

ВЫБОР ТЕПЛОВИЗИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

С. Никитин
ООО «СКН»

В предыдущих статьях мы познакомили читателя с основными физическими принципами работы тепловизоров, а также рассказали о различных казусах, которые могут случиться, если пренебрежительно относиться к деталям. Но мы понимаем: если перед вами стоит задача оснащения объекта тепловизионной системой наблюдения, то мало знать законы физики – необходим более практический, инженерный подход. Поэтому в этой статье мы приведем методику выбора тепловизионной камеры для системы безопасности с учетом различных внешних факторов.

Начать следует с выяснения действительной дальности обнаружения излучающих объектов. Вы можете использовать очень мощную оптику, но если излучение будет рассеяно, например, туманом – обнаружение человека на расстоянии в километр и более будет невозможно или очень затруднительно. Для оценки расстояния, на которое «видит» тепловизор в тумане, во время дождя или метели, можно воспользоваться графиками, которые приведены в [1]. Один такой график мы уже приводили ранее, а в этой статье мы приведем три графика для наиболее характерных погодных условий в России – дождя, снега, тумана.

Данный рисунок требует пояснения. На всех трех графиках изображены верхняя и нижняя границы значения коэффициента ослабления и усредненное значение. Вы также можете заметить, что функция зависимости для разных погодных условий отличается аргументом. В случае с туманом – это метеорологическая дальность видимости, в случае с дождем и снегом – скорость выпадения осадков. Метеорологическая дальность видимости называется то наибольшее расстояние, с которого в светлое время суток можно обнаружить на фоне неба вблизи горизонта (или на фоне воздушной дымки) абсолютно четкое тело достаточно больших угловых размеров (больше 15 угловых минут). Дальность видимости чаще всего определяется на глаз по определенным, заранее выбранным объектам (темным на фоне неба), расстояние до которых известно. Но имеется и ряд фотометрических приборов для определения видимости. В очень чистом воздухе, например арктиче-

ского происхождения, дальность видимости может достигать сотен километров. В воздухе, содержащем много пыли или продуктов конденсации, дальность видимости может понижаться до нескольких километров и даже до метров. Так, при слабом тумане дальность видимости составляет 500-1000 м, а при сильном тумане или сильной песчаной буре может снижаться до десятков и даже нескольких метров.

Для погодных условий можно привести следующую таблицу, при помощи которой легко найти по графикам интересующее нас значение коэффициента ослабления.

Погодные условия	Средняя скорость выпадения осадков, мм/ч
Изморось	0,25
Слабый дождь	1,0
Умеренный дождь	3,0
Сильный дождь	16,0
Сплошной сильный дождь	40,0
Тропический ливень	100,0
Слабый снегопад	2,5
Умеренный снегопад	7,0
Сильный снегопад	
с мокрым снегом	20,0

Так, например, для умеренного дождя коэффициент ослабления будет 3-4 дБ/км, а для слабого снегопада – 2-3 дБ/км. Однако практически во всех источниках указывается, что данные модели являются приближенными, а точные данные можно получить лишь экспериментальным путем. Тем не менее, для оценки параметров тепловизионной системы они подходят, так как позволяют понять, насколько осадки могут сказаться на дальности обнаружения.

Методика оценки заключается в следующем. Мы будем сравнивать некоторую излучающую поверхность (человека) на фоне другой излучающей поверхности (например, земли). Как только контраст цели и фона станет ниже предела чувствительности тепловизора – обнаружение будет невозможно. Для начала рассчитаем интегральную мощность излучения человека и фона по формуле

$$P = \sigma T^4$$

где σ – постоянная Больцмана. Затем вычислим соотношение «сигнал/фон» по

формуле:

$$S = 10 \lg(P_c / P_\phi),$$

и предельное соотношение для различных сигналов. Для вычисления предельного соотношения необходимо рассчитать значения мощностей излучения двух сигналов, отличающихся на величину NETD, приведенную в паспорте тепловизора. Для профессиональных неохлаждаемых приборов она может составлять, например, 50 мК при соблюдении требований к объективу.

Произведя необходимые вычисления, получим следующие значения для человека на фоне земли, нагретой до 20° С.

