

УДК 622.232.8:621.384.3.01:531.714.2

Высокочувствительные телевизионные камеры для обеспечения безопасности

Волков В. Г.

Постановка задачи: рассматриваются новые высокочувствительные телевизионные (ТВ) камеры для обеспечения работы служб безопасности. Показаны их возможности, описаны технические параметры. **Цель работы:** показать последние достижения в области создания конкретных ТВ камер различного типа для обеспечения безопасности. **Используемые методы:** сравнительный научно-технический анализ возможностей ТВ камер и вопросов их применения в системах обеспечения безопасности. **Новизна:** впервые показаны в систематизированном виде технические параметры высокочувствительных ТВ камер для устройств обеспечения безопасности. Все ТВ камеры выполнены либо в виде портативных, либо стационарных устройств. **Практическая значимость:** показана эффективность и перспективность применения высокочувствительных ТВ камер в системах обеспечения безопасности благодаря их высоким параметрам, возможности обеспечения круглосуточного наблюдения и работы в ухудшенных условиях видения.

Ключевые слова: ТВ камера, чувствительность, отношение сигнал/шум, разрешение, динамический диапазон, размер пикселя, размер активной области, масса, габариты, энергопотребление.

Актуальность

В настоящее время большой интерес проявляется к созданию высокочувствительных телевизионных (ТВ) камер для специальной техники [1-5]. На основе таких ТВ камер созданы высокоэффективные низкоуровневые телевизионные системы [1-3]. Они предназначены для широкого применения в службах обеспечения безопасности: охрана объектов методом патрулирования или стационарным методом, обеспечения работы пограничных, таможенных служб, служб МВД и МЧС, для работы бойцов спецподразделений, разведки.

Методы повышения чувствительности ТВ камер с использованием традиционных матриц ПЗС

Для повышения чувствительности ТВ камер могут быть использованы следующие варианты [1-5]:

- 1) охлаждение матриц ПЗС;
- 2) повышение чувствительности за счет применения растровой оптики и светосильных объективов,
- 3) использование так называемых ночных режимов № 1 и № 2,
- 4) применение гибридно-модульных преобразователей изображения,
- 5) использование матриц ПЗС с электронным умножением.

Известно, что охлаждение матрицы ПЗС на каждые 9°C приводит к уменьшению ее темнового тока в 2 раза [2]. Поэтому применяют охлаждение матриц ПЗС путем заливки жидкого азота в сосуд Дьюара, в котором смонтирована матрица. При этом температура охлаждения составляет 77 К. Чаще используют охлаждение с помощью одно- или двухкаскадных

термоэлектрических охладителей (ТЭО). Но такие технические решения не получили широкого распространения.

Применение растровой оптики – микролинзы на каждом пикселе (рис. 1) позволяет увеличить охват излучение и в сочетании со светосильными объективами на входе ТВ камеры (относительное отверстие 1:0,8 вместо 1:1,2 или 1:1,4) повысить соответственно чувствительность матрицы ПЗС.

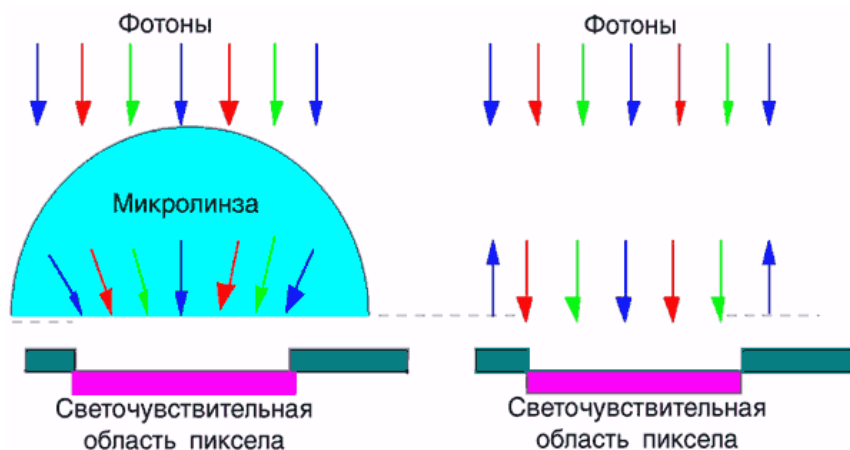


Рис. 1. Применение растровой оптики – микролинзы на каждом пикселе позволяет увеличить охват излучение

Фирма Sony повысила чувствительность матриц ПЗС EXview приблизительно в 4 раза за счет повышения величины абсолютной чувствительности и ее сдвига в ближнюю инфракрасную (ИК) область спектра.

Созданы новые типы матриц ПЗС HAD CCD, которые имеют отношение сигнал/шум свыше 115 дБ по сравнению с 20 дБ, для обычных матриц ПЗС [2]. На рис. 2 представлены кривые спектральной чувствительности обычной матрицы ПЗС фирмы Sony (ICX058CL) EXview HAD CCD (ICX258AL) [1, 2].

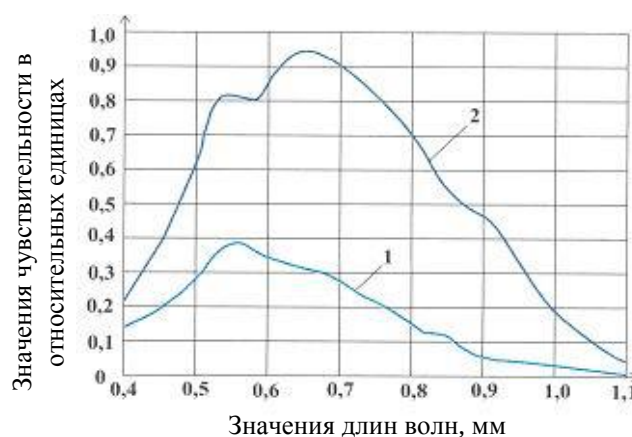


Рис. 2. Сравнительные спектральные характеристики:
кривая 1 – обычная матрица ПЗС, модель ICX058CL фирмы Sony;
кривая 2 – матрица EXview HAD CCD, модель ICX258AL той же фирмы

Конкретным примером таких ТВ камер могут служить модели фирмы Watec Ltd (Япония) (таблица 1 приложения) – рис. 3. Однако чувствительность таких ТВ камер все еще сравнительно не высока.



Рис. 3. ТВ камеры фирмы Watec Ltd.:
а – в корпусном; б – в бескорпусном исполнении

Фирме Sony удалось достичь оптимизации стыковки пикселя и микролинзы и разработать новую матрицу ПЗС Super HAD CCD II с улучшенной структурой. При этом была обеспечена чувствительность от 1000 мВ на квадратный микрон относительно отверстие объектива 1:5,6 для цветных сенсоров и 1:8 для черно-белых, время накопления 1 с. Это позволило расширить динамический диапазон сенсора на 6 дБ. Фирме удалось также добиться уменьшения расфокусировки, которое происходит при использовании объективов без ИК коррекции [6].

Более того, область фоточувствительного слоя пикселя была увеличена. Это привело к высокой эффективности преобразования оптического сигнала в электрический сигнал. В этой матрице ПЗС улучшилась цветопередача. За счет применения нового химического состава наносимых цветных пигментных элементов повысилась чувствительность в синей части рабочей области спектра, а также были достигнуты сбалансированные показатели спектральной чувствительности. Благодаря этому удалось снизить уровень шумов цветности. Сохранена высокая устойчивость к засветкам характерная для предыдущих моделей матриц ПЗС (Super HAD, Exview HAD). За счет механически отключаемого ИК фильтра реализован режим «День/Ночь». При этом минимальная рабочая освещенность в цветном режиме составляет до 0,15 лк, а в черно-белом режиме – до 10^{-3} лк (при относительном отверстии объектива 1:1,2). За счет оптимизации цифровой обработки сигнала в ТВ камерах достигнуто разрешение 580 ТВ линий в цветном и 700 ТВ линий в черно-белом режиме. Используется при этом функция подавления шумов (SSNR3) в условиях пониженной освещенности. При настройке предоставляется возможность выбора одного из 32 уровней подавления шумов. При этом достигается экономия на 70% дискового пространства видеорегистратора при

записи видеосигнала от ТВ камеры, т.к. шумы воспринимаются видеорегистратором как дополнительные элементы изображения и не могут быть подвергнуты эффективной компрессии. Для устранения дрожания изображения, возникающего при установке ТВ камер в условиях для наружного наблюдения (например, из-за проезжающего мимо большегрузного транспорта), предусмотрена цифровая стабилизация изображения (DIS). Инверсия ярких засветок связана с возможностью процессора цифровой обработки сигнала затемнять особо яркие участки кадра. Это существенно улучшает различимость прилегающих к ним участков изображения. Данный режим полезен, например, для распознавания номерных знаков автомобилей с включенными фарами. Режим расширенного динамического диапазона (SSDR) позволяет использовать ТВ камеры в условиях присутствия в зоне наблюдения как хорошо, так и плохо освещенных объектов одновременно. SSDR подавляет особо яркие участки изображения и улучшает контраст для слабо освещенных деталей [6].

Режим суммирования кадров (кадрового накопления) (DSS) позволяет существенно повысить чувствительность ТВ камеры в условиях пониженного уровня освещенности. Например, при суммировании 256 кадров минимальная рабочая освещенность составляет 4×10^{-5} лк в черно-белом режиме (относительное отверстие объектива – 1:1,2). Максимальное количество суммируемых кадров можно настроить из меню. В процессе настройки можно выбрать любой из 14 языков интерфейса, включая русский. Предусмотрен детектор движения и настройка 8 его зон при детектировании движения, для каждой из которых может быть индивидуально определена чувствительность [6].

На рис. 4 представлен внешний вид таких ТВ камер, а на рис. 5-11 наглядно иллюстрируются их возможности.

