

ТЕХНИЧЕСКИЙ ОБЗОР

# Тепловизионные камеры

Октябрь 2021

# Содержание

1	Краткая информация	3
2	Введение	4
3	В чем преимущества тепловизионных камер?	4
4	Преимущества интегрированной видеоаналитики	4
5	Характеристики тепловизионной матрицы и шумовой эквивалентности разности температур	6
	5.1 Сравнение значений NETD	6
	5.2 Как Axis измеряет NETD	6
6	Дальность обнаружения по критерию Джонсона	7
	6.1 Номограммы	7
7	Вопросы влияния окружающей среды	8
	7.1 Поглощение	9
	7.2 Рассеяние	9
8	Рекомендации по установке	12

# 1 Краткая информация

- **Что умеют тепловизионные камеры?**

Тепловизионные камеры обнаруживают инфракрасное (тепловое) излучение, которое испускают любые предметы, имеющие ненулевую абсолютную температуру. Благодаря способности распознавать малые различия температуры и строить на их основании видимое изображение такие камеры позволяют обнаруживать людей и автомобили на очень больших расстояниях. Они сохраняют работоспособность даже в полной темноте, независимо от условий освещения, маскировки, растительности, плохой погоды и других условий, в которых камеры видимого диапазона было бы недостаточно.

- **Для чего используются тепловизионные камеры?**

Тепловизионные камеры широко применяются в системах защиты периметра. Живое видео с тепловизионной камеры позволяет обнаруживать нарушителей в критических зонах задолго до того, как камера видимого диапазона сможет заметить что-либо подозрительное. Тепловизионное изображение автоматически анализируется непосредственно в камере, и систему безопасности можно настроить на различные виды реакции. Можно инициировать автоматические звуковые предупреждения через громкоговорители для активного отпугивания нарушителей, уведомление службы безопасности по электронной почте, наведение PTZ-камеры видимого диапазона для съемки видео, по которому можно идентифицировать нарушителей.

Тепловизионные камеры также можно устанавливать для контроля температуры в производственных процессах. С их помощью можно обнаруживать утечки тепла в зданиях или определять, запущен ли двигатель автомобиля в последнее время.

Как правило, по одному лишь тепловизионному изображению невозможно опознать конкретных людей. Это делает тепловизионные камеры хорошим выбором в местах, где особенно важна конфиденциальность, например, в школах.

- **NETD – показатель чувствительности тепловизионной матрицы**

Способность тепловизионной матрицы распознавать малые различия в тепловом излучении характеризуется показателем NETD (*шумовой коэффициент разности температур*). В целом чем меньше значение NETD, тем лучше матрица. Однако сравнивать камеры на основании только NETD не следует, поскольку для него не существует стандартизованного протокола измерения.

- **Советы по установке**

*Критерии Джонсона* описывают соотношение между минимальным необходимым разрешением и ожидаемой дальностью обнаружения в зависимости от того, требуется ли вам *обнаружение, распознавание, или идентификация* автомобилей или людей. Еще один инструмент – *номограмма*, которая графически показывает соотношение между дальностью обнаружения и фокусным расстоянием объектива камеры при конкретных требованиях к разрешению. В то же время реальные результаты могут меняться в зависимости от погодных условий. Кроме того, для работы аналитические приложения может потребоваться большее количество пикселей, чем дают приведенные правила.

- **Зависимость обнаружения от факторов окружающей среды**

Дождь, туман и смог уменьшают дальность обнаружения. Степень ослабления теплового излучения зависит от размера и концентрации частиц или капелек воды в воздухе. Однако дальность обнаружения тепловизионной камеры значительно меньше зависит от таких факторов, чем камеры видимого диапазона. В условиях умеренного тумана или задымления тепловизионные камеры позволяют обнаруживать объекты, полностью невидимые для камер видимого диапазона.

## 2 Введение

Тепловизионные камеры строят изображение по тепловому излучению, которое излучают все предметы в зависимости от температуры. Способность обнаруживать небольшие различия температуры делает эти камеры отличным инструментом для распознавания людей на сложном фоне или в глубокой тени. Тем же легко можно обнаруживать автомобили, независимо от времени суток и от условий освещенности.

