



Видеть сквозь туман и дождь с помощью тепловизионной камеры

Метрологическое влияние тумана и дождя на производительность инфракрасной камеры



Тепловизионные камеры могут формировать четкие изображения в полной темноте. Им не нужен свет для создания четкого изображения, на котором можно рассмотреть малейшие детали. Это делает их отличным инструментом для многочисленных применений ночного видения.

«Как далеко можно видеть с помощью тепловизионной камеры?» - этот вопрос задают очень часто и ответ на него очень важен для большинства задач ночного видения. Расстояние, на которое вы можете видеть с помощью тепловизионной камеры, в большой степени зависит от нескольких параметров камеры. Какие линзы вы используете? Оснащена камера охлаждаемым или неохлаждаемым датчиком? Какова чувствительность камеры? Каков размер объекта, который вы хотите обнаружить? Какова температура цели и фона?

Ответ на вопрос «Как далеко..» чаще всего подразумевает идеальные климатические условия, поэтому возникает следующий вопрос: «Что происходит с расстоянием

в туман, дождь или под влиянием других погодных условий?»

Хотя тепловизионные камеры могут видеть в полной темноте, сквозь туман, легкий дождь и снег, эти атмосферные условия влияют на дальность работы камер.

Пропускаемость инфракрасного излучения

Даже в ясную погоду естественное атмосферное поглощение ограничивает дальность видения инфракрасной камеры. Тепловизионная камера формирует изображение, основываясь на разнице теплового излучения, испускаемого объектом. В сущности, чем дальше этот инфракрасный сигнал должен идти от цели до камеры, тем больше возможные потери сигнала в пути.

Поэтому необходимо принимать во внимание фактор затухания. Это процент излучения, пропускаемого сквозь экранирующий материал. Влажный воздух действует как «экран» для инфракрасного излучения. В летние месяцы атмосфера обычно имеет более высокое затухание по сравнению с зимними месяцами из-за повышенной влажности. Поэтому, при

PTZ-35x140 MS – это тепловизионная система с двумя тепловизионными камерами и камерой дневного света/низкой освещенности. Обе тепловизионные камеры оснащены длинноволновым неохлаждаемым микроболометром, что обеспечивает отличную видимость на больших расстояниях в тумане.

ясном небе и хорошей погоде зимой с помощью тепловизионной камеры вы сможете увидеть намного дальше, чем летом.

Но влажный воздух – это только один из примеров рассеивания инфракрасного излучения. Есть и другие климатические условия, имеющие большее отрицательное влияние на дальность видения тепловизионной камеры.

Туман и дождь могут очень сильно ограничить дальность видения тепловизионной системы вследствие рассеивания света от капель воды. Чем выше плотность капель, тем сильнее ослабевает инфракрасный сигнал. Важный вопрос, который задают клиенты - как сильно дождь или туман ограничивают дальность видения тепловизионной камеры, и как это можно сравнить с дальностью видимости в видимой части спектра.





HRC-Multisensor



ThermoVision 3000 Multisensor

Системы HRC и ThermoVision 3000 Multisensor используют охлаждаемые датчики. Система HRC оснащена датчиком из антимонида индия (InSb), который работает в средневолновом инфракрасном диапазоне 3 – 5 мкм. Система ThermoVision 3000 оснащена инфракрасным датчиком на квантовых ямах, который работает в длинноволновом инфракрасном диапазоне 8 – 9 мкм. Обе могут обнаружить цель в человеческий рост с очень больших расстояний.

Классификация тумана

Туман – это видимая совокупность мельчайших капель воды, подвешенная в атмосфере либо близко к поверхности земли. Когда воздух почти полностью насыщен парами воды, это означает, что относительная влажность близка к 100%, и что туман может формироваться в зонах достаточного количества конденсационных центров, которыми могут быть частицы пыли или дыма.