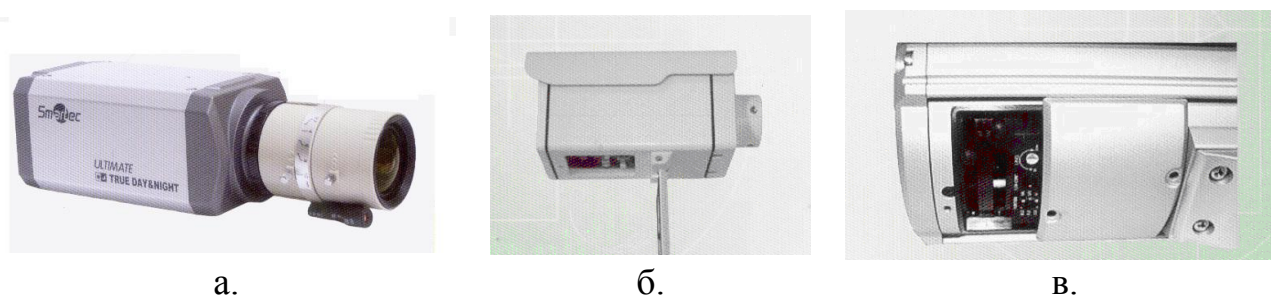
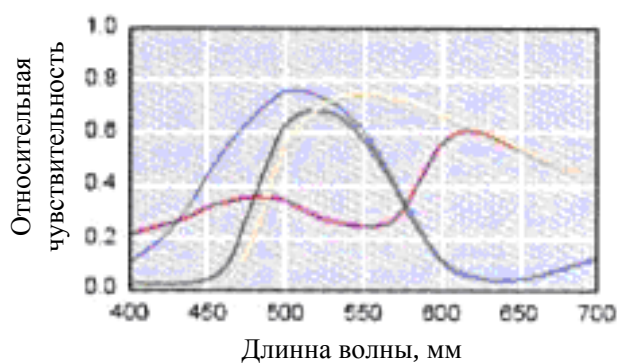
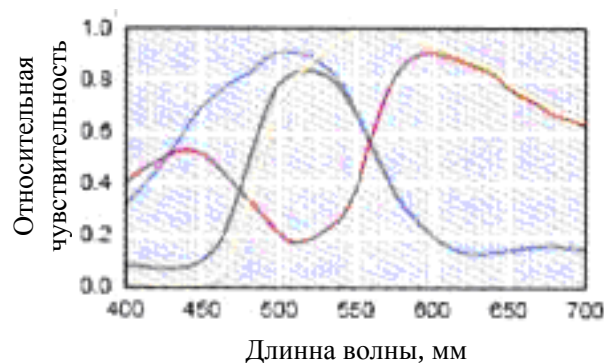


Рис. 4. Внешний вид ТВ камер на основе матриц ПЗС Super HAD CCD II:
а – STC-3080; б – STC-3630 ULTIMATE; в – STC-3680 ULTIMATE

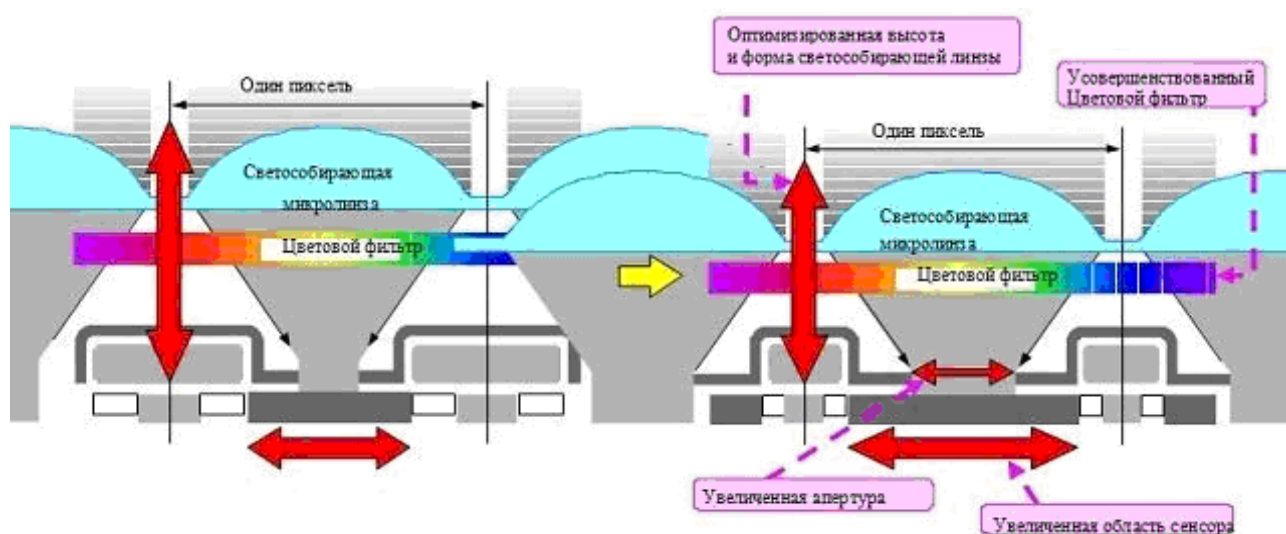


а.



б.

Рис. 5. Сравнение характеристик спектральной чувствительности матриц ПЗС Super HAD CCD и Super HAD CCD II



а. Super HAD CCD

б. Super HAD CCD II

Рис. 6. Изменения в матрице Super HAD CCD II, которые привели к повышению чувствительности

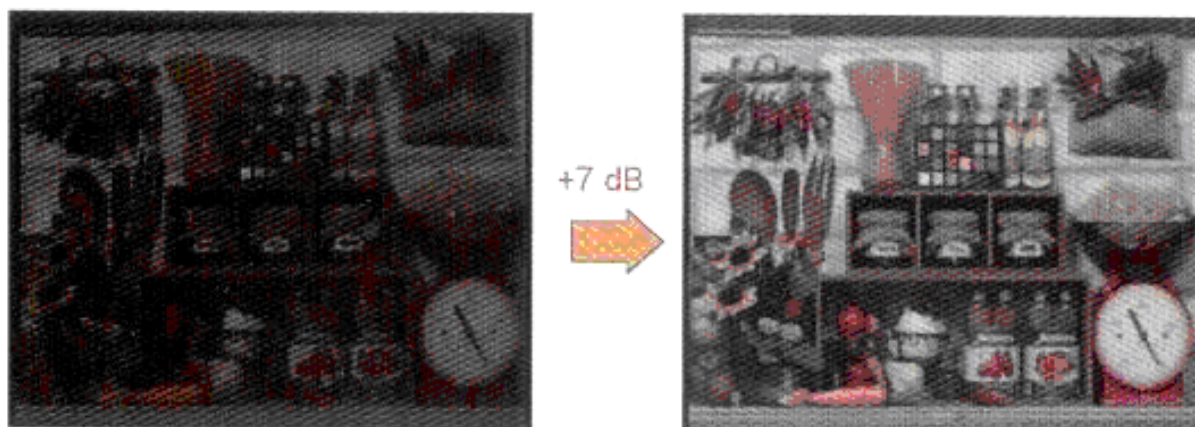


Рис.7. Сравнение чувствительности Super HAD CCD и Super HAD CCD II, у которой расширен динамический диапазон на 7 дБ

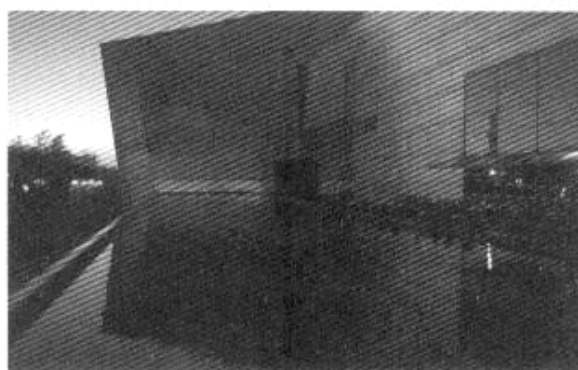


Рис. 8. Улучшение четкости изображения в условиях пониженной освещенности за счет применения функции цифрового подавления шумов



Рис. 9. Инверсия ярких засветок, позволяющая распознать номерной знак автомобиля с включенными фарами



Рис. 10. Возможность одновременного наблюдения в зоне наблюдения как хорошо, так и плохо освещенных объектов за счет режима расширенного динамического диапазона

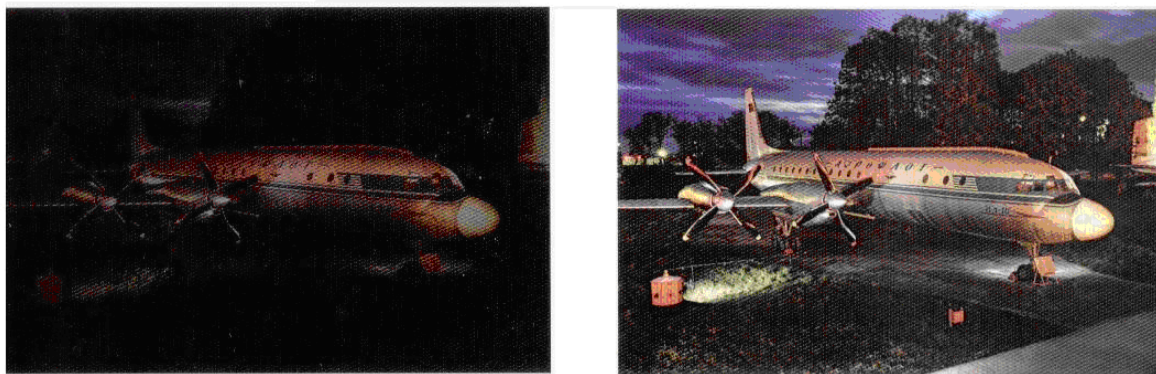


Рис. 11. Режим суммирования кадров
для повышения чувствительности ТВ камеры

Фирма ЭВС (РФ) [7-9] использует накопление заряда в матрице ПЗС от 0,02 с до 3 с (ТВ камеры фирмы Panasonic WV-BF550, WV-BL730), а также фирмы КАМРО (KC1003C) и РСАМ (РС-360D) с режимом «Electronic sensitivity enhancer». Однако при движении объекта наблюдения не происходит накопления заряда. В связи с этим такие ТВ камеры не нашли применения в системах безопасности.

Фирма ЭВС применяет метод «Technology EVS» В ТВ камерах VNC-542, VNC-742 это связано с суммированием зарядового изображения по площади непосредственно в матрице ПЗС. Суть метода в том, что дополнительное суммирование (накопление) сигнала производится в самой матрице ПЗС до того, как сигнал попал в выходное устройство и к нему присоединился шум считывания. В результате происходит сложение сигнала без сложения шума, а шум добавляется в выходном устройстве ПЗС один раз на каждую сумму сигналов. В результате 4-х кратное сложение приводит к 4-х кратному росту отношения сигнал/шум, а не к 2-х кратному, как для обычных методов. При уменьшении входной освещенности в ТВ камерах автоматически изменяется режим считывания сигнала с матрицы ПЗС – появляется суммарный сигнал: сначала сумма состоит из 2-х элементов, затем из 3-х, 4-х и т.д. до 10-12. В результате во столько же раз повышается чувствительность без смаза изображения. Но при низких уровнях освещенности происходит плавная потеря разрешения [7-9]. Такой режим возможен потому, что при малых сигналах шум считывания значительно превосходит фотонный шум, и последний практически не влияет на результат накопления.

В ТВ камерах фирмы ЭВС используется ночные режимы № 1 и № 2. Ночной режим № 1 заключается в автоматическом обмене разрешающей способности ТВ камеры на чувствительность при малых уровнях освещенности путем сложения сигналов с соседних пикселей. Максимальное число сложений равно 10 в ТВ камерах стандартного разрешения и 12 в ТВ камерах высокого разрешения. Это приводит к росту чувствительности в 10 и 12 раз соответственно. Ночной режим № 2 состоит в увеличении времени накопления

ТВ камеры при уменьшении освещенности до 16 ТВ кадров. Суммарный режим 1+2 позволяет в 100 раз повысить чувствительность [7-9].