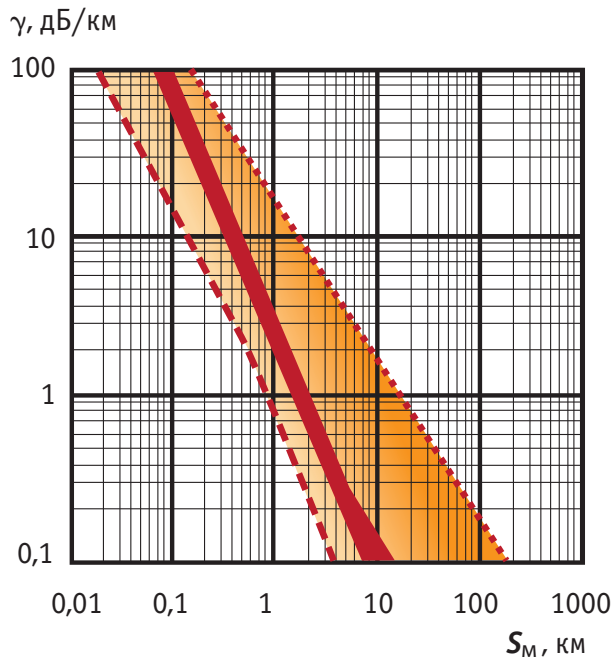
Величина	Параметр
Интегральная мощность излучения цели (на м ²)	517 Вт
Интегральная мощность излучения фона (на м ²)	418 Вт
Соотношение «сигнал/фон»	0,92 Дб
Предельно допустимое соотношение «сигнал/фон» (NETD = 50 мК)	0,003 Дб
Предельная дальность обнаружения:	
– в ясную погоду	Более 2 км
– в слабый туман	Около 1 км
– в умеренный дождь	Около 500 м
– в сильный дождь	Около 300 м

Аналогичную таблицу можно составить и для зимних условий – температура фона равна -20° С. С температурой цели сложнее – открытое лицо и, возможно, кисти рук будут выделяться сильно, довольно заметно будут «светиться» ноги, а скрытое теплоизолирующей одеждой тело – слабее. Но так как речь идет именно о предельной дальности обнаружения – примем температуру цели равной 36° С – лицо человека.

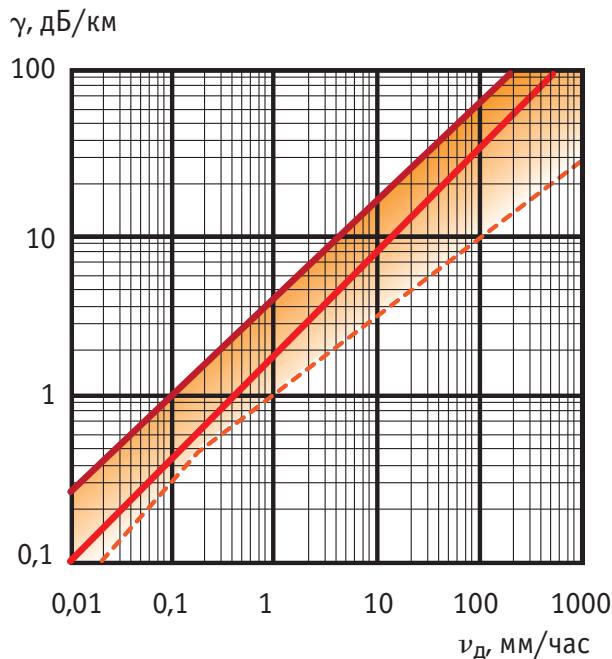
Величина	Параметр
Интегральная мощность излучения цели (на м ²)	517 Вт
Интегральная мощность излучения фона (на м ²)	232 Вт
Соотношение «сигнал/фон»	3,5 Дб
Предельно допустимое соотношение «сигнал/фон» (NETD = 50 мК)	0,003 Дб
Предельная дальность обнаружения:	
– в ясную погоду	Более 2 км
– при слабой дымке	Более 2 км
– в умеренный снегопад	Около 1500 м
– в сильный снегопад	Около 600 м

Еще раз напомним, что приведенные данные не являются истиной для любых объектов – они позволяют примерно оценить влияние атмосферных осадков на дальность обнаружения. Также на дальность обнаружения влияют география места, время суток и, безусловно, подготовленность потенциального противника – в настоящее время приобрести термоизолирующую одежду и грим не является слишком сложной задачей.