В этом техническом обзоре обсуждаются преимущества тепловизионных камер и их совместное использование со средствами видеоаналитики при защите периметра. Рассказывается о том, как можно измерять рабочие характеристики тепловизионных камер и как определить фокусное расстояние объектива исходя из требуемого уровня точности. Мы также рассказываем, как на рабочие характеристики камеры влияют погодные условия и на что следует обращать внимание, если вы хотите установить тепловизионную камеру.

## 3 В чем преимущества тепловизионных камер?

Тепловизоры применяются в самых разных областях, где требуется обеспечение безопасности – например, это может быть защита периметра вокруг промышленных объектов, аэропортов и электростанций. Живое видео с тепловизионных камер позволяет оператору охранной системы увидеть человека между автомобилями на парковке задолго до того, как его заметит детектор движения камеры видимого диапазона. Высокая эффективность обнаружения делает тепловизионные камеры незаменимым инструментом в поисково-спасательных операциях.

Однако одного лишь тепловизионного изображения, как правило, недостаточно для идентификации конкретного человека. Поэтому тепловизионные камеры хорошо подходят для ситуаций, требующих соблюдения конфиденциальности. Во многих странах для записи видео в публичном месте требуется разрешение властей. Получить разрешение на использование тепловизионных камер часто бывает легче, чем на камеры видимого диапазона, поскольку тепловизионные камеры не позволяют идентифицировать людей в поле обзора.

По сравнению с камерами видимого диапазона тепловизионные камеры обеспечивают более надежное обнаружение и распознавание формы. Это достигается благодаря высокой контрастности изображения и детекции движения. Это позволяет снизить процент ложных срабатываний и соответственно сократить количество лишних тревог и действий персонала.

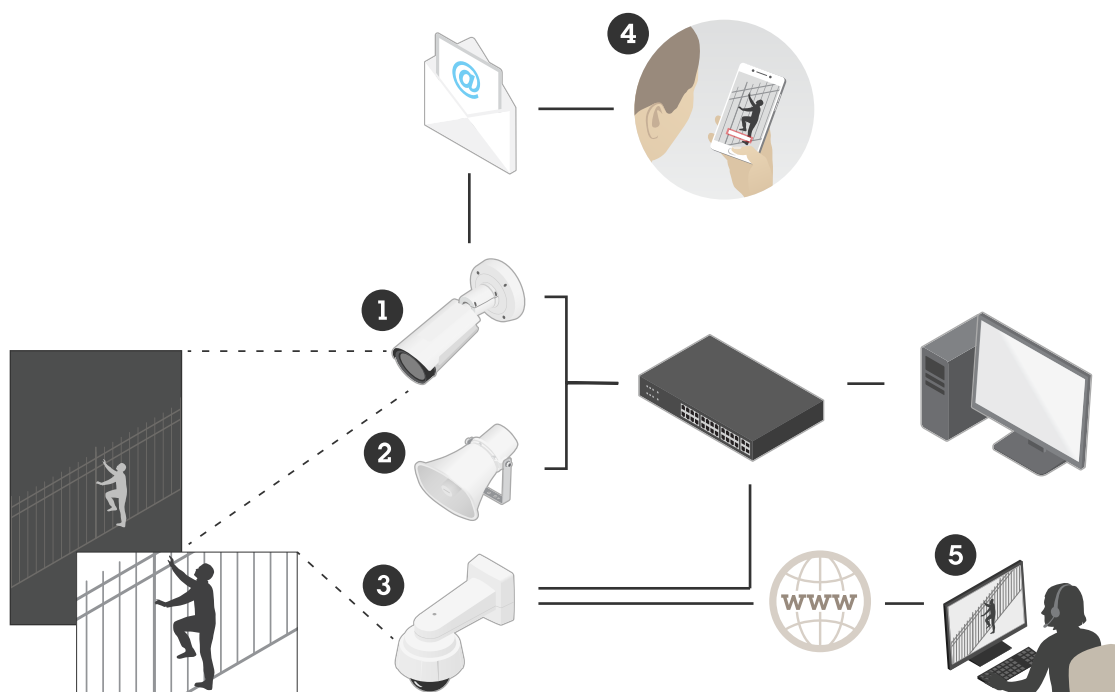
Предоставляя информацию о температуре, тепловизионная камера также позволяет контролировать технологические процессы и выявлять аномальное поведение при изменении температуры. Например, с помощью тепловизионной камеры можно обнаруживать утечки тепла в зданиях или определять, заводили ли двигатель автомобиля в последнее время.