Для большего увеличения чувствительности (до 4×10^{-5} лк) в ТВ камерах VNC-543 и VNC-743 используется сочетание режимов суммирования зарядового изображения по площади с режимом «Electronic sensitivity enhancer», но в ограниченном временном диапазоне (до 0,2 с), так, что смаз изображения движущихся объектов не очень высок. Чувствительность таких ТВ камер - как у приборов ночного видения с ЭОП поколений 2 и 2⁺. На рис. 12 представлены типичные ТВ камеры фирмы ЭВС с повышенной чувствительностью, а в таблице 2 приложения – их основные параметры [7-9].

Для еще большего повышения чувствительности рекомендуется применение сверхсветосильных объективов с асферическими оптическими поверхностями и с относительным отверстием 1:0,8.

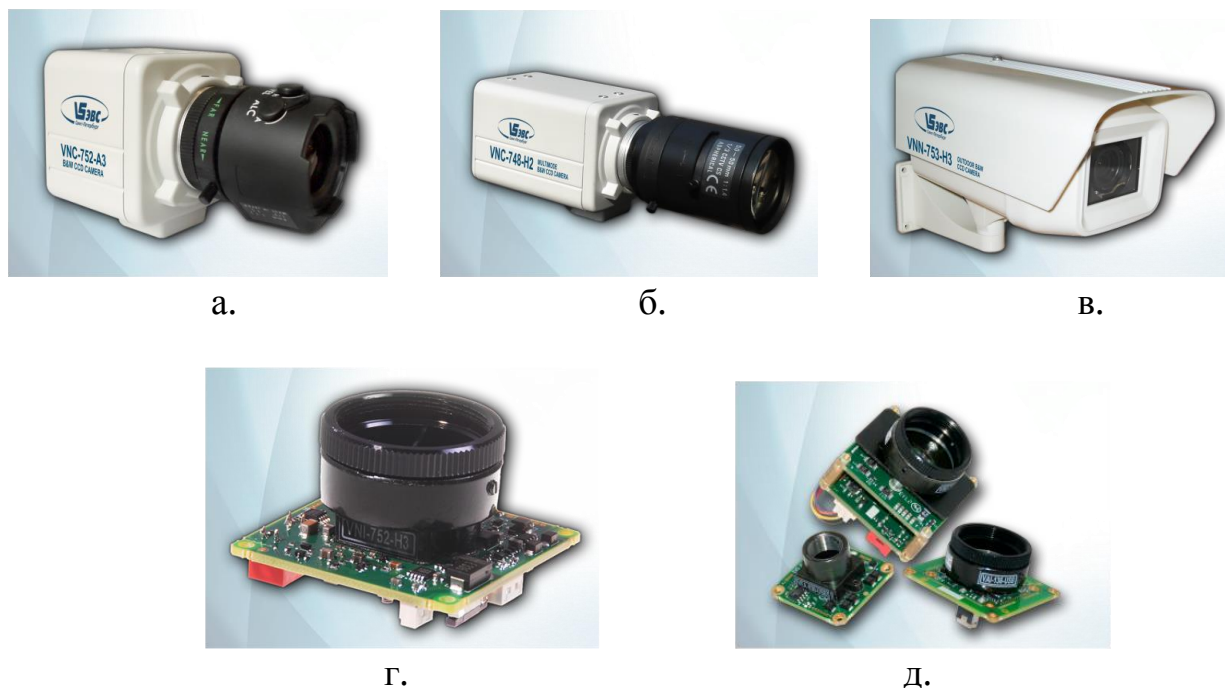


Рис. 12. Типичные ТВ камеры с повышенной чувствительностью (Е) фирмы ЭВС:
а. – VNC-752-A3; б. – VNC-748-H2; в. – VNN-753-H3;
г. – VNI-752-H3; д. – VNI-553-A3

Следует отметить, что ТВ камеры фирмы ЭВС имеют ряд полезных особенностей: применение матриц ПЗС формата 1/3 и 1/2 дюймов с глобальным затвором обеспечивает минимальное искажение геометрии движущихся объектов по сравнению с применением КМОП матриц, работающих в режиме скроллинга-затвора; имеются два одновременно работающих выхода: цифровой (USB 2.0) и аналоговый (1 В, 75 Ом); диапазон возможных экспозиций составляет от 10 мкс до 24 мин, что обеспечивает наблюдение объектов при освещенности от 3×10^5 до 2×10^{-6} лк; система тройного контрастирования

(вычитание уровня черного в предварительном и окончном усилителях, а также в цифровой форме) обеспечивает возможность наблюдения объектов сквозь туман, дождь и снег в условиях, когда объекты становятся не видимыми человеческим глазом; высокая линейность видеотракта; автоматический электронный затвор с диапазоном экспозиций от 1/50 с до 1/100000 с; полное отсутствие смаза изображения от ярких объектов; адаптивный корректор четкости, адаптация к длине питающего кабеля; установка ТВ камер а автоматический режим, система автоматического определения типа объектива, уменьшение муаров и шумов за счет синхронного ввода цифрового сигнала «пиксель в пиксель»; питание ТВ камеры от USB интерфейса компьютера, встроенный корректор четкости и др. [7-9].

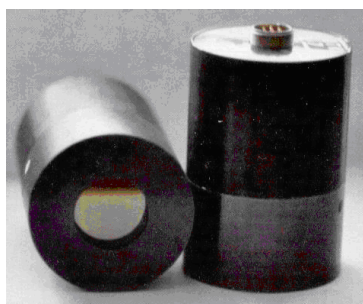
Повышения чувствительности ТВ камер за счет использования гибридно-модульных преобразователей изображения

Однако вместо режима накопления возможно создание гибридно-модульных преобразователей изображения (ГМП) [1]. В них экран электронно-оптического преобразователя (ЭОП) сопрягается с матрицей ПЗС. ЭОП преобразует изображение с низким уровнем освещенности в видимое и усиливает его по яркости. Поскольку ЭОП выполняет роль усилителя изображения – Image Intensifier (II) для ПЗС – Charge Coupled Device (CCD), то в зарубежной литературе ГМП сокращенно называют ИСССД (Image Intensifier CCD).

При этом возможны два варианта построения ГМП [1]:

1. Матрица ПЗС находится вне ЭОП; изображение с экрана последнего с помощью оптики переноса (проекционный объектив или волоконно-оптическая деталь) передается на матрицу ПЗС. Она преобразует оптическое изображение в видеосигнал, который поступает в ТВ монитор для последующего наблюдения изображения с его экрана (собственно ИСССД) (рис. 13а).
2. Матрица ПЗС располагается внутри ЭОП. На фотокатод ЭОП создается изображение объекта и окружающего его фона. Фотокатод преобразует это изображение в электронное. Он усиливается электростатическим полем и переносится на матрицу ПЗС, смонтированную внутри ЭОП вместо экрана. При этом подложка матрицы ПЗС утончена до 10 – 15 мкм и обращена к потоку электронов. За рубежом такой ГМП называют Electron bombarded CCD (ЕВССД) в отличие от традиционных ИСССД, использующих внешнюю матрицу ПЗС.

На рис. 13а показаны ГМП ИСССД фирмы ОАО «НПО Геофизика-НВ», на рис. 13б – ГМП ИСССД фирмы Hamamatsu [1], а в таблице 3 приложения даны их основные параметры [10].



а.



б.

Рис. 13. Типичные ГМП: а. – ICCD; б. – EBCCD

ГМП позволяют достигнуть чувствительности до 10^{-6} лк, причем без всякого накопления. ГМП могут работать в импульсном режиме, что позволяет их использовать в активно-импульсных приборах ночного видения (АИ ПНВ), обладающих всепогодностью, большой помехозащищенностью и высокой точностью измерения дальности до объекта наблюдения. Это позволяет эффективно работать по подвижным объектам. В ГМП EBCCD меньше масса и габариты, отсутствуют потери, связанные с преобразованием электронного потока в излучение экрана ЭОП, энергетические потери в оптике переноса, потери разрешающей способности и контраста в этой оптике, отсутствует влияние инерционности ЭОП и его шумы из-за отсутствия самого ЭОП. На рис. 14 показано преимущество EBCCD по сравнению с ICCD.



Рис. 14. Типичные кривые передачи контраста для: традиционных ICCD (кривая 1), EBCCD (кривая 2) и матрицы ПЗС (кривая 3)

Фирма Hamamatsu (Япония) разработала EBCCD – модели N7220-61, N76461, N7640-64 [1]. Первые две модели используют фотокатод GaAs, работающий в области спектра 0,37-0,92 мкм, а третья модель – фотокатод GaAsP, работающий в области спектра 0,28-0,72 мкм. Модель N7220-61 имеет размер чувствительной площадки фотокатода $12,2 \times 12,2$ мм, число пикселей 512×512 , усиление 1300 (при напряжении 8 кВ), а две другие модели – соответственно размер $9,2 \times 6,8$ мм, число пикселей 658×494 , а усиление 700 (при напряжении 6 кВ) и 200 (при напряжении 2 кВ) (рис. 13б). Но EBCCD не

получили широкого распространения из-за технологической сложности и высокой стоимости изготовления.

В таблицах 4, 5 в приложении представлены параметры типичных ТВ систем на основе ГМП [10, 11].

На рис. 15 показаны типичные ТВ камеры на основе ГМП.

Преимущество матрицы ПЗС связано также с возможностью получить при определенном уровне пониженной освещенности цветное изображение. ТВ камера на основе ПЗС может выполнять роль насадки для дневных приборов наблюдения и прицеливания, а также для приборов ночного видения (ПНВ) на базе ЭОП с целью вывода их изображений в видеомаягнитофон, в персональный компьютер, в карманный персональный компьютер, в смартфон. Это особенно важно для криминалистики и работы спецслужб. Изображения можно запомнить, тиражировать их, обрабатывать в реальном масштабе времени, передавать их дистанционно, микшировать с изображениями, создаваемыми другими каналами (в частности, тепловизионным каналом). Таким образом, отказ от ГМП является насущной необходимостью, даже не взирая на его высокую чувствительность.



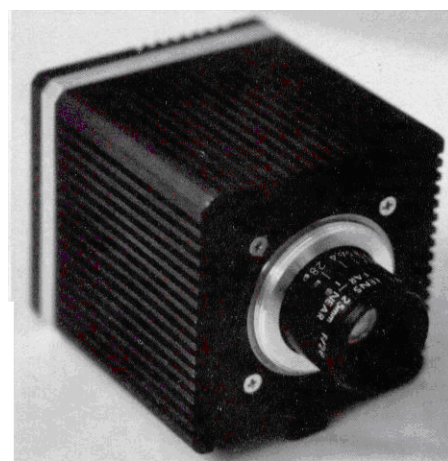
а.



б.



в.



г.