Зависимость ослабления ИК-излучения тела с T=300 К от дальности метеорологической видимости в тумане



Зависимость ослабления ИК-излучения тела с T=300 К от скорости выпадения дождя



Зависимость ослабления ИК-излучения тела с T=300 К от скорости выпадения снега

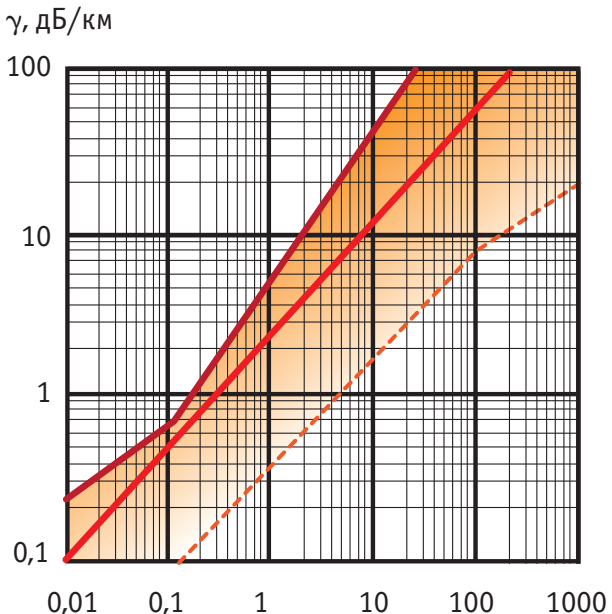


Рис. 1. Ослабление ИК-излучения для различных погодных условий

Также следует сказать, что обнаружить транспортное средство значительно легче ввиду более высокой температуры двигателя и больших габаритных размеров. Это относится как к наземному транспорту (автомобили), так и водному (катера, корабли).

Второе, что следует учитывать при расчете будущей тепловизионной системы, – это, разумеется, выбор оптики. Вспомним критерий Джонсона – он гласит, что для решения задачи обнаружения с 50%-ной вероятностью требуется, чтобы размер цели был не менее 2 элементов разложения, для различения – 6, для опознавания – 14. Однако следует помнить, что с уменьшением соотношения «сигнал/шум» вероятность падает. В [2] автор приводит графики зависимости вероятности различения типа транспортного средства от соотношения «сигнал/шум» и количества элементов, приходящихся на высоту изображения.

Приведем изображение с тепловизионной камеры, которое поможет понять, каких размеров должно быть изображение потенциального нарушителя для задач обнаружения, различения, опознавания. Как видите, обнаружить что-то, что тепловизор показы-

вает как белую точку, можно, но дальнейшая идентификация требует более подробного анализа. Необходимо сопоставить данные о геометрических размерах цели, ее скорости и температуре. Сопоставив эти факторы, можно понять, что за «точка». Визуальное восприятие проще для оператора. Если изображение увеличится до высоты в 6-10 элементов, с долей вероятности он сможет понять – человек это или автомобиль.

В документе Р 78.36.002 – 2010, разработанном МВД РФ, приводятся требования к размерам изображения с видеокамеры для решения аналогичных задач. Так, для обнаружения требуется, чтобы размер изображения составлял минимум 10 % экрана, для различения – 60 %, для опознавания – 120 %. Мы приведем изображение с тепловизора, чтобы читатель смог увидеть размеры различных целей. Для разных задач будут требоваться разные размеры изображения, но следует помнить: основная задача тепловизора – обнаружение, в том числе на больших расстояниях, в условиях плохой видимости. Существенно увеличить эффект от применения тепловизора могут средства видеоаналитики. Им зачастую достаточно раз-

