

# ТЕПЛОВИЗОРЫ: ВСЕ НЕ ТАК ПРОСТО

С. Никитин  
ООО «СКН»

**Т**епловидение становится одной из самых модных тем в различных отраслевых изданиях. Мы прочитали несколько статей по тепловизионной технике и были удивлены: большинство авторов уделяет существенное внимание тонкостям конструкции микроболометров, кто-то рисунками доказывает, что антимонид индия больше годится для инфракрасных фотоприемников, чем кремний. Одно из самых тиражируемых утверждений (или заблуждений) – тепловизоры надо применять везде, начиная от охоты на оленей, заканчивая обследованием газопроводов на предмет утечки.

Все это очень хорошо, но что делать инженеру, которому надо создать тепловизионную систему? Идти к «эксперту»? А вы уверены, что он предложит решение вашей задачи, а не попробует решить задачу выполнения своего плана продаж? Можно обратиться к поисковым системам – но в огромном объеме информации, которая накопилась за 60 лет с начала использования инфракрасных камер, легко заблудиться. Поэтому в данной статье мы решили затронуть вопросы, которые пригодятся в первую очередь инженерам, – действительно, правильное применение тепловизоров может решить очень многие задачи, которые мир ставит перед нами.

В статье для журнала сложно объяснить принципы квантовой физики, используемые в тепловидении. Да и есть ли в этом необходимость? Ведь большинство читателей не будет разраба-

вывать тепловизионные камеры. Мы решили дать понятные и практические советы, которые могут быть востребованы прежде всего при проектировании комплексных систем безопасности. Рассмотрим три основных темы:

1. Распространение ИК-излучения.
2. Охлаждаемые тепловизоры – необходимость или «осваивание бюджета»?
3. Зачем в тепловидении используются специальные характеристики камер?

Заранее успокоим читателя: законы тепловидения очень похожи на законы телевидения. Только в первом случае мы в большей степени работаем с собственным излучением тел, а во втором – с отраженным излучением Солнца или других источников света. В первом случае мы имеем дело с активной оптической локацией, во втором – с пассивной. Основной задачей охранного телевидения является оценка ситуации, в то время как на тепловидение чаще возлагаются функции обнаружения. Поэтому тепловидение во многом похоже на привычное нам охранное телевидение, но все же отличается от него.

## **ВОПРОС ПЕРВЫЙ. В КАКОЕ ОКНО СМОТРЕТЬ?**

Почему-то практически все современные авторы опускают этот вопрос. Но это так же неправильно, как сразу начать изучение теории относительности Эйнштейна, закрывая глаза на физику Ньютона! Ведь не зря же класси-



ки тепловидения [1, 2] начинают свои книги именно с рассмотрения этой темы?

Всем известно, что видимый свет, который видят наши глаза и телевизионные камеры, занимает только небольшую часть спектра электромагнитных колебаний. ИК-излучение отличается от видимого света большей длиной волны, но общие принципы распространения электромагнитных волн весьма схожи. В то же время есть ряд особенностей, которые следует учитывать при создании тепловизионной системы. Первый – это наличие «окоп» прозрачности атмосферы. Но говорят, что тепловизор тем и замечателен, что может видеть сквозь снег, дым и т.п. – неужели это не так? В целом – так. Но есть детали.

Тепловое излучение ослабляется при прохождении через атмосферу вследствие поглощения молекулами газа, аэрозолями, осадками, а также дымом, туманом, смогом и т.п. Следующие вещества (перечисленные в порядке важности) поглощают ИК-излучение в широких полосах с центрами, соответствующими указанным длинам волн:

- а) вода (2,7; 3,2; 6,3 мкм);
- б) углекислый газ (2,7; 4,3; 15 мкм);
- в) озон (4,8; 9,6; 14,2 мкм);
- г) закись азота (4,7; 7,8 мкм);
- д) окись углерода (4,8 мкм);
- е) метан (3,2; 7,8 мкм).

