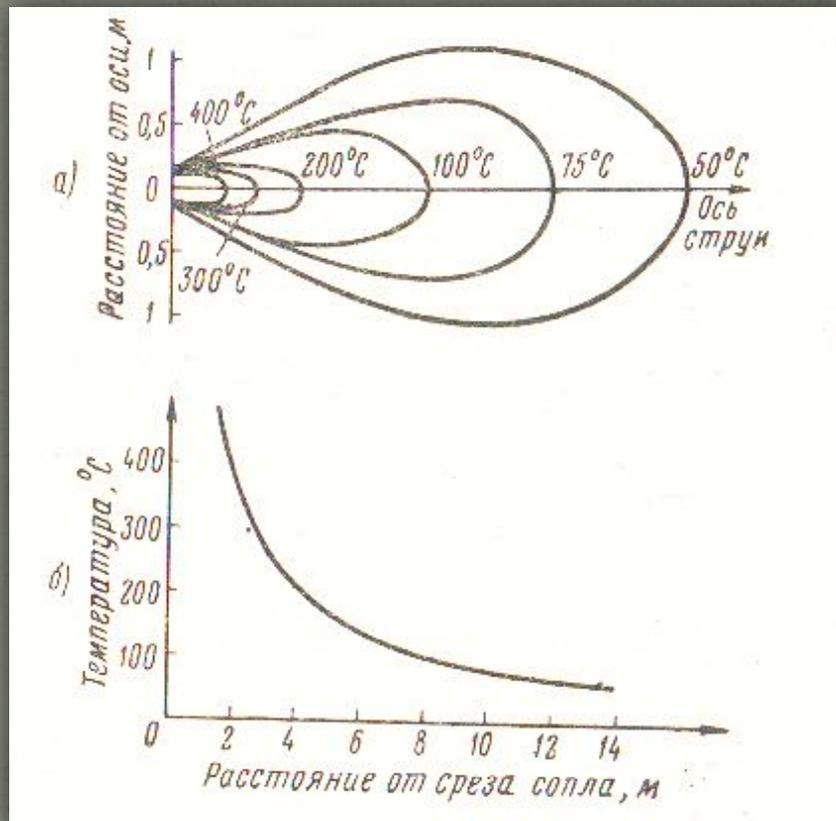
Коэффициент черноты капота 0,2-0,4; патрубка 0,8-0,9 .

Источники излучения.

Газовая струя реактивного двигателя.



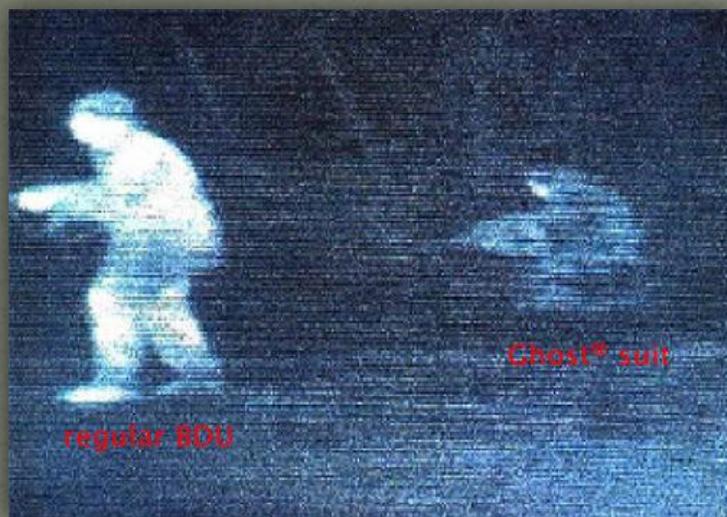
Форма факела (а) и распределение температуры в газовой струе реактивного двигателя с тягой 300 кг (б).



При $\varepsilon=0,1$ 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.

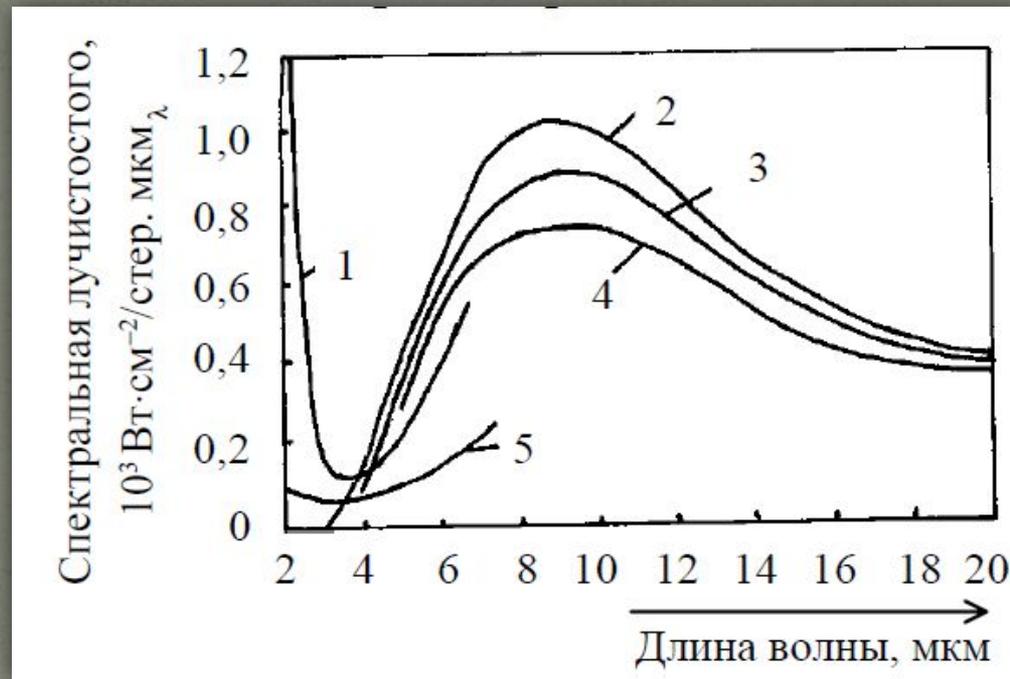
Наземные транспортные средства.



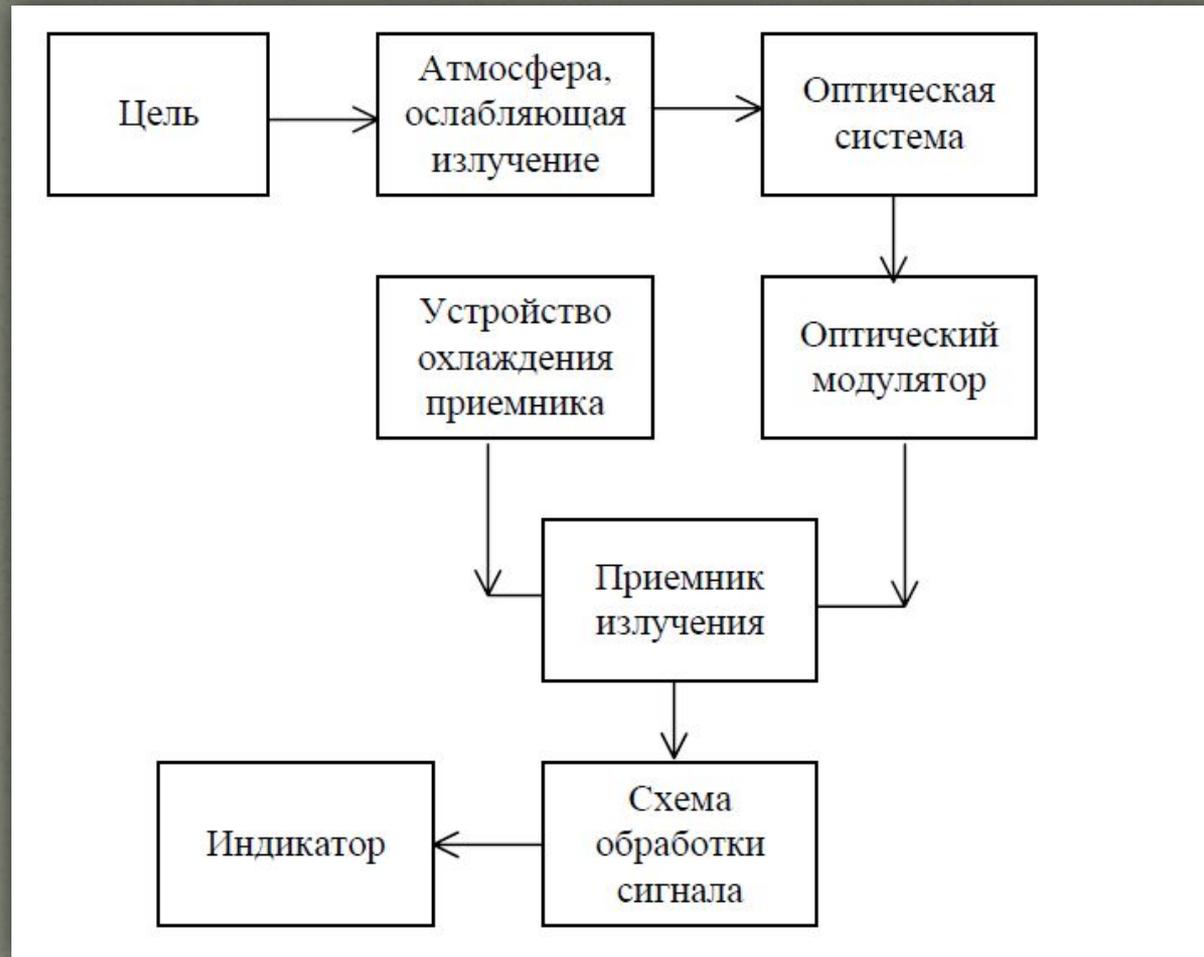
Коэффициент излучения $\epsilon \approx 0,85$ и выше
для $\lambda \geq 3 \div 5$ мкм (холодные части автомобиля)
для $\lambda \geq 8 \div 12$ мкм (холодные части автомобиля)

