

ТЕПЛОВИЗОРЫ: МИФЫ И РЕАЛЬНОСТЬ

С. Никитин
ООО «СКН»

- А почему у тепловизора объектив какой-то необычный?
- Потому что он не из стекла, а из... ну, не из стекла.
- Из германия?
- Да, из Германии, они хорошую оптику делают, поверьте.

Из разговора покупателя с продавцом

Приведенный в эпиграфе диалог состоялся в реальной жизни. После услышанного хочется воскликнуть: «Не верю!» Ведь как можно верить человеку, который вам пытается продать что-то, о чем сам имеет весьма смутное представление? Сможет ли такой человек помочь вам решить задачи? Вряд ли, поэтому давайте вместе разберемся, какими должны быть объективы в тепловизорах... и не только они.

Сначала ответим на поднятый в эпиграфе вопрос. Да, действительно, объективы для тепловизоров делают не из стекла. На выбор материалов влияет достаточно большое число факторов, среди которых основными являются способность пропускать инфракрасное излучение и коэффициент преломления материала. Наиболее дешевый и распространенный материал – оптическое стекло – прозрачен лишь в ограниченном спектральном диапазоне (длина волны меньше 2 микрон). В большинстве тепловизионных систем приходится использовать другие материалы – специальные стекла и различные соединения. Одним из наиболее распространенных материалов для линз в тепловидении является германий. Именно из германия делается большинство линз, работающих в диапазонах 3..5 и 8..14 микрон. Однако следует учесть, что при высоких температурах детали из германия теряют прозрачность – в два раза при повышении температуры до 100° С и почти полностью при 160-200° С.

Рассмотрим подробнее физические свойства германия. Германий – довольно прочный материал, не уступающий по твердости серебру. Но это не означает, что объектив тепловизора – это прочное металлическое изделие, с которым ничего не случится в любых условиях. Ввиду того, что германиевые объективы гораздо дороже стеклянных или пласт-

массовых, с ними нужно обращаться аккуратно.

Мы приведем несколько советов по обслуживанию объективов тепловизоров. Как и в случае с видеокамерами, на них попадает пыль, а иногда и отпечатки пальцев. И хотя по прочности германий не уступает серебру, пылинки с него лучше в прямом смысле слова сдувать. Для этого можно использовать специальные баллоны с азотом. К сожалению, зачастую нет возможности снять тепловизор с объекта и отвезти его в сервис-центр, поэтому в «полевых» условиях для удаления пыли можно обойтись влажной тканью. Следует помнить, что при очистке объектива нельзя прилагать больших усилий. Также не следует протирать объектив длительное время, не следует протирать его круговыми движениями – достаточно одного S-образного движения. Отпечатки пальцев и другие жировые загрязнения можно удалять при помощи ацетона или этилового спирта. Одеколон, крепкие алкогольные напитки и косметические средства для снятия лака применять не рекомендуется, так как спектр поглощения нам зачастую неизвестен – и вместо чистки объектива можно его просто испортить.

Для изготовления оптических деталей тепловизоров используется не только германий. В настоящее время применяются также сульфид цинка (например, для иллюминаторов гермокамушек), фториды щелочных металлов и другие материалы. Широкому распространению деталей из этих материалов мешает относительно высокая стоимость, хотя в некоторых военных приложениях их применение действительно оправдано ввиду специфических условий эксплуатации.

Некоторые уважаемые эксперты в своих статьях используют такое понятие, как «моторизованная линза». Заинтересовавшись, мы решили набрать в Ин-

тернет-поисковике это словосочетание. Только вот после слова «моторизованная» нам предложили следующие варианты: дивизия вермахта и броня. Значит, не бывает таких линз? Увы, не бывает. Это словосочетание – компьютерный перевод термина 'motorized lens', которым в англоязычных странах называют объектив с моторизованной подстройкой фокуса.

Для чего нужны такие объективы? Ведь наличие электромотора не сказывается положительным образом на надежности техники, если быть точнее, не повышает отказоустойчивость. Все становится понятно, когда мы обратим внимание на специфику использования тепловизоров в системах безопасности. В предыдущей статье мы обращали внимание на то, что в силу законов физики объективы для неохлаждаемых тепловизоров (а именно они чаще всего используются в системах безопасности) должны быть светосильными, а значит, у них будет маленькая глубина резкости.