Рис.15. Типичные ТВ камеры на основе ГМП:

а. – ГЕО-ПЗР-1; б. - ГЕО-НТК 4; в. – ГЕО-УФ; г. – «Кречет»

Повышение чувствительности ТВ камер благодаря использованию матриц ПЗС с электронным умножением

Реальная возможность для этого представилась с появлением матриц ПЗС с электронным умножением – Electron Magnification CCD (EMCCD) [12-19]. Лидером в создании EMCCD является компания e2V (Великобритания). Эта компания была создана в 1947 г. под названием Phoenix Dynamo и в этом же году переименована в English Electric Company, с 1999 г. по 2002 г. – Marcony Applied Technologies, с 2002 г. – e2V. Компания разработала и производит EMCCD под товарным знаком L3Vision. Кроме фирмы e2V, EMCCD производят также фирмы Ander Technology (Великобритания) и Hamamatsu Photonics (Япония) [10].

Сигнал изображения, представляющий собой электрический заряд, усиливается непосредственно на кристалле. Это позволяет матрице ПЗС работать в реальном масштабе времени с шумом считывания в 1 электрон. Матрица ПЗС благодаря этому регистрирует единичные фотоны. Главная особенность всех традиционных матриц ПЗС, препятствующая получению изображения низкоуровневых сигналов, является фотонный шум считывания, ограничивающий требуемое отношение сигнал/шум. Главная особенность EMCCD – возможность умножения возникающего заряда, т.е. повышение уровня сигнала еще до процесса считывания зарядовых пакетов. Это снижает уровень шума считывания до второстепенного его значения и позволяет повысить отношение сигнал/шум при низких уровнях освещенности. На рис. 16 показана структурная схема EMCCD.

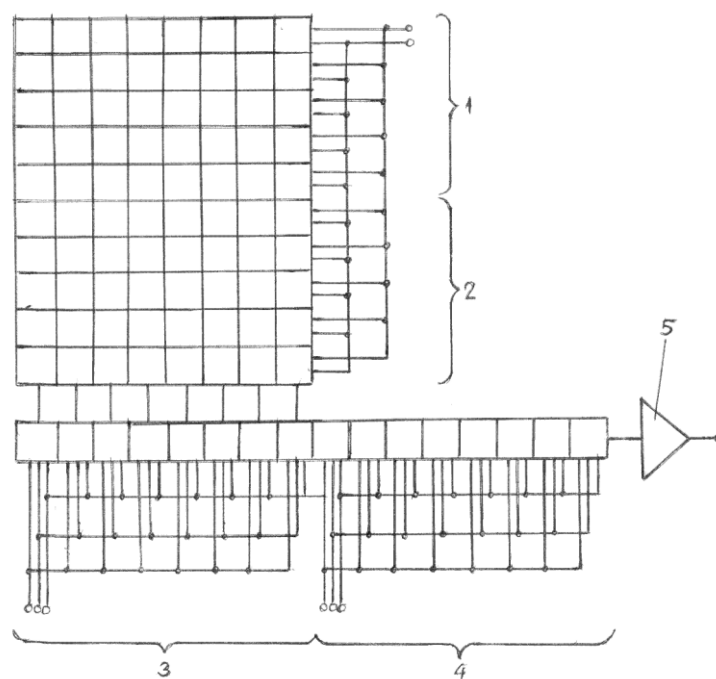


Рис. 16. Структурная схема EMCCD:

- 1 – секция экспонирования; 2 – секция хранения;
- 3 – регистр считывания; 4 – регистр умножения;
- 5 – преобразователь заряд-напряжение

По сравнению с традиционной схемой матрицы ПЗС с кадровым переносом в структурной схеме EMCCD имеется дополнительный регистр умножения. По своей структуре он близок к регистру считывания, но использует систему электродов с более высоким напряжением тактирующих импульсов. Повышенное напряжение позволяет инициировать лавинный пробой. Благодаря этому происходит умножение считываемого заряда. Лавинное умножение происходит при переходе заряда из ячейки в ячейку. При каждом таком переходе в результате лавинного умножения исходный заряд увеличивается незначительно – на 1,5-2%, но после прохождения нескольких сотен ячеек регистра умножения результирующий коэффициент усиления может достигать 100-1000. При низких значениях коэффициента лавинного умножения процесс электронного усиления является мало шумящим. Это позволяет увеличивать сигнальный заряд при практически неизменном шуме на выходе матрицы. Если пиксель матрицы ПЗС регистрирует отдельный фотон, то на вход преобразователя заряд-напряжение поступает сигнальный заряд с числом 100 электронов, по сравнению с которым шум считывания не играет существенной роли. Это и позволяет поднять отношение сигнал/шум. В матрице EMCCD используется обратное ее освещение (рис. 17).

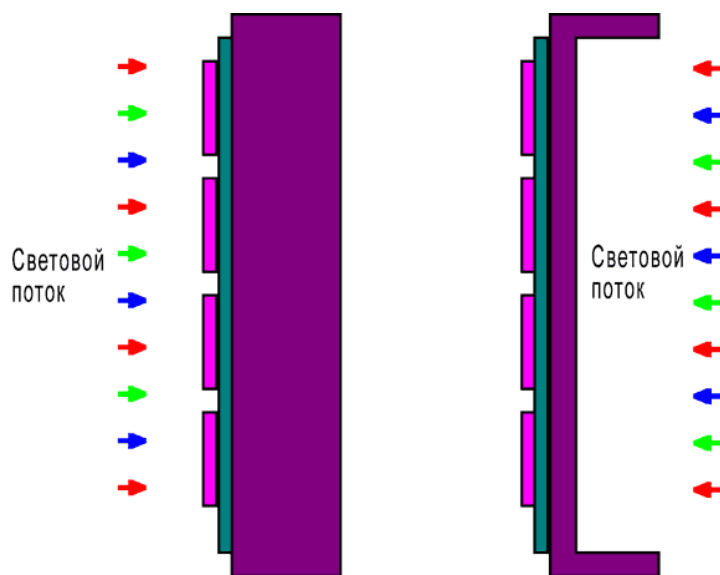


Рис. 17. Прямое и обратное освещение матрицы ПЗС

Это устраняет потери, обусловленные прохождением излучения через электроды, которые характерны для прямой засветке матрицы ПЗС. Благодаря этому квантовая эффективность EMCCD приближается к теоретическому пределу. Возможность изменения толщины поглощающего слоя при обратном освещении в сочетании с просветляющими покрытиями позволяет также оптимизировать спектральную кривую квантового выхода EMCCD.

Типичные кривые зависимости квантовой эффективности EMCCD от длины волны представлены на рис. 18.

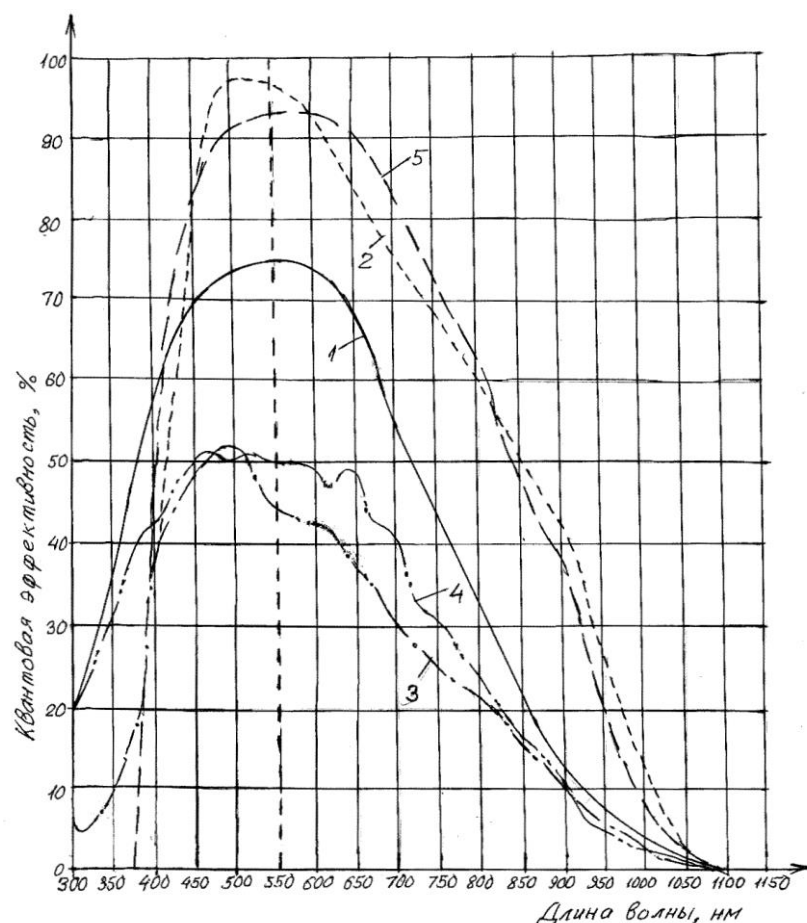


Рис. 18. Типичные кривые зависимости квантовой эффективности EMCCD от длины волны (штриховой прямой на графике показана длина волны, соответствующей квантовой эффективности 93%): а – Hawk 828/829; б – Hawk EM216; в – Hawk EM247; г – EMCCD матрицы TS246CYM-BO, д – паспортная кривая квантовой эффективности матрицы EMCCD 97

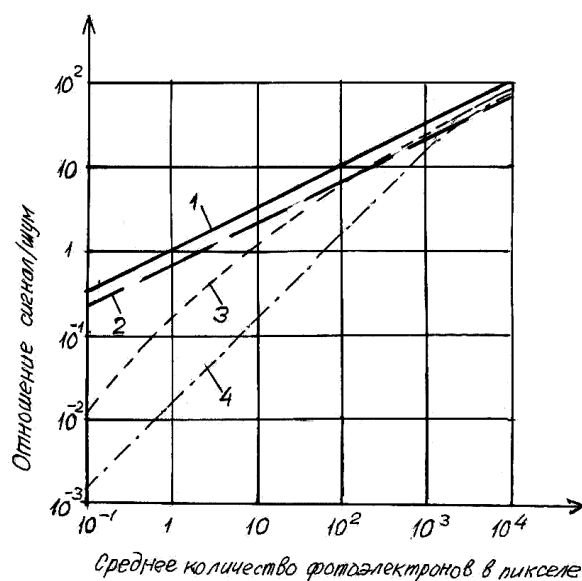


Рис.19. Отношение сигнал/шум в EMCCD как функция среднего числа фотоэлектронов в зарядовом пакете: кривая 1 – теоретический предел; кривые при температуре: 2 – (-40)°C, 3 – (-20)°C, 4 – без умножения при (+20)°C

Помимо снижаемого здесь шума считывания, есть и другие составляющие шума. Для подавления шума термоэмиссии применяется охлаждение EMCCD. Из графика рис. 19 видно, что при охлаждении EMCCD до $(-40)^{\circ}\text{C}$ отношение сигнал/шум приближается к теоретическому пределу.