Не считая ослабления в плотных дисперсных средах, молекулярное поглощение является главной причиной ослабления излучения, причем наиболее сильно излучение поглощается парами воды, углекислым газом и озоном. В нижних слоях атмосферы поглощением закисью азота и окисью углерода обычно можно пренебречь. Таким образом, принимая во внимание вышесказанное, можно определить положение двух окон прозрачности: 3,5-5 мкм и 8-14 мкм [3].

На практике наличие «окоп» прозрачности означает то, что все тепловизоры должны работать в этих диапазонах. Коротковолновый (3-5 мкм) диапазон более характерен для охлаждаемых тепловизоров, длинноволновый (8-14 мкм) – для неохлаждаемых (рис. 1). Почему? Все довольно просто. Наш мир устроен таким образом, что для качественного детектирования ИК-излучения в различных участках спектра необходимы разные устройства. В коротковолновом диапазоне применяют приемники с фотоэлектрическим эффектом – энергии кванта достаточно, чтобы под воздействием ИК-излучения электроны перешли в зону проводимости. В длинноволновом же гораздо чаще применяют болометры, так как обнаруживать излучение в этом участке спектра проще при помощи терморезистивного эффекта. Разумному человеку свойственно затрачивать минимум усилий для решения проблем, поэтому технику следует выбирать осознанно. Но вы можете сказать, вдруг охлаждаемый тепловизор настолько лучше, что и заплатить за него не грех? Давайте разберемся, что и почему лучше.

## ВОПРОС ВТОРОЙ. ОХЛАЖДАЕМЫЕ ИЛИ НЕОХЛАЖДАЕМЫЕ?

Сразу хочется предупредить читателя: нас не пугает цена на охлаждаемые тепловизоры! Нам непонятно, почему в подавляющем большинстве статей либо опускают этот вид оборудования, либо говорят о нем буквально следующее: «Ребята, они такие дорогие, что вы точно их у нас не купите». Мы считаем, что это просто нечестно – как будто вы приходите в магазин, а продавец говорит вам: «Отойдите от этого свежайшего филе – оно вам не по карману!» Наша цель – рассказать инженерам обо всем спектре оборудования для тепловидения вне зависимости от его цены.

Цена на охлаждаемые тепловизоры вполне сравнима с



Рис. 1. «Окна» прозрачности атмосферы

ценой на неохлаждаемые, если к последней приплюсовать, например, стоимость нового внедорожника – но не это является ценообразующим фактором. Причиной высокой стоимости устройства является дороговизна полупроводниковых матриц и устройств охлаждения до сверхнизких температур. Но иногда только охлаждаемый тепловизор может решить поставленную задачу.

Чтобы не загружать читателя лишней информацией, мы решили остановиться на основных преимуществах обоих типов тепловизоров, не обходя стороной и их недостатки. Ведь зачастую знание именно о слабом месте той или иной техники позволит избежать дальнейших трудностей.

Основными преимуществами охлаждаемых тепловизоров являются:

- Лучшая разрешающая способность – они работают в более коротковолновом диапазоне по сравнению с болометрическими тепловизорами. Согласно критерию Релея, разрешающая способность определяется соотношением  $R=D/1,22\lambda$ , где  $D$  – диаметр объектива, а  $\lambda$  – длина волны. Угловой дифракционный предел (под этим термином подразумевается минимальный угловой размер монохроматического источника) охлаждаемого тепловизора равен  $\varphi \approx \lambda/D$ , где  $\lambda$  – длина волны, а  $D$  – диаметр объектива, имеет порядок 0,08 мрад (0,004 градуса). Для неохлаждаемых тепловизоров этот параметр ниже в 3-4 раза.
- Охлаждаемые тепловизоры обладают большей контрастной чувствительностью – охлаждаемый тепловизор различает перепады в 20 мК при диафрагме, равной 5, в то время как неохлаждаемый болометрический – около 50 мК, при соблюдении условия, что диафрагма равна единице. Это является следствием различной физики фотоэлектрического и терморезистивного эффектов.
- Сочетание первых двух факторов дает третье преимущество – гораздо большую дальность обнаружения. Дальность обнаружения в 10 км – далеко не предел для охлаждаемого устройства.