Существуют различные виды тумана. Адвективный туман формируется в результате смешивания двух воздушных масс с различными температурами и/или влажностью. Другая его форма – это излучательный туман. Он формируется в процессе излучательного охлаждения воздуха при температурах, близких к точке росы.

Некоторые полосы тумана бывают более густыми, чем другие, поскольку капли воды увеличиваются в размерах из-за приращения. В условиях тумана капли могут поглощать больше воды и значительно увеличиваться в размере. Вопрос о степени рассеивания в инфракрасном диапазоне по сравнению с видимым спектром зависит от распределения размера капель.

Существуют различные пути классификации тумана. Часто используемая классификация – это

классификация Международной организации гражданской авиации (ICAO). Согласно этой системе туман разделяется на 4 категории:

- Категория I: дальность видимости 1220 м
- Категория II: дальность видимости 610 м
- Категория IIIa: дальность видимости 305 м
- Категория IIIc: дальность видимости 92 м

Причиной ухудшения видимости в туманной атмосфере является поглощение и рассеивание естественного или искусственного освещения частицами тумана. Количество поглощения и рассеивания зависит от микрофизической структуры частиц тумана, которые также называют аэрозолями.

Модель развития умеренного разрешения (MODTRAN)

MODTRAN – это программа расчета лучистого переноса, созданная и поддерживаемая ВВС США. Она может моделировать атмосферу при различных атмосферных условиях. Она помогает предсказывать свойства атмосферы, включая пространственное распределение интенсивности рассеянного излучения, пространственное

распределение пропускания, светимость неба и достигающие поверхности солнечное и лунное излучение для большого диапазона волн и спектрального разрешения.

MODTRAN позволяет рассчитать светопрозрачность и светимость в широком спектральном диапазоне. Она предлагает шесть климатических моделей для различных географических широт и сезонов. Модель также определяет шесть различных типов аэрозолей, которые могут появиться в каждом из климатов. Каждую климатическую модель можно комбинировать с разными аэрозолями.

Дальность обзора тепловизионной камеры в туман или дождь также зависит от климатических условий, в которых используется камера, и от типа аэрозолей, характерных для этого климата.

Климат	Аэрозоль
Тропический	Сельский
Летний в средних широтах	Морской
Зимний в средних широтах	Городской
Летний в субарктике	Адвективный туман
Зимний в субарктике	Излучательный туман
США Стандартный	Пустынный

исходные данные для модели MODTRAN

Вводными данными для модели MODTRAN являются указанные выше определенные климаты и аэрозоли, а также видимость по ICAO, геометрия и длина атмосферной траектории, а также температура и излучательная способность цели и фона.

Обычно сравнение разных аэрозолей показывает, что морские аэрозоли всегда приводят к самому низкому расстоянию обнаружения, независимо от модели климата, поскольку морские аэрозоли в среднем имеют больший радиус частиц, чем сельские и городские аэрозоли. Сельские и



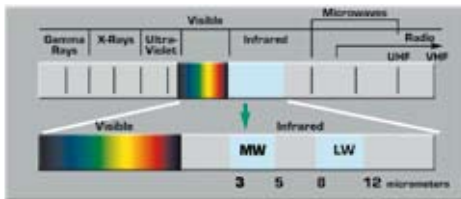
городские аэрозоли обеспечивают значительно большие расстояния обнаружения в инфракрасном диапазоне.

Это значит, что вы сможете видеть не так хорошо в морских условиях, как на земле, независимо от типа климата.

Тепловизионная камера и цель

Поскольку тип и плотность атмосферы влияет на дальность видения сквозь туман, большое значение также имеет тип используемой инфракрасной камеры и особенно диапазон волн, в котором работает камера.

Существует два основных волновых диапазона для тепловизионных камер: 3.0-5μm (MWIR) и 8-12μm (LWIR). Диапазон 5-8μm блокируется спектральным поглощением атмосферы водяными парами очень интенсивно, поэтому он очень редко используется для получения изображений.