Источники излучения.

Излучение фона.



Теория теплового излучения. Прохождение излучения через атмосферу.



Теория теплового излучения. Прохождение излучения через атмосферу.

Закон Бугера — Ламберта — Бэра

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

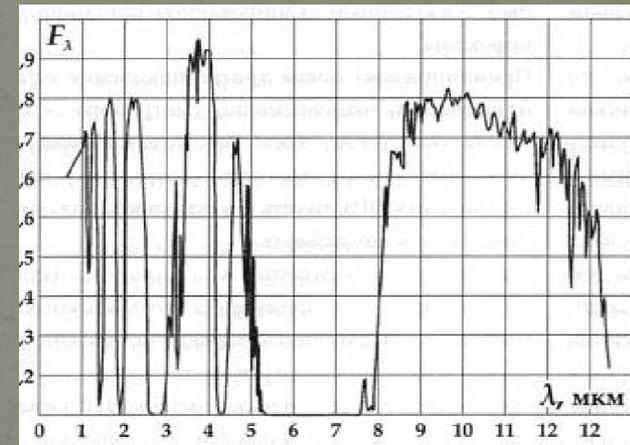
где R — расстояние или длина пути, а $\gamma(\lambda)$ — показатель ослабления. Показатель ослабления равен сумме показателей рассеяния $\sigma(\lambda)$ и поглощения $k(\lambda)$:

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

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

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

В атмосфере имеются окна прозрачности



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

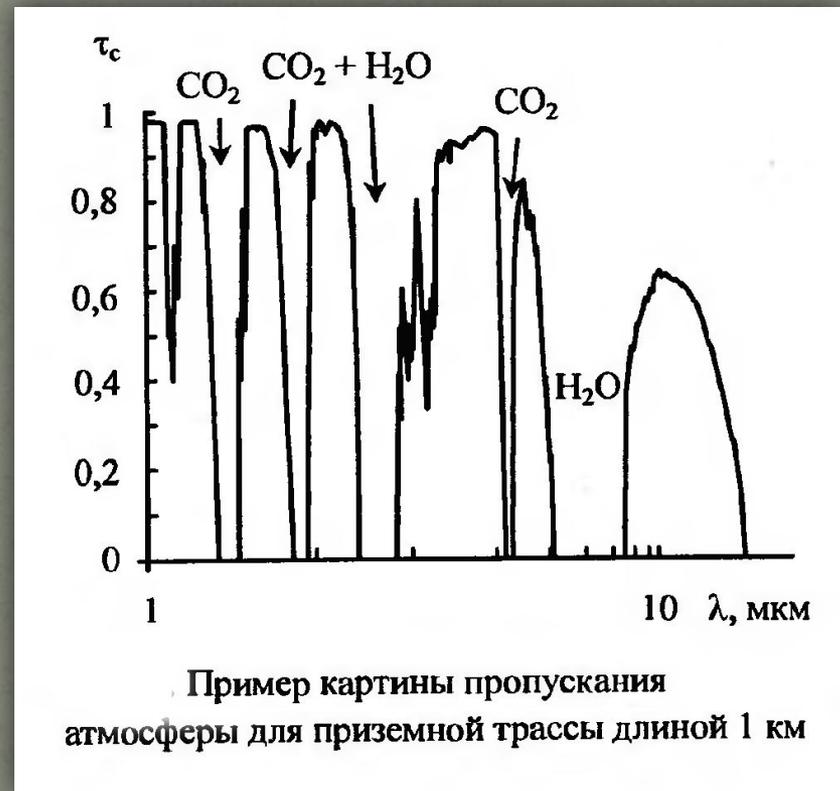
Окна прозрачности, стандартизованные в МФС:

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

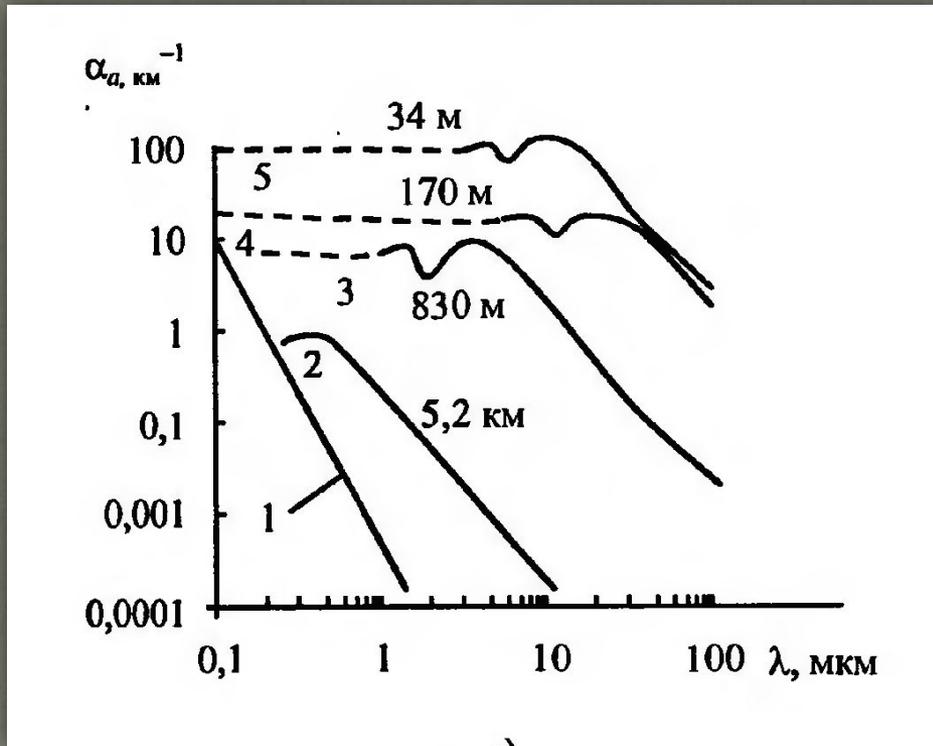
Полосы полного поглощения ИК-излучения,
углекислым газом CO_2 2,6–2,9 мкм;
4,2–4,4 мкм и парами воды H_2O : 5,0–8,0 мкм.

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.