Говоря о достоинствах, следует упомянуть и о недостатках охлаждаемых систем:

- Высокая потребляемая мощность, вызванная наличием устройств охлаждения, по сравнению с неохлаждаемыми устройствами.
  - Довольно длительное время охлаждения – между включением тепловизора и получением изображения может пройти несколько минут.
  - Ограниченный срок эксплуатации, вызванный сроком наработки на отказ охлаждающего элемента, – обычно это несколько тысяч часов непрерывной работы.
- Рассмотрим теперь неохлаждаемые тепловизоры. Основными преимуществами неохлаждаемых тепловизоров являются:
- Рабочий диапазон лучше приспособлен для наблюдения в

условиях дыма, тумана, смога – в диапазоне 8-14 микрон ИК-излучение не поглощается ни парами воды, ни углекислым газом (окно прозрачности «более прозрачное», чем в диапазоне 3-5 микрон).

- Сравнительно небольшой размер и вес.
- Неохлаждаемые тепловизоры работают сразу после включения. Также для них характерна меньшая потребляемая мощность.
- Очень долгий срок наработки на отказ.

Основным недостатком микроболометрических тепловых детекторов является требование использования светосильной оптики – для появления терморезистивного эффекта необходимо собрать и передать на болометр большое количество энергии. Поэтому для достижения требуемого отношения «сигнал/шум» на выходе фотоприемника требуется оптика с большим диаметром входного зрачка. Но человечество пока еще не создало объективы с относительным отверстием, значительно меньшим 1, да и вряд ли научится их делать в обозримом будущем. Именно физические границы реализуемого в оптике всегда были сдерживающим фактором в применениях инфракрасного телевидения – от обнаружения пожаров до обнаружения стартов баллистических ракет.

Еще один нюанс кроется в излучательной способности тел, нагретых до различной температуры. Закон Вина дает представление о том, где находится максимум излучательной способности того или иного тела. Так, например, можно рассчитать следующие важные для нас максимумы:

1. Человек – 9,36 микрон.
2. Автомобиль или катер с двигателем внутреннего сгорания – 8,45 микрон.
3. Лесной пожар – около 3 микрон (в зависимости от характера пожара).

Но также следует помнить, что на этих длинах волн расположены максимумы теплового излучения объекта. И человек, и автомобиль имеют заметную светимость в коротковолновом диапазоне, поэтому для наблюдения за ними на больших расстояниях можно применять тепловизоры, работающие в области 3-5 микрон. Болометрические тепловизи-

оры не могут решить эту задачу из-за указанных выше физических ограничений.

