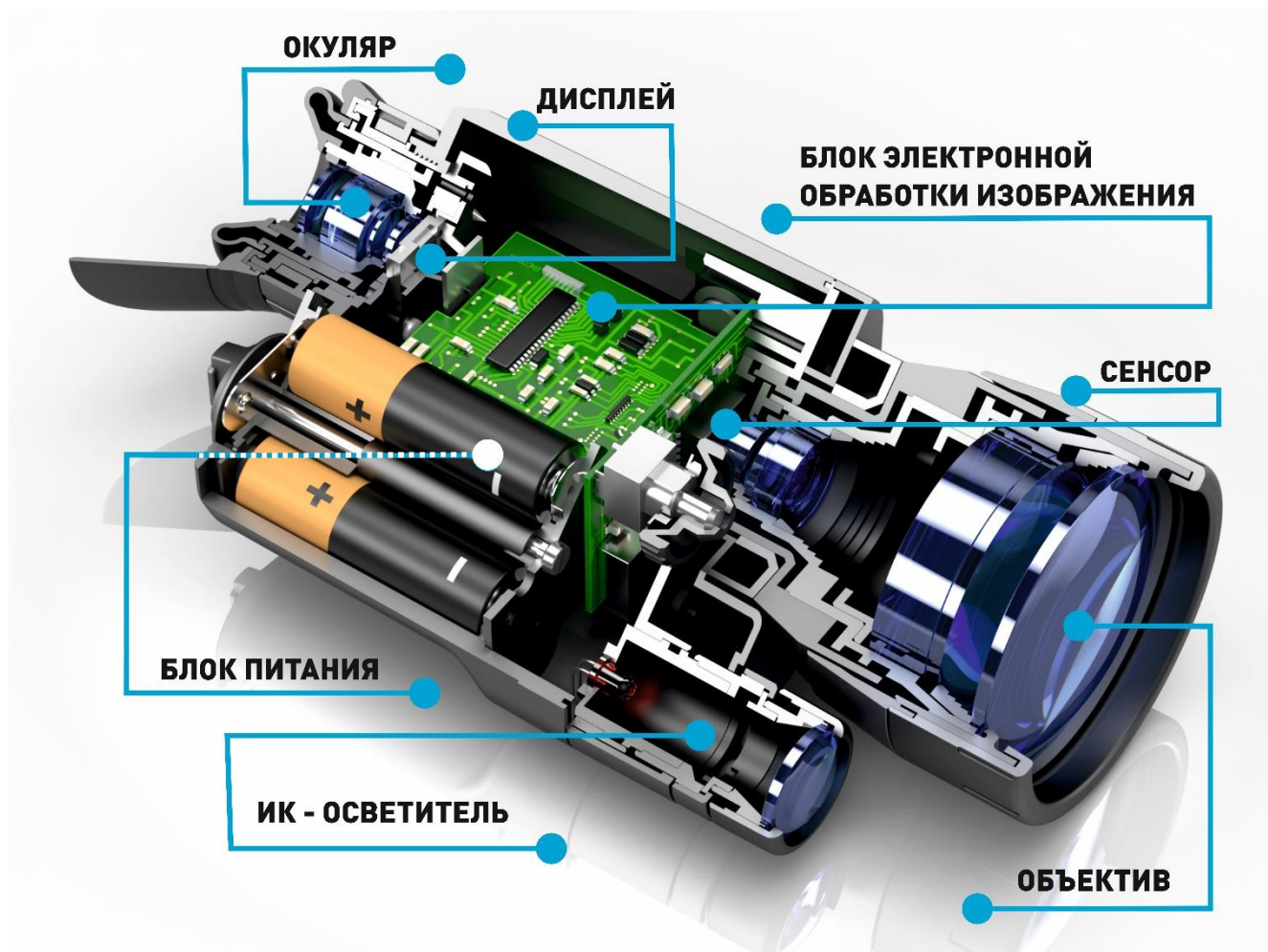


ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО ЦИФРОВЫХ ПРИБОРОВ

В общем случае, цифровой прибор ночного видения состоит из объектива, светочувствительного сенсора, блоков электронной обработки изображения и управления, дисплея и окуляра.



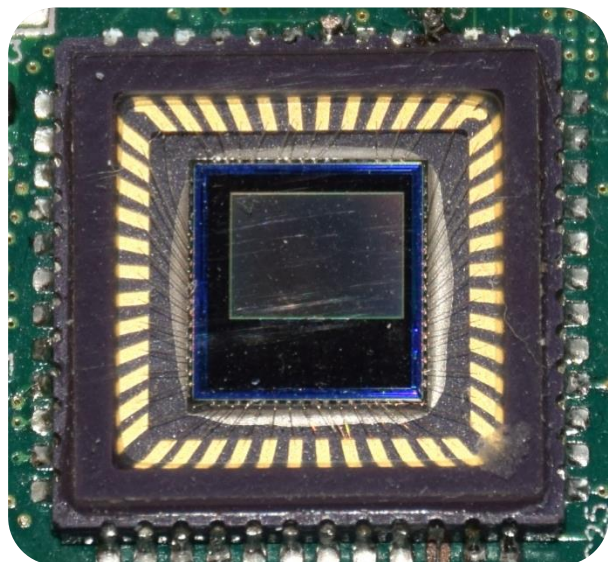
Энергоснабжение цифровых приборов НВ осуществляется от сменных элементов питания (батарей), аккумуляторов того же типоразмера или встроенных аккумуляторов. Приборы могут оснащаться разъемом для подачи питания от внешних источников (например, бортовая сеть автомобиля, компактные внешние аккумуляторы).

Для работы в условиях низких освещенностей цифровые ночные приборы часто оснащаются встроенными инфракрасными осветителями на основе лазерных или светодиодных источников. Для повышения удобства использования цифровые ПНВ могут включать в свой состав систему беспроводного управления основными функциями прибора - в этом случае пользователь может управлять прибором с помощью беспроводного пульта дистанционного управления (ПДУ).

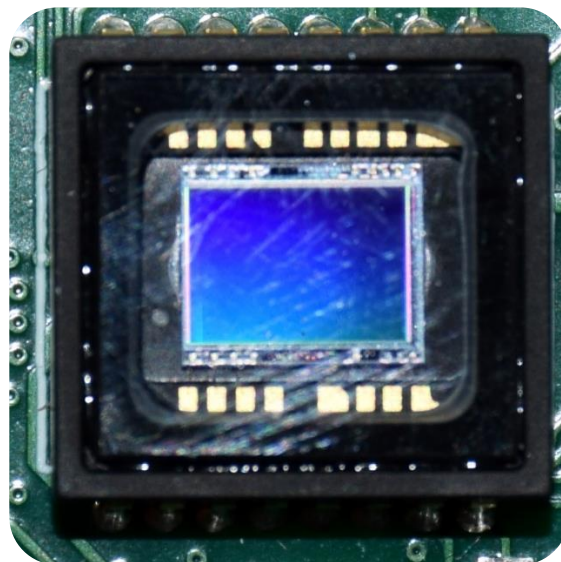
Цифровые прицелы могут комплектоваться креплениями для установки на оружие.

Как в любом оптическом наблюдательном приборе, объектив предназначен для проецирования изображения на сенсор, который, в свою очередь, преобразует отраженный от объекта наблюдения свет в электрический сигнал.

В качестве светочувствительного элемента в цифровых приборах ночного видения применяются сенсоры CCD (ПЗС) или CMOS (КМОП).



СЕНСОР CMOS



СЕНСОР CCD

Обычно блок электронной обработки состоит из одной или нескольких плат (в зависимости от компоновки прибора), на которых расположены специализированные микросхемы, осуществляющие обработку сигнала, считанного с сенсора, и дальнейшую передачу сигнала на дисплей, где и формируется изображение наблюдаемого объекта. На платах располагаются основные органы управления прибором, а также реализуется схема электропитания, как прибора в целом, так и отдельных цепей схемы.

В связи с тем, что в цифровых наблюдательных приборах применяются микродисплеи, для наблюдения изображения используется окуляр, работающий как лупа и позволяющий комфортно рассматривать изображение с увеличением.

Наиболее часто в цифровых приборах ночного видения применяются жидкокристаллические (ЖК) дисплеи просветного типа (с обратной стороны дисплей подсвечивается источником света) или OLED-дисплеи (при пропускании электрического тока вещество дисплея начинает излучать свет).