Электромагнитный спектр

Тепловизионные камеры с неохлаждаемыми датчиками работают в диапазоне длинных инфракрасных волн (LWIR) с длиной волны от 7 до 14 микрон, в котором наземные температурные цели излучают большую часть своей инфракрасной энергии и существуют условия для применения неохлаждаемого обнаружения.

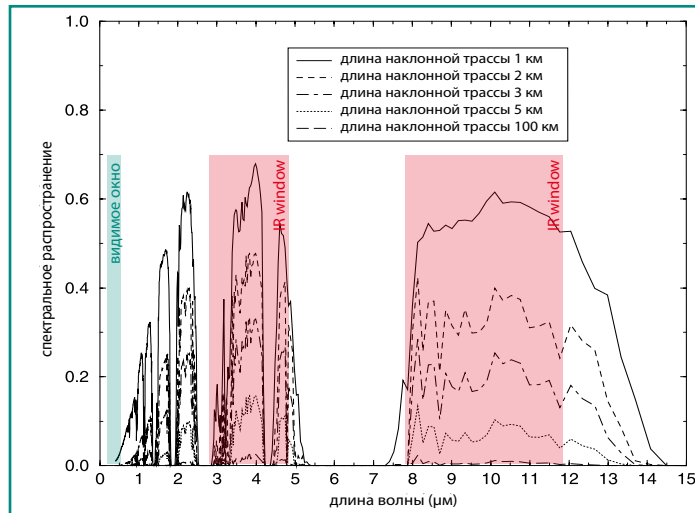
Тепловизионные камеры, оснащенные охлаждаемыми датчиками (где датчики охлаждаются до криогенных температур), являются наиболее чувствительными к небольшим температурным изменениям объекта съемки и обычно работают с изображениями в среднем инфракрасном диапазоне (MWIR) или в длинноволновом диапазоне (LWIR).

Спектральное распространение в диапазонах MWIR и LWIR различается. Поэтому и существует разница между дальностью видимости сквозь туман с помощью тепловизионной камеры с неохлаждаемым LWIR датчиком по сравнению с охлаждаемым MWIR датчиком.

Результаты модели атмосферного распространения - туман

Спектральное распространение в атмосфере для различных диапазонов позволяет провести простое количественное сравнение видимости в разных атмосферных окнах.

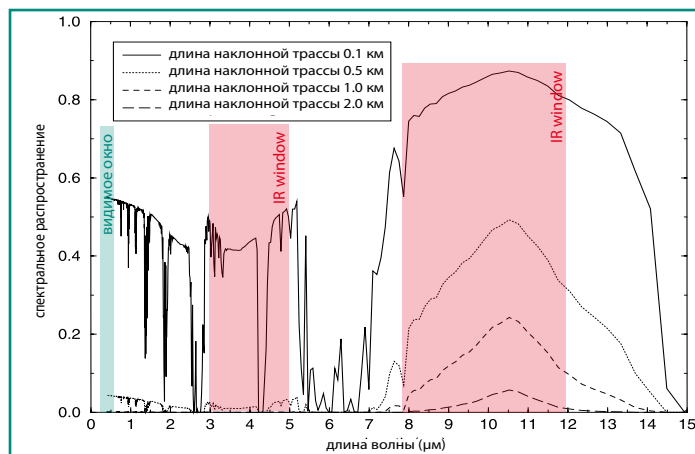
На рис.1 показано атмосферное распространение тумана КАТ. I для лета в средних широтах и при наличии сельских аэрозолей. В видимом спектральном диапазоне волн (0,4 – 0,75 микрон) распространение значительно ниже, чем в обоих тепловых инфракрасных окнах (между 3-5 и 8-12 микрон). В этих условиях тепловизионная камера будет видеть значительно дальше, чем



©Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

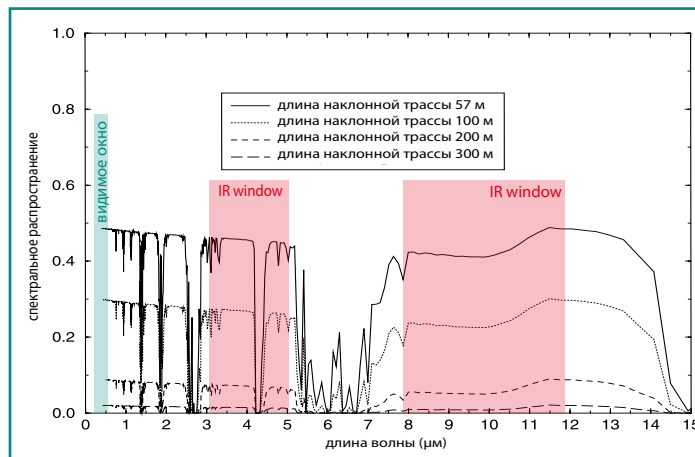
невооруженный глаз, независимо от используемого датчика (длинноволновой или средневолновой).

При снижении модели видимости до условий КАТ. II с излучательным туманом мы видим, что только диапазон LWIR (8-12 микрон) превосходит видимый диапазон, а инфракрасная камера в среднем диапазоне сможет видеть не намного больше, чем невооруженный глаз. (Рисунок 2)



©Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

И наконец в условиях КАТ. III (Рисунок 3), при видимости менее 300 м, нет существенных различий между дальностью видения тепловизионной камеры и невооруженного глаза.



©Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

Дальность обнаружения зависит не только от распространения, но сравнение видимого и инфракрасного распространения показывает, как атмосфера влияет на волны различной длины.





Дальность обнаружения

Одних только атмосферных условий недостаточно, чтобы предсказать, как далеко можно видеть сквозь туман или дождь. Также необходимо принимать во внимание размер цели и разницу температур с фоном. Более того, ограниченное пространственное разрешение оптики и датчика, а также помехи датчика и параметры обработки сигнала снижают контраст светимости цели с фоном. Влияние переноса функций инфракрасного датчика на контрастную светимость моделируется с помощью TACOM Thermal Image Model (TTIM). Эта модель позволяет моделировать различные типы инфракрасных датчиков с решетками фокальной плоскости.

В следующей таблице приведено сравнение диапазонов обнаружения (в км) сквозь туман с использованием невооруженного глаза, MWIR камеры и LWIR камеры при условии температурной разницы между целью и фоном на уровне 10°C, порог обнаружения составляет 0,15 K

Категория тумана	Видимый	MWIR	LWIR
Кат I	1.22	3.0 – 9.8	5.9 – 10.1
Кат II	0.61	0.54	2.4
Кат III a	0.305	0.294	0.293
Кат III c	0.092	0.089	0.087

Для Кат. I инфракрасный диапазон обнаружения дается в пределах, отображающих изменение для различных климатов и аэрозолей как указано в MODTRAN. В диапазоне LWIR лучшие условия представляются зимой при низкой абсолютной влажности и при наличии сельских аэрозолей. В диапазоне MWIR дальность обнаружения лучше всего в условиях высоких температур, например, летом или в тропиках.

Все расстояния обнаружения для инфракрасного диапазона значительно лучше видимого спектра для тумана Кат. I. Для тумана Кат. II результат в 4



раза лучше при использовании тепловизионной камеры с LWIR датчиком по сравнению с видимым спектром.

При тумане Кат. IIIa и IIIc практически нет разницы между тем, как далеко вы можете видеть с помощью тепловизионной камеры и невооруженным глазом, поскольку ограничивающим фактором является атмосфера. Излучение не проникает сквозь такой густой туман во всех (видимом, MWIR и LWIR) спектральных диапазонах.

