



## ТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

# Тепловидение: как далеко вы можете видеть с ним?

**Зачастую, первый вопрос, который задают люди, решившие купить тепловизионную камеру, такой: «Как далеко я смогу видеть?» Это очень резонный вопрос, не имеющий простого ответа. Все тепловизионные камеры способны видеть солнце, находящееся на расстоянии свыше 146 миллионов километров от Земли. Но было бы совершенно неверным сказать, что все тепловизионные камеры компании могут определять угрозу безопасности на таком расстоянии.**

Тепловидение – это технология, позволяющая определять людей и объекты в полной темноте при самых различных погодных условиях. Типичное назначение тепловидения – охрана границы, где большинство угроз возникают в ночное время. Смотровые вышки, расположенные с интервалом 4 км. или более должны иметь возможность определять угрозы на расстояниях до 2 км. или более для гарантии полного покрытия границы. Знание о том, насколько далеко можно видеть тепловизионной камерой и на каком расстоянии можно определять возможную угрозу, является исключительно важным.

Расстояние, на котором можно видеть определенную цель, в тепловизионной промышленности называется «дальностью». Для корректного определения дальности тепловизионной камеры необходимо провести сложное моделирование. Нужно учитывать множество переменных, включая тип используемой тепловизионной камеры, тип используемой линзы, происхождение и размер определяемого объекта, атмосферные условия и само определение того, что означает «видеть» цель.