Применение OLED - дисплеев имеет ряд преимуществ: возможность эксплуатировать прибор при более низких температурах, более высокая яркость и

контраст изображения, более простая и надежная конструкция (отсутствует источник для обратной подсветки дисплея, как в ЖК-дисплеях). Кроме ЖК и OLED-дисплеев, в цифровых приборах могут применяться микродисплеи, изготовленные по технологии LCOS (Liquid Crystal on Silicone) – разновидность дисплеев отражательного типа.

В отличие от приборов ночного видения на базе электронно-оптических преобразователей (назовем их аналоговыми), цифровые приборы ночного видения позволяют реализовать большое количество пользовательских настроек и функций. Например, регулировка яркости, контраста изображения, изменение цвета изображения, ввод в поле зрения различной информации (текущее время, индикация разряда батарей, пиктограммы активированных режимов и т.п.), дополнительное цифровое увеличение, функция «картинка в картинке» (позволяет в отдельном небольшом «окне» выводить в поле зрения дополнительное изображение объекта целиком или какой-то его части, в том числе увеличенное), временное отключение дисплея (для энергосбережения и маскировки наблюдателя за счет исключения свечения работающего дисплея).

Для фиксации изображения наблюдаемых объектов в цифровые ПНВ могут быть интегрированы видеорекордеры, позволяющие производить фото или видеозапись информации.

В цифровых приборах могут быть легко реализованы такие функции как беспроводная (например, Wi-Fi) передача информации (фото, видео) на внешние удаленные приемники; интеграция с лазерными дальномерами (с вводом информации от дальномеров в поле зрения прибора), GPS-датчиками (возможность фиксации координат объекта наблюдения).

Также к преимуществам цифровых приборов следует отнести способность работать в условиях дневной освещенности, не боясь вспышек света и интенсивных источников освещения, которые могут повредить прибор ночного видения на базе ЭОП.

Прицельная метка в цифровых прицелах, как правило, «цифровая», т.е. изображение метки во время обработки видеосигнала накладывается поверх изображения, наблюдаемого на дисплее, и перемещается электронным образом, что позволяет исключить из состава прицела механические узлы ввода поправок, входящие в состав ночных аналоговых или дневных оптических прицелов и требующие высокой точности изготовления деталей и сборки этих узлов.

Дополнительно это исключает такой эффект, свойственный оптическим или ночным аналоговым прицелам, как параллакс, т.к. изображение объекта наблюдения и изображение прицельной сетки находятся в одной плоскости – плоскости дисплея.



В цифровых прицелах может быть реализовано хранение в памяти большого количества прицельных сеток, имеющих различную конфигурацию и цвет, удобная и быстрая пристрелка с помощью функций «пристрелка одним выстрелом» или «пристрелка в режиме Freeze», функция автоматического ввода поправок при изменении дистанции стрельбы, запоминание координат пристрелки для нескольких оружий, индикация наклона (завала) прицела и многое другое.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЦИФРОВЫХ ПРИБОРОВ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ

- Увеличение
- Разрешающая способность
- Чувствительность
- Угол поля зрения
- Удаление выходного зрачка
- Мощность инфракрасного осветителя
- Дальность обнаружения и распознавания

УВЕЛИЧЕНИЕ

Характеристика показывает, во сколько раз наблюдаемое в прибор изображение предмета больше по сравнению с наблюдением предмета невооруженным глазом.

Единица измерения – крат (обозначение «х», например, «2х» - «два крата»).

Для ночных приборов, в т.ч. цифровых, типичные значения увеличения от 1х до 5х, т.к. основная задача ночных приборов – обнаружение и распознавание объектов в условиях низкой освещенности. Рост увеличения в ПНВ приводит к существенному снижению общей светосилы прибора - изображение будет намного темнее, чем в аналогичном приборе с меньшим увеличением.

Падение светосилы с ростом увеличения может быть компенсировано увеличением диаметра объектива, но это, в свою очередь, приведет к увеличению габаритных размеров и веса прибора, что снижает общее удобство использования носимых приборов ночного видения (особенно прицелов, пользователям которых дополнительно приходится удерживать в руках оружие).

Увеличение определяется фокусными расстояниями объектива и окуляра, а также коэффициентом масштабирования (К), равным отношению физических размеров (диагоналей) дисплея и сенсора:

$$\Gamma = \frac{f_{об}}{f_{ок}} \times K = \frac{f_{об}}{f_{ок}} \times \frac{L_{д}}{L_{с}}$$

где:

$f_{об}$ – фокусное расстояние объектива

$f_{ок}$ – фокусное расстояние окуляра

$L_{с}$ – размер диагонали сенсора

$L_{д}$ – размер диагонали дисплея.

Зависимости:

- Чем больше фокусное расстояние объектива, размер дисплея, тем больше увеличение.
- Чем больше фокусное расстояние окуляра, размер сенсора, тем уменьшение.



1x



2x



3x



4x

РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ

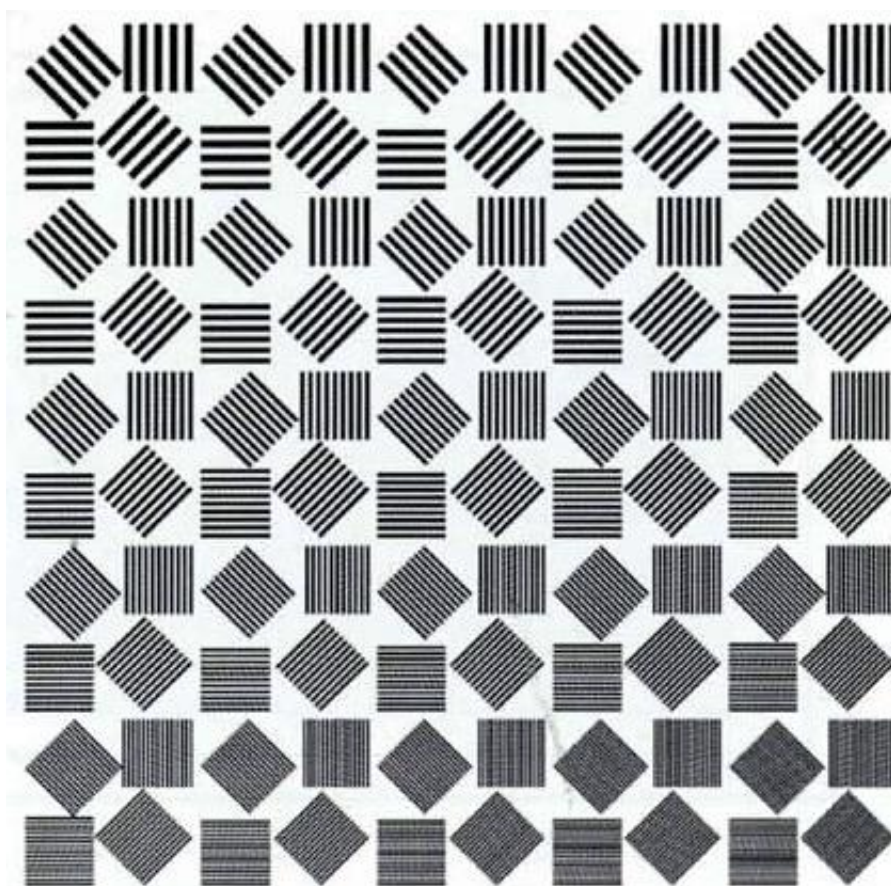
Характеризует способность прибора изображать отдельно две близко расположенные точки или линии. В технических характеристиках прибора этот параметр может быть записан как «разрешение», «предел разрешения», «максимальное разрешение». Это, в принципе, одно и то же. Обычно разрешающая способность указывается в штрихах на миллиметр (штр/мм) или

линиях на миллиметр (лин/мм, lpm в англоязычном написании), что то же самое, но может быть указана и в угловых величинах (секундах или минутах).

Чем больше значение разрешения в штрихах (линиях) на миллиметр и чем меньше в угловых величинах, тем выше разрешающая способность. Чем выше разрешающая способность прибора, тем более четкое изображение видит наблюдатель.

