

## Оптимизация конструктивных параметров телевизионной камеры, работающей в условиях естественной ночной освещённости

Гудков А.А., Ляшко О.М.

Белорусский национальный технический университет

Низкоуровневые телевизионные приборы предназначены для наблюдения объектов в условиях естественного ночного освещения. С появлением высокочувствительных ПЗС появилась возможность отказаться от дорогостоящих и ненадёжных ЭОП в конструкции таких приборов. Видение при предельно низких освещённостях требует оптимизации конструктивных параметров камеры. Критерием оптимизации является предельная дальность видения объекта определенных размеров при конкретных условиях наблюдения, заданном уровне видения и ночном режиме работы камеры. Последнее означает режим увеличения чувствительности матрицы путем объединения пикселей.

В соответствии с общепринятым подходом дальность информационного прибора может быть найдена путём решения одного из двух уравнений, каждое из которых соответствует определенному критерию видения.

При малых освещённостях объект виден при условии, что воспринимаемое глазом отношение сигнал/шум  $SN(L)$  больше порогового  $SN_{por}$ :

$$SN(L) > SN_{por}. \quad (1)$$

По рекомендациям IRE (Institute of Radio Engineers)  $SN_{por}$  принимается равным 2,5.

С другой стороны, объект виден в том случае, если его контраст  $KTR(L)$  превышает пороговое значение  $K_{por}(L)$ :

$$KTR(L) > K_{por}(L). \quad (2)$$

Ниже представлены выражения для контраста и отношения сигнал/шум в развернутом виде.

$$SN(L) = \frac{|no(L) - nf(L)|}{\sqrt{\sigma^2}} \cdot T(L) \cdot \frac{16}{\pi^2} \cdot \frac{1}{M(L)},$$

$$KTR(L) = \frac{|no(L) - nf(L)|}{2 \cdot nds + no(L) + nf(L)} \cdot T(L) \cdot \frac{16}{\pi^2},$$

где  $no(L)$ ,  $nf(L)$ ,  $nds$  – число сигнальных, фоновых и темновых электронов, отнесённое к одному пикселю;  $T(L)$  – ЧКХ системы;  $M(L)$  – функция, описывающая пространственную интегрирующую способность зрительного анализатора (интегрирование происходит, если размер изображения объекта на мониторе меньше 11.6 мрад).

Величина  $\sigma^2$  – дисперсия числа электронов, генерируемых одним пикселем, является суммой дисперсий дробового шума матрицы и шума считывания. Дисперсия дробового шума равна среднему значению чисел электронов, создаваемых излучением объекта и фона. Анализ паспортных данных ПЗС-матрицы позволил оценить дисперсию шума считывания.

Нами рассчитана предельная дальность обнаружения объекта размером 0,6 м с помощью телевизионной камеры на ПЗС-матрице ICX-249AL. Предельная дальность определялась, как меньший результат из решений уравнений (1) и (2).

На рис. 1 представлены результаты вычислений отношения сигнал/шум и контраста изображения при различных уровнях естественной ночной освещенности (ЕНО).

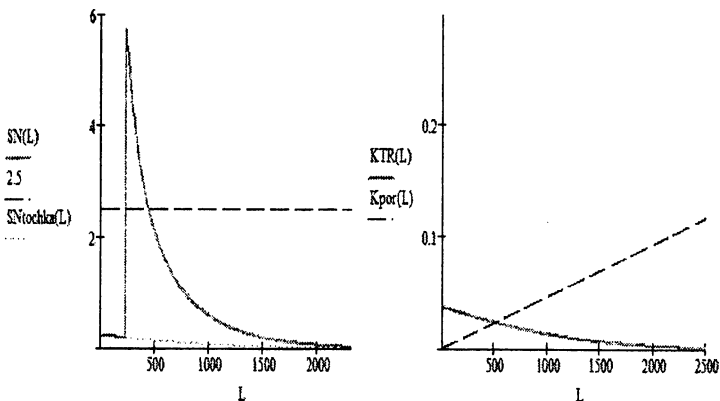


Рис. 1

Установлено, что при освещенностях порядка 1 лк и менее воспринимаемое отношение сигнал/шум превышает пороговое значение в некотором интервале дальностей объекта благодаря интегрированию шумов глазом. Предельная дальность видения ограничена контрастом, поскольку пороговый контраст зрительного анализатора при наблюдении изображения малой яркости на экране монитора в условиях ЕНО заметно возрастает. Поэтому предлагается при наблюдении в условиях малой освещенности увеличить яркость экрана (тем самым снизить пороговый контраст), вводя дополнительный усилитель видеосигнала. Тогда предельная дальность видения будет ограничена шумами приемника и возрастет.