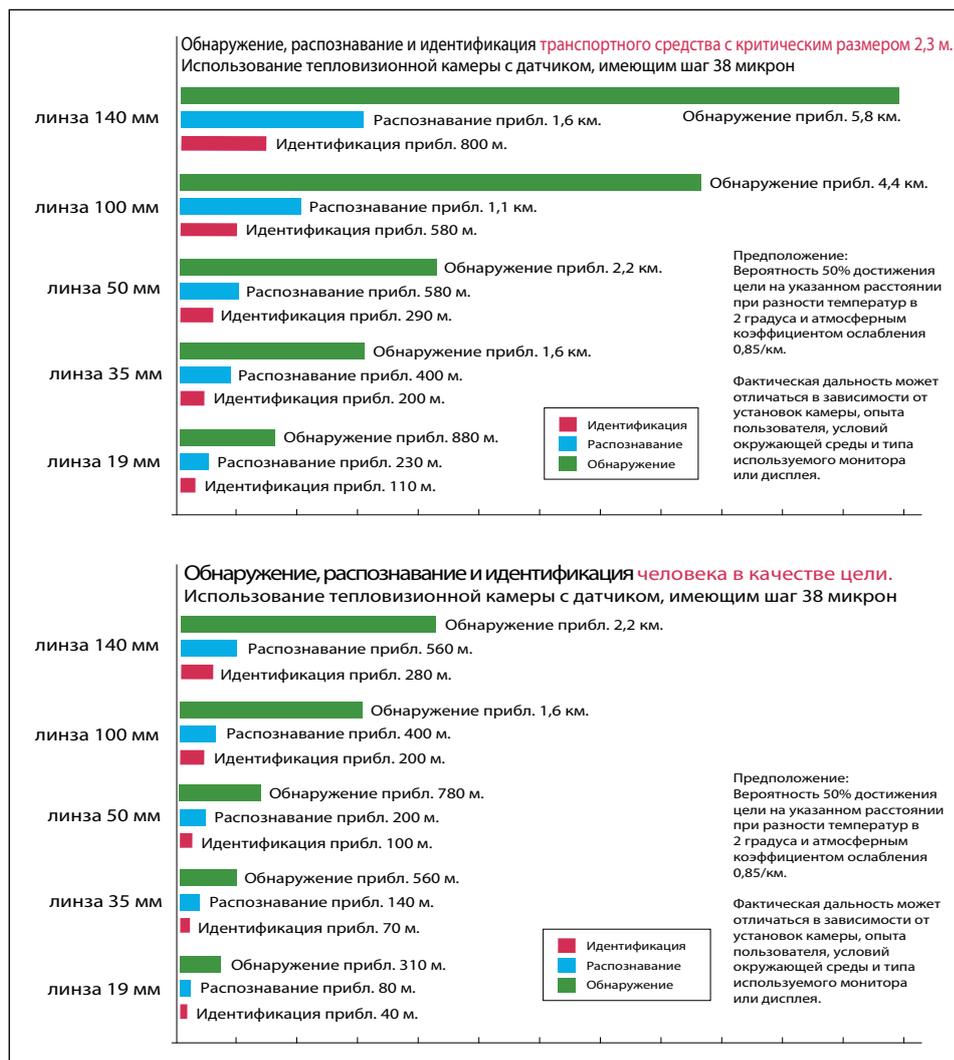
### «Видеть» объект

Для определения того, что означает «видеть цель», можно использовать так называемые критерии Джонсона. Джон Джонсон, научный сотрудник в дирекции компании Night Vision & Electronic Sensors, разработал критерии, относящиеся к рабочей области инфракрасных камер. Хотя они были разработаны для военных целей (отсюда и использование термина «цель» для обозначения интересующего объекта), критерии Джонсона широко применяются на коммерческом рынке для обозначения характеристик тепловизионных систем. По данным критериям необходимо провести черту между степенями «видимости» цели:



- **Обнаружение:** Чтобы определить, присутствует объект или нет, его критический размер должен покрываться 1,5 или более пикселями. 1,5 пикселя в антенной решетке эквивалентно 0,75 «циклам», что является единицей разрешения системы, изначально используемой в определении Джонсона.

- **Распознавание:** Распознавание объекта определяется как понимание типа объекта. Это означает возможность сделать различие между человеком, автомобилем, грузовиком или любым другим объектом. Чтобы распознать объект, необходимо стягивание минимум 6 пикселями по критическому размеру объекта.



- **Идентификация:** Термин зачастую используется в военном смысле слова, означающим определение «друга или врага» в видимом объекте. Для этого, критический размер рассматриваемого объекта должен стягиваться минимум 12 пикселями.

Критерии Джонсона дают 50% вероятность распознавания объекта наблюдателем до указанного уровня. Например, взрослый человек с размерами приблизительно 1,8 м. на 0,5 м. «Критический размер» данного человека – 0,75 м. согласно эмпирическим подгонкам к статистическому анализу наблюдателей и данных тепловизора. Представьте инфракрасную камеру с достаточным разрешением в 6 пикселей в изображении, что соответствует критическому размеру цели в 0,75 метров при дальности в 1000 метров. Кроме этого, предположим, что датчик камеры принимает достаточный тепловой контраст между целью и фоном, т.е. человека на фоне прохладного ночного ландшафта. Также, система имеет разумную возможность распознавания при дальности 1000 м.

Компания определяет, насколько далеко вы можете видеть при помощи тепловизионной камеры, указывая, на каком расстоянии наши тепловизионные системы могут определять цель человеческого роста при условиях, дающих достаточный тепловой контраст. В зависимости от размера линзы, наши инфракрасные камеры могут определять человеческую деятельность на удалении до нескольких километров. Так как определяемый объект увеличивается в размере, максимальная дальность определения также увеличивается.

**Фокусное расстояние: важный параметр**  
Критичный параметр, влияющий на дальность видения при помощи тепловизионной камеры, - это фокусное расстояние линзы. Фокусное расстояние определяет мгновенное поле зрения (МПЗ) камеры. Это угловое поле зрения одного пикселя – самого малого угла, который может быть разрешен системой при условии достаточного теплового контраста.

МПЗ затем определяет расстояние, при котором критическое расстояние цели стягивает требуемое количество пикселей для достижения обнаружения, распознавания или идентификации. Чем длиннее фокусное расстояние линзы, тем меньше становится МПЗ, что трансформируется в большее число пикселей на цели при неизменной дальности. Для систем безопасности для дальних расстояний,

таких как охранные пограничные системы, требуются достаточно малые МПЗ, так как системам визуализации приходится обнаруживать объекты человеческих размеров на удалении в несколько километров. Также следует отметить, что общее поле зрения определяется обратно пропорционально фокусному расстоянию – длиннофокусные линзы дают малые поля зрения. В этом заключается компромисс: длиннофокусные линзы на камерах обещают обнаружение на дальних расстояниях при сниженном общем поле зрения. Другими словами, вы можете идентифицировать цели, но вам необходимо знать, где их искать в пространстве, так как система фактически смотрит через соломинку! В результате, инфракрасные камеры зачастую комплектуются несколькими линзами с различными фокусными расстояниями для быстрого обнаружения цели с последующей идентификацией при изменении системной масштаба изображения.