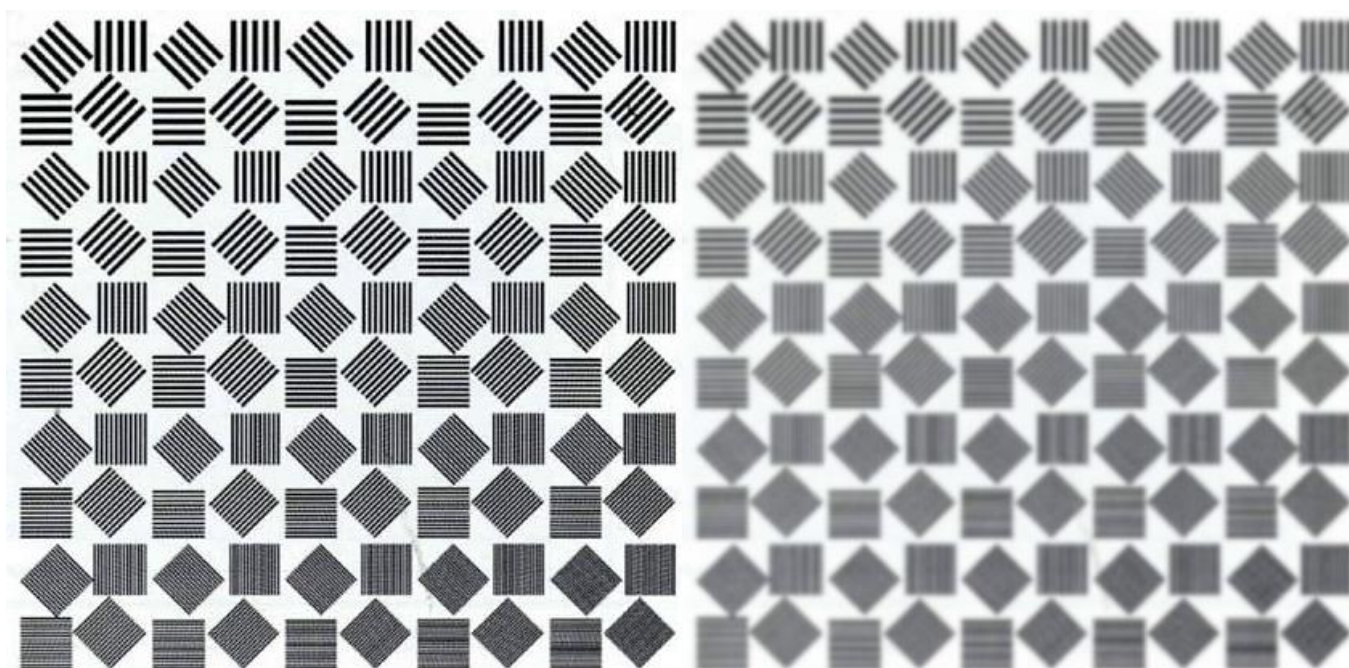
Для приборов ночного видения желательно иметь разрешение не менее 25 штр/мм – такая разрешающая способность позволяет на дистанции около 100 метров отличить фигуру человека от животного или другого объекта со схожими размерами.

При измерении разрешающей способности ПНВ используется специальное оборудование – коллиматор. Коллиматор позволяет создать имитацию изображения специального тест-объекта – подсвечиваемой штриховой миры, удаленного на определенное расстояние (обычно 100 метров).



Штриховая мира

Рассматривая изображение тест-объекта через прибор, судят о разрешающей способности ПНВ – чем более мелкие штрихи миры можно отчетливо видеть раздельно друг от друга, тем выше разрешающая способность.



**Нормальная
разрешающая способность**

**Низкая
разрешающая способность**

Разрешающая способность определяется параметрами оптических элементов прибора, сенсора, дисплея, качеством схемотехнических решений, реализованных в приборе, а также алгоритмами обработки сигналов.

Общая разрешающая способность прибора зависит от параметров объектива. При прочих равных условиях, чем больше диаметр линз объектива, тем больше его увеличение и светосила и тем больше будет видно мелких деталей.

Разрешающая способность прибора зависит от разрешающей способности объектива и окуляра. Объектив формирует изображение объекта наблюдения в плоскости сенсора, и в случае недостаточной разрешающей способности объектива дальнейшее улучшение разрешающей способности прибора невозможно. Точно так же некачественный окуляр способен «испортить» самое четкое изображение, сформированное компонентами прибора на дисплее.

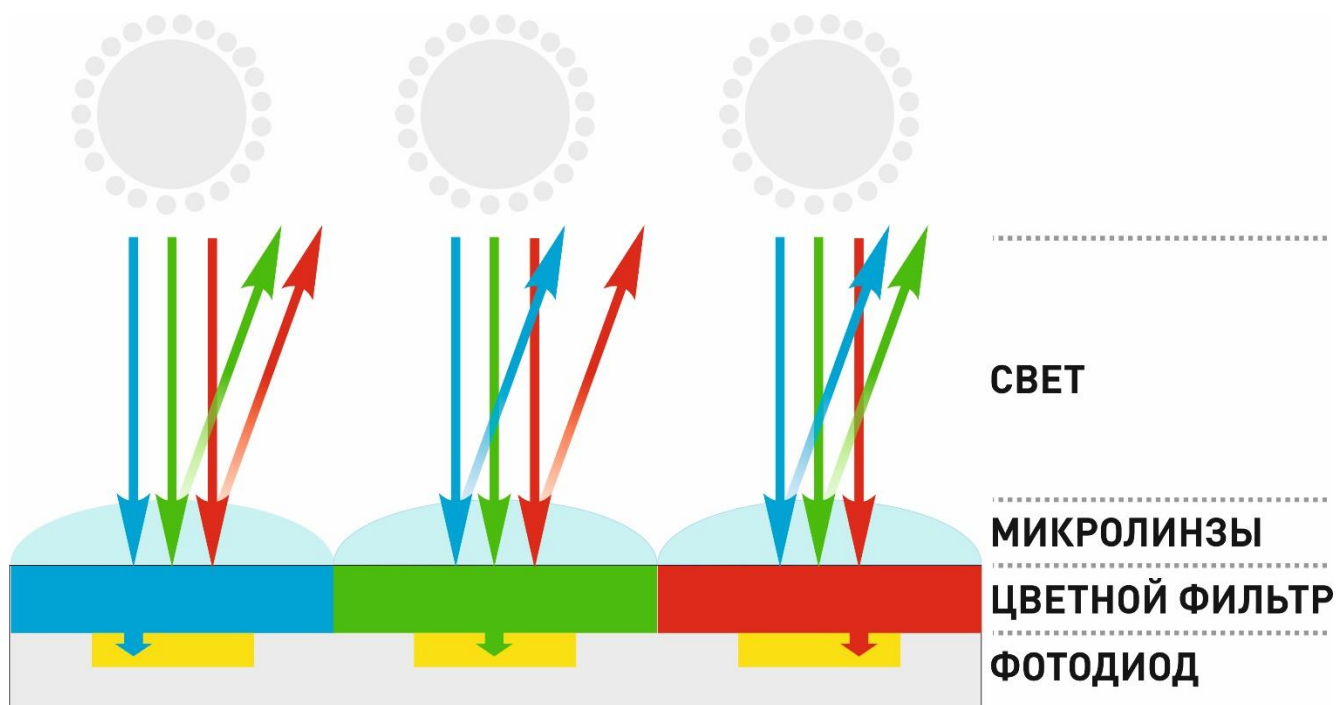
Большое влияние на разрешающую способность прибора оказывают параметры сенсора. В первую очередь, это разрешение сенсора – количество пикселей (обычно указывается как произведение пикселей в строке и в столбце) и их размер.

Зависимость:

Чем больше количество пикселей и чем меньше их размер – тем выше разрешающая способность.