Это позволяет регистрировать субфотонные изображения. Наведенный в EMCCD шумовой заряд, зависящий от количества переносов сигнальных зарядов из ячейки в ячейку, при тщательном подборе формы управляющих импульсов переноса составляет незначительную величину – менее 10^{-6} электрона на каждый перенос.



Рис. 20. Возможности EMCCD по сравнению с другими описанными выше устройствами с точки зрения работы при пониженных уровнях освещенности.

Уровни освещенности:

- Daylight – дневной свет;
- Overcast & Twilight – облачность и сумерки;
- Full moon – ночь, полная луна;
- Quarter moon – ночь, четверть луны;
- Moon less (Starlight) – безлунная ночь (звездный свет);
- Moon less (Overcast) – безлунная облачная ночь.

Устройства:

- Conventional CCTV – ТВ камеры на основе традиционных матриц ПЗС;
- Low Light CCD – ТВ камеры на основе матриц ПЗС, чувствительных к низким уровням освещенности;
- Gen II Intensifier tube – приборы на базе ЭОП 2-го поколения;
- Gen III Intensifier tube – приборы на основе ЭОП 3-го поколения;
- Raptor's EMCCD Technology – EMCCD фирмы Raptor

В EMCCD вместо механического затвора используется жидкокристаллический затвор. Это позволяет осуществить процесс считывания в матрице ПЗС без влияния вибраций. 16-биный выход USB 2 позволяет

осуществить быстрое подключение ЕМССД к персональному компьютеру и высококачественное воспроизведение изображения.

Недостатком ЕМССД является их пока еще высокая стоимость – на порядок выше, чем у традиционных матриц ПЗС. Однако есть возможности ее снижения в будущем.

На рис. 20 наглядно представлены повышенные возможности ЕМССД по сравнению с другими описанными выше устройствами с точки зрения работы при пониженных уровнях освещенности.

На рис. 21 показано, что дает повышенная чувствительность ТВ камер на основе ЕМССД по сравнению с ТВ камерами на основе традиционных ПЗС.

На рис. 22 показано преимущество ТВ камер на основе ЕМССД с точки зрения расширения зоны охвата и их преимущество при ночном наблюдении.

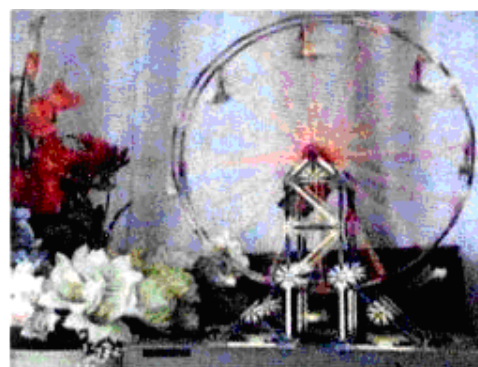


Рис. 21. Возможности ТВ камер на основе ЕМССД по сравнению с ТВ камерами на основе традиционных ПЗС с точки зрения чувствительности



Рис. 22. Преимущества ТВ камер на основе ЕМССД с точки зрения расширения зоны охвата и преимущества при ночном наблюдении

На рис. 23 представлены типичные ТВ камеры на основе ЕМССД. Представленные на рис. 23б три ТВ камеры на основе матрицы ПЗС ЕМССД и ТВ камеры КР-DE500 различаются по увеличению: модель НС-268 имеет переменное увеличение $16\times$ zoom, НС-278 – $30\times$ zoom, НС-278-Н6 – $55\times$ zoom.

Основные параметры матриц ПЗС ЕМССД представлены в таблице 6 приложения, а ТВ камер на их основе – в таблице 7, там же.

Анализ данных, представленных в таблицах, показывает несомненные преимущества ЕМССД и ТВ камер на их основе по сравнению с соответствующими устройствами на основе обычных матриц ПЗС.



Рис. 23. Типичные ТВ камеры на основе EMCCD:

а – KP-DE500; б – три модели ТВ камер на основе матриц ПЗС EMCCD;
в – S4X; г – SC200PK; д – Synapse EM; е – 360-229 Falcon-EMCCD;
ж – Hawk 247-CL, Hawk 216-A; з – три ТВ камеры ev2v L3 Vision

Заключение

Проведенный выше анализ показывает, что существуют реальные возможности создания и применения в системах безопасности высокочувствительных ТВ камер различного типа. При этом можно уверенно рассчитывать на высокую перспективность EMCCD и ТВ камер на их основе для применения в указанных системах и в специальной технике.

Приложение

Таблица 1 – Сравнительные параметры высокочувствительных ТВ камер фирмы Watec (Япония)

№ п/п	Модель	Формат, дюйм	Разрешение, ТВ линий	Рабочая освещенность, лк	Относительно отверстие объектива	Напряжение питания, В	Ток потребления, мА	Габариты, мм
1	WAT-902H	1/2	570	3×10^{-4}	1:1,2	12	160	36x36x58
2	WAT-502B	1/3	400	3×10^{-3}	1:1,4	9 (7 – 11)	130	30x30x46
3	WAT-107L	1/3	420	5×10^{-3}	1:1,4	24	160	44x44x45
4	WAT-525EX	1/2	550	2×10^{-3}	1:1,4	12		44x44x53
5	WAT-902B	1/2	570	3×10^{-3}	1:1,4	12	135	34x34x58
6	LCL-902K	1/2	>570	$1,5 \times 10^{-4}$	1:1,2	12	180	34x37x52
7	LCL-902Q	1/2	>570	10^{-2}	1:1,2	12	180	29x29x50
8	LCL-903K	1/3	>500	3×10^{-4}	1:1,2	12	180	34x37x65
9	LCL-903Q	1/3	500	3×10^{-4}	1:1,2	12	180	29x29x50
10	LCL-811K	1/3	400	10^{-4}	1:1,4	12	180	34x37x52
11	LCL-196	1/3	480 (ЦВ) >570 (ЧБ)	9×10^{-2} (ЦВ) 9×10^{-3} (ЧБ)	1:1,2 (ЦВ) 1:1,2 (ЧБ)	12		43x43x60

Примечания: отношение сигнал/шум 46 – 50 дБ, экспозиция электронного затвора 1/50 – 1/100 000 с, гамма-коррекция 0,45-1, диапазон рабочих температур (-10) – (+40)°С.

Таблица 2 – Сравнительные параметры высокочувствительных ТВ камер фирмы ЭВС (Россия)

№ п/п	Модель	Формат, дюймы	Число пикселей	Разрешение, ТВ линий	Рабочая освещенность, лк	Относительное отверстие объектива	Напряжение питания, В	Ток потребления, мА	Отношение сигнал/шум, дБ	Габариты, мм	Максимальный коэффициент бининга	Максимальный коэффициент суммирования полей	Режим увеличения чувствительности, крат	Примечание
1	VSA-531	1/3	500x582	380	5×10^{-3}	1:1,2	9-15	115	48	42x42x24				EXview HAD CCD Авт. определ. объектива (DD, VD, manual)
2	VSA-786	1/2	752x582	570	5×10^{-3}	1:1,2	9-15	140	52	42x42x28				EXview HAD CCD
3	VNA-542-A3	1/3	500x582	380	$1,5 \times 10^{-3}$ 5×10^{-4}	1:2 1:0,8	9-13,5	130	48	42x42x25	7x2		10	EXview HAD CCD
4	VNA-543-A3	1/3	500x582	380	$1,2 \times 10^{-4}$ 2×10^{-5}	1:2 1:0,8	9-13,5	160	48	42x42x40	7x2	16	100	EXview HAD CCD
5	VNA-742-A3	1/3	752x582	570	3×10^{-3} 5×10^{-4}	1:2 1:0,8	9-13,5	130	48	42x42x24	7x2		10	EXview HAD CCD
6	VNA-742-H3	1/3	752x782	570	$1,5 \times 10^{-3}$ 4×10^{-4}	1:2 1:0,8	9-13,5	130	48	42x42x24	7x2		10	EXview HAD CCD
7	VNA-743-A3	1/3	752x582	570	$1,5 \times 10^{-4}$ 4×10^{-5}	1:2 1:0,8	9-13,5	160	48	42x42x40	7x2	16	100	EXview HAD CCD
8	VNA-743-H3	1/3	752x582	570	10^{-4} 2×10^{-5}	1:2 1:0,8	9-13,5	160	48	42x42x40	7x4	18	100	New generation EXview HAD CCD
9	VNI-743-H2	1/2	752x582	570	4×10^{-5}	1:0,8	9-13,5	160	52	42x42x35	7x2	18	100	EXview HAD CCD
10	VNA-748-H3	1/3	752x582	570	5×10^{-3} 5×10^{-5}	1:2 1:0,8	9-15	110	48	42x42x39	8x4	256 (4096-ручной режим)	100	New generation EXview HAD CCD
11	VNI-748-H2	1/2	752x582	570	5×10^{-5}	1:0,8	9-15	110	52	42x42x39	8x4	256 (4096-ручной режим)	100	EXview HAD CCD