Представьте человека на расстоянии в 1 км. Рабочий угол, который он связывает, является критическим размером, деленным на дальность, что составляет 0,75 м./1000 м., либо 750 микрорадианов в углу. Для точной идентификации человека при такой дальности при помощи тепловизионной камеры необходима система, дающая 12 пикселей на 0,75 метров при 1000 м. Помните, что в данном контексте идентификация не означает идентификацию конкретного человека, а скорее различие между человеком с ружьем в руках и человеком с лопатой, например. Линза с фокусным расстоянием 500 мм в сочетании с датчиком камеры с 15 микронными пикселями дает МПЗ в 30 микрорадианов. Число пикселей на цели равно углу цели, деленному на угол МПЗ. Поэтому, мы получим 750 микрорадианов, деленных на 30 микрорадианов на пиксель, или приблизительно 25 пикселей на цель, что больше 12 пикселей, требования для идентификации.

### **Охлаждаемые и неохлаждаемые тепловизионные камеры**

Также существуют различия в дальности видения у охлаждаемых и неохлаждаемых тепловизионных камер. Охлаждаемые камеры более дорогие, но, обычно, имеют большую дальность по сравнению с неохлаждаемыми системами при множестве условий.

Типичная охлаждаемая камера имеет шаг в 15 микронных пикселей (межцентровое расстояние пикселей). Линза 500 мм на этой камере дает МПЗ в 30 микрорадианов. Используя критическое расстояние 0,75 м., человек стянет 12 пикселей на расстоянии 2,1 км. Заключение для данно-

го примера расчета – для идентификации человека на многокилометровых расстояниях требуется линза с фокусным расстоянием 500 мм.

Теперь рассмотрим неохлаждаемый датчик, который имеет меньшую присущую чувствительность, чем охлаждаемый датчик со сходной оптикой и большими пикселями. Типичный неохлаждаемый датчик имеет шаг 38 микрон. Увеличенный размер пикселя снижает дальность идентификации линзы 500 мм до 0,8 км. Но что более важно, неохлаждаемые линзы с фокусным расстоянием 500 мм просто непрактичны, так как линзы должны иметь очень низкие диафрагменные числа для того, чтобы иметь тепловую чувствительность, сравнимую с охлаждаемыми камерами. Неохлаждаемая линза 500 мм с диафрагменным числом 1,6 имеет диаметр объектива 313 мм; это очень большой и дорогой объектив. Линзы могут быть настолько дорогими, что они делают бесполезными экономию от использования неохлаждаемых датчиков вместо охлаждаемых. Кстати, в настоящее время самая длиннофокусная из неохлаждаемых линз, существующих в продаже – линза 367 мм. Линза 367 мм в сочетании с неохлаждаемой камерой с шагом 38 микрон дает максимальную дальность идентификации всего лишь 600 м.

Вывод для данного примера – наилучшие результаты в сверхдальнем тепловидении достигаются охлаждаемыми камерами. Это утверждение особенно верно для среднего диапазона частот во влажных атмосферных условиях.

### **Атмосферные условия**

Хотя тепловизионные камеры могут видеть в полной темноте, слабом тумане, небольшом дожде и снеге, атмосферные условия сильно влияют на расстояние обзора. Даже при ясном небе присущее атмосферное поглощение устанавливает ограничения на дальность обзора конкретной инфракрасной камеры. По существу, чем дальше должен идти инфракрасный сигнал от цели до камеры, тем больше сигнал теряется по пути.

Дождь и туман могут серьезно ограничивать дальность тепловизионных камер ввиду рассеяния света от капель воды. Туман – это видимая совокупность мельчайших капелек воды в атмосфере или вблизи поверхности земли; во многих случаях он снижает горизонтальную видимость до 1 км. Он образуется, когда температура воздуха и точка росы воздуха практически равны и присутствуют значительные ядра конденсата.

Существуют различные типы тумана, некоторые туманы плотнее остальных, поскольку капельки воды становятся крупнее после сращения. Тепловизионной камере будет сложнее работать через плотные туманы, а дальность будет снижена. То же происходит при ливне или сильном снегопаде. Также, дождь может уменьшать контраст, так как он охлаждает поверхности целей. Несмотря на ухудшение работы при тумане, дожде или снеге, тепловизионные камеры будут по-прежнему видеть цели на более дальних расстояниях, чем системы визуализации в видимом свете.

### На дальность влияют многие переменные

Подводя итоги, достаточно непросто ответить на вопрос «Как далеко я смогу видеть с тепловизионной камерой?» Все зависит от большого числа переменных как самой системы, так и окружающей среды, включая природу цели (неподвижное транспортное средство или транспорт в движении), фон (горячая пустыня или холодный снег), а также атмосферные условия (ясное небо или туман). Это также зависит от конкретной комбинации камеры и линзы, выбираемой Вами.