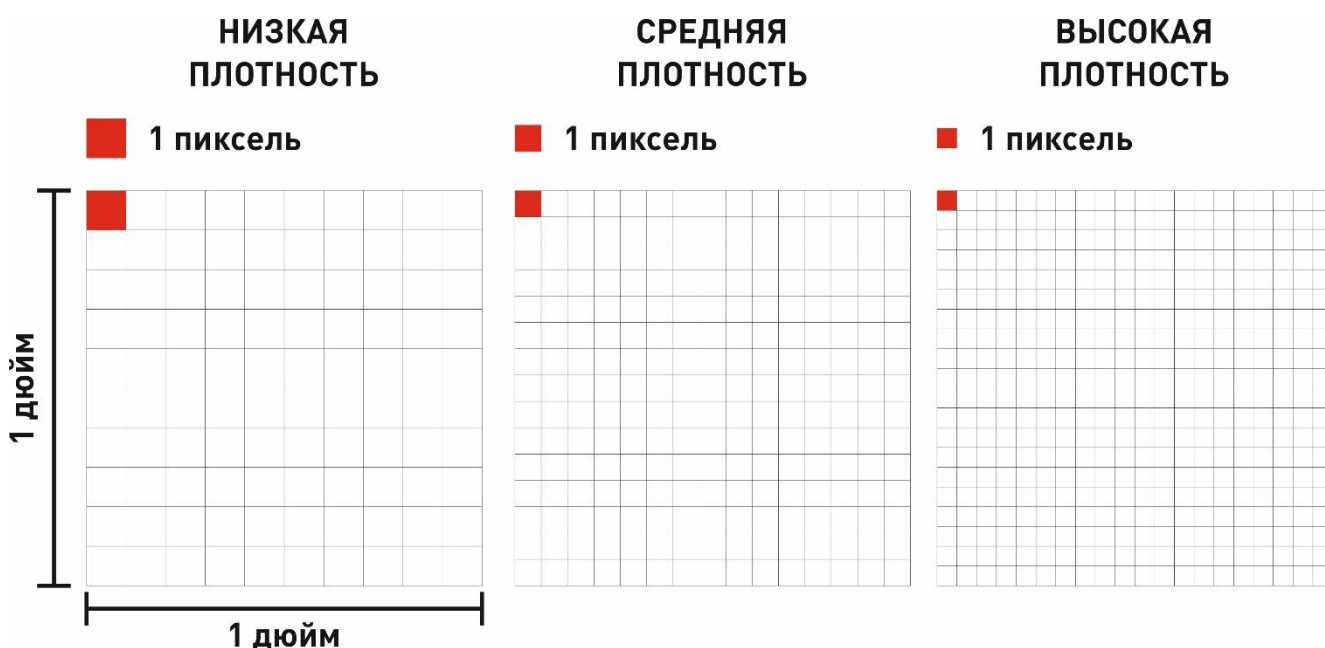
Данное утверждение справедливо при одинаковом физическом размере сенсоров. Сенсор, у которого плотность пикселей на единицу площади больше, имеет и большую разрешающую способность.

В отличие от черно-белых, разрешающая способность цветных сенсоров в общем будет на 30-40% меньше, что обусловлено другой структурой пикселей – один пиксель цветного сенсора состоит из комбинации 3-х субпикселей, каждый из которых регистрирует свет только определенной части спектра (соответственно - красный, синий, зеленый). Это достигается за счет применения цветных фильтров, пропускающих свет только одного цвета. Таким образом, при попадании монохромного излучения на пиксель цветной камеры, сигнал будет зарегистрирован только каким-нибудь одним субпикселем, в то же время у черно-белого сенсора сигнал будет зарегистрирован каждым пикселем, на который попадет излучение. Это одна из причин, по которым применение цветных сенсоров в приборах ночного видения ограничено, а часто нецелесообразно.



Разрешающая способность прибора зависит также от параметров дисплея, на котором формируется изображение. Как и в случае с сенсором, определяющее значение оказывает разрешение дисплея (количество пикселей) и их размер. Плотность пикселей в дисплее характеризуется таким показателем как PPI

(сокращение от английского "pixels per inch") - это показатель, обозначающий число пикселей, приходящихся на один дюйм площади.



В случае прямого переноса изображения (без масштабирования) с сенсора на дисплей разрешающие способности обоих должны быть одинаковы. В этом случае исключается снижение разрешения прибора (если разрешение дисплея меньше, чем разрешение сенсора) или неоправданное применение дорогостоящего дисплея (если разрешение дисплея выше, чем у сенсора). В случае если с сенсора формируется сигнал в формате стандартного аналогового ТВ-сигнала (например, формата PAL (625 строк в кадре) или NTSC (525 строк в кадре)), использование сенсоров с разрешением выше чем, разрешение формата ТВ-сигнала, становится нецелесообразным.

В цифровых приборах ночного видения могут применяться различные алгоритмы обработки полезного сигнала, способные повлиять на общее разрешение прибора. В первую очередь речь идет про «цифровое зумирование», когда сформированное сенсором изображение подвергается цифровой обработке и «переносится» на дисплей с некоторым увеличением. В этом случае происходит снижение общей разрешающей способности прибора. Аналогичный эффект можно наблюдать в цифровых фотоаппаратах при использовании функции «цифрового зума».

Также на разрешающую способность оказывает влияние биннинг (алгоритм повышения чувствительности прибора, состоящий в суммировании сигналов нескольких соседних пикселей сенсора, в результате чего происходит пропорциональное снижение разрешающей способности).

Наряду с указанными выше факторами, нужно упомянуть еще о некоторых, способных снизить разрешение прибора. Это различного рода шумы,

искажающие полезный сигнал и в конечном счете ухудшающие качество изображения. Можно выделить следующие виды шума:

- **Фотонный шум.** Является следствием дискретной природы света. Фотоны света падают на фоточувствительную поверхность сенсора неравномерно по времени и не точно в пространстве.

- **Шум темнового сигнала («шум-снежок»).** Если объектив прибора закрыть светонепроницаемой крышкой, то на дисплее получим “темновые” кадры. Основная причина возникновения этого шума - термоэлектронная эмиссия электронов (самопроизвольное испускание электронов в результате разогрева материала сенсора). Чем ниже температура, тем ниже и темновой сигнал, т.е. меньше шум.

- **Шум переноса.** Во время переноса заряда внутри сенсора некоторая часть электронов, составляющих полезный сигнал, теряется. Они захватываются на дефектах и примесях, присутствующих в материале кристалла сенсора.

- **Шум считывания.** Когда сигнал, накопленный в пикселе сенсора, выводится из сенсора, преобразуется в напряжение и усиливается, в каждом элементе появляется дополнительный шум, называемый шумом считывания.

Для борьбы с шумами в цифровых приборах применяются различные программные алгоритмы обработки изображения, которые часто называют алгоритмами шумоподавления.

Помимо шума, существенно снизить разрешение могут помехи, возникающие из-за ошибок при компоновке прибора (взаимное расположение печатных плат и соединительных проводов, кабелей внутри прибора) или из-за ошибок при трассировке печатных плат (взаимное расположение проводящих дорожек, наличие и качество экранирующих слоев). К возникновению помех способны привести ошибки в электрической схеме прибора: неправильный подбор радиоэлементов для реализации различных фильтров, внутрисхемного питания электрических цепей прибора. Поэтому разработка электрических схем, написание программного обеспечения по обработке сигналов, трассировка плат являются важными и сложными задачами при проектировании цифровых ПНВ.

Разрешение изображения, формируемого цифровым ПНВ, зависит от условий наблюдения. Чем больше уровень освещенности объекта наблюдения, тем более четкое изображение мы будем видеть в прибор. Исходя из этого можно сделать вывод, что максимальное разрешение цифрового ПНВ будет достигнуто в практически дневных условиях наблюдения или при использовании мощного ИК-осветителя.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ

Для характеристики чувствительности цифровых видеокамер часто используют величину минимального уровня освещенности на объекте наблюдения, при которой прибор еще способен формировать изображение.

Это определение является наиболее подходящим для цифровых приборов, «работающих» в видимом диапазоне спектра. Для видимого диапазона единицей измерения чувствительности является световая величина – «люкс».

Так как цифровые ПНВ предназначены для работы ночью, когда в освещении преобладает инфракрасное излучение, для характеристики их чувствительности более корректным является использование энергетических величин, описывающих световой поток.

Таким образом, показатель чувствительности цифровых ПНВ можно выразить как минимальную величину мощности инфракрасного излучения, которое поступает на вход цифрового ПНВ и при которой он способен формировать изображение с разрешающей способностью распознавания объекта наблюдения (соответствует разрешению в 25 штр/мм).

Кроме того, различают понятие **спектральной чувствительности** – минимальной мощности излучения на конкретной длине волны инфракрасной области спектра. При указании спектральной чувствительности указывается длина волны излучения, на которой получено это значение чувствительности.

В отличие от освещенности в видимом диапазоне спектра, освещенность в инфракрасной области спектра невозможно измерить в люксах. В данном случае целесообразно использовать универсальную единицу – ватт.