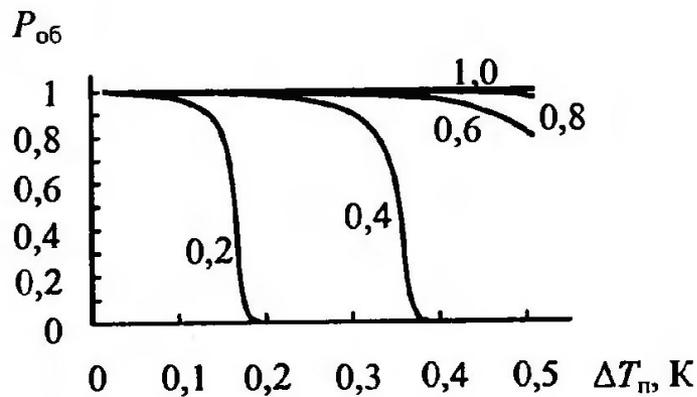
Эффективный коэффициент пропускания среды (атмосферы)
в пределах рабочего спектрального диапазона $\lambda_1 \dots \lambda_2$

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

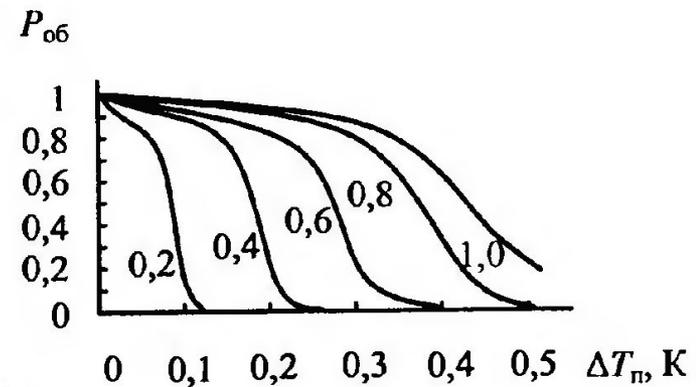
где $L(\lambda)$ - спектральная плотность яркости источника излучения;
 $\tau_c(\lambda)$ - спектральный коэффициент пропускания среды (атмосферы);
 $\tau_o(\lambda)$ - спектральный коэффициент пропускания оптической системы ИКС; $S_v(\lambda)$ - спектральная характеристика вольтовой чувствительности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

Теория теплового излучения. Прохождение излучения через атмосферу.

Зависимости вероятностей обнаружения цели от значений $\Delta T_{\text{п}}$ при различных статистически усредненных α (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 $\beta \times 10^6, ^\circ\text{C}^{-1}$	Температура плавления, $^\circ\text{C}$	Плотность. $\text{кг}/\text{м}^3$
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

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

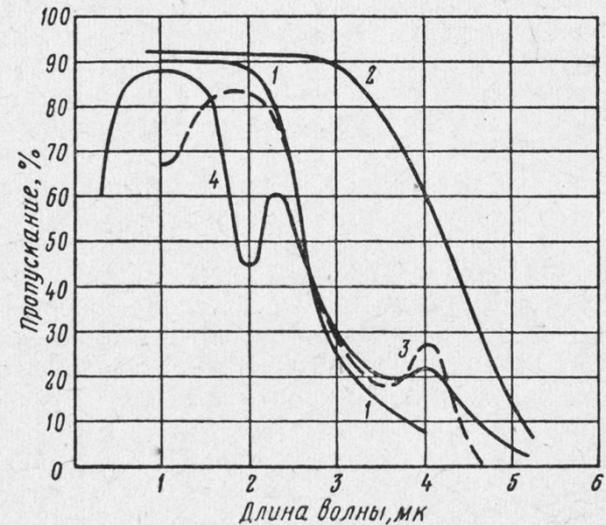
Параметры инфракрасных стёкол

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

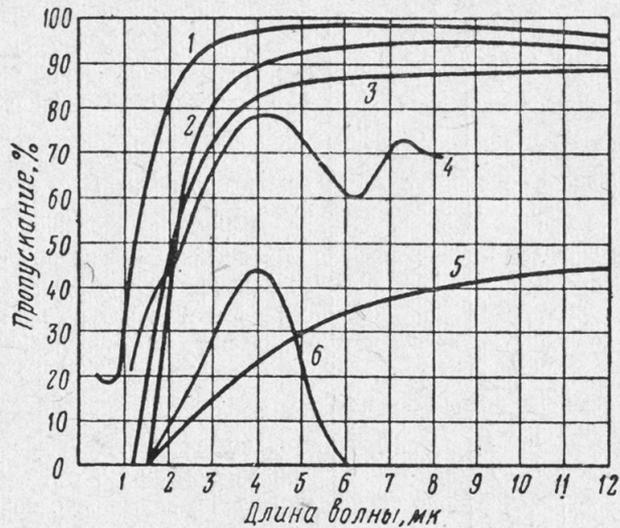
Оптические материалы для ИК-области спектра



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



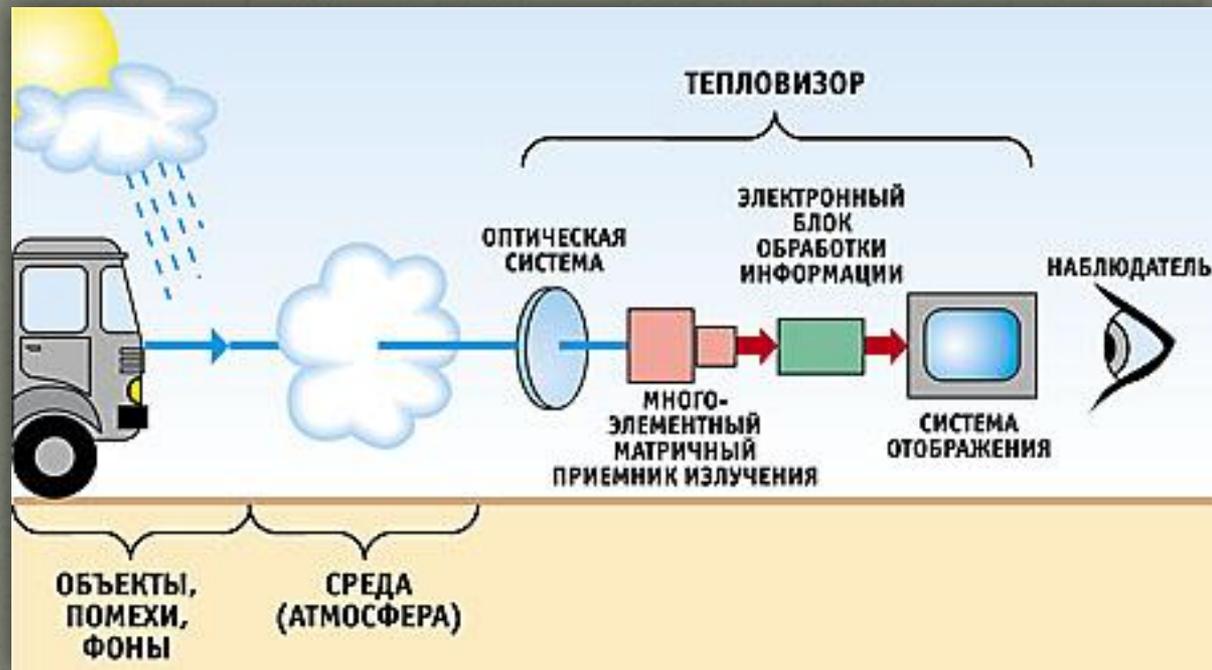
Пропускание стекол: зеркального (1), кварцевого (2), оконного (3) и монокристалла кварца (4).



- 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

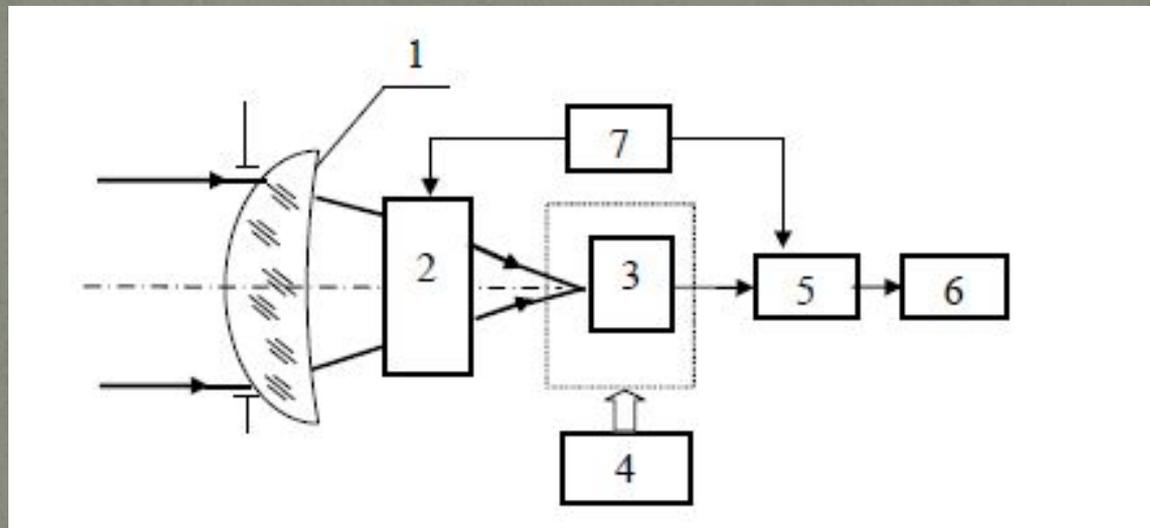
Основы построения тепловизионных систем.