В дальнейшем предполагалось, что такой усилитель входит в состав прибора, и при расчетах дальности при малых освещенностях коэффициент усиления варьировался в диапазоне от 1 до 8.

Расчет дальности при различном относительном отверстии объектива показал, что возрастание фокусного расстояния объектива увеличивает предельную дальность за счет увеличения размеров изображения и оправдано при освещенностях, больших 0,05 лк. Короткофокусные объективы обеспечивают большие дальности при освещенностях менее 0,05 лк.

С другой стороны, использование короткофокусного объектива ограничивает область рабочих освещенностей сверху. Чтобы обеспечить работу камеры при высоких освещенностях следует использовать апертурную диафрагму, ослабители либо уменьшать время накопления.

При диаметре 88 мм оптимальным является объектив с фокусным расстоянием 105,6 мм, что соответствует относительному отверстию 1:1,2 и полю зрения 4,4°.

Установлено, что ухудшение разрешения объектива (увеличение диаметра кружка рассеяния) вызывает заметное снижение дальности при высоких освещенностях (рис. 2). При малых освещенностях влияние качества объектива не столь существенно, поскольку диапазон видения сужается, и размер изображения объекта превышает диаметр кружка рассеяния. Значительное увеличение диаметра кружка рассеяния приводит к увеличению пороговой освещенности. При освещенностях до

$2 \cdot 10^{-3}$  лк оптимальным является объектив с диаметром кружка рассеяния, превышающим размер пикселя  $a$  не более, чем в 8 раз, что составляет 66 мкм или 8 штрихов на миллиметр.

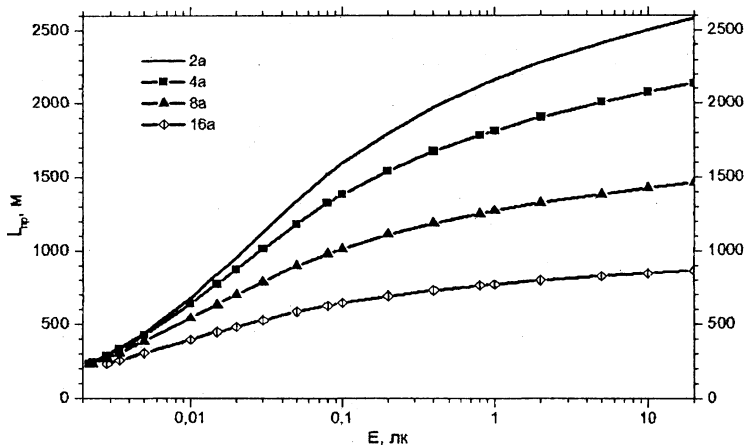


Рис. 2

Объединение пикселей, т.е. суммирование сигналов соседних пикселей, увеличивает уровень сигнала, отношение сигнал/шум в точке, но снижает разрешение и выигрыш за счет интегрирования шумов глазом. Оптимальным является объединение 16 элементов. Объединение пикселей оправдано при освещенностях ниже некоторого значения, при котором дальность видения в обычном и ночном режимах одинакова.

Суммирование сигналов соседних пикселей уменьшает предельную освещенность. Но при большом числе слагаемых заметного снижения предельной освещенности не происходит. Поэтому рекомендуется объединять не более 36 пикселей.

В результате расчетов дальности видения оптимизированы относительное отверстие и разрешающая способность объектива, число объединяемых пикселей ПЗС-матрицы. Камера с оптимизированными параметрами позволит обнаружить объект на расстоянии порядка 1000 м при освещенности от 0,01 лк.