№ п/п	Модель	Формат, дюймы	Число пикселей	Разрешение, ТВ линий	Рабочая освещенность, лк	Относительное отверстие объектива	Напряжение питания, В	Ток потребления, мА	Отношение сигнал/шум, дБ	Габариты, мм	Максимальный коэффициент бининга	Максимальный коэффициент суммирования полей	Режим увеличения чувствительности, крат	Примечание
12	VNS-742-A3	1/3	752x582	570	3×10^{-3}	1:2	9-13,5	130	48	Ø118x75 (купол)	7x2		10	EXview HAD CCD
13	VNS-742-H3	1/3	752x582	570	$1,5 \times 10^{-3}$	1:2	9-13,5	130	48	Ø118x75 (купол)	7x2		10	New generation EXview HAD CCD
14	VSC-541	1/3	500x582	380	5×10^{-3}	1:1,2	9-15	75	48	56x50x92				EXview HAD CCD
15	VSC-746	1/2	752x582	570	5×10^{-3}	1:1,2	9-15	90	52	56x50x92				EXview HAD CCD
16	VNC-542-A3	1/3	500x582	380	5×10^{-4}	1:0,8	9-13,5	130	48	56x50x92	7x2		10	EXview HAD CCD
17	VNC-543-A3	1/3	500x582	380	2×10^{-5}	1:0,8	9-13,5	160	48	56x50x92	7x2	16	100	EXview HAD CCD
18	VNC-742-A3	1/3	752x582	570	5×10^{-4}	1:0,8	9-13,5	130	48	56x50x92	7x2		10	EXview HAD CCD
19	VNC-724-H3	1/3	752x582	570	4×10^{-4}	1:0,8	9-13,5	130	48	56x50x92	7x2		10	New generation EXview HAD CCD
20	VNC-743-A3	1/3	752x582	570	4×10^{-5}	1:0,8	9-13,5	160	48	56x50x92	7x2	16	100	EXview HAD CCD
21	VNC-743-H3	1/3	752x582	570	2×10^{-5}	1:0,8	9-13,5	160	48	56x50x92	7x4	18	100	New generation EXview HAD CCD
22	VNC-743-H2	1/2	752x582	570	4×10^{-5}	1:0,8	9-13,5	160	52	56x50x92	7x2	18	100	EXview HAD CCD
23	VNC-748-H3	1/3	752x582	570	5×10^{-5}	1:0,8	9-13,5	160	48	56x50x92	8x4	256 (4096 – ручной режим)	100	New generation EXview HAD CCD
24	VNC-748-H2	1/2	752x582	570	3×10^{-4}	1:0,8	9-14	110	52	50x57x93	8x4	256 (4096 – ручной режим)	100	EXview HAD CCD, Масса 220 г, частота кадров 25 Гц
25	VNP-542-A3	1/3	500x782	380	$1,5 \times 10^{-3}$	1:2	9-13,5	130	48	125x95x235	7x2		10	EXview HAD CCD
26	VNP-742-A3	1/3	752x582	570	3×10^{-3}	1:2	9-13,5	210	48	125x95x235	7x2		10	EXview HAD CCD
27	VNP-742-H3	1/3	752x582	570	$1,5 \times 10^{-3}$	1:2	9-13,5	210	48	125x95x235	7x2		10	New generation EXview HAD CCD
28	VSN-541	1/3	500x582	380	5×10^{-3}	1:1,2	9-13,5	250	48	140x120x190				EXview HAD CCD
29	VSN-746	1/2	752x582	570	5×10^{-3}	1:1,2	9-13,5	280	52	140x120x190				EXview HAD CCD
30	VNN-542-A3	1/3	500x582	380	5×10^{-4}	1:0,8	9-13,5	300	48	140x120x190	7x2		10	EXview HAD CCD
31	VNN-543-A3	1/3	500x582	380	2×10^{-5}	1:0,8	9-13,5	320	48	140x120x190	7x2	16	100	EXview HAD CCD
32	VNN-742-A3	1/3	752x582	570	5×10^{-4}	1:0,8	9-13,5	300	48	140x120x190	7x2		10	EXview HAD CCD
33	VNN-742-H2	1/3	752x582	570	4×10^{-4}	1:0,8	9-13,5	300	48	140x120x190	7x2		10	New generation EXview HAD CCD
34	VNN-743-A3	1/3	752x582	570	4×10^{-5}	1:0,8	9-13,5	320	48	140x120x190	7x2	16	100	EXview HAD CCD
35	VNN-743-H3	1/3	752x582	570	2×10^{-5}	1:0,8	9-13,5	320	48	140x120x190	7x4	18	100	New generation EXview HAD CCD
36	VNN-743-H2	1/2	752x582	570	4×10^{-5}	1:0,8	9-13,5	320	52	140x120x190	7x2	18	100	EXview HAD CCD
37	VMC-745-H3	1/3	752x582	460	5×10^{-3}	1:0,8	8-16	160	48	56x50x92			10	DSP, New generation EXview HAD CCD, режим супер «день/ночь»
38	VMN-745-H3	1/3	752x582	460	5×10^{-3}	1:0,8	8-16	300	48	140x120x190			10	DSP, New generation EXview HAD CCD, режим супер «день/ночь»
39	VBC-541-USB	1/3	500x576	380	$1,5 \times 10^{-2}$ (1) 3×10^{-5} (2) 6×10^{-6} (3)	1:1,2		250	52	56x50x92				

№ п/п	Модель	Формат, дюймы	Число пикселей	Разрешение, ТВ линий	Рабочая освещенность, лк	Относительное отверстие объектива	Напряжение питания, В	Ток потребления, мА	Отношение сигнал/шум, дБ	Габариты, мм	Максимальный коэффициент бининга	Максимальный коэффициент суммирования полей	Режим увеличения чувствительности, крат	Примечание
40	VSC-541-USB	1/3	500x576	380	5×10^{-3} (1) 1×10^{-5} (2) 2×10^{-6} (3)	1:1,2		250	52	56x50x92				
41	VBC-741-USB	1/3	752x576	580	2×10^{-2} (1) 4×10^{-5} (2) 8×10^{-6} (3)	1:1,2		280	48	56x50x92				
42	VSC-741-USB	1/3	752x576	580	2×10^{-2} (1) 4×10^{-5} (2) 8×10^{-6} (3)	1:1,2		280	48	56x50x92				
43	VSC-746-USB	1/2	752x576	580	5×10^{-3} (1) 1×10^{-5} (2) 2×10^{-6} (3)	1:1,2		300	52	56x50x92				
44	VNC-752-A3	1/3		570	6×10^{-4}		9-14	130		50x57x63				Масса 120 г, частота кадров 25 Гц
45	VNN-752-H2	1/2		570	2×10^{-5}		9-14	120		50x57x63				Масса 220 г, частота кадров 25 Гц
46	VNN-753-H3	1/3		570	3×10^{-5}		9-14			140x183x325				Масса 1300 г, частота кадров 25 Гц, диапазон рабочих температур (-50)-(+50)°С, 1+2 ночной режим, наружная ТВ камера
47	VSC-551-USB	1/3		380	5×10^{-3} (ручной режим) 10^{-5} (автомат. режим, экспозиция 10 с), 2×10^{-6} (автомат. режим, экспозиция 2 мин, охл.)		5	250		50x57x93				Масса 150 г, частота кадров 25 Гц
48	VSC-751-USB	1/3		570	$1,2 \times 10^{-2}$ (ручной режим) 3×10^{-5} (автомат. режим, экспозиция 10 с), 6×10^{-6} (автомат. режим, экспозиция 2 мин, охл.)		5	280		50x57x93				Масса 150 г, частота кадров 25 Гц

№ п/п	Модель	Формат, дюймы	Число пикселей	Разрешение, ТВ линий	Рабочая освещенность, лк	Относительное отверстие объектива	Напряжение питания, В	Ток потребления, мА	Отношение сигнал/шум, дБ	Габариты, мм	Максимальный коэффициент бининга	Максимальный коэффициент суммирования полей	Режим увеличения чувствительности, крат	Примечание
49	VSC-756-USB	1/2		570	5×10^{-3} (ручной режим) 10^{-5} (автомат. режим, экспозиция 10 с), 2×10^{-6} (автомат. режим, экспозиция 2 мин, охл.)		5	300		50x57x93				Масса 150 г, частота кадров 25 Гц
50	VNI-553-A3	1/3		380	4×10^{-5}		9-14	120		42x42x55				Масса 50 г, частота кадров 25 Гц, бескорпусной
51	VNI-752-H3 (VNI-752-H3-VS)	1/3		570	4×10^{-4}		9	100		42x42x24				Масса 30 г, частота кадров 25 Гц, бескорпусной
52	VMC-750-HR			540	5×10^{-3} (цветной режим), 3×10^{-3} (ч/б режим), 2×10^{-4} (ч/б режим с повышенной чувствительностью)		9-14	90		50x57x63				Масса 100 г, частота кадров 25 Гц
53	VMN-750-HR			540	5×10^{-3} (цветной режим), 3×10^{-3} (ч/б режим), 2×10^{-4} (ч/б режим с повышенной чувствительностью)		9-14	250		140x185x325				Масса 1300 г, частота кадров 25 Гц, наружная ТВ камера

Примечания: указанные в таблице рабочие освещенности приведены для отношения сигнал/шум 10 дБ, а для позиций 39 – 43 – 20 дБ, (1) – в автоматическом режиме, (2) – при экспозиции 10 с, (3) – при экспозиции 2 минуты (0°C).

Таблица 3 – Основные параметры ГМП ОАО «НПО Геофизика-НВ»

№ п/п	Наименование параметра	Модель ГМП			
		ФПМ В-ИК	ФПМ УФ	ФПМ ИК1	ФПМ ИК2
1	Рабочая область спектра, мкм	0,5 – 0,9	0,25 – 0,35	0,4 – 1,1	0,95 – 1,65
2	Интегральная чувствительность, мкА/лм	2500		400	
3	Спектральная чувствительность на длине волны 0,85 мкм, мА/Вт	220		50	
4	Спектральная чувствительность на длине волны 1,06 мкм, мА/Вт			2,5	
5	Разрешение, ТВ линий	450	400	400	450
6	Отношение сигнал/шум	20		9	
7	Рабочая освещенность, Вт/м ²		5x10 ⁻⁴		
8	Пороговая освещенность, Вт/м ²		5x10 ⁻⁷		
9	Квантовый выход на длине волны 1,54 мкм, %				2

Примечания: для всех ГМП формат изображения 768x576 пикселей, разрядность выходного сигнала 12 бит, напряжение питания = 12 В, ток потребления 250 мА.

Таблица 4 – Основные параметры высокочувствительных ТВ камер на основе ГМП

№ п/п	Фирма	Модель	Состав	Рабочая освещенность, лк	Дальность действия	Угол поля зрения, град.	Разрешение, ТВ линий	Масса, кг	Габариты, м	Напряжение питания, В/Энергопотребление, Вт	Диапазон рабочих температур, °С	Примечание
1	ОАО «НПО Геофизика-НВ»	ГЕО-ПЗР1	НТВС, ДТВ	(3-5)x10 ⁻³ - 1	Не менее 10 км по вертолету типа МИ-8	8x6° или 24,7x18,5°	350-400	Не более 15	ТВ камеры: 400x270x120 ТВ монитора: 180x220x50	=27/13,5	(-40) – (+50)	ТВ наблюдательный прибор для обнаружения, сопровождения и применения управляемых ракет модернизированного комплекса «Стрела-10М». ТВ стандарт -625 линий, частота кадров 50 Гц
2	ОАО «НПО Геофизика-НВ»	ГЕО-НТКЗ	НТВС, ДТВ	5x10 ⁻³ - 10	1,5-2 км по бронетанковой технике	10,6x8°	350-400	Блок оптико-электронный: 2,2 Блок электронный: 0,8	Блок оптико-электронный: 200x112x190 Блок электронный: 156x148x105	=27/13,5	(-40) – (+50)	Ночная визирная система для вертолетов Ми-8МВ. Для ДТВ матрица ПЗС с числом пикселей 752x582, рабочая освещенность 0,5 – 150 лк ТВ стандарт -625 линий, частота кадров 50 Гц
3	ОАО «НПО Геофизика-НВ»	ГЕО-НТК4	НТВС, ДТВ	5x10 ⁻³ – 5x10 ⁻⁴	1,5-2 км по бронетанковой технике	Днем: 13,5x18° Ночью: 11x8,4°	Днем: 500 Ночью: 350-400	НТВС: 1,7 ДТВ: 0,7	НТВС: 225x87x90 ДТВ: 117x53x91	=12/6	(-40) – (+50)	Круглосуточная ТВ система для обзорных стабилизированных систем вертолетов. Для ДТВ матрица ПЗС с числом пикселей 752x582, рабочая освещенность 0,5 – 150 лк ТВ стандарт -625 линий, частота кадров 50 Гц