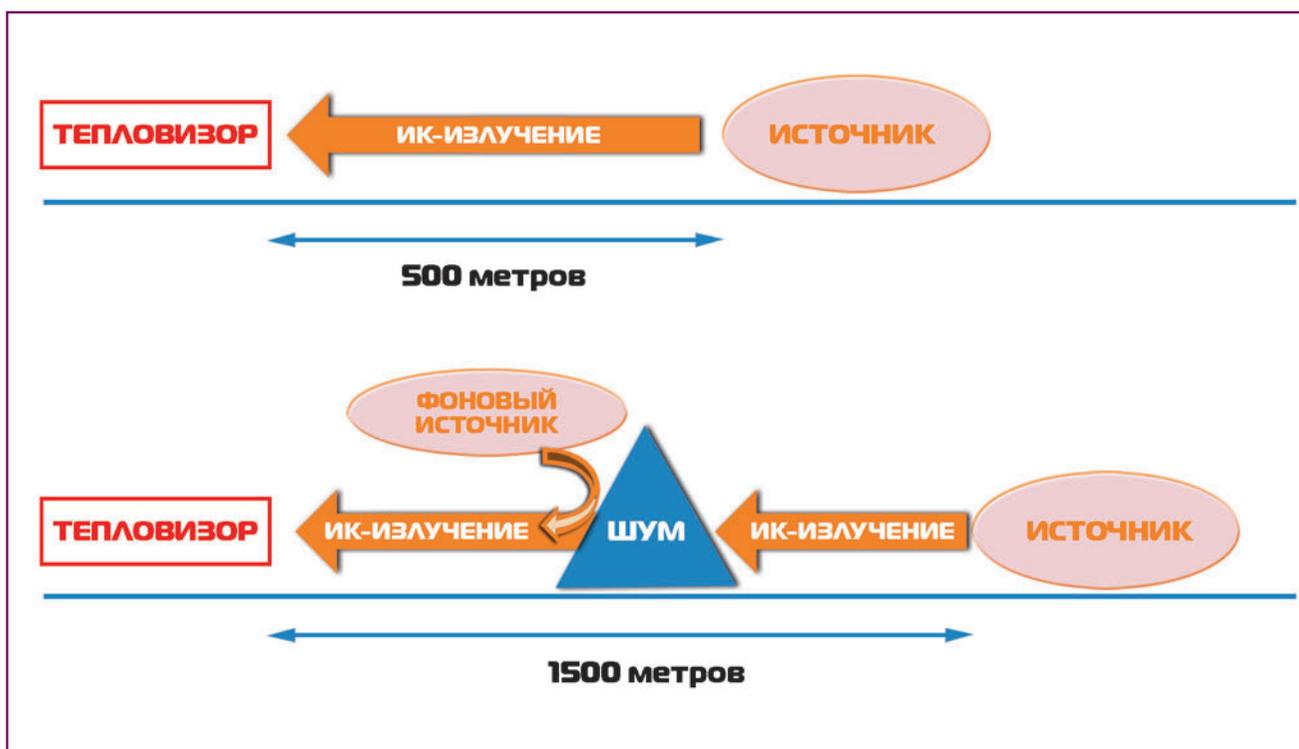
### ВОПРОС ТРЕТИЙ. ЗАЧЕМ НУЖНЫ НОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОБОРУДОВАНИЯ?

Все мы привыкли, что большинство телевизионных камер характеризуется отношением «сигнал/шум». Для получения качественного изображения необходимо соотношение «сигнал/шум» на выходе, равное примерно 50 дБ. Воспользовавшись простыми формулами из учебника по радиотехнике, мы даже можем сказать, что это означает: мощность сигнала больше мощности шума примерно в сто тысяч раз. Вроде бы все понятно, тот же самый параметр можно использовать и для оценки тепловизоров. Однако производители инфракрасной техники указывают не только привычное для нас отношение «сигнал/шум», а вводят еще какой-то параметр NEP. Зачем?

Эквивалентная шумовая мощность (noise equivalent power, NEP) – это мера чувствительности оптического приемника. Она определяется как мощность сигнала, которая создает единичное соотношение «сигнал/шум» на выходе оптического приемника при заданной рабочей длине волны и эффективной ширине полосы пропускания. Естественно, желательно иметь наименьшее значение эквивалентной шумовой мощности, так как в этом случае соотношение «сигнал/шум» будет наиболее высоким. Использование NEP вместо отношения «сигнал/шум» для описания приемника является предпочтительным, потому что NEP остается постоянным в различных условиях. Так, например, если мы удалим приемник от источника на 500 и 1000 метров, уровень шума может измениться как в большую, так и в меньшую сторону (рис. 2).

Из рисунка понятно, что в первом случае мы имеем одно отношение «сигнал/шум», во втором случае – совершенно другое, ведь сигнал источника ослабляется, допустим, облаком пара (обозначено синим треугольником), а шум усиливается – фоновый источник, например, нагретые днем деревья вносят свой вклад.