## 4 Преимущества интегрированной видеоаналитики

Тепловизионные камеры Axis – это малозаметное и эффективное средство обнаружения, позволяющее значительно повысить безопасность зданий и эффективность управления в экстренных ситуациях. Встроенные интеллектуальные функции камеры, дополненные средствами анализа изображений, позволяют построить решение, в котором система видеонаблюдения автоматически выполняет анализ отснятого видеоматериала. Тепловизионные камеры могут обмениваться

данными видеоаналитики с камерами видимого диапазона в рамках единой IP-системы, например, при защите периметра.

Аналитические приложения Axis для защиты периметра позволят построить высокоэффективную систему автоматического обнаружения и реагирования на вторжения. Вы можете самостоятельно выбрать, какого рода реагирование вам требуется. Когда кто-либо входит в определенную область в поле зрения камеры, тепловизионная камера может, например, автоматически отправлять сообщение по электронной почте сотрудникам службы безопасности и одновременно подавать команду на PTZ-камеру видимого диапазона для получения видеозображения. Это дает возможность узнать о подозрительных действиях еще до вторжения на охраняемую территорию, прояснить ситуацию и уже после этого принимать необходимые меры. С другой стороны, камера может активировать громкоговорители для отпугивания нарушителей.



*Роль тепловизионной камеры в системе защиты периметра:*

- 1 тепловизионная камера обнаруживает нарушителя.*
- 2 тепловизионная камера отпугивает нарушителя через рупорный громкоговоритель.*
- 3 тепловизионная камера подает сигнал PTZ-камере, которая наводится на нарушителя и снимает его.*
- 4 тепловизионная камера мгновенно передает сообщение по электронной почте для подтверждения вторжения.*
- 5 Видео с PTZ-камеры поступает оператору, который может идентифицировать нарушителя.*

Аналитические приложения Axis для защиты периметра работают на периферии сети. Это означает, что анализ видео происходит непосредственно в камерах. Поскольку видео не передается для анализа на центральный сервер, система обладает гибкостью и масштабируемостью и не требует больших затрат.

## 5 Характеристики тепловизионной матрицы и шумовой эквивалент разности температур

Для оценки рабочих характеристик тепловизионной матрицы и даже тепловизионной камеры в целом чаще всего используется показатель NETD – шумовой эквивалент разности температур (*Noise equivalent temperature difference*). NETD – это шумовой порог матрицы, т.е. разность температур, при которой величина сигнала оказывается равна шумовому фону.

Фактически NETD показывает способность матрицы обнаруживать очень слабые различия теплового излучения в изображении. Чем меньше значение NETD, тем лучше матрица. Например, матрица с NETD, равным 50 мК (милликельвин) способна обнаруживать только различия температуры, превышающие 50 мК, а меньшие различия будут неразличимы на фоне шума.

### 5.1 Сравнение значений NETD

Сравнивать номинальные значения NETD для разных камер может быть сложно. Значения могут быть рассчитаны по разным методикам или для разных условий, например, для разных температур окружающей среды, с разными временами интегрирования или при разной оптической светосиле. Номинальные значения NETD также обычно включают в себя пространственный шум. Это означает, что NETD может быть невысоким даже если изображение содержит значительный фиксированный или квазификсированный пространственный шум.

На фактические показатели камеры влияет множество факторов помимо NETD ее матрицы, и лучшая камера не обязательно имеет наименьший NETD. Например, NETD не учитывает, насколько хорошо сфокусирована камера; расфокусированная камера может иметь хорошее значение NETD. Поэтому не следует отдавать предпочтение одной тепловизионной камере перед другой исключительно исходя из сравнения их номинальных значений NETD.

### 5.2 Как Axis измеряет NETD

В Axis значения NETD тепловизионных камер измеряют по единой методике, описанной в этом разделе.

На тепловизионную камеру устанавливается объектив со светосилой F/1.0. Целевой объект представляет собой черное тело хорошего качества. Большинство шагов обработки изображения (в том числе линейное и нелинейное преобразование сигнала, повышение резкости и локальное усиление контрастности) пропускаются, выполняются только коррекция неоднородности, коррекция плоского поля и фильтрация шума.