Рис. 2. Вероятность опознавания различных транспортных средств

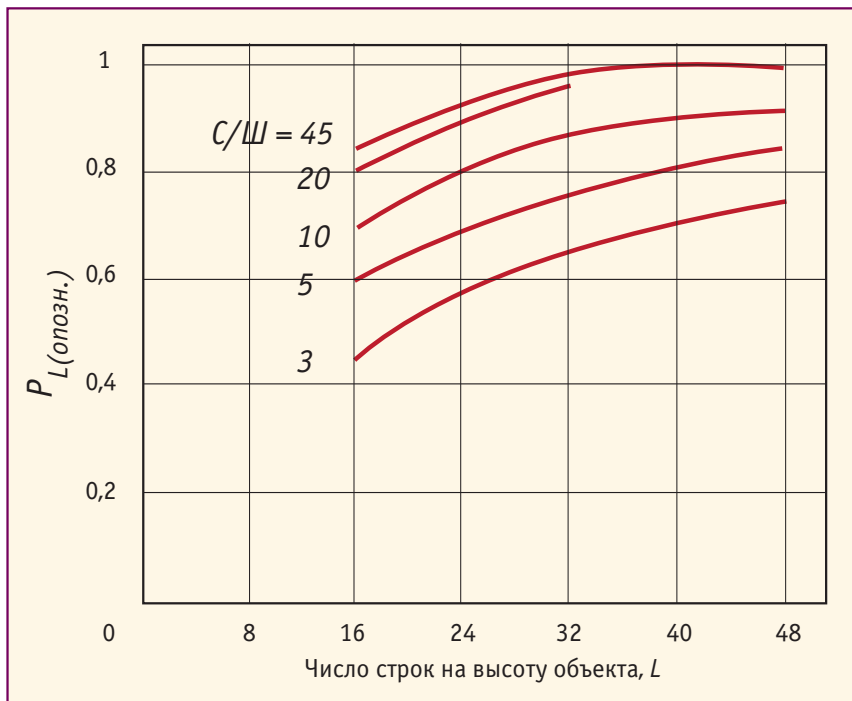


Рис. 3. Размеры обнаруживаемых объектов

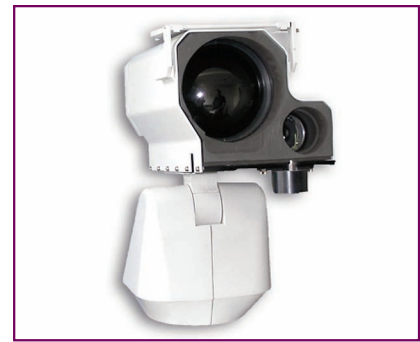
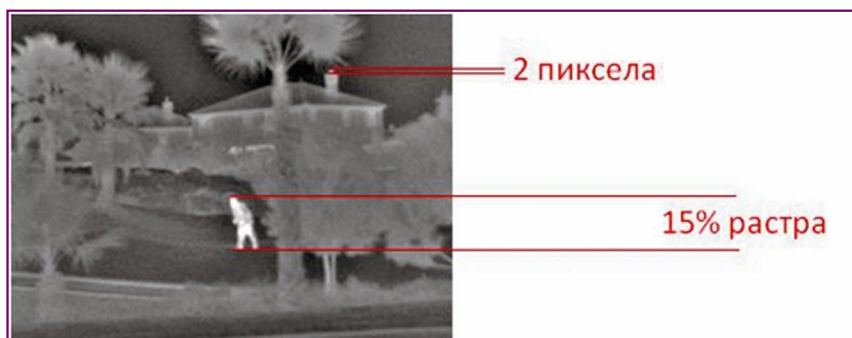


Рис. 4. Тепловизор с видеокамерой на поворотной платформе

меров изображения в единицы пикселей для анализа и формирования сигнала тревоги. Современные устройства видеоаналитики позволяют реализовывать сложные алгоритмы обнаружения тревог – например, обнаружение движения в запрещенной зоне, пересечение линии в заданном направлении и пр. Модули видеоаналитики также позволяют отслеживать вторжение в работу системы – если тепловизор (с чьей-то помощью или без нее) изменит направление обзора, оператор вовремя получит сигнал тревоги и сможет исправить ситуацию. Использование тепловизоров совместно с устройствами видеоаналитики – это интересная и требующая особого внимания тема. Мы вернемся к ней в одной из следующих статей.