Специалисты с широкими прикладными знаниями помогут Вам определить расстояния, на которых Вы сможете обнаруживать различные цели при различных условиях при помощи тепловизионных камер.

### Номограммы

Использование номограммы – это отличный способ оценить дальность работы тепловизионной камеры для обнаружения цели. Номограмма – это графический калькулятор, представляющий числовые отношения между переменными, такими как фокусное расстояние, дальность и число пикселей на цели. Следующие две номограммы (для неохлаждаемой и охлаждаемой камеры) – это упрощенные модели оценки дальности для обнаружения, распознавания или идентификации человека. Данные модели не учитывают атмосферные воздействия или тепловой контраст – они предполагают изображения с очень высоким контрастом, полученные при ясных погодных условиях и могут рассматриваться как верхние предельные значения для дальности, основанной исключительно на геометрии.

### Пример :

Критерии Джонсона подразумевают, что критический размер для человека составляет 0,75 метров. Для достижения обнаружения, распознавания и идентификации необходимы 1,5 пикселя, 6 пикселей и 12 пикселей на 0,75 метров в плоскости объекта. Это означает:

- 1,5 пикселя / 0,75 м. = 2 пикселя на метр;
- 6 пикселей / 0,75 м. = 8 пикселей / метр;
- 12 пикселей / 0,75 м. = 16 пикселей / метр.

Предположим, что человек имеет размеры 1,8 м на 0,5 м. То есть, человек должен покрываться следующим образом:



**Обнаружение = 3,6 пикселей на 1 пиксель.**

Вы можете видеть присутствие некоего объекта.

**Распознавание = 14,4 пикселей на 4 пикселя**

Вы можете видеть присутствие человека.

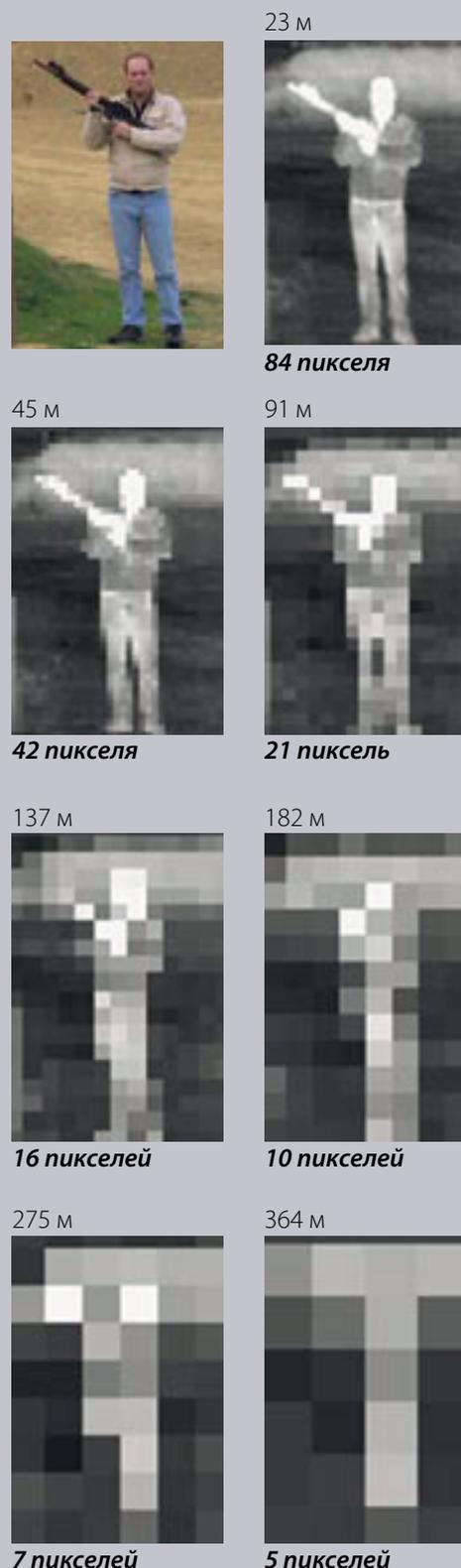
**Идентификация = 28,8 пикселей на 8 пикселей**