Сбор данных производится при температуре черного тела 20 °C, 25 °C и 30 °C.

Для температур 20 °C и 30 °C собираются последовательности по 100 кадров. Вычисляя для каждого пикселя среднее по этим двум рядам данных, получают два усредненных кадра – один для 20 °C и один для 30 °C. Затем вычисляют разность этих двух кадров и делят на разность температур (10 °C), получая кадр среднего отклика для тепловизионной камеры.

Для 25 °C собирается набор данных из 200 последовательных кадров. Для каждого индивидуального пикселя по этим 200 кадрам вычисляются стандартные отклонения, которые сохраняются в виде кадра. Полученный кадр стандартных отклонений пикселей делят на кадр среднего отклика. Усредняя результат и умножая его на 1000, получают значение NETD в мК (милликельвин).

## 6 Дальность обнаружения по критерию Джонсона

Разрешение, требуемое для обнаружения, задается в пикселях и определяется на основании *критерия Джонсона*. Эта методика была разработана в 1950-е годы для прогнозирования эффективности систем датчиков. Американский исследователь Джон Джонсон измерил способность наблюдателей распознавать масштабные модели объектов в различных условиях и по результатам этой работы сформулировал критерии минимального необходимого разрешения. Эти критерии обеспечивают 50% вероятность того, что наблюдатель сможет распознать объект на заданном уровне.

В качестве объекта можно рассматривать человека (минимальная ширина 0,75 м (2,46 м)) или автомобиль (минимальная длина 2,3 м (7,55 футов)). Согласно критериям Джонсона, для тепловой матрицы температура объекта должна отличаться от фоновой как минимум на 2 °C (3,6 °F).

Для тепловизионных сетевых камер Axis применяются следующие уровни для критерия Джонсона:

- Не менее 1,5 пикселя для *обнаружения* - наблюдатель может обнаружить наличие объекта.
- Не менее 6 пикселей для *распознавания* - наблюдатель может определить вид объекта (например, человек, стоящий перед оградой).
- Не менее 12 пикселей для *идентификации* — наблюдатель может определить объект и его характеристики (например, человек с фомкой в руке).

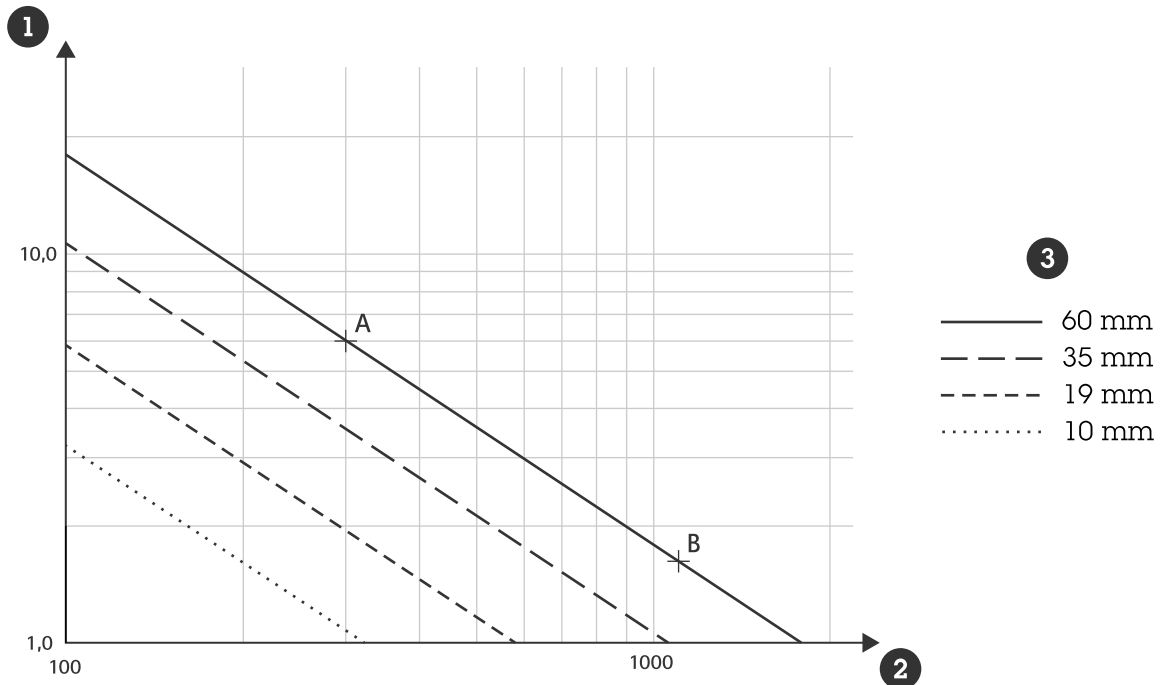
Критерии Джонсона разрабатывались в предположении, что визуальную информацию обрабатывает наблюдатель-человек. Если информация обрабатывается программным алгоритмом, требования к количеству пикселей, которое должен занимать целевой объект для надежной работы алгоритма, могут быть другими. Следует отметить, что даже если человек способен обнаружить объект, для надежной работы программного алгоритма часто требуется большее количество пикселей при заданной дальности обнаружения.