Чувствительность прибора зависит от следующих параметров:

- Светосила и качество объектива
- Параметры сенсора - физический размер, его тип и чувствительность
- Параметры дисплея – яркость и контраст свечения, разрешение
- Алгоритмы обработки сигнала
- Качество схемотехнических решений, реализованных в приборе

Для получения высокой чувствительности прибора ночного видения необходимо максимально собрать все фотоны света, поступающие на вход (объектив) прибора и без потерь «перенести» их в светочувствительную плоскость сенсора. Важную роль в процессе «переноса» играет объектив и такие его параметры как светосила, количество линз в оптической схеме, качество просветляющих покрытий на поверхностях линз, наличие чернения торцов линз (для исключения светорассеивания внутри объектива).

Зависимости:

Чем выше светосила объектива (увеличивается при увеличении диаметра входного зрачка и уменьшении фокусного расстояния объектива) тем выше общая чувствительность прибора.

Чем больше линз применяется в объективе, тем меньше светосила и, соответственно, чувствительность прибора.

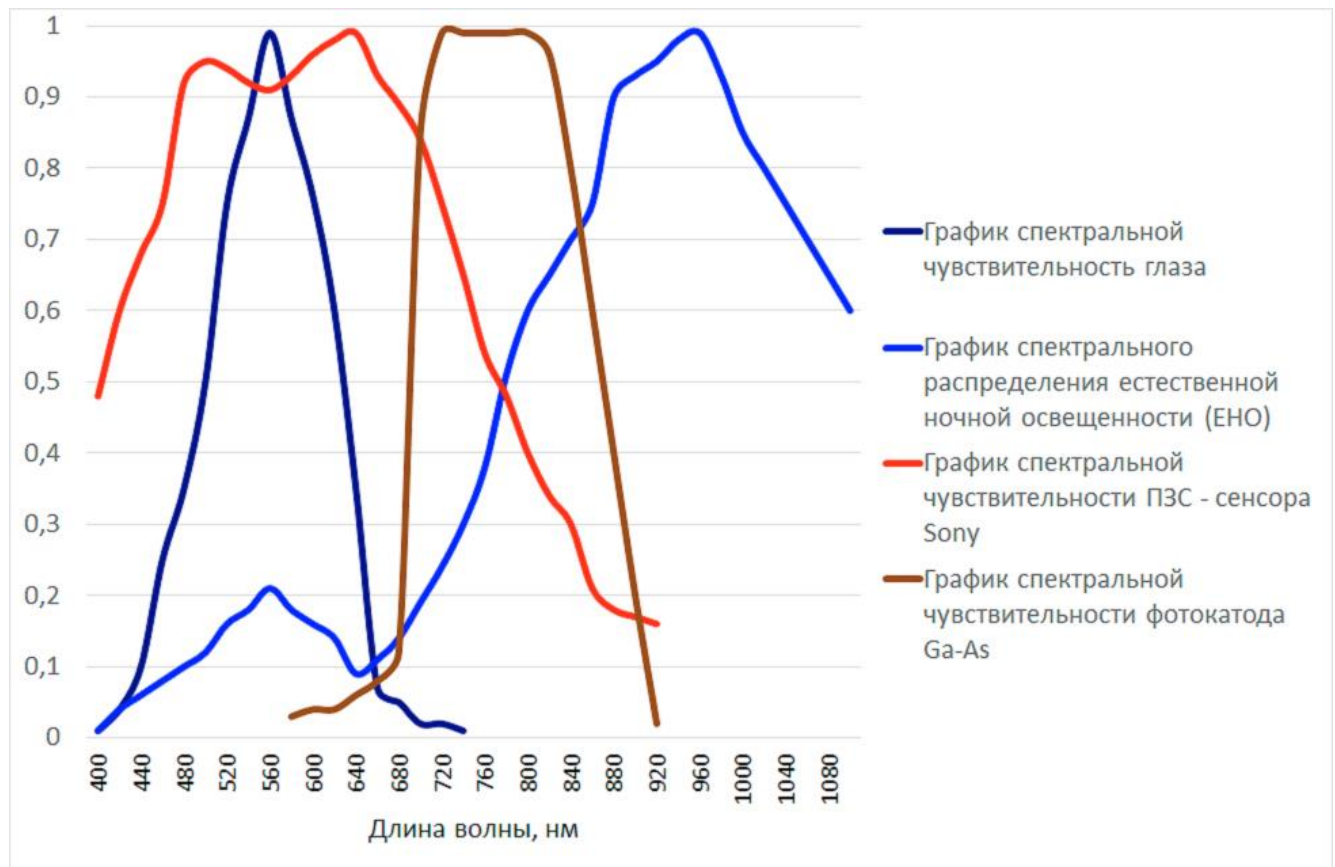
Чем выше коэффициенты светопропускания линз объектива, тем выше чувствительность.

Сенсор – основной приемник и преобразователь света в электрический сигнал. Именно он в большей степени определяет чувствительность прибора. Чувствительность сенсора зависит от размеров пикселей и плотности их «упаковки» в сенсоре. При прочих равных условиях, чем больше размер пикселя, тем выше чувствительность сенсора, чем меньше соотношений общей площади сенсора к суммарной площади пикселей, тем выше общая чувствительность сенсора.

В последнее время, многие производители дешевых приборов ночного видения используют недорогие сенсоры для фотоаппаратов (зачастую цветные), имеющие хорошую чувствительность в видимом (дневном) диапазоне спектра, но очень низкую – в инфракрасном. При этом в описании параметров таких приборов отсутствует какая-либо информация о чувствительности, но с гордостью указывается огромное количество мегапикселей. Легко сделать вывод, что, несмотря на высокое разрешение сенсора, ночью такой прибор без мощного источника подсветки не способен сформировать качественное изображение, т.к. сенсор имеет низкую чувствительность в инфракрасном диапазоне спектра.

Вторая распространённая ошибка – указание чувствительности цифровых ночных приборов в светотехнических единицах измерения светового потока (освещенность) - люксах, причем значения чувствительности могут достигать десятитысячных долей люкса, что значительно выше, чем у приборов ночного видения на базе ЭОП поколения 2+ и выше. Объяснить такую «сверхчувствительность» можно простым способом. Как правило, для измерения освещенности используется люксметр, который имеет спектральную характеристику, совпадающую со спектральной характеристикой глаза человека (см. график). Как и человеческий глаз, люксметр способен регистрировать (измерять) освещенность только в видимом диапазоне спектра, от 380 до 780 нм. Это означает, что при измерении освещенности ночью с помощью люксметра будут получены значения освещенности, близкие к нулю, т.к. ночью излучение видимого диапазона практически отсутствует. Зато присутствует сильное инфракрасное излучение (см. график естественной ночной освещенности (ЕНО))

ночного свода), которое люксметр не способен зарегистрировать, но которое с успехом «регистрируют» приборы ночного видения. Для примера на рисунке приведены графики спектральной чувствительности ПЗС-сенсора SONY и ЭОП поколения 2+.



В качестве параметра, характеризующего возможность прибора ночного видения уверенно работать ночью, применяется показатель спектральной чувствительности. Как правило, он указывается на одной или нескольких длинах волн спектрального диапазона. Для понимания «качества» цифровых приборов ночного видения наиболее оптимальным будет наличие информации о спектральной чувствительности, например, для длин 780 ... 810 нм (среднее значение инфракрасного излучения звездного неба; сенсоры в данном диапазоне имеют среднюю чувствительность) 910 ... 940 нм (высокое значение инфракрасного излучения звездного неба; невидимый ИК-диапазон, сенсоры в котором все еще чувствительны).

Сравнивая показатели спектральной чувствительности нескольких цифровых приборов, можно сделать определенные выводы о том, как они будут «видеть» ночью. Причем следует помнить, что показатель чувствительности цифрового прибора определяется не только чувствительностью сенсора, но и зависит от таких параметров и характеристик прибора, как разрешающая способность объектива и окуляра, разрешение дисплея, светосила объектива, качество сенсора (отсутствие шумов), качества схемотехнических решений (отсутствие помех), применяемых алгоритмов программной обработки сигнала.