Основы построения тепловизионных систем.

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

Обобщенная функциональная схема сканирующего тепловизора

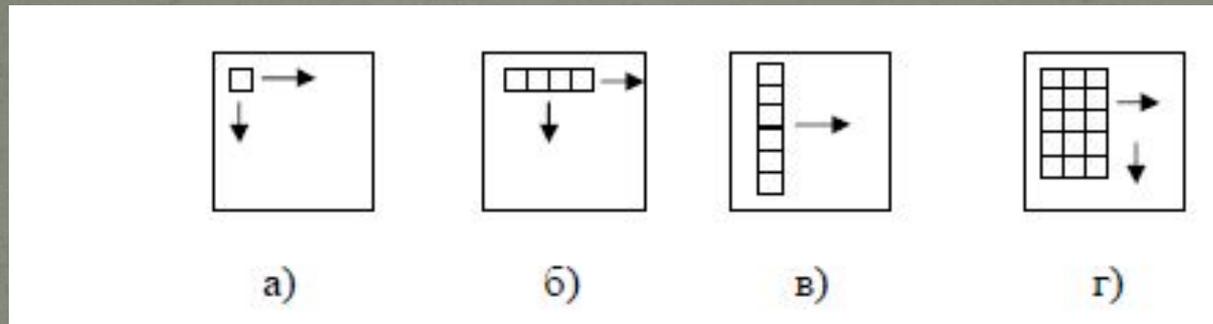


1 – оптическая система; 2 – блок оптико-механического сканирования;
3 – приемник излучения; 4 – система охлаждения; 5 – электронный тракт;
6 – видеоконтрольное устройство; 7 – система синхронизации.

Основы построения тепловизионных систем.

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

Методы сканирования:

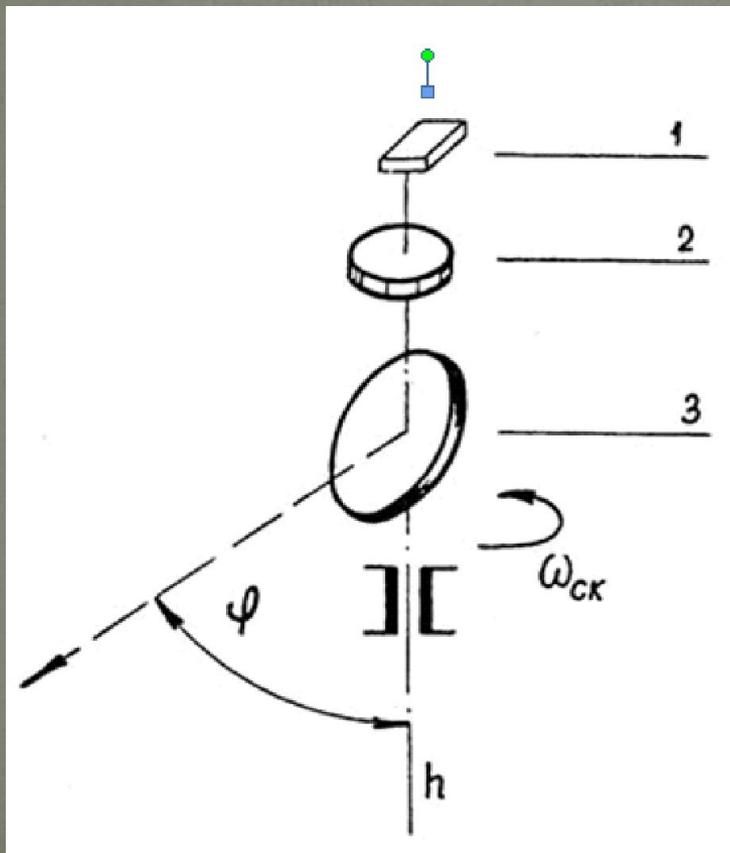


- а) сканирование одноэлементным ПИ;
- б) последовательное сканирование линейкой чувствительных элементов;
- в) параллельное сканирование линейкой чувствительных элементов;
- г) параллельно-последовательное сканирование матричным ПИ.

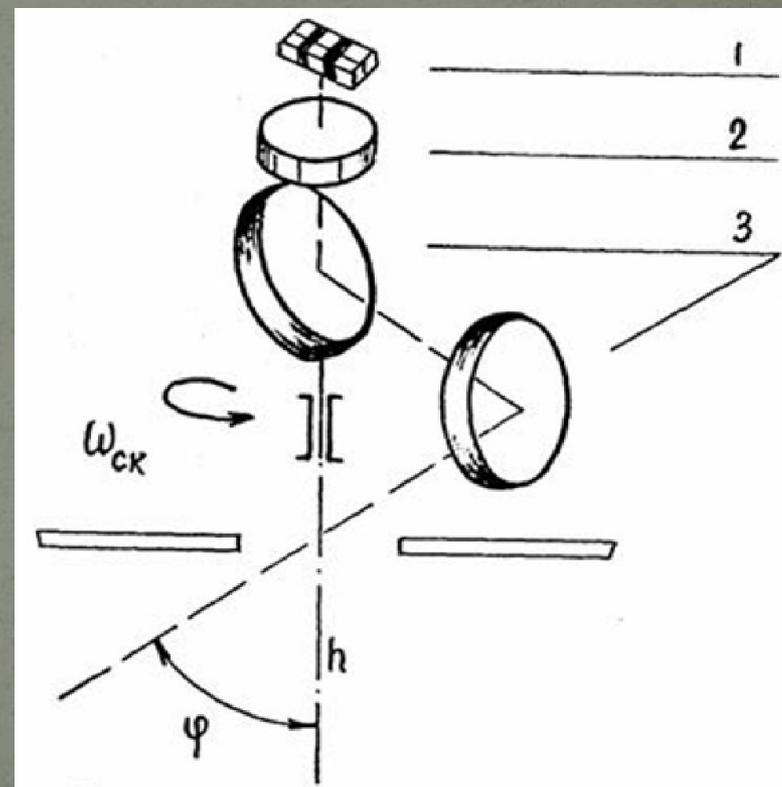
Основы построения тепловизионных систем.