### 6.1 Номограммы

Для определения количества пикселей, требуемого для заданной дальности, удобно пользоваться номограммой. Это двухкоординатная диаграмма, на которой представлено соотношение между фокусным расстоянием объектива, числом пикселей в поперечнике объекта и расстоянием до него.

Например, если мы знаем требуемое количество пикселей и расстояние, на котором хотим иметь возможность распознавать объекты, можно определить, какой объектив следует использовать с камерой. Аналогичным образом номограмма позволяет рассчитать по параметрам камеры и

необходимому числу пикселей расстояние, с которого эта камера способна обнаружить тот или иной объект.



Пример номограммы для дальности обнаружения

- 1 Количество пикселей на ширине объекта
- 2 Расстояние до объекта в метрах
- 3 Фокусное расстояние

В этом примере номограмма показывает, что при фокусном расстоянии камеры 60 мм объект можно *распознать* (6 пикселей на ширине объекта) на расстоянии 300 м (328 ярдов) (точка А). Если требуется только *обнаружение* (1,5 пикселя на ширине объекта), дальность составит 1200 м (1312 ярдов) (точка В).

## 7 Вопросы влияния окружающей среды

Очень важно помнить, что критерии Джонсона применимы только в идеальных условиях. Дальность обнаружения для человеческого глаза, камеры видимого диапазона и тепловизионной камеры



зависит от погодных условий. У тепловизионной камеры дальность обнаружения обычно меньше зависит от погоды, например, в туманный день, чем у камеры видимого диапазона.



*Изображение с тепловизионной камеры (слева) и камеры видимого диапазона (справа) в туманный день. На изображении с тепловизионной камеры можно различить человека (обведен), в отличие от камеры видимого диапазона.*

Номограмма, приведенная в предыдущем разделе, дает дальность обнаружения в условиях, когда температура целевого объекта превышает температуру фона на 2 °С (3.6 °F). Погодные условия могут ухудшать качество тепловизионного изображения за счет выравнивания разницы температур, однако продвинутые алгоритмы обработки изображений, например, повышение локального контраста, помогают камере выделять объекты на фоне даже при небольшом различии температур.

Два наиболее важных фактора окружающей среды, влияющих на качество изображения объектов, – это поглощение и рассеяние. Они снижают количество теплового излучения, достигающего камеры, и тем самым уменьшают дальность, на которой камера способна обнаруживать объекты. Рассеяние вносит больший вклад в потерю тепловой энергии, чем поглощение.

## 7.1 Поглощение

Основными причинами поглощения являются содержащиеся в воздухе пары воды (H<sub>2</sub>O) и диоксида углерода (CO<sub>2</sub>). Тепловое излучение от объекта поглощается парами воды и диоксидом углерода, в результате теряя часть энергии на пути к камере. Содержание паров воды в воздухе влияет на качество изображения даже в солнечную и ясную погоду, поскольку количество паров воды в воздухе при этом может быть высоким.

В дни, когда содержание паров воды невелико, доля поглощенного молекулами воды теплового излучения ниже, а количество излучения, дошедшего до камеры – больше. В результате качество изображения оказывается выше, чем в дни, когда содержание паров воды в воздухе высокое.