В современных приборах ночного видения применяются два основных типа сенсоров – ПЗС (CCD) и КМОП (CMOS). Основное отличие между этими типами заключается в схемотехническом решении организации считывания сигнала с пикселей. У ПЗС (приборы с зарядовой связью) сигналы с каждого пикселя переносятся последовательно на выход сенсора, а затем происходит усиление общего сигнала. У КМОП сигналы с каждого пикселя считываются параллельно и усиливаются «индивидуальными» усилителями для каждого пикселя. По этой причине (необходимость использования части площади сенсора под большое количество усилителей) плотность «упаковки» пикселей у КМОП сенсоров ниже, чем у ПЗС сенсоров, а соответственно ниже чувствительность. В последние годы появляются новые технологии изготовления КМОП сенсоров (такие как EXMOR фирмы SONY, BSI (Toshiba, Omnivision)) суть которых в увеличении плотности пикселей на площади сенсора, что приводит к увеличению общей чувствительности сенсора. Параметры таких сенсоров КМОП вплотную приблизились к параметрам ПЗС-сенсоров, а лучшие образцы по отдельным параметрам их даже превосходят.

Дисплей прибора ночного видения также оказывает влияние на общую чувствительность прибора, в первую очередь за счет своей разрешающей способности и параметров яркости/контраста свечения.

Можно сделать определенные заключения по тому, как будут работать цифровые ПНВ по сравнению с аналоговыми ПНВ на базе ЭОП поколения 2+, 3. На графике чувствительности видно, что и ПЗС-сенсор, и фотокатод электронно-оптического преобразователя поколения 2+/3 имеют лучшую чувствительность в ИК - диапазоне 750-850 нм и худшую - в диапазоне свыше 900 нм.

Сопоставляя эти данные с графиком спектрального распределения естественной ночной освещенности, можно сделать вывод, что в пассивном режиме (без применения дополнительной инфракрасной подсветки) преимущество (более высокую чувствительность) ночью будут иметь ПНВ на базе ЭОП поколения 2+ или 3.

Важный момент – в диапазоне свыше 900 нм цифровые ПНВ еще обладают некоторой чувствительностью (с ростом длины волны она снижается плавно), в то время как чувствительность ПНВ на ЭОП поколения 2+/3 стремительно падает до нуля. По этой причине ночные приборы на ЭОП неэффективны при использовании с «невидимыми» ИК – осветителями (например, 915 нм или 940 нм), цифровые же ПНВ имеют с ними высокую совместимость. Учитывая, что приборы на базе ЭОП (в т.ч. поколения 2+) зачастую требуют дополнительной подсветки при использовании во внегородских условиях (например, на охоте), фактор совместимости с невидимыми ИК – осветителями является весомым преимуществом цифровых ночных приборов.

В контексте рассматриваемой темы чувствительность представляет собой минимальную величину мощности инфракрасного излучения. **Поэтому чем меньше ее числовое значение в ваттах, тем она выше.**

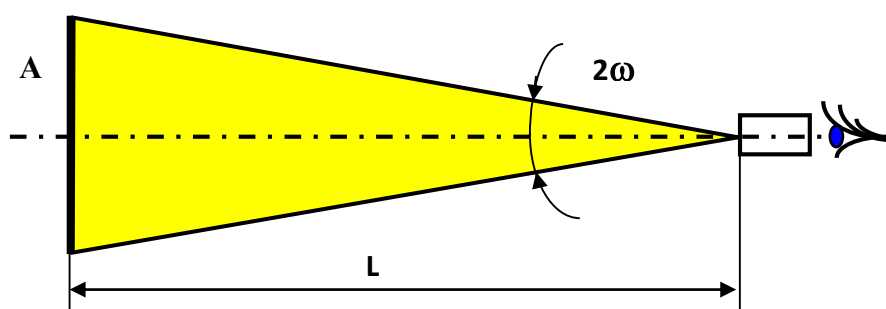
Для примера сравним замеренные значения чувствительности ночных приборов Yukon и Pulsar (см. таблицу) на длине волны 780 нм. Так, прибор Digisight N750 на длине волны 780 нм будет на порядок чувствительнее ПНВ Spartan 3x42, но менее чувствителен, нежели прибор Phantom 3x50 поколения 2+. На длине волны 915 нм уже Digisight N750 будет иметь преимущество перед Phantom 3x50 поколения 2+.

Сравнительные данные по спектральной чувствительности приборов ночного видения на длинах волн 780 нм и 915 нм (на примере ПНВ марок Pulsar и Yukon)

ПНВ	Поколение	Спектральная чувствительность на 780нм, мВт	Спектральная чувствительность на 915нм, мВт
Digisight N750	Цифровой	$\approx 2,5 \cdot 10^{-5}$	$\approx 1,2 \cdot 10^{-4}$
Phantom 3x50	II+	$\approx 1,5 \cdot 10^{-5}$	$\approx 5 \cdot 10^{-4}$
Spartan 3x42	I	$\approx 25 \cdot 10^{-5}$	$\approx 8000 \cdot 10^{-4}$
Spartan 4x50	I	$\approx 15 \cdot 10^{-5}$	$\approx 2500 \cdot 10^{-4}$

ПОЛЕ ЗРЕНИЯ

Характеризует размер пространства, который одновременно можно рассмотреть через прибор. Обычно поле зрения в параметрах приборов указывается в градусах (угол поля зрения на рисунке ниже обозначен как 2ω) или в метрах для какой-то конкретной дистанции (L) до объекта наблюдения (линейное поле зрения на рисунке обозначено как A).



Поле зрения цифровых приборов ночного видения определяется фокусом объектива ($f_{об}$) и физическим размером сенсора (B). Обычно в качестве размера сенсора при расчете поля зрения берут ширину (размер по горизонтали), в результате получают угловое поле зрения по горизонтали:

$$2\omega = 2 \times \arctg \frac{B}{2 * f_{об}}$$

Зная размер сенсора по вертикали (высоту) и по диагонали, точно также можно рассчитать угловое поле зрения прибора по вертикали или по диагонали.

Зависимость:

Чем больше размер сенсора или меньше фокус объектива, тем больше угол поля зрения.

Чем больше поле зрения прибора, тем комфортнее вести наблюдение за объектами – нет необходимости постоянно перемещать прибор, чтобы рассмотреть интересующую часть пространства.

Важно понимать, что поле зрения обратно пропорционально увеличению – с ростом кратности прибора его поле зрения уменьшается.

В то же время при увеличении поля зрения произойдет снижение дистанции обнаружения и распознавания, т.к., во-первых, будет уменьшаться увеличение, во-вторых, при использовании ИК-осветителей для комфортного наблюдения потребуется ИК-осветитель с большим углом расходимости излучения (примерно должен соответствовать углу поля зрения прибора), что в свою очередь приведет к снижению освещенности по площади, а соответственно к уменьшению дальности освещения ИК-осветителя.



УДАЛЕНИЕ ВЫХОДНОГО ЗРАЧКА

Удаление выходного зрачка - это расстояние от наружной поверхности последней линзы окуляра до плоскости расположения глаза наблюдателя, при котором наблюдаемое изображение будет оптимальным (максимальное поле зрения, минимальные искажения). Наиболее важным этот показатель является для прицелов, для которых обычно удаление выходного зрачка должно быть не менее 50 мм (оптимально – 80-100 мм). Такое большое удаление выходного зрачка необходимо, чтобы исключить травмирование наблюдателя окуляром прицела при отдаче во время выстрела. Как правило, у ночных приборов ночного видения удаление выходного зрачка примерно равно длине наглазника, который необходим, чтобы ночью замаскировать свечение экрана ЭОП или дисплея.

ДАЛЬНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ.

Дальность обнаружения – максимальное расстояние от прибора наблюдения до некоего объекта (обычно человек), который может быть обнаружен при наблюдении в прибор.

Дальность распознавания – максимальное расстояние, на котором наблюдатель может различить тип объекта (человек, животное, сооружение и т.д.).

Эти величины не являются постоянными для конкретного прибора и зависят от следующих параметров:

- Увеличения;
- Разрешающей способности;
- Чувствительности прибора;
- Условий наблюдения;
- Свойств объекта наблюдения;
- Степени контраста между объектом и фоном;
- Использования ИК-осветителя.

Приборы, у которых увеличение больше (при прочих равных параметрах) позволяют больше приблизить рассматриваемые объекты, а соответственно дальность обнаружения и распознавания у таких приборов будет больше.

Разрешающая способность прибора в большей степени оказывает влияние на дальность распознавания – высокое значение разрешения прибора позволяет наблюдателю увереннее распознать тип объекта наблюдения за счет более четкого изображения мелких деталей объекта.