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

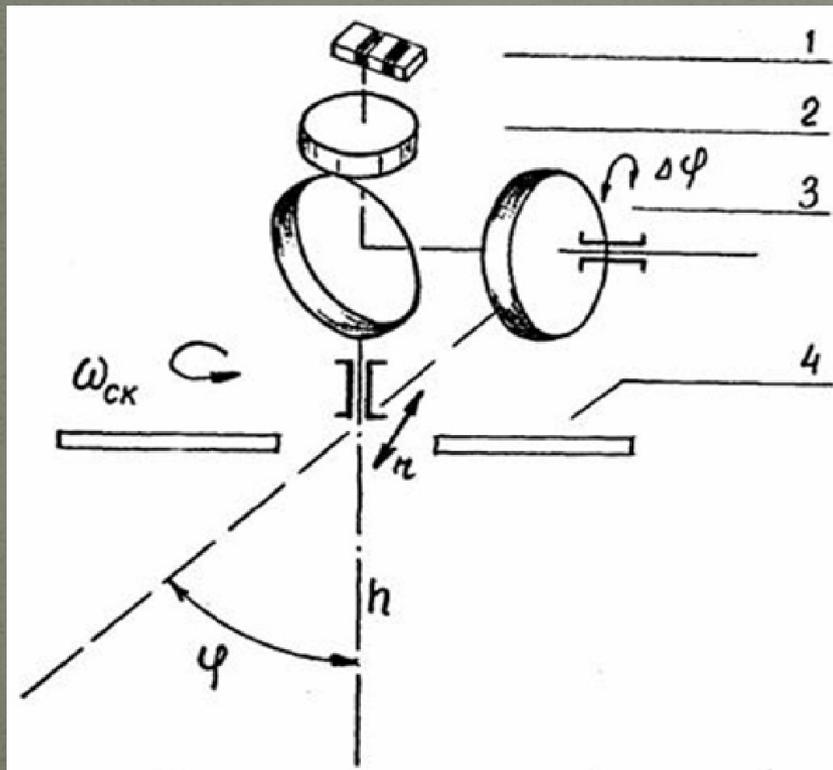
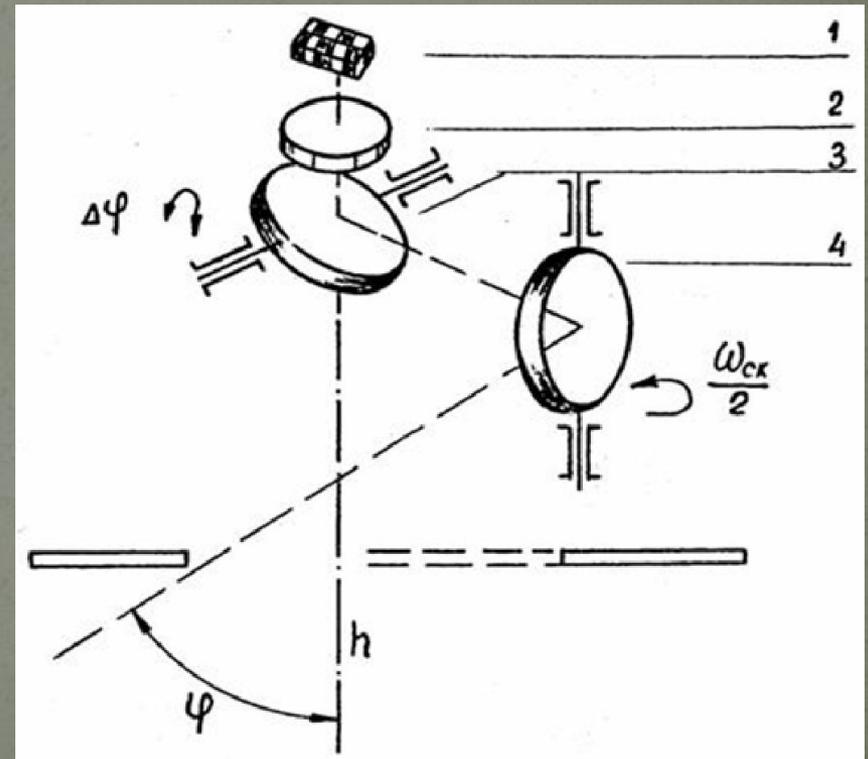


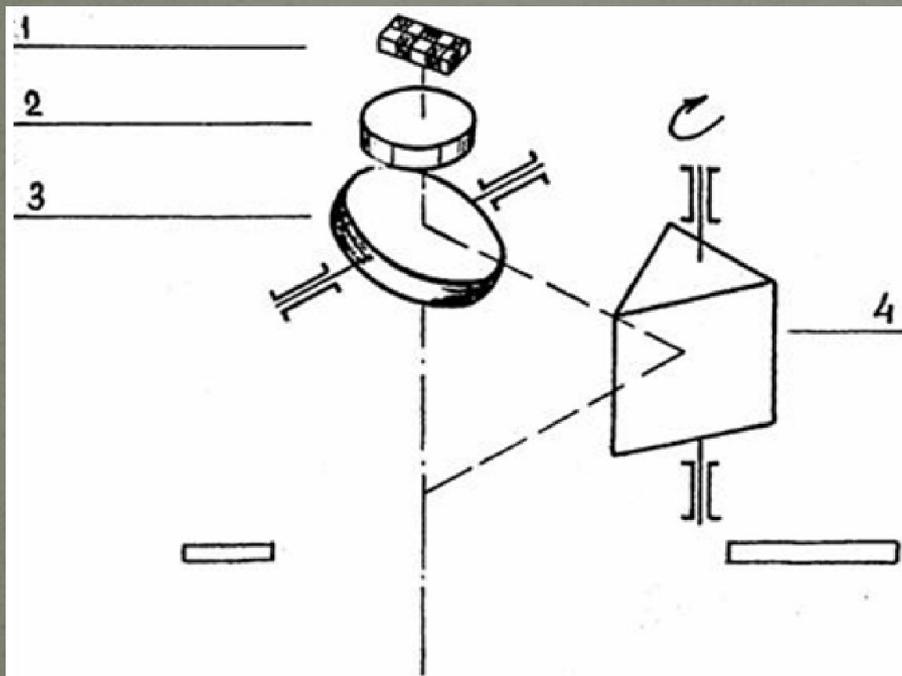
Схема кругового сканирования с удвоением скорости визирного луча



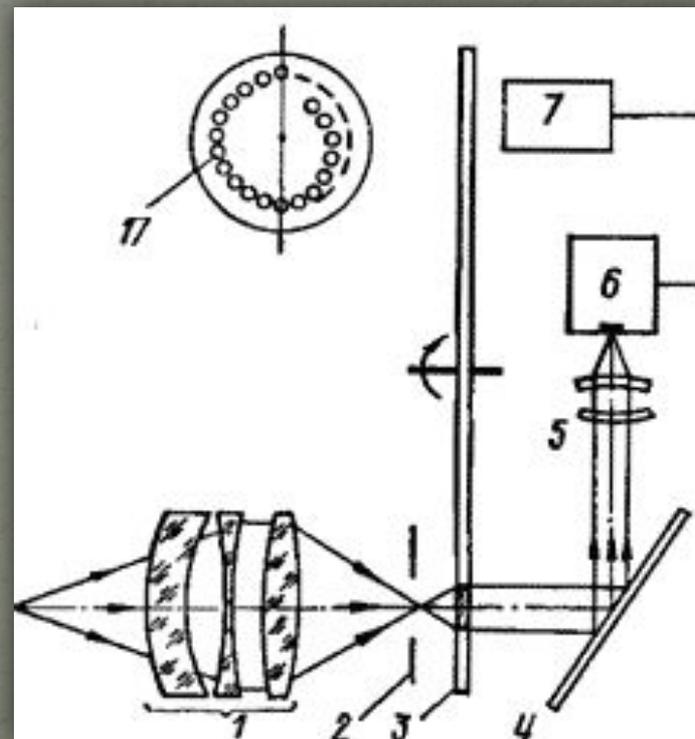
Основы построения тепловизионных систем.

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

Схема кругового сканирования с зеркальной призмой



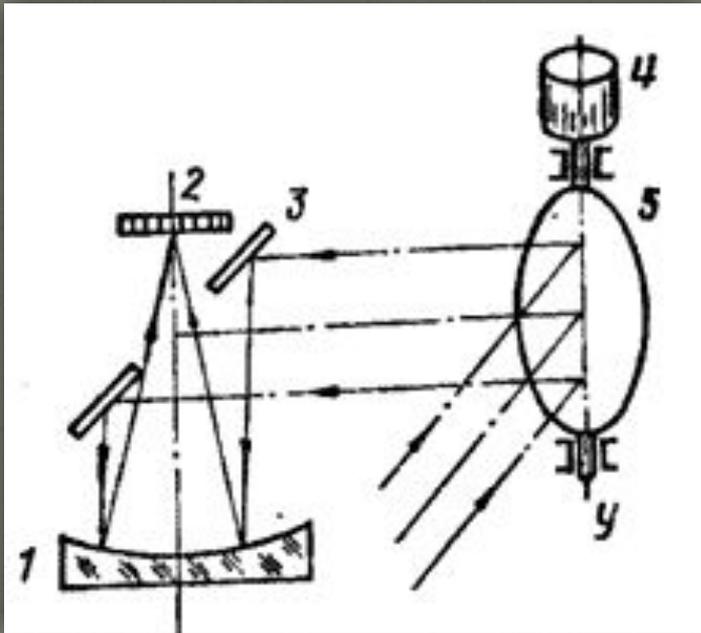
Тепловизоры, в которых для развертки изображения использовался диск Нипкова