## 7.2 Рассеяние

Рассеяние обусловлено взаимодействием теплового излучения от объекта с частицами, присутствующими в воздухе. Потери излучения напрямую зависят от размера и концентрации частиц, капель или кристаллов, связанных с загрязнением воздуха, конденсацией или осадками – туманом, смогом, дымкой, дождем, снегом.

## 7.2.1 Туман, смог и дымка

Туман образуется, когда содержащиеся в воздухе пары воды конденсируются в капельки воды. Размеры капелек меняются в значительных пределах в зависимости от вида тумана. Плотный туман состоит из капелек большего размера и поэтому рассеивает тепловое излучение сильнее, чем легкий туман. Кроме того, туман рассеивает тепловое излучение сильнее, чем смог и дымка, поскольку в тумане размеры и концентрация частиц больше.

Тепловизионные камеры Axis работают в основном в длинноволновом инфракрасном диапазоне. В целом длинноволновое ИК излучение значительно лучше распространяется при наличии в воздухе взвешенных частиц, например, туманом и дымом, чем свет видимого диапазона. В большинстве случаев свет с более короткой длиной волны сильнее поглощается и рассеивается частицами, чем длинноволновое ИК излучение. Поэтому дальность обнаружения у камер видимого диапазона меньше, чем у тепловизионных. Человек, хорошо различимый в тумане на изображении с тепловизионной камеры, может быть невидим для камеры видимого диапазона.



Изображения с тепловизионной камеры (слева) и камеры видимого диапазона (справа) в туманный день. На изображении с тепловизионной камеры можно различить человека (обведен), в отличие от камеры видимого диапазона.

Один из вариантов классификации тумана разработан Международной организацией гражданской авиации (ИКАО). Категории тумана определяются по дальности видимости невооруженным взглядом. В приведенной ниже таблице приведены примерные дальности обнаружения в длинноволновом ИК диапазоне для каждой категории.

Таблица 7.1 Категории видимости и дальность обнаружения для камер видимого диапазона и тепловизионных камер.

Класс	Видимый свет	Длинноволновый ИК диапазон
I	1220 м / 4000 футов	5,9–10,1 км / 19000–33000 футов
II	610 м / 2000 футов	2,4 км / 7800 футов
IIIa	305 м / 1000 футов	293 м / 960 футов
IIIb	92 м / 300 футов	87 м / 280 футов

Из таблицы видно, что для несильного тумана (классы I и II) дальность обнаружения в длинноволновом ИК диапазоне значительно больше, чем в видимом диапазоне. Однако в более плотном тумане (класс III) поглощается и рассеивается даже излучение длинноволнового ИК

диапазона. В таких условиях разницы между камерами видимого диапазона и тепловизионными почти нет.

Значения в таблице следует рассматривать как ориентировочные. Фактическая дальность обнаружения конкретной камеры зависит также от других факторов, например, от наличия физических объектов в поле обзора, от разности температур между объектом и фоном, от физических условий установки.

### 7.2.2 Дождь и снег

Хотя капли дождя крупнее, чем капельки тумана, их концентрация меньше. Это означает, что дождь рассеивает тепловое излучение меньше, чем туман. В снегопад интенсивность рассеяния промежуточная между туманом и дождем. Крупа и мокрый снег по рассеивающей способности ближе к дождю, а сухой снег - к туману. Ориентировочные значения коэффициентов ослабления при разных погодных условиях приведены в таблице.

Таблица 7.2 Погодные условия и коэффициенты ослабления

Сильный дождь	Небольшой дождь	Загрязненный городской воздух	Плотный туман	Туман
11 дБ/км	4 дБ/км	0,5 дБ/км	80 дБ/км	10 дБ/км
17,6 дБ/милю	6,4 дБ/милю	0,8 дБ/милю	128 дБ/милю	16 дБ/милю