Вспомним, как рассчитать глубину резкости для объектива. Границы глубины резкости зависят от диафрагмы F , фокусного расстояния объектива f , от расстояния, на которое сфокусирован объектив x , и от размера пиксела чувствительного элемента тепловизора d . Дальняя граница глубины резкости рассчитывается по формуле:

$$L_+ = \frac{dFx^2}{f^2 - dFx} \quad (1)$$

Если знаменатель выражения меньше нуля или равен ему, то дальняя граница глубины резкости соответствует бесконечно удаленным объектам. Ближняя граница глубины резкости вычисляется по похожей формуле:

$$L_- = \frac{dFx^2}{f^2 + dFx} \quad (2)$$

Воспользовавшись формулами (1), (2), рассчитаем глубину резкости для тепловизора с размером пиксела 25 микрон, с объективом $f=75$ мм ($F\#=1$), сфокусированного на расстояние 500 м. Дальняя граница будет соответствовать бесконечно удаленным объектам, ближняя будет расположена на расстоянии в 345 метров.

При выходе нарушителя за пределы, в которых изображение обладает необходимой четкостью, требуется оперативная подстройка объектива тепловизора. В самом деле, не подстраивать же его каждый раз руками? Поэтому высокотехнологичные тепловизоры для систем безопасности снабжаются объективами с моторизованной подстройкой фокуса.

На рисунке 1 приведена зависимость ближней границы глубины резкости (в метрах) от фокусного расстояния для объективов, сфокусированных на беско-

нечность. Как мы видим, с увеличением фокусного расстояния ближняя граница резко изображаемого пространства удаляется от камеры. И если при использовании короткофокусных объективов (до 35 мм) этим можно пренебречь, то при использовании длиннофокусных (50 мм и более) крайне желательно использование подстройки фокуса – иначе объекты вблизи будут плохо различимы.

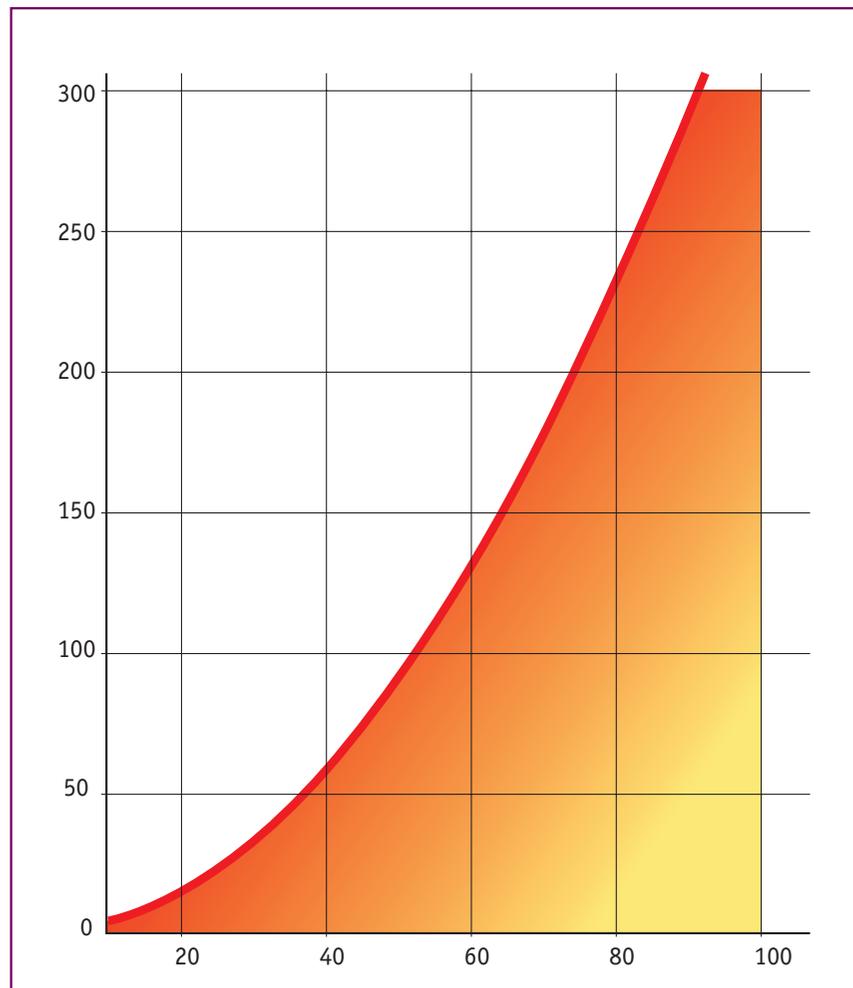
Одним из мифов о подвигах тепловизоров является огромная дальность обнаружения цели. Производители и дистрибьюторы не стесняясь пишут, что неохлаждаемый тепловизор с объективом с фокусным расстоянием 100 мм обнаруживает нарушителя на расстоянии в 2 км. Правда, затем делают сноску и мелким шрифтом указывают, что это «приблизительная величина, полученная на основании критерия Джонсона». Как известно, в рекламе мелким шрифтом всегда пишут самое интересное. Давайте рассмотрим этот нюанс более внимательно.