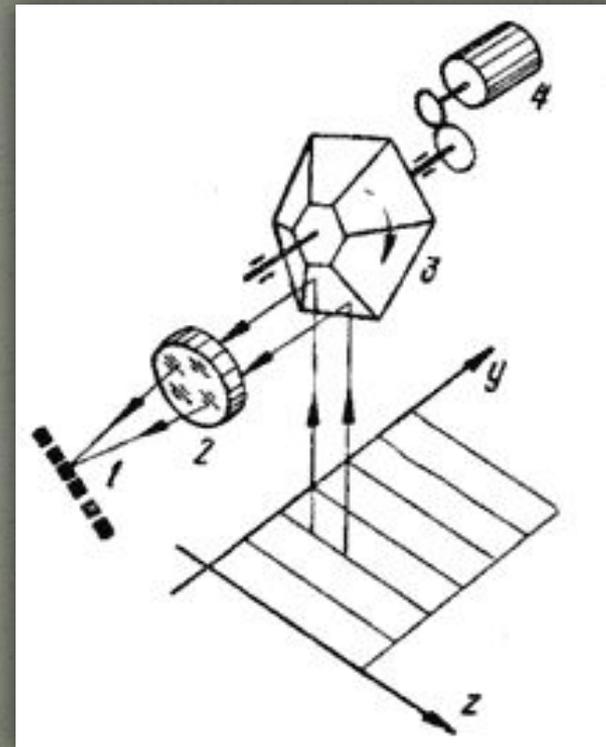
Основы построения тепловизионных систем.

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

Сканирующие устройства с колеблющимся зеркалом



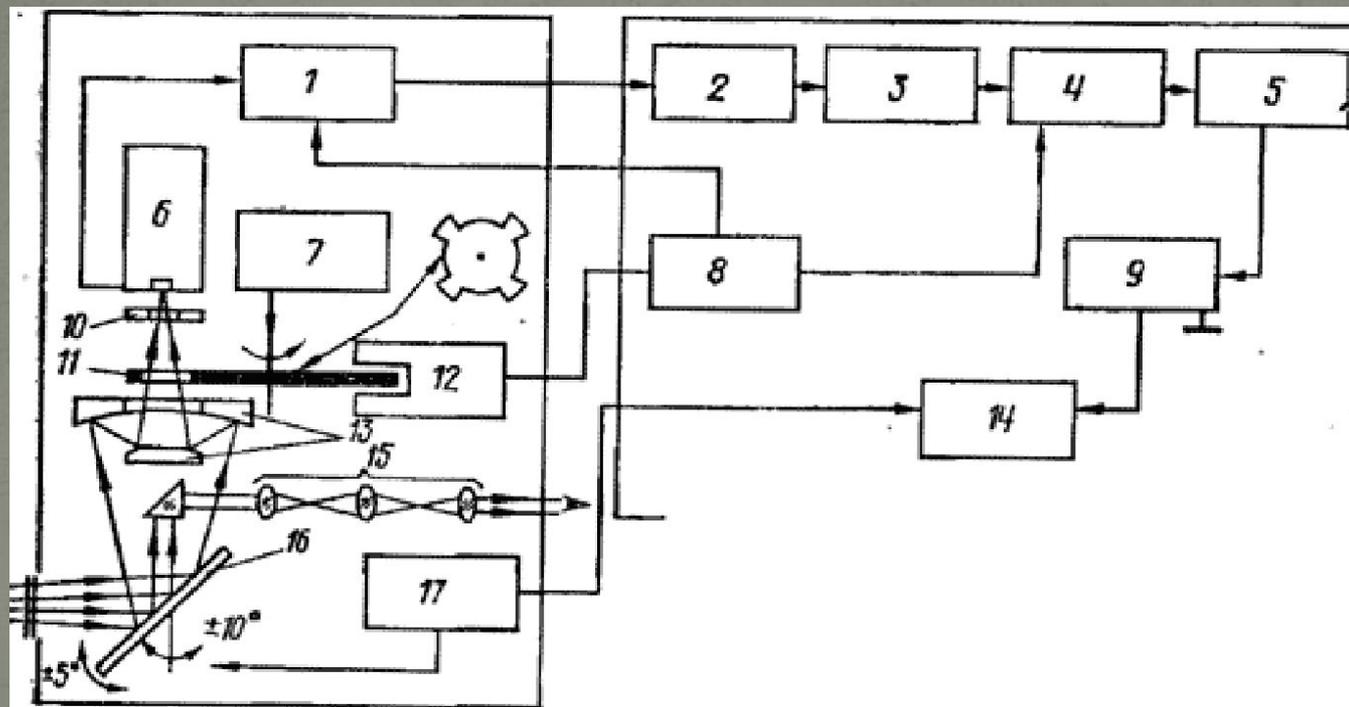
Сканирующее устройство с вращающейся усеченной зеркальной пирамидой



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

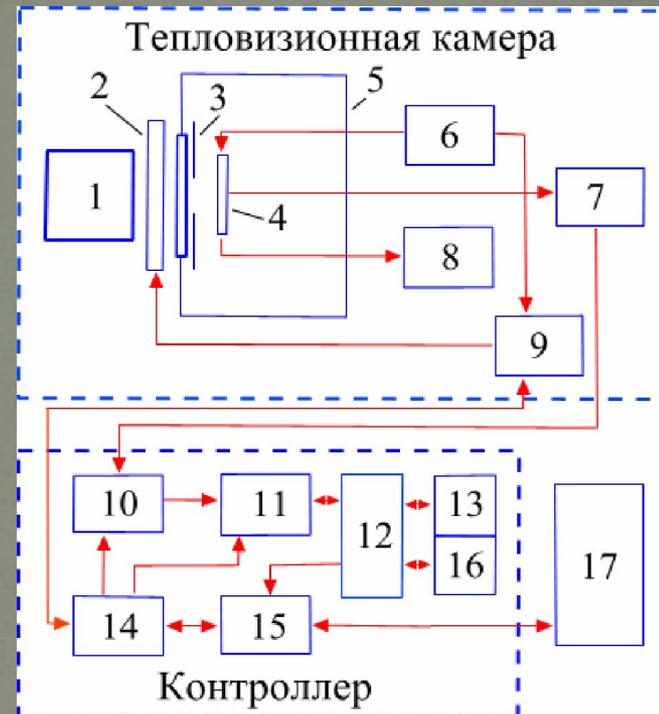
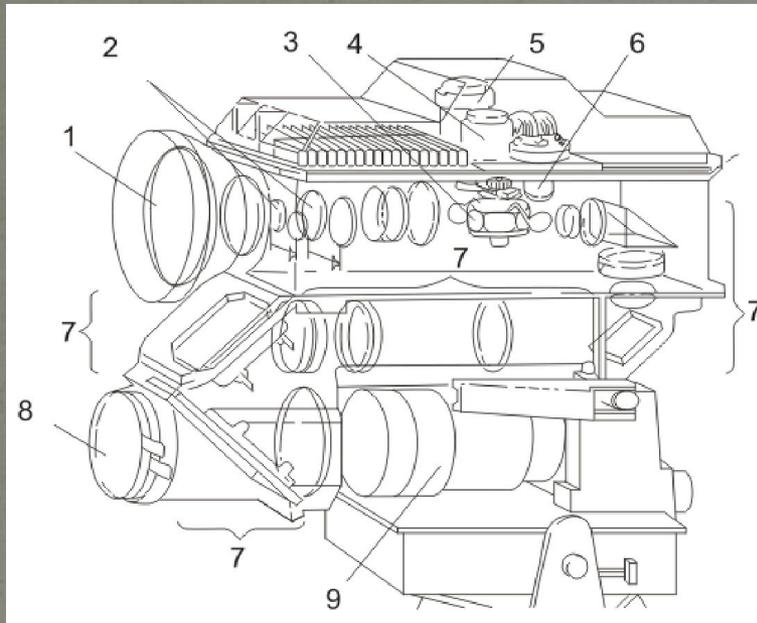


Схема ТПВ-прицела Bill Night Sight (BNS):