№ п/п	Фирма	Модель	Состав	Рабочая освещенность, лк	Дальность действия	Угол поля зрения, град.	Разрешение, ТВ линий	Масса, кг	Габариты, м	Напряжение питания, В/Энергопотребление, Вт	Диапазон рабочих температур, °С	Примечание
4	ОАО «НПО Геофизика-НВ»	ГЕО-НТК5	НТВС, ДТВ		По автотранспортной технике днем 4 км, ночью 3 км	10,6х8°	Днем: 500 Ночью: 350-400	Платформы: 9 Электронного модуля: 24	Платформы: Ø300х320 Электронного модуля: Ø300х350х200	=27/13,5	(-40) – (+50)	Круглосуточная стабилизированная ТВ система для вертолетов. Для ДТВ матрица ПЗС с числом пикселей 752х582, рабочая освещенность 0,5 – 150 лк ТВ стандарт -625 линий, частота кадров 50 Гц
5	ОАО «НПО Геофизика-НВ»	Круглосуточная АИ ТВ камера с повышенной дальностью действия АИ ТВ-ГЕО	НТВС, ДТВ	$10^{-4} - 5 \times 10^{-4}$	По группе людей 1 – 2 км	Днем: 1,1х1,5° Ночью: 2х3°	Днем: 570 Ночью: 450	11	1350х310х230	=12/-	(-40) – (+40)	Предварительное обнаружение объектов наблюдения достигается с применением канала поиска на основе РЛС или тепловизионного канала
6	ОАО «НПО Геофизика-НВ»	Высокочувствительная ТВ камера для УФ области спектра ГЕО-УФ	НТВС	Круглосуточно; $E_{\text{рабоч.}} = 5 \times 10^{-4}$ Вт/м ² $E_{\text{порог.}} = 5 \times 10^{-7}$ Вт/м ²			450	0,8	75х75х80	=12/6		Матрица ПЗС с числом пикселей 752х582, размер пикселя 22х22 мкм, чувствительная поверхность 11,3х11,3 мм, ЭОП 3-го поколения с фотокатодом GaN
7	ОАО «НПО Растр»	КП-181	НТВС	$10^{-3} - 10$		32,7х24,9° 20,9х15,8° 14,6х11°	350	3	353х143х102	=12 или ~ 220 В 50 Гц/-	(-40) – (+45)	
8	ОАО ЦНИИ «Циклон»	Циклон-DN/CCD-1,2	НТВС, ДТВ	$10^{-4} - 10^{-3}$	Обнаружение/распознавание: человека: 6,5/3 км автомшины: 14/6 км	ДТВ: 0,9х0,7° НТВС: 2,4х1,8 и 1,2х0,9°	45 штр/мм	38	820х310х240	=24 или ~ 220 В 50 Гц/-		
9	ОАО ЦНИИ «Циклон»	Кречет	НТВС	Круглосуточно	Обнаружение/распознавание: автомшины: 10/4,5 км	40х24° 30х18°	40 штр/мм	8	120х200х450	=12, =24 или ~ 220 В 50 Гц/70		

Примечания: НТВС – низкоуровневая ТВ система, ДТВ – дневной ТВ канал.

Таблица 5 – Некоторые параметры ТВ камер на основе ГМП различных фирм [20]

№ п/п	Страна	Фирма	Модель	Чувствительность, лк	Разрешение, ТВ линий	Поколение ЭОП
1	Япония	Panasonic	WV-BD900	$1,5 \times 10^{-3}$	420	2
2	Россия	TURN	LINX120	10^{-4}	350	2 ⁺
3	Германия	JAI	JAI-757	5×10^{-3}	510	2 ⁺⁺
4	Германия	JAI	JAI-757A	10^{-4}	450	3

Примечание: т.к. для ТВ камер с ГМП чувствительность приводится обычно для изображения хорошего качества, то при полном разрешении, т.е. при отношении сигнал/шум 34 – 36 дБ, для сравнения с ТВ камерами на базе матриц ПЗС, где чувствительность приводится при отношении сигнал/шум 20 – 24 дБ, величины чувствительности в таблице 4 нужно уменьшить в 5 раз.

Таблица 6 – Основные параметры матриц ПЗС EMCCD фирм e2V и Texas Instruments, работающие при освещенности $\leq 10 \times 10^{-6}$ лк

№ п/п	Фирма	Модель	Разрешение, число пикселей	Размер пикселя, мкм	Размер чувствительной области, мм	Тактовая частота, МГц	Корпус	Примечание
1	e2V	CCD60 (BI)	128x128	24	3,07x3,07	18	24-и контактный, DIL, керамический	
2	e2V	CCD97-00 (FI, BI)	512x512	16	8,19x8,19	15	30-и контактный, керамический	
3	e2V	CCD97-00 (BI)	512x512	16	8,19x8,19	15	С элементом Пельтье	
4	e2V	CCD201-20 (FI, BI)	1024x1024	13	13,3x13,3	20	36-и контактный, керамический	
5	e2V	CCD216-05 (BI)	768x244	11,5x27	8,83x6,59	15	С элементом Пельтье	
6	e2V	CCD216-08 (BI)	768x288	11,5x23	8,83x6,62	15	С элементом Пельтье	
Модели, поставляемые по специальному заказу, в т.ч. в исполнении для использования в космических условиях (SPASE QUALIFIED)								
7	e2V	CCD60 (BI)	128x128	24	3,07x3,07	18	С элементом Пельтье	
8	e2V	CCD65	576x288	20x30	11,5x8,6	16	36-и контактный PGA, керамический	
9	e2V	CCD201-20 (BI)	1024x1024	13	13,3x13,3	20	С элементом Пельтье	
10	e2V	CCD207-00 (FI, BI)	1632x208	15	16	15	Керамический	
11	e2V	CCD207-10 (FI, BI)	1632x408	15	16	15	Керамический	
12	e2V	CCD207-40 (BI)	1632x1608	15	16	15	38-и контактный, керамический	
13	Texas Instruments	Falcon BLUE TC285 SPD	1004x1002	8				Рабочая область спектра 0,18 – 1,1 мкм, частота кадров 30 Гц, время экспозиции до 500 мкс
14	Texas Instruments	Falcon TC285 SPD	1004x1002	8				Рабочая область спектра 0,35 – 1,1 мкм, частота кадров 30 Гц, время экспозиции до 500 мкс

Примечание: FI (Front Illumination) – фронтальная засветка, BI (Back Illumination) – обратная засветка, перенос – кадровый, рабочая область спектра 0,3 – 1,06 мкм, отношение сигнал/шум 35 дБ, диапазон рабочих температур для моделей 11 – 12 (-35) – (+55)°, для моделей 13 - 14 диапазон рабочих температур (-20) - (+55)°С, габариты 86x71x71 мм.

Таблица 7 – Основные параметры высокочувствительных ТВ камер на основе матриц ПЗС EMCCD

№ п/п	Фирма	Модель	Формат, дюймы	Число пикселей	Размер пикселя, мкм	Размеры активной поверхности, мм	Разрешение, ТВ линий	Рабочая область спектра, нм	Чувствительность, лк	Динамический диапазон, дБ	Масса, кг	Габариты, мм	Напряжение питания, В/энергопотребление, Вт	Диапазон рабочих температур, °С	Примечание
1	e2V	L3C216-05AFS		768x244	11,5x27			300 - 1060	10^{-5}	35		80x71x71		(-35) – (+55)	Есть ЖК затвор; ТВ стандарт 525 строк
2	e2V	L3C216-06AFS		768x288	11,5x23			300 - 1060	10^{-5}	35		80x71x71		(-35) – (+55)	Есть ЖК затвор; ТВ стандарт 625 строк
3	e2V	L3C216-05AFS1		768x244	11,5x27			300 - 1060	10^{-5}	35		80x71x71		(-35) – (+55)	Нет ЖК затвора; ТВ стандарт 525 строк
4	e2V	L3C216-06AFS1		768x288	11,5x23			300 - 1060	10^{-5}	35		80x71x71		(-35) – (+55)	Нет ЖК затвора; ТВ стандарт 625 строк
5	Raptor Photonics	MERLIN EM247	1/2	658x496	10x10	6,58x4,96		350 - 1100	10^{-5}	55	0,395	68x56x84	=12/12		Пиковая квантовая эффективность 52% на 530 нм, нелинейность менее 1 %, частота кадров 35 Гц, шум менее 1 электрона, темновой ток менее 0,1 электронов/пикселей/с, охлаждение до (-20)°С
6	Raptor Photonics	Hawk-EMCCD-210114	1/2	658x496	10x10	6,58x4,96	450	350 - 1100	2×10^{-4}	55	0,15	43x43x57	=12/<4,5 - 5	(-20) – (+55)	Антиблониговая защита более 500:1, частота кадров 35 Гц,
7	Raptor Photonics	Hawk EM 216-CB	2/3	769x288	11,5x28	8,832x6,624	625	180 - 1100	5×10^{-5}	55	0,23	50x45x75	=12/-	(-20) – (+55)	
8	Raptor Photonics	Hawk CCDI	1/2	768x494	8,6x8,3	6,6x4,1	482	350 - 1100	$<10^{-6}$	>60	0,15	43x43x57	=12/-	(-20) – (+55)	Частота кадров 25 Гц
9	Raptor Photonics	Hawk CCDII	1/2	752x582	8,6x8,3	6,47x4,83	482	350 - 1100	$<10^{-6}$	>60	0,15	43x43x57	=12/-	(-20) – (+55)	Частота кадров 30 Гц
10	Raptor Photonics	Hawk 247-CL	1/2	658x496	10x10		450	350 - 1100	10^{-5}	55	0,15	43x43x57	=12/5	(-20) – (+55)	Охлаждение – ТЭО, частота кадров 25/35 Гц
11	Raptor Photonics	Hawk 247-A	1/2	658x496	10x10		450	350 - 1100	10^{-5}	55	0,15	43x43x57	=12/4,5	(-20) – (+55)	Охлаждение – ТЭО, частота кадров 25/35 Гц
12	Raptor Photonics	Hawk 216-A	2/3	769x288	11,5x27		625	180 - 100	10^{-5}	55	0,23	50x45x75	=12/8	(-20) – (+55)	Охлаждение – ТЭО, частота кадров 25/35 Гц
13	Hamamatsu	ORCA-Flash 4.0		2048x2048	6,5x6,5			Видимая область спектра	10^{-5}						Квантовая эффективность более 70% на длине волны 600 нм и 50% на длине волны 750 нм, шум 1,3 электрона, частота кадров 100 Гц, время экспозиции 9,7 мкс – 10 с,
14	Hitachi	KP-DE500/KP-E500	1/2	680x500	10x10	6,58x4,96	480 (горизонт.) 380 (вертикальн.)		9×10^{-3} (цветное избр.) 5×10^{-3} (черно-белое избр.) $1,5 \times 10^{-4}$ (цветное избр., 64-х суммирование) 8×10^{-6} (черно-белое суммирование)	50	0,53	78x63x170	=12/15	(-10) – (+50)	Относительное отверстие объектива 1:1,4, суммирование полей 2-х, 4-х, 6-х, 8-х, 10-х, 16-х, 32-х, 64-х, цифровая обработка изображения
15	Hitachi	KP-D500-S1 1/2"	1/2	658x489	10x10	6,58x4,89	480 (горизонт.) 350 (вертикальн.)		9×10^{-3} (цветное избр.) 5×10^{-3} (черно-белое избр.) $1,5 \times 10^{-4}$ (цветное избр., 64-х суммирование) 8×10^{-6} (черно-белое суммирование)	50	0,61	78x63x170	=12/18	(-20) – (+60)	В модификации ТВ камеры DKP-M500 при относительном отверстии объектива 1:1,2 имеем минимальную рабочую освещенность 3×10^{-9} лк (без накопления) и 5×10^{-7} лк (с 64-х накоплением). Режим накопления выбирается ступенями от 2-х до 64-х (автоматически) или от 2-х до 128 (вручную). Электронный затвор имеет режимы экспозиции от 1/60 с до 1/2000 с.