Рис. 2. Сигнал и шум в тепловизоре



Одним из основных критериев качества тепловизора является обнаружительная способность (Detectivity,  $D^*$ ). Зачастую она определяется соотношением

$$D^* = \frac{\sqrt{A \cdot \Delta f}}{NEP},$$

где  $A$  – площадь чувствительного элемента фотоприемника,  $\Delta f$  – эффективное значение полосы пропускания (шумов). В работе [4] автор приводит более развернутый способ расчета обнаружительной способности:

$$D^* = \left( \frac{\lambda^3}{hc} \right) \left\{ \left( \frac{\eta}{8\pi c \Delta \lambda} \right) \left[ \left( \frac{\Omega}{\pi} \right) - \left( \frac{\Omega}{2\pi} \right)^2 \right]^{-1} \left( e^{hc/\lambda k_B T} - 1 \right) \right\}^{1/2},$$

В этой формуле  $\lambda$  – рабочая длина волны,  $\pi$ ,  $h$ ,  $c$ ,  $k_B$ ,  $e$  – физические константы,  $\Delta \lambda$  – диапазон, для которого рассчитыва-

ется обнаружительная способность.  $\Omega$  – телесный угол.

В спецификациях часто можно встретить параметр NETD – Noise Equivalent Temperature Difference – эквивалентная шумовая разница температур. Эта величина равна такой разнице температур сцены и объекта, которая расценивается прибором как шум. Она вводится для простоты понимания чувствительности тепловизора. Например, для охлаждаемого тепловизора с NETD = 20 мК это значит, что тело с температурой 30,002° С будет неотличимо от фона с температурой 30° С, в то время как разница в один градус будет ясно заметна. Интересно, что у гремучей змеи примерно такая же чувствительность, как у охлаждаемого тепловизора – 18 мК. Правда, использование змей в тепловидении не очень практично: дистанция, на которую смотрит такой «тепловизор», не более метра.

*Приведенные выше материалы являются необходимой, но недостаточной информацией для качественного проектирования системы наблюдения, работающей в инфракрасном диапазоне. Поэтому мы еще вернемся к теме проектирования систем тепловидения на страницах журнала «Алгоритм Безопасности».*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ллойд Дж., Системы тепловидения. М.: Мир, 1978. 414 стр.
2. Хадсон Р., Инфракрасные системы, М.: Мир, 1972, 535 стр.
3. Формозов Б. Н., Аэрокосмические фотоприемные устройства в видимом и инфракрасном диапазонах, СПбГУАП., СПб., 2002, 120 стр.
4. R. Westerweldt, 'Imaging Infrared Detectors II'. 2000. 67 стр.

## Новые миниатюрные HD/FullHD сетевые камеры SONY серии «X»



SNC-DH110/110T  
SNC-DH210/210T

SNC-CH110  
SNC-CH210

Серия «X» - это шесть новых моделей миниатюрных сетевых камер для бюджетных систем видеонаблюдения.

**Основные особенности:**

- HD 720p (SNC-CH110/DH110/110T)
- FullHD 1080p (SNC-CH210/DH210/210T)
- H.264/MPEG-4/JPEG
- Электронная функция День/Ночь
- Тревожный вход
- Интеллектуальный детектор движения
- Электропитание PoE



Специально для камер серии «X» бюджетный 4-х каналный сетевой рекордер NSR-S10. Меню на русском языке.

**www.pro.sony.eu**

Москва «ОКНО-ПСБ» (+7 495) 221-93-93; «IP-V» (+7 495) 787-48-00; ООО «ОНКОМ» (+7 499) 723-50-25; ООО «Сотелком» (+7 495) 648-63-92; «АРМО-Системы» (+7 495) 787-33-42; Санкт-Петербург «ИСТА-Комплект» (+7 812) 496-39-76; «Пентакон» (+7 812) 633-04-33; «АРМО-Петербург» (+7 812) 449-14-35; Екатеринбург «АРМО-Урал» (+7 343) 372-7227; Новосибирск «Системы Безопасности» (+7 383) 20-90-500, 20-90-417; Киев «ITConnect» (+38044) 205-47-75; «ТранСат» (+38044) 586-46-45; Алматы «Newtech Distribution» (+7 3272) 50-80-86, 50-80-87; Тбилиси «GSC» тел: (+99532) 252-027

Товар сертифицирован.