- 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

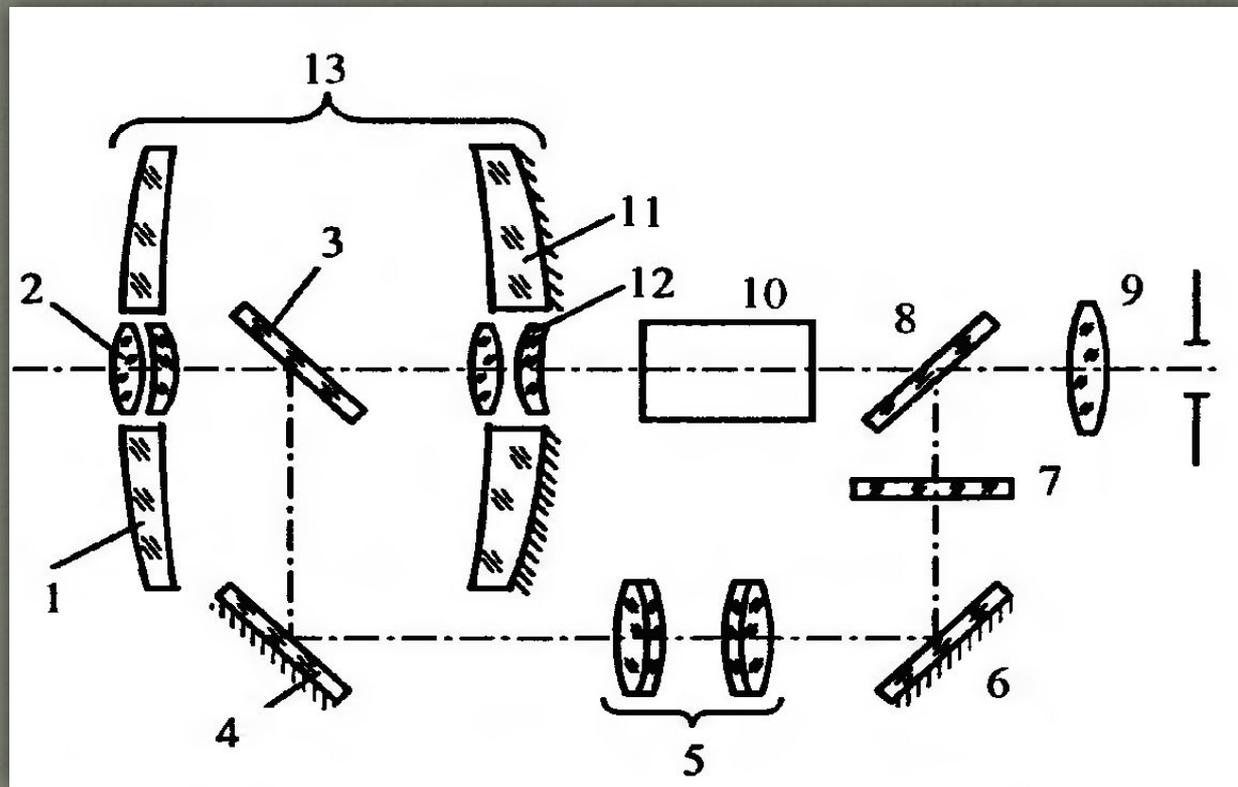
Панорамные очки ночного видения (PVNG)



Современное состояние развития тепловизионных систем.

Тепловизионные приборы малой дальности действия

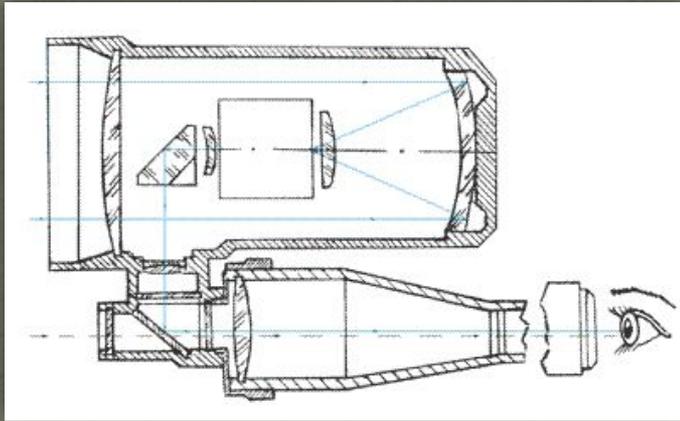
Оптическая схема двухканального прицела «день-ночь»
с зеркально-линзовым объективом



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.

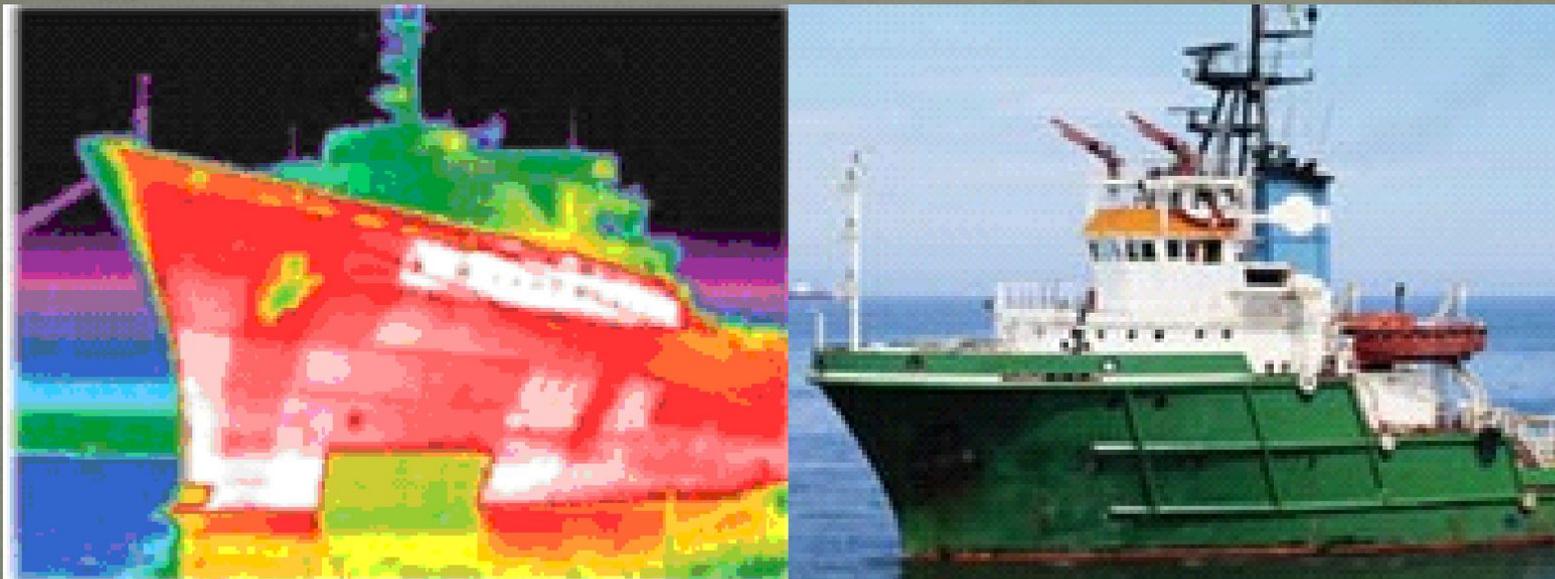
Тепловизионные приборы повышенной дальности действия

НПО «Карат»