Определившись с размерами, которые будут удовлетворять требованиям технического задания, перейдем к выбору оптики. Как правило, производители предлагают на выбор несколько стандартных объективов – часто с фокусными расстояниями 19, 35, 50, 75, 100 и более мм. Также существуют объективы с различными регулируемым функциями – например, с моторизованной подстройкой фокуса, с переменным полем зрения и т.п. Давайте на примере выберем объектив, который позволял бы уверенно распознать нарушителя за 300 метров от объекта. Для этого воспользуемся простыми формулами из курса оптики. Масштаб изображения на плоскости фотоприемника определяется формулой $m = f/(u-f)$, где f – фокусное расстояние линзы, а u – расстояние от линзы до предмета наблюдения. Зная размер пиксела, можно перевести высоту изображения из микронов в пиксели. Так, например, для вышеперечисленных типов объективов высота человека в пикселях составит 5 (19 мм), 8 (35 мм), 12 (50 мм), 18 (75 мм), 24 (100 мм). Если принять разрешение тепловизора равным 320x240 пикс., то наиболее оправданным может показаться использование объектива с фокусным расстоянием 100 мм, ведь он дает самое крупное изображение цели на самом большом расстоянии. Однако следует помнить: объективы для неохлаждаемых тепловизоров должны быть светосильными, а значит, у них будет маленькая глубина резкости. В результате мы получаем отличное изображение на расстоянии в 300 м, но стоит нарушителю по-

дойти ближе, чем на 100 м – и тепловизор уже не так хорош. Этого можно избежать – если требуется использование длиннофокусных (75 мм и более) объективов – рекомендуется выбирать объективы с моторизованной подстройкой фокуса.

Объективы с переменным полем зрения позволяют изменять фокусное расстояние – например, от 45 до 135 мм. В дежурном режиме относительно широкий угол, обеспечиваемый объективом с фокусным расстоянием 45 мм, позволяет контролировать большую часть территории, а в случае обнаружения угрозы можно переключиться в длиннофокусный режим и наблюдать за конкретной целью.

Немного слов о конструктиве уличных тепловизоров. Существует три основных вида – с вынесенным объективом, с иллюминатором без подогрева и с подогревом. Мы не случайно расположили их в таком порядке – именно так их следует располагать по грамотности конструкции. Как упоминалось в предыдущих статьях, объектив из германия довольно хорошо себя чувствует при температурах от -40°C до $+80^{\circ}\text{C}$, а козырек служит приемлемой защитой от осадков. Поэтому оптимальным с точки зрения качества изображения будет конструктив с вынесенным наружу объективом. Несколько хуже будут вести себя гермокожухи с закрытым

специальным стеклом входным отверстием. Это стекло может быть источником тепловых шумов, которые негативно скажутся на качестве картинки, хотя в ряде случаев они будут незаметны. Наконец, совсем неправильно использовать кожух с подогревом иллюминатора – это все равно, что подогревать стекло гермобокса для видеокамеры лампой накаливания изнутри.

Производители зачастую предлагают камеры «двойного видения» – тепловизор, совмещенный с обычной видеокамерой «день/ночь». Эти устройства также могут быть установлены на поворотную платформу. Одновременное использование инфракрасного изображения и изображения с видеокамеры позволяет более уверенно оценить ситуацию оператору, а также застраховаться от случая, когда контраст между наблюдаемым объектом и фоном станет меньше воспринимаемого человеком порога. Поворотная платформа позволяет реализовать такие полезные функции, как патрулирование, сопровождение объекта и наведение на интересующий оператора участок.

Такие устройства с успехом применяются для защиты лесов от пожаров. Один охлаждаемый тепловизор на поворотной платформе позволяет контролировать ситуацию в радиусе около десяти километров. Оператор получает всю необходимую информа-

цию вне зависимости от времени суток – днем очаг возгорания легче определить по дыму, а если дыма не видно (сказывается ветер и погодные условия или пожар начался ночью), на помощь приходит тепловизор, на котором очаг с температурой в сотни градусов выглядит ярко-белым пятном на фоне темно-серого леса.

Мы надеемся, что изложенный в статье материал поможет коллегам в проектировании тепловизионных систем наблюдения. Мы понимаем, что на построение фоноцелевых моделей институты тратят годы работы, и в статье невозможно описать всех тонкостей распространения ИК-излучения. Однако изложенный материал может оказаться полезным, если вы не хотите впоследствии объяснять заказчику, почему прибор, который стоит как автомобиль, отказывается работать в соответствии с обещаниями производителя в туман или дождь. Несомненно, глубокое понимание материала приходит лишь через годы эксплуатации, но избежать очевидных конфузов можно и прочитав эту статью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. «*Infrared and Electro-Optical Systems Handbook*», Ed. by J.S. Accetta and D.L. Shumaker – Bellingham: SPIE Proc., 1993.
2. Ллойд Дж. *Системы тепловидения*. М.: Мир, 1978.