Заключение и результаты

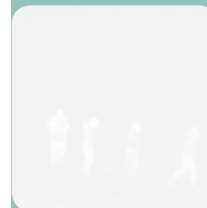
Согласно этим моделям при туманах Кат. I и II тепловой инфракрасный диапазон обеспечивает лучшую дальность видимости по сравнению с видимым диапазоном. Поэтому инфракрасные тепловые камеры хорошо подходят для наблюдения сквозь туманы данных типов. Моделирование показывает, что тепловизионные камеры потенциально полезны в качестве помощи при посадке самолетов или в качестве части системы усиления обзора для транспорта и автомобильной промышленности.

Моделирование показывает, что проходимость сквозь туман выше в LWIR диапазоне по сравнению с MWIR диапазоном во всех рассмотренных случаях. Для тумана Кат. II спектральный диапазон LWIR обеспечивает почти в 4 раза лучшую дальность видимости в сравнении с диапазоном MWIR. Однако при окончательном выборе оптимальной системы для конкретного приложения необходимо принимать во внимание тепловую чувствительность датчика и характеристики цели. Важное значение также имеет цена. Например для функций безопасности и наблюдения обычно экономически неэффективно использовать неохлаждаемые LWIR системы для больших расстояний, поскольку линза становится слишком большой и дорогой.

На излучение MWIR отрицательно влияют атмосферные загрязнения и газы (возможно повышенное атмосферное поглощение и/или повышенные уровни излучаемости на трассе – все это снижает контраст изображения цели). На LWIR это влияет меньше.

Дождь может значительно снизить контраст цели (из-за повышенного атмосферного рассеивания и общего потемнения), а LWIR и MWIR ведут себя одинаково при дожде. Ухудшение производительности инфракрасной системы в условиях дождя очень зависит от расстояния, поэтому и существует такое значительное отставание в 100-500 м.

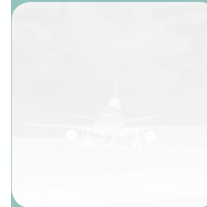
Так же, как невозможно однозначно ответить на вопрос «На какое расстояние можно видеть с помощью тепловизионной камеры?», нельзя точно определить степень снижения видимости в туманную или дождевую погоду. Видимость зависит не только от атмосферных условий и типа тумана, но и от типа используемой инфракрасной камеры и от свойств цели (размер, температура, разница между целью и фоном и т.д.)



Туман



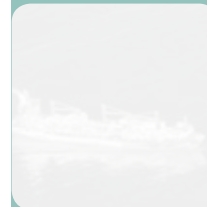
Тепловизионное изображение



Туман



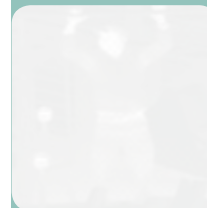
Тепловизионное изображение



Туман



Тепловизионное изображение



Туман



Тепловизионное изображение

Возможность видеть сквозь туман может использоваться для разных типов задач. Мореплавание, обеспечение безопасности, автомобили и самолеты – во всех этих случаях можно успешно использовать возможности тепловидения и его способность видеть сквозь различные типы туманов значительно лучше, чем с использованием CCTV камеры или невооруженным глазом

Благодарим д-ра Августина Ричардса и г-на Т. Хольтера за консультации и ценный вклад в написание статьи.

Ссылки:

К. Беер, Х. Гемперлин, «Симуляция диапазона инфракрасного обнаружения в условиях тумана с использованием систем улучшения видимости для гражданской авиации для применения в аэрокосмических технологиях» 8 (2004) 63 - 71

Для получения более подробной информации о тепловизионных камерах либо о данной сфере их применения, обратитесь пожалуйста по следующему адресу:

FLIR Commercial Vision Systems B.V.
 Charles Petitweg 21
 4847 NW Teteringen - Breda - Нидерланды
 Тел : +31 (0) 765 79 41 94
 Факс : +31 (0) 765 79 41 99
 e-mail : flir@flir.com
 www.flir.com