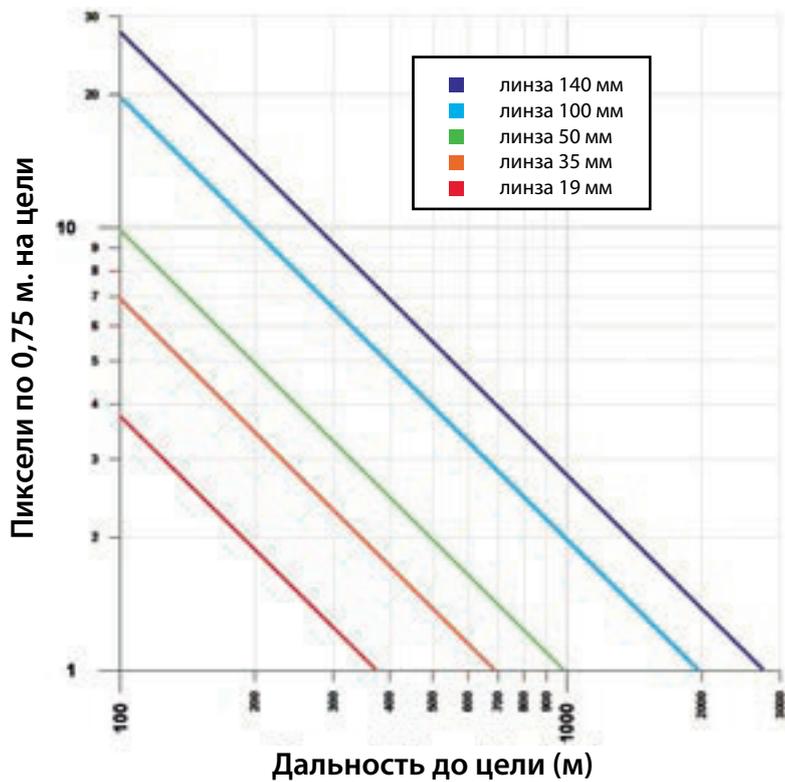
Вы можете видеть, что человек держит в руках ружье

*Иллюстрации предназначены только для отображения концепции.*

## Неохлаждаемый детектор 320 x 240 с линзой 50 мм с шагом 38 микрон

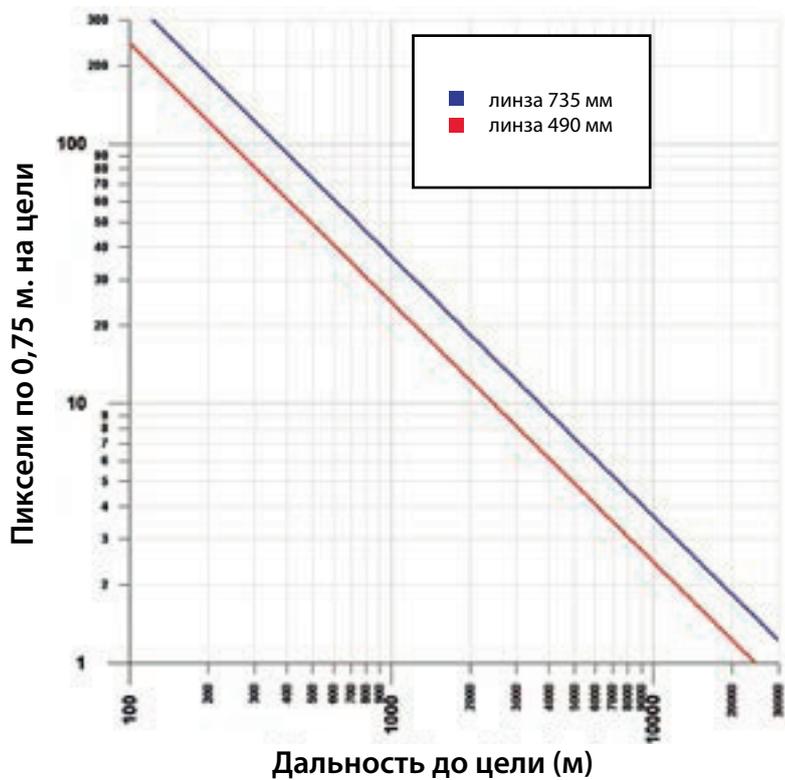
### Пиксели на цели по высоте человека





Номограмма:  
 Неохлаждаемая,  
 детектор 320 x 240  
 с шагом 38 микрон

Пиксели по критическому  
 размеру цели с размерами  
 человека 0,75 м  
 по отношению к дальности



Номограмма:  
 Охлаждаемая,  
 детектор 640 x 480  
 с шагом 15 микрон

Пиксели по критическому  
 размеру цели с размерами  
 человека 0,75 м.  
 по отношению к дальности