Например, сетевая тепловизионная камера с объективом с фокусным расстоянием 60 мм (как в примере на номограмме, приведенной ранее в этом документе) дальность обнаружения при разрешении 6 пикселей на ширине объекта составит 300 м (328 ярдов). В туманный день ослабление составит 10 дБ/км или 1 дБ/100 м, что дает общее ослабление в 3 дБ. Ослабление в 3 дБ означает, что до матрицы тепловизионной камеры доходит лишь 50% излученной объектом тепловой энергии, что приведет к уменьшению входного сигнала. Снижение входного сигнала означает более шумное изображение и уменьшение отношения сигнал-шум. В определенной степени этот эффект может быть скомпенсирован обработкой изображения, но изображение все равно будет содержать меньше информации и поэтому будет выглядеть менее контрастным. Более низкая контрастность означает, что будет труднее различить, например, листву на фоне плоских фоновых поверхностей. Ослабление сигнала ухудшает эффективность камеры и надежность работы встроенных приложений видеоаналитики.

Поэтому следует избегать конструкций с единственной камерой, работающей на пределе своей эффективности. Лучше использовать несколько камер, охватывающих требуемый участок. Это позволит обеспечить надежную работу, сохранив нужное количество пикселей на ширине объекта и получив достаточное количество энергии от объекта.

Дождь и мокрый снег не только рассеивают излучение, но и выравнивают различия температуры на фоновом изображении. Более равномерная температура фона снижает контрастность фона для тепловизионной камеры.

Если рассеяние уменьшает количество энергии поступающей на матрицу камеры, более равномерная температура фона непосредственно не влияет на матрицу. Однако, снижение контрастности затрудняет распознавание деталей фона и делает изображение более плоским. Тепловизионная

камера по-прежнему будет способна распознать человека, поскольку контраст между теплым человеком и холодным фоном будет больше.



*Изображения с тепловизионной камеры (слева) и камеры видимого диапазона (справа) в дождливый день. Тепловизионная камера легко различает людей (обведены кружком).*

В облачный день контрастность фона также снижается, а в солнечный возрастает. Различия температуры усиливаются, поскольку предметы с разным материалом поверхности будут нагреваться в разной степени.



*Резкий контраст фона в солнечный день.*

## **8 Рекомендации по установке**

При установке сетевой тепловизионной камеры следует принимать во внимание ряд соображений. Для достижения наилучших результатов при обнаружении людей температура фона контролируемого объекта должна быть как можно более равномерной и должна быть ниже или выше, чем у типичного человека, который может появиться в поле обзора. Это нужно для того, чтобы человек выделялся на фоне.

Контролируемая область должна находиться в поле прямого обзора камеры и не должна быть заслонена помехами и препятствиями. В зоне наблюдения должны присутствовать один или несколько легко распознаваемых объектов, например, дымоходная труба на фоне неба, здание и т.д. Дымоходная труба будет нагрета; здание также обязательно имеет какую-то утечку тепла.

Проследите, чтобы в поле обзора не было ветвей, флагов и других подобных объектов, которые могут двигаться под воздействием ветра. Камера должна быть закреплена максимально жестко; резкие четкие края должны быть по возможности удалены от контролируемой зоны. Резкий край, расположенный близко к зоне наблюдения, может вызвать ложное срабатывание детектора движения, если камера качнется под действием ветра, и край попадет в поле зрения. Поскольку камера движется, она интерпретирует изменения изображения как движение в поле обзора, несмотря на то, что контролируемый объект неподвижен, а движется сама камера.

Вибрация меньше влияет на тепловизионные камеры с электронной стабилизацией изображения. Однако такие факторы все равно следует учитывать при установке тепловизионной камеры, чтобы оптимизировать эффективность камеры.



*Поле обзора заслонено флагом.*

# О компании Axis Communications

Компания Axis вносит весомый вклад в формирование более разумного и безопасного мира, разрабатывая решения, которые повышают безопасность и эффективность бизнеса. Занимая в отрасли технологий сетевого видео ведущие позиции, компания Axis предоставляет решения для видеонаблюдения, контроля доступа, сетевых домофонов и звукового сопровождения. Эффективность наших решений повышается благодаря приложениям интеллектуальной аналитики и высококачественному обучению.

Около 4000 специалистов компании Axis трудятся более чем в 50 странах мира, вместе с нашими партнерами по технологиям и по системной интеграции разрабатывая и внедряя решения задач, стоящих перед клиентами по всему миру. Компания Axis была основана в 1984 году. Штаб-квартира компании находится в городе Лунд, Швеция