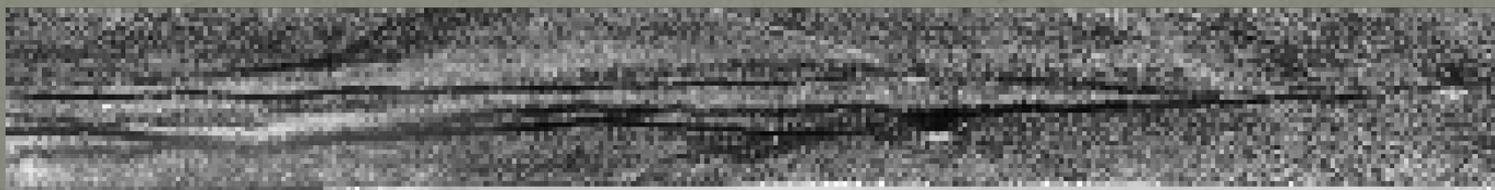
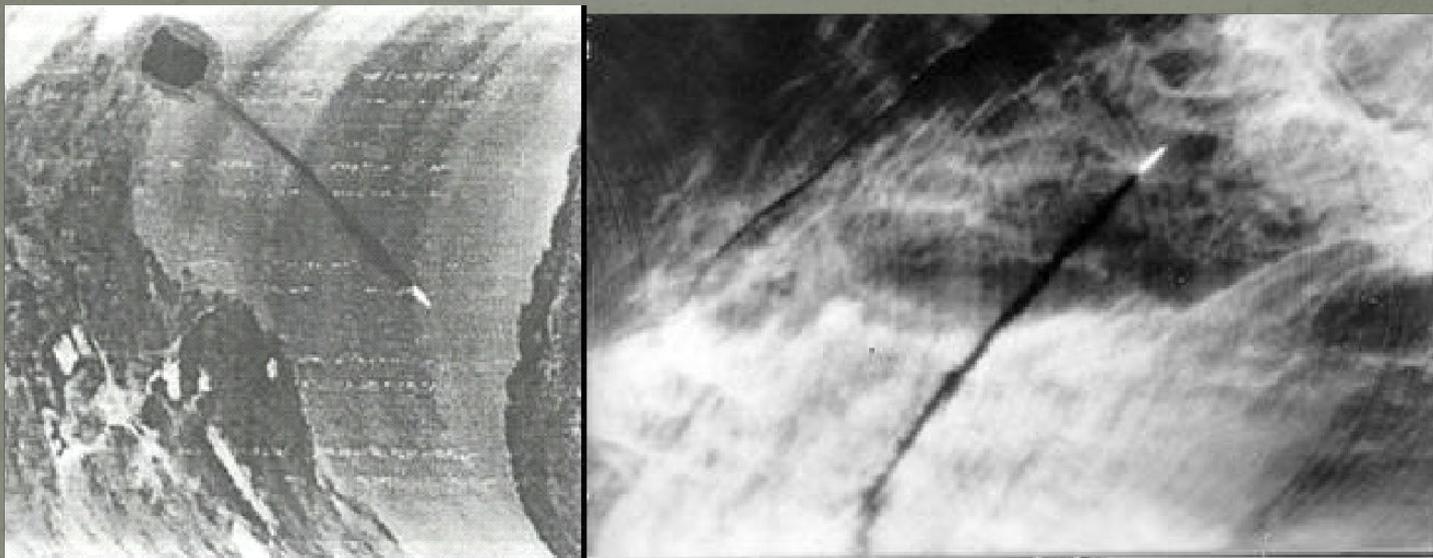
Применение тепловизионных систем

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



Применение тепловизионных систем

Спутный тепловой след надводных и подводных кораблей



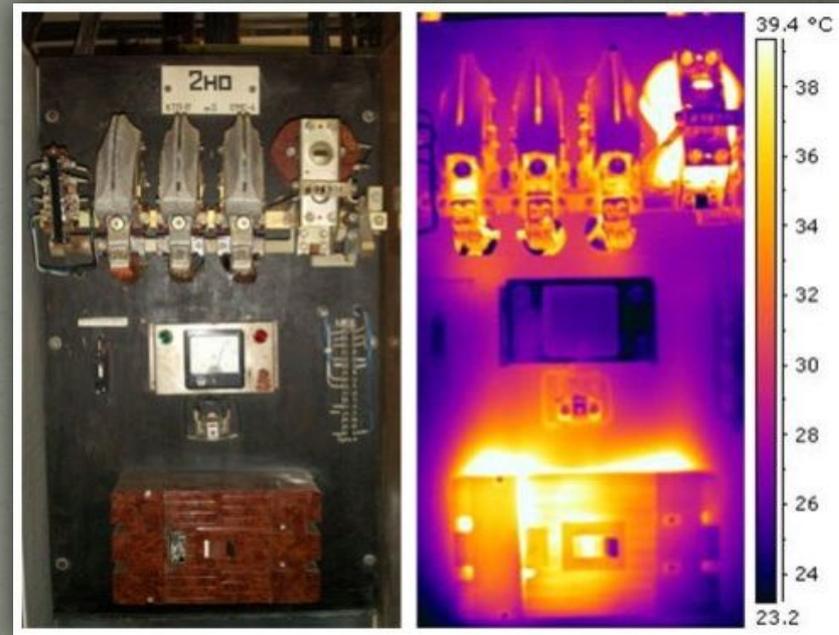
Применение тепловизионных систем

Военное применение: наблюдение за объектами



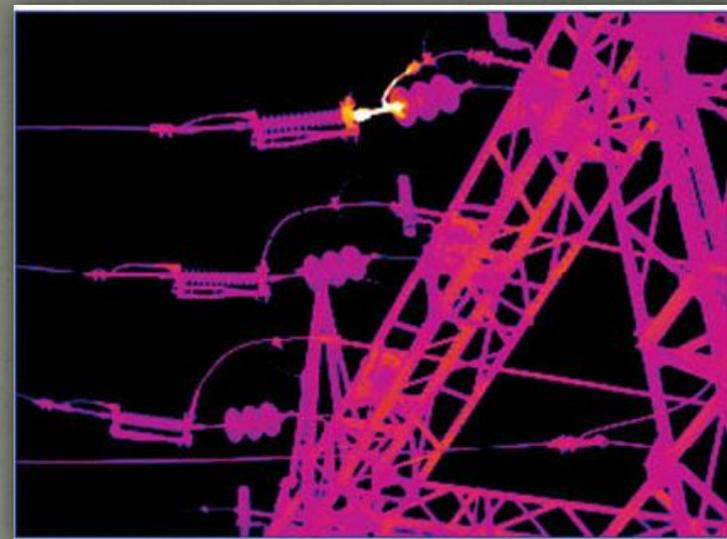
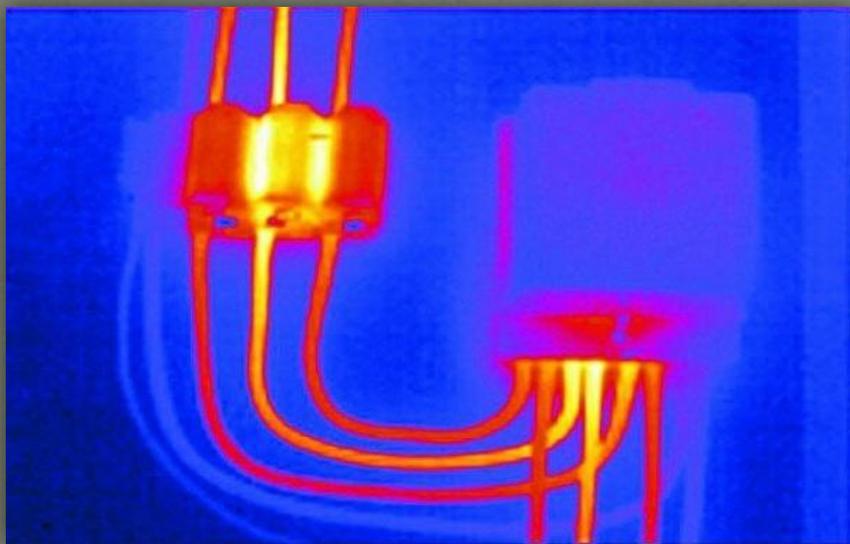
Применение тепловизионных систем

Наблюдение за гражданскими объектами



Применение тепловизионных систем

Наблюдение за гражданскими объектами



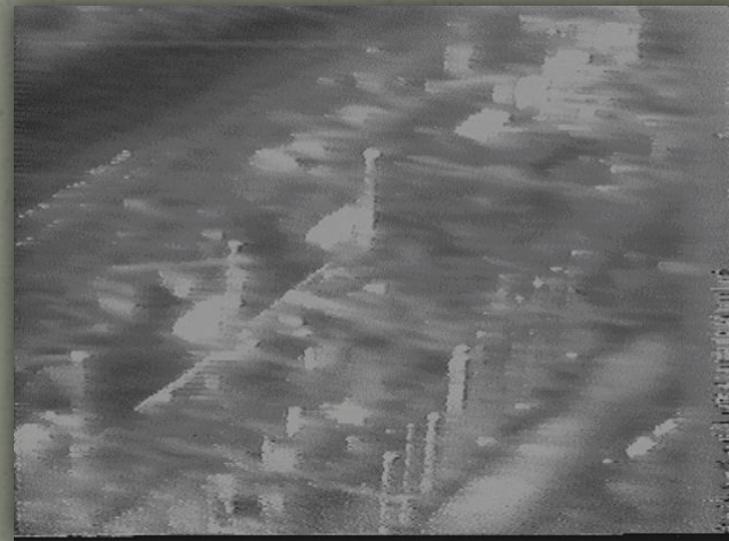
Применение тепловизионных систем

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