Для начала следует сказать, что в определенных условиях это утверждение может оказаться правдивым. Если пренебречь погодными условиями и излу-

чением от фона, то изображение человека мы получим. Его размеры будут примерно 4x2 пиксела. Если мы предположим, что оператор смотрит на 17-дюймовый монитор, на который выведено 4 камеры, среди которых и наш тепловизор, – высота человека на экране будет примерно 2 мм. Теоретически, обнаружение возможно. Но помимо оптики следует учесть еще ряд факторов, которые, несомненно, делают вклад в вероятность обнаружения цели.

- Характеристики обнаруживаемого объекта (контраст с фоном, яркость, размер, сложность контура, положение на экране, скорость и т.д.).
- Характеристики сюжета (фона): яркость, интенсивность шума.
- Погодные условия – скорость выпадения и характер осадков, относительная влажность воздуха, запыленность.
- Характеристики наблюдателя: тренированность, мотивировка действий, утомление, возраст, острота зрения и т.п.
- Тактические требования: площадь зоны поиска, допустимое время поиска, освещенность в помещении сил

Рис. 1. График зависимости расположения ближней границы глубины резкости от фокусного расстояния



охраны, различные отвлекающие факторы и пр.

Как мы видим, вероятность обнаружения зависит не только от фокусного расстояния объектива. Но так как учитывать все упомянутые факторы тяжело, а зачастую невозможно (ведь проектировщик не знает, насколько неподкупен охранник или с какой скоростью будет двигаться нарушитель) – проектировщики систем тепловидения часто используют критерий Джонсона. Так, например, согласно критерию Джонсона для решения задачи обнаружения цели с 50%-ной вероятностью, достаточно двух элементов растра, для различения – шесть и т.д. Также «специалисты по рекламе» в погоне за дальностью обнаружения забывают о том, что речь идет о 50%-ной

вероятности. Да, заглянуть в таблицу и подставить значения гораздо проще, чем проводить расчет, но практика показывает, что необходимо скорректировать эти значения. Например, МВД Великобритании рекомендует иметь не менее 10% растра на высоту обнаруживаемого человека – и это гораздо более правдоподобно, принимая в расчет все вышеуказанные факторы.

Следует помнить, что какой бы объект вы ни использовали, обнаружить человека на фоне, нагретом до температуры 36-37° С, является практически невыполнимой задачей. Есть мнение, что картина Малевича «Черный квадрат» изначально называлась «Негры ночью воруют уголь». Как в случае с неграми, так и с тепловизорами: если контраст обна-

руживаемой цели и фона меньше, чем предел чувствительности человеческого глаза, обнаружение, различение, распознавание невозможны.

При проектировании тепловизионной системы также стоит вспомнить, что использоваться она будет, скорее всего, вне помещения. Следовательно, нельзя забывать про погодные условия. И речь идет не только о защите тепловизора от дождя, снега, пыли и о поддержании рабочей температуры. Также надо помнить, что атмосферные явления и пыль негативным образом сказываются на дальности обнаружения цели. В книге «Infrared and Electro-Optical Systems Handbook» авторы приводят следующую зависимость коэффициента ослабления от скорости выпадения осадков (дождя).

На графике (рис. 3) показаны границы и среднее значение такого коэффициента для светимости тел, нагретых до температуры 36° С. Для умеренного дождя скорость выпадения осадков приблизительно равна 4 мм/ч. По графику мы можем найти коэффициент ослабления – его среднее значение будет равно 4 дБ/км. Произведя расчет, мы можем вычислить мощность излучения цели, фона, их соотношение. После чего, учитывая влияние погоды, мы можем оценить дальность обнаружения цели для различных погодных условий. Так, например, в летний дождь дальность обнаружения может упасть в три-четыре раза. Плотные туманы, снег, пыль также влияют на распространение излучения. Если пренебречь влиянием погоды, то средства, вложенные в создание системы наблюдения, не позволят решить задачи, поставленные перед ней. Конечно, современные тепловизоры снабжаются электронными средствами усиления контраста, что позволяет несколько увеличить расстояние, на котором можно обнаружить нарушителя, однако следует помнить: пренебрежение влиянием атмосферы на работу инфракрасной системы – это очень серьезная ошибка!

В заключение: мы считаем, что тепловизоры заняли достойное место на рынке систем безопасности. Как видите, область применения тепловизоров не ограничивается охранным теленаблюдением – с развитием технологии появляются новые, более эффективные, решения старых проблем. Но не стоит бросаться закупать тепловизоры, не принимая во внимание как, где и для чего они будут использоваться. В следующей статье мы приведем методику выбора тепловизионной камеры, подходящей оптики и других периферийных устройств – защитных кожухов, устройств аналитики и т.п. Ведь тепловизор – это инструмент. А любой инструмент требует точной настройки и профессионального использования.

Рис. 2. Рекомендуемый размер объекта для обнаружения



Рис. 3. Границы и среднее значение такого коэффициента для светимости тел, нагретых до температуры 36° С