Примечание: ТЭО – термоэлектрическое охлаждение.

Литература

1. Волков В. Г. Сверхвысококонтрастные телевизионные системы // Специальная техника. 2002. № 4. С. 2-11.
2. Волков В. Г. Телевизионные камеры для спецтехники // Спецтехника и связь. 2009. № 1. С. 2-11.
3. Волков В. Г. Цифровые приборы ночного видения // Спецтехника и связь. 2013. № 3. С. 13.
4. Гейхман И. Л., Волков В. Г. Видение и безопасность. – М.: Новости. 2009. – 840 с.
5. Волков В. Г., Гиндин П. Д. Техническое зрение. Инновации. – М.: Техносфера, 2014. – 840 с.
6. Телекамеры SMARTEC премиум-класса серии ULTIMATE // Smartec CCTV [Электронный ресурс]. 2016. – URL: www.smartec-cctv.ru (дата обращения 01.07.2016).
7. Телевизионные камеры фирмы ЭВС // Сайт компании ЭВС [Электронный ресурс]. 2016. – URL: www.evs.ru (дата обращения 22.07.2016).
8. Телевизионные камеры. Системы видеонаблюдения. Каталог фирмы ЭВС. – СПб.: ЭВС, 2016.
9. Высоконтрастные и мегапиксельные телекамеры НПФ «ЭВС» // S-Прогресс [Электронный ресурс]. 2016. – URL: http://sio.su/down_006_111_def.aspx (дата обращения 01.07.2016).
10. ТВ камеры с повышенной чувствительностью. Каталог ОАО «НПО Геофизика-НВ». – М.: НПО Геофизика-НВ», 2016.
11. ТВ камера «Кречет». Проспект фирмы ОАО «ЦНИИ ЦИКЛОН». – М.: ОАО «ЦНИИ ЦИКЛОН», 2014.
12. Матрицы ПЗС EMCCD и ТВ камера MERLIN на их основе // E2V [Электронный ресурс]. 2016. – URL: http://www.diaworld.ru/catalog/merlin_em247.pdf (дата обращения 02.07.2016).
13. Научные CCD видеокамеры Falcon фирмы Raptor Photonics // Raptor Photonics [Электронный ресурс]. 2016. – URL: www.raptorphotonics.ru (дата обращения 03.07.2016).
14. Казначеев С. А. особенности получения ТВ-изображений при ограниченных потоках фотонов // Наука и образование. 2014. № 6. С. 209-221. – URL: <http://technomag.bmstu.ru/djc/716587.html> (дата обращения 03.07.2016).
15. CCD97-00. Back Illuminated 2-Phase IMO Series Electron Multiplying CCD Sensor // E2V [Электронный ресурс]. 2011. – URL: <http://www.e2v.com/resources/account/download-datasheet/1487> (дата обращения 04.07.2016).
16. ТВ камера на основе EMCCD черно-белого изображения MERLIN EM247 // Фирма Raptor Photonics [Электронный ресурс]. 2016. – URL: www.diaworld.ru (дата обращения 04.07.2016).
17. ТВ камера ORCA-Flash 4.0 меняет правила игры // Проспект фирмы Hamamatsu. 2016.

18. Максимов А. Ф., Балега Ю. Ю., Дьяченко В. В., Малоголовец Е. Р., Расстегаев В. А., Семерников Е. М. Спекл-интерферометр 6-м телескопа САО РАН на основе ЕМ CCD: характеристики и новые результаты // Астрофизический бюллетень. 2009. Т. 64. № 3. С. 308-221.

19. Комаров В. В. ЕМ CCD CCTV камеры – исследование по небесным объектам // Прикладная физика. 2012. № 2. С. 99-103.

References

1. Volkov V. G. Sverchvisokochuvstvitelnye televisionnye systemy [Superhighsensitivity television system]. *Spetsial'naia Tekhnika*, 2002, no. 4, pp. 2-11 (in Russian).

2. Volkov V. G. Televisionnye camery dlja speztechniki [Television cameras for construction equipment]. *Specialized Machinery and Communication*, 2009, no. 1, pp. 2-11 (in Russian).

3. Volkov V. G. Zifrovye pribory nochnogo videnija [Digital night vision devices]. *Specialized Machinery and Communication*, 2013, no. 3, pp. 13 (in Russian).

4. Gaykhman I. L., Volkov V. G. Videnie i besopasnost [Vision and safety]. Moscow, News Publ., 2009. 840 p. (in Russian).

5. Volcov V. G., Gindin P. D. *Technicheskoe zrenye. Innjvazyi* [Technical vision. Innovation]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2014. 840 p. (in Russian).

6. Telecamery SMARTEC premium classa seryi ULTIMATE [The camera SMARTEC premium series ULTIMATE]. *Smartec CCTV*, 2016. Available at: www.smartec-cctv.ru (accessed 01 June 2016) (in Russian).

7. Televisionnye camery Kompanyi EVS. [Television Cameras company the EVS]. *EVS Sait*, 2016. Available at: www.evs.ru (accessed 22 June 2016) (in Russian).

8. *Televisionnye camery. Systemy videonabludenyja* [TV Cameras. A video surveillance systems]. Saint-Petersburg, EVS Company Publ., 2016.

9. Vysokochuvstvitelnye i megapixelnye camery firmy "EVS" [Highly sensitive and megapixel cameras NPF "EVS"]. S-Progress, 2016. Available at: http://sio.su/down_006_111_def.aspx (accessed 01 June 2016) (in Russian).

10. Televisionnye camery s povishennoy chuvstvitelnostju [TV cameras with high sensitivity]. Moscow, Catalogue of JSC "NPO Geofizika-NV", 2016. (in Russian).

11. Televisionnaya camera "Krechet" [TV camera "Merlin"]. Moscow, Prospect of the "TSNII CYCLONE" company, 2014. (in Russian).

12. Matrizy EMCCD CCD b televisionnaja camera MERLIN na ich osnove. [The EMCCD CCD matrix and TV camera MERLIN based on them]. E2V, 2016. Available at: http://www.diaworld.ru/catalog/merlin_em247.pdf (accessed 02 June 2016) (in Russian).

13. Nauchnye CCD camery Falcon kompanyi Raptor Photonics [Scientific CCD cameras Falcon company Raptor Photonics]. Raptor Photonics, 2016. Available at: www.raptorphotonics.ru (accessed 03 June 2016). (in Russian).

14. Kaznacheev S. A. Osobennosty polucheniya TV-izobrazheniy pri ogranichenom potoke fotonov. [Peculiarities of obtaining TV images with a limited photon flux]. *Science and education*, 2014, vol. 6, pp. 209-221. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/djc/716587.html> (accessed 03 July 2016) (in Russian).
15. CCD97-00. Back Illuminated 2-Phase IMO Series Electron Multiplying CCD Sensor. *E2V Technologies Ltd.*, 2011. Available at: <http://www.e2v.com/resources/account/download-datasheet/1487> (accessed 04 July 2016). (in Russian).
16. TV camera na osnove EM CCD cherno-belogo izobrazheniya MERLIN EM 247 [TV camera on the basis of the EMCCD monochrome image MERLIN EM247]. *Firm Raptor Photonics*, 2016. Available at: www.diaworld.ru (accessed 04 July 2016) (in Russian).
17. TV camera ORCA-Flash4.0 menjaet pravila igry [TV camera ORCA-Flash4.0 game-changing]. *The prospect of the Hamamatsu company*, 2016. (in Russian).
18. Maksimov A. F., Balega V. V., Dyachenko E. R., Malogolovets V. A., Rasstegaev V. A., Semernikov E. M. Speckl-interferometer 6 m telescope SO RAN na osnove EM CCD: chracteristiki I novye resultaty [The speckle interferometer of the 6-m telescope of Sao RAS on the basis of the EM CCD: characteristics and new results]. *Astrophysical Bulletin*, 2009, vol. 64, no. 3, pp. 308-221 (in Russian).
19. Komarov V. V. EM CCD TV camery – issledovaniya po nebesnym objektam [EM CCD cameras CCTV – the study of celestial objects]. *Prikladnaya fizika*, 2012, no. 2, pp. 99-103 (in Russian).

Статья поступила 18 июля 2016 г.

Сведения об авторе

Волков Виктор Генрихович – доктор технических наук, академик Российской Академии Естественных Наук, профессор кафедры РЛ-2 «Лазерные и оптико-электронные системы». Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э. Баумана. Область научных интересов: приборы визуализации изображения. E-mail: volkvik2009@yandex.ru

Адрес: Россия, 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1.

High-Sensitivity Television Camera for Security

V. G. Volkov

Problem statement. The new highly sensitive television (TV) cameras which ensure the work of the security services, are describes in the paper. Also, their technical parameters and potentialities are described in paper. **Objective.** The analysis of a latest developments in the field of creation of specific TV cameras of various types for ensure safety is aim of paper. Methods of analysis are the scientific comparison and the technical analysis of the capabilities of the TV cameras and methods their application in security systems. **Novelty.** The systematic analysis of the technical parameters for the high-sensitivity TV cameras which uses as safety devices is novelty of paper. **Practical significance.** Methods of use of the high sensitivity TV cameras are offer for the security systems. The methods are selected according of the parameters cameras, their ability to provide around the clock monitoring and operation in degraded conditions vision.

Keywords: TV, camera, sensitivity, signal/noise, resolution, dynamic range, pixel size, size of the active area, mass, size, energy consumption.

About the Author

Viktor Genrichovich Volkov – Dr. habil. of Engineering Sciences, Academician of Russian Academy of Natural Sciences. Professor at the Department RL-2 “Laser and Optic Electron Systems”. Bauman Moscow State Technical University. Field of research: devices of images visualization. E-mail: volkvik2009@yandex.ru

Address: Russia, 105005, Moscow, 2nd Baumanskaya str., 5-1.