Подобным образом на дальность обнаружения и распознавания влияет и чувствительность цифрового ПНВ. Приборы с более высокой чувствительностью позволяют получить более четкое, контрастное изображение объекта наблюдения на большей дистанции, чем приборы с меньшей чувствительностью.

Помимо параметров прибора, на дальность обнаружения и распознавания существенно влияют условия наблюдения и свойства самого объекта. Условия наблюдения будут определяться уровнем естественной ночной освещенности, прозрачностью атмосферы. При снижении освещенности и прозрачности атмосферы (наличие дымки, тумана, пылевой взвеси и т.п.) дальности обнаружения и распознавания будут уменьшаться.

Не в меньшей степени на дальность обнаружения и распознавания будут влиять отражательные свойства объекта наблюдения, которые определяются цветом и фактурой (глянцева, шероховатая) поверхности объекта, а также степенью контраста объекта по сравнению с фоном, на котором этот объект наблюдается. Например, обнаружить и распознать животное, находящееся на заснеженном поле значительно легче, чем на фоне края леса, зеленом лугу или поле.

В условиях низкой естественной освещенности дальность обнаружения и распознавания можно увеличить за счет применения ИК-осветителей. Помимо увеличения общей освещенности объекта, в некоторых случаях излучение ИК-осветителя хорошо отражается, например, от глаз животного, в результате чего его можно обнаружить на достаточно больших дистанциях – при наблюдении в ПНВ глаза будут отображаться как светящиеся точки.

ИК-ОСВЕТИТЕЛИ

Отдельно стоит коснуться применения ИК-осветителей совместно с цифровыми приборами ночного видения. Обычно приборы ночного видения имеют встроенный ИК-осветитель. Одновременно в качестве аксессуаров на рынке присутствует большое количество ИК-фонарей, которые предназначены для совместного использования с приборами ночного видения.

По типу источника излучения ИК-осветители можно разделить на две основные группы – светодиодные и лазерные.

В светодиодных осветителях используется полупроводниковый светодиод, излучающий свет на определенной длине волны инфракрасного диапазона. На рынке встречаются светодиодные осветители как с различной длиной волны излучения (наиболее часто 805 нм, 850 нм, 940 нм), так и с различной мощностью.

Лазерные осветители изготавливаются на основе лазерных полупроводниковых диодов. По отношению к светодиодным, лазерные имеют существенные преимущества.

Во-первых, их излучение является когерентным, т.е. все фотоны света, составляющие излучение, имеют одинаковую энергию, направление и длину волны излучения. За счет этого пучок излучения имеет высокую плотность

энергии в узком спектральном диапазоне, которая сохраняется даже на больших дистанциях. Светодиоды же имеют рассеянное излучение, характеризующееся широким спектральным диапазоном и большими потерями энергии при удалении от источника излучения. Это означает, что при одинаковой мощности излучения лазерный осветитель способен «осветить» объект наблюдения, расположенный на более дальних расстояниях, чем светодиодный осветитель, т.е. «дальность работы» лазерного осветителя существенно выше, чем диодного.

Во-вторых, энергопотребление лазерных осветителей заметно ниже, чем светодиодных с такой же мощностью излучения.

Основными параметрами осветителей являются мощность излучения и угол расходимости.

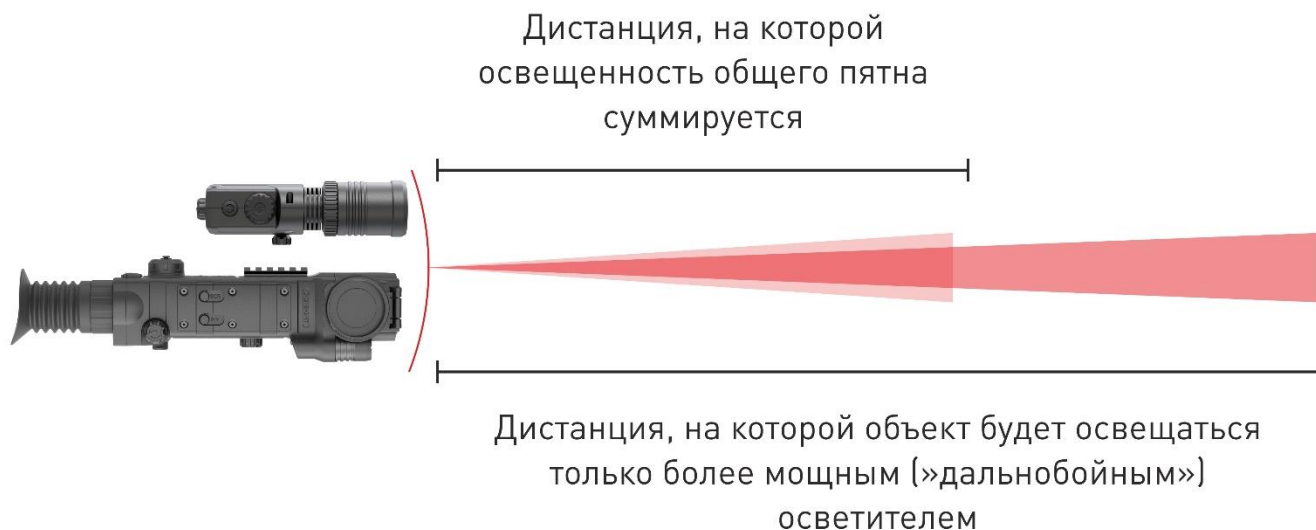
Мощность излучения является основным определяющим фактором дальности освещения ИК-осветителя. Зависит от типа применяемого источника, оптической схемы и качества изготовления линз и просветляющих покрытий. У большинства выпускаемых светодиодных ИК-осветителей максимальная мощность излучения составляет от 30 до 100 мВт (низкие значения мощности у встраиваемых в ПНВ осветителей, более высокие – у отдельных осветителей, выпускаемых как аксессуары).

У лазерных осветителей максимальная мощность может колебаться от 10 до 50 мВт при примерно таком же энергопотреблении, как и у светодиодных осветителей.

При одновременном использовании нескольких осветителей (например, встроенного и дополнительного внешнего) общая освещённость пятна излучения будет суммироваться, но только в случае, если объект наблюдения находится на дистанции, не превышающей максимальную дистанцию «работы» каждого из двух осветителей (т.е. каждый из осветителей способен самостоятельно осветить на этой дистанции объект наблюдения). Если же дистанция до объекта наблюдения будет превышать максимальную дистанцию «работы» одного из осветителей, то фактически объект наблюдения будет освещаться только одним осветителем – более мощным, т.е. суммирования освещенности пятна на такой дистанции не произойдет.



При совместной работе осветителей:



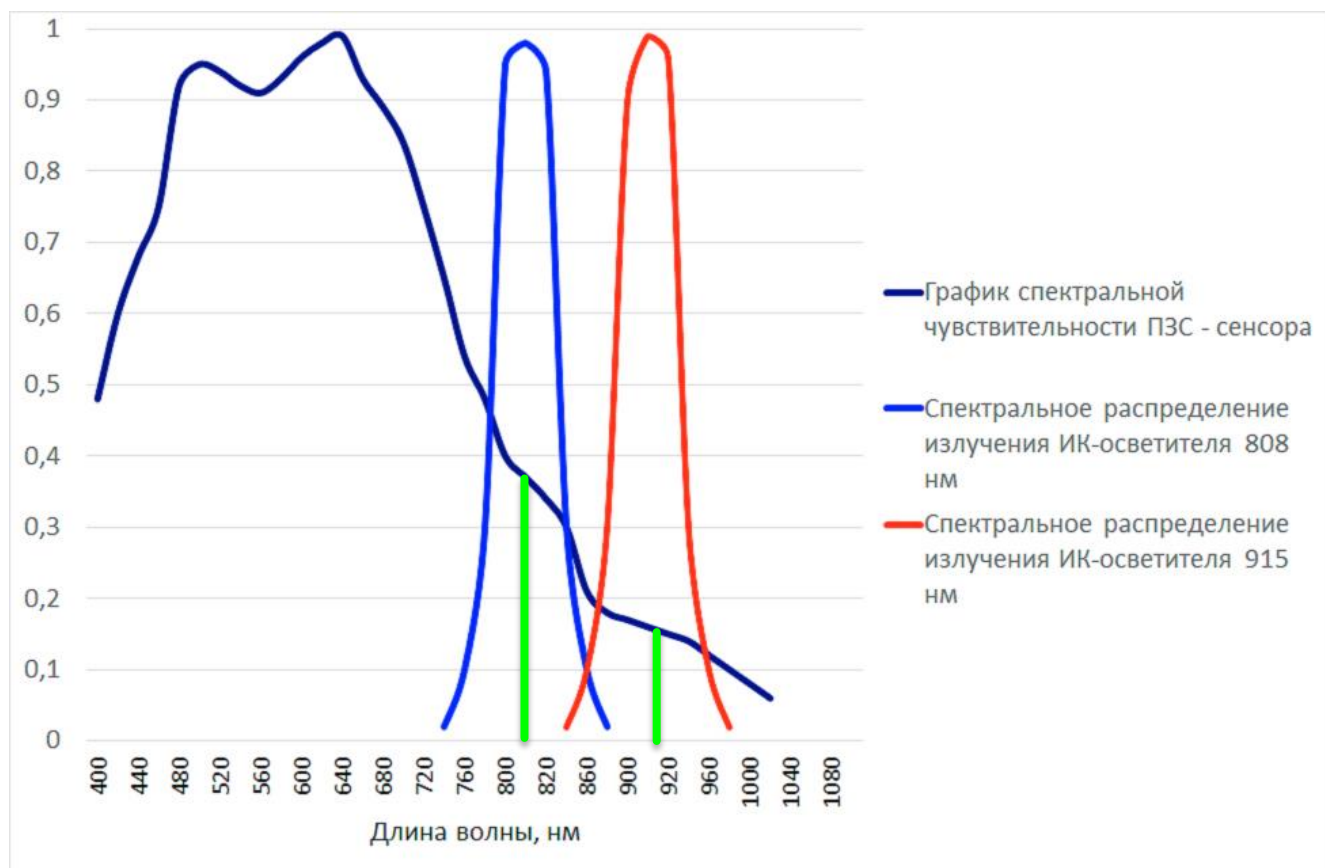
К недостаткам лазерных осветителей можно отнести некоторую опасность, которую они представляют для человеческого глаза при прямом наблюдении излучения в случае, если излучение превышает 1-ый класс лазерной безопасности. По этой причине в большинстве стран к применению на гражданском рынке разрешены только лазерные осветители, имеющие 1-ый класс лазерной безопасности (полностью безопасные). Именно это обстоятельство во многом сдерживает более широкое распространение лазерных осветителей.

Правильно спроектированные лазерные осветители 1 класса лазерной безопасности превосходят по эффективности работы обычные ИК-диодные осветители, так как при сопоставимых показателях дальности освещения они имеют значительно меньшие габариты и существенно меньшее потребление энергии.

Угол расходимости излучения ИК-осветителя должен быть близок к углу поля зрения ПНВ, чтобы освещать все пространство, видимое в прибор. Чем больше угол расходимости, тем меньше освещенность по площади и соответственно меньше дальность освещения. На практике, ИК-осветители имеют неравномерное распределение энергии (освещенности) по площади пятна излучения. Как правило, центральная зона пятна имеет большую энергию, чем краевая зона. Фактически это означает, что при увеличении угла излучения пользователь будет в большей степени замечать падение освещенности в

краевой зоне пятна, в то время как центральная зона будет освещаться более интенсивно.

При выборе ИК-осветителя необходимо учитывать спектральный диапазон работы прибора ночного видения, с которым будет использоваться осветитель. Т.е. максимальную эффективность (дальность освещения объекта наблюдения) будет иметь осветитель с длиной волны излучения, на которой прибор ночного видения имеет более высокую чувствительность. Например, при использовании подсветки с длинной волны излучения 808 нм цифровые приборы будут «видеть» лучше, чем с 940 нм, т.к. чувствительность сенсора в диапазоне 808 нм выше.



Хотелось бы отметить еще одно достоинство цифровых приборов ночного видения при совместном использовании с ИК осветителями. Как известно, по сравнению с электронно-оптическими преобразователями (ЭОП), сенсоры цифровых приборов имеют меньшую общую чувствительность, но значительно более высокую спектральную чувствительность в диапазоне 900 нм и выше. Излучение в таком диапазоне уже является невидимым для глаз людей и животных. Все это позволяет с успехом применять ИК осветители «невидимого» диапазона для дополнительной подсветки объектов наблюдения при использовании цифровых приборов ночного видения. В то же время с аналоговым прибором ночного видения такой «невидимый» осветитель будет практически бесполезен. Особенно это актуально при использовании цифровых ночных приборов на охоте: охотник может уверенно использовать «невидимый» осветитель для дополнительной подсветки – зверь его не видит и не пугается.

Влияние мощности осветителей и их типа на дальность распознавания в зависимости от чувствительности прибора наблюдения раскрыто в **таблицах 1 (для лазерных осветителей) и 2 (для светодиодных ИК-осветителей)**. Данные приведены для следующих условий: безлунная ночь, облачно, атмосфера прозрачная (отсутствует туман, дымка). В качестве объекта наблюдения использовалась ростовая фигура человека в защитной одежде, расположенная на фоне кромки леса. Угол расходимости излучения осветителей составлял 5-7 град.

Таблица 1

Чувствительность на длине волны 780 нм, мВт	Laser 780 нм			Чувствительность на длине волны 915 нм, мВт	Laser 915 нм		
	Дистанция распознавания, м.				Дистанция распознавания, м.		
	10 мВт	20 мВт	50 мВт		10 мВт	20 мВт	50 мВт
$400 \cdot 10^{-5} - 500 \cdot 10^{-5}$	40-50	60-75	90-110	$100 \cdot 10^{-4} - 150 \cdot 10^{-4}$	30-40	50-60	70-80
$150 \cdot 10^{-5} - 200 \cdot 10^{-5}$	60-80	80-100	120-140	$35 \cdot 10^{-4} - 50 \cdot 10^{-4}$	50-70	70-90	100-120
$25 \cdot 10^{-5} - 70 \cdot 10^{-5}$	100-120	125-160	170-220	$15 \cdot 10^{-4} - 30 \cdot 10^{-4}$	80-90	90-110	140-160
$15 \cdot 10^{-5} - 20 \cdot 10^{-5}$	130-150	170-190	230-270	$6 \cdot 10^{-4} - 10 \cdot 10^{-4}$	100-120	130-150	180-200
$6 \cdot 10^{-5} - 10 \cdot 10^{-5}$	160-180	210-230	280-320	$4 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-4}$	130-160	160-180	210-230
$1 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-5}$	200-260	280-320	380-440	$1 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-4}$	170-220	190-240	250-300

Таблица 2

Чувствительность на длине волны 780 нм, мВт	LED 805 нм			LED 850 нм			Чувствительность на длине волны 915 нм, мВт	LED 940 нм		
	Дистанция распознавания, м			Дистанция распознавания, м				Дистанция распознавания, м		
	20 мВт	50 мВт	100 мВт	20 мВт	50 мВт	100 мВт		20 мВт	50 мВт	100 мВт
$400 \cdot 10^{-5} - 500 \cdot 10^{-5}$	35-45	60-80	120-140	20-30	50-70	80-110	$100 \cdot 10^{-4} - 150 \cdot 10^{-4}$	20-25	40-60	70-90
$150 \cdot 10^{-5} - 200 \cdot 10^{-5}$	50-60	90-110	150-180	40-50	80-90	130-150	$35 \cdot 10^{-4} - 50 \cdot 10^{-4}$	30-40	60-80	110-140
$25 \cdot 10^{-5} - 70 \cdot 10^{-5}$	70-80	120-140	210-250	60-70	110-120	170-200	$15 \cdot 10^{-4} - 30 \cdot 10^{-4}$	50-60	90-100	150-170
$15 \cdot 10^{-5} - 20 \cdot 10^{-5}$	85-90	150-160	270-300	80-90	130-140	210-220	$6 \cdot 10^{-4} - 10 \cdot 10^{-4}$	65-70	120-130	190-210
$6 \cdot 10^{-5} - 10 \cdot 10^{-5}$	100-110	170-190	310-340	100-110	160-180	240-280	$4 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-4}$	80-90	140-160	220-250
$1 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-5}$	120-150	210-260	350-380	120-160	190-240	300-350	$1 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-4}$	100-130	170-200	270-320