



# Современные системы цифрового телевидения

Старт 2-клик  
Стоп - 1 клик

## Лекция 6

### Телевизионные камеры

ФИО преподавателя: Смирнов

Александр Витальевич

e-mail: [av\\_smirnov@mirea.ru](mailto:av_smirnov@mirea.ru)





## Фотоэффект

***Внешний фотоэффект*** – эмиссия (вылет) электронов из поверхности некоторых металлов под действием света (диссектор).

***Внутренний фотоэффект*** – увеличение проводимости *полупроводников* под действием света (видикон, ПЗС матрица).

Причина явления – переход электрона в свободное состояние при поглощении фотона.

Условие фотоэффекта:  $h \nu_{\text{гр}} > E_{\text{п}}$  или  $h c / \lambda_{\text{гр}} > E_{\text{п}}$

$E_{\text{п}}$  – энергия, нужная для перехода электрона,

$\nu_{\text{гр}}$  – миним. частота света,  $h$  – пост. Планка,

$\lambda_{\text{гр}}$  – длинноволновая граница фотоэффекта.

Для кремния  $\lambda_{\text{гр}} \approx 1,1$  мкм (ближний ИК)



## Накопление заряда

*Преобразователи свет-сигнал бывают:*

***Мгновенного действия*** – в каждый момент времени в сигнал преобразуется свет от одного элемента изображения (оптико-механические системы, диссектор).

***С накоплением заряда*** – для каждого элемента изображения есть отдельная ячейка, в которой свет преобразуется в электрический заряд, и этот заряд накапливается (видикон, ПЗС матрицы и др.).  
Такой метод дает более высокую чувствительность.



## Механизмы развертки

*Типы преобразователей свет-сигнал:*

- **оптико-механические** (диск Нипкова, вращающиеся призмы и т.п.); применялись до середины 30-х годов;
- **электронно-лучевые** (суперортикон, диссектор, видикон, плюмбикон и т.д.); применялись до 90-х годов;
- **твердотельные** (ПЗС матрицы, КМОП матрицы и др.); широко применяются в настоящее время.



## Характеристики преобразователей свет-сигнал

**Чувствительность** — минимальная освещенность (лк) на чувствительных элементах, при которой обеспечивается заданное С/Ш (сигнал/шум).

**Световая  $x$ -ка** — зависимость выходного сигнала (мкА или мВ) от освещенности (лк).

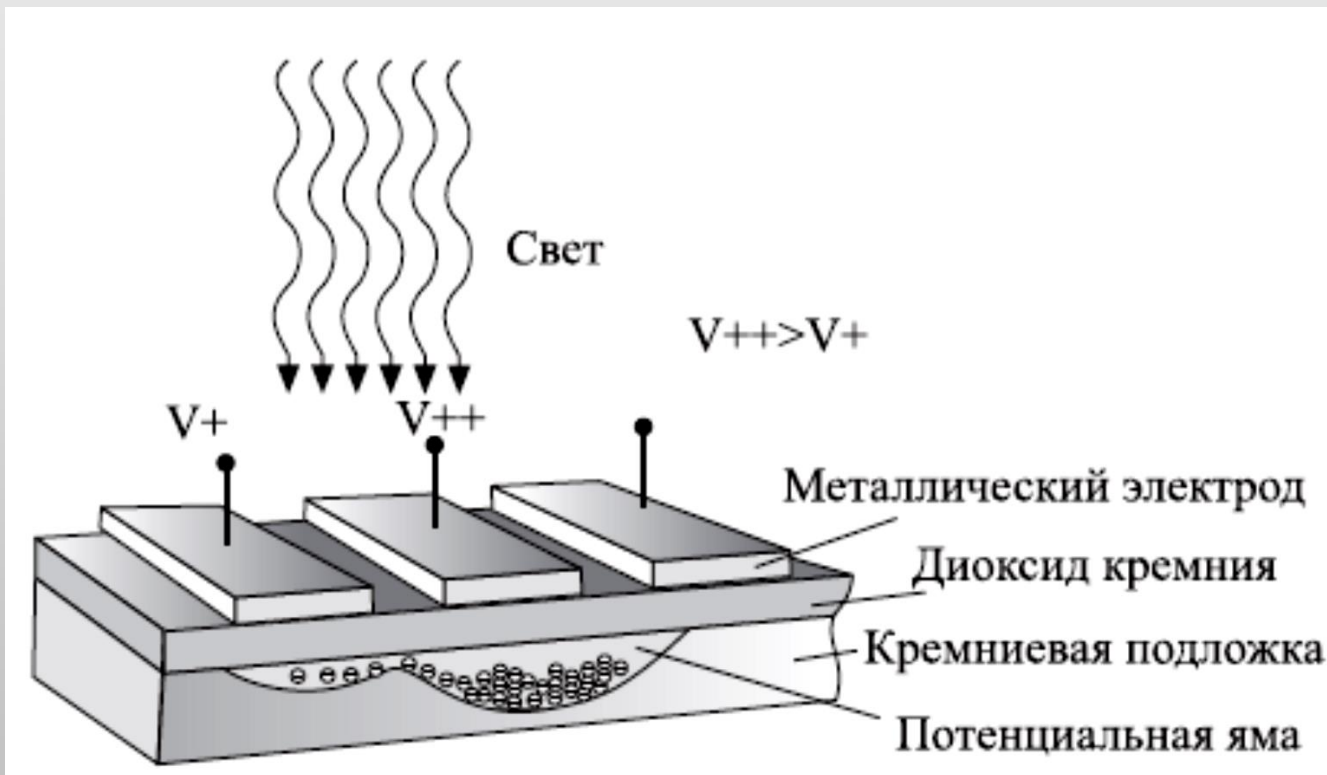
**Спектральная  $x$ -ка** — зависимость выходного сигнала (мкА или мВ) от длины волны (нм).

**Разрешающая способность** (ТВл) - насколько мелкие детали создают заданное С/Ш.

**Инерционность** — как долго следы предыдущего изображения заметны на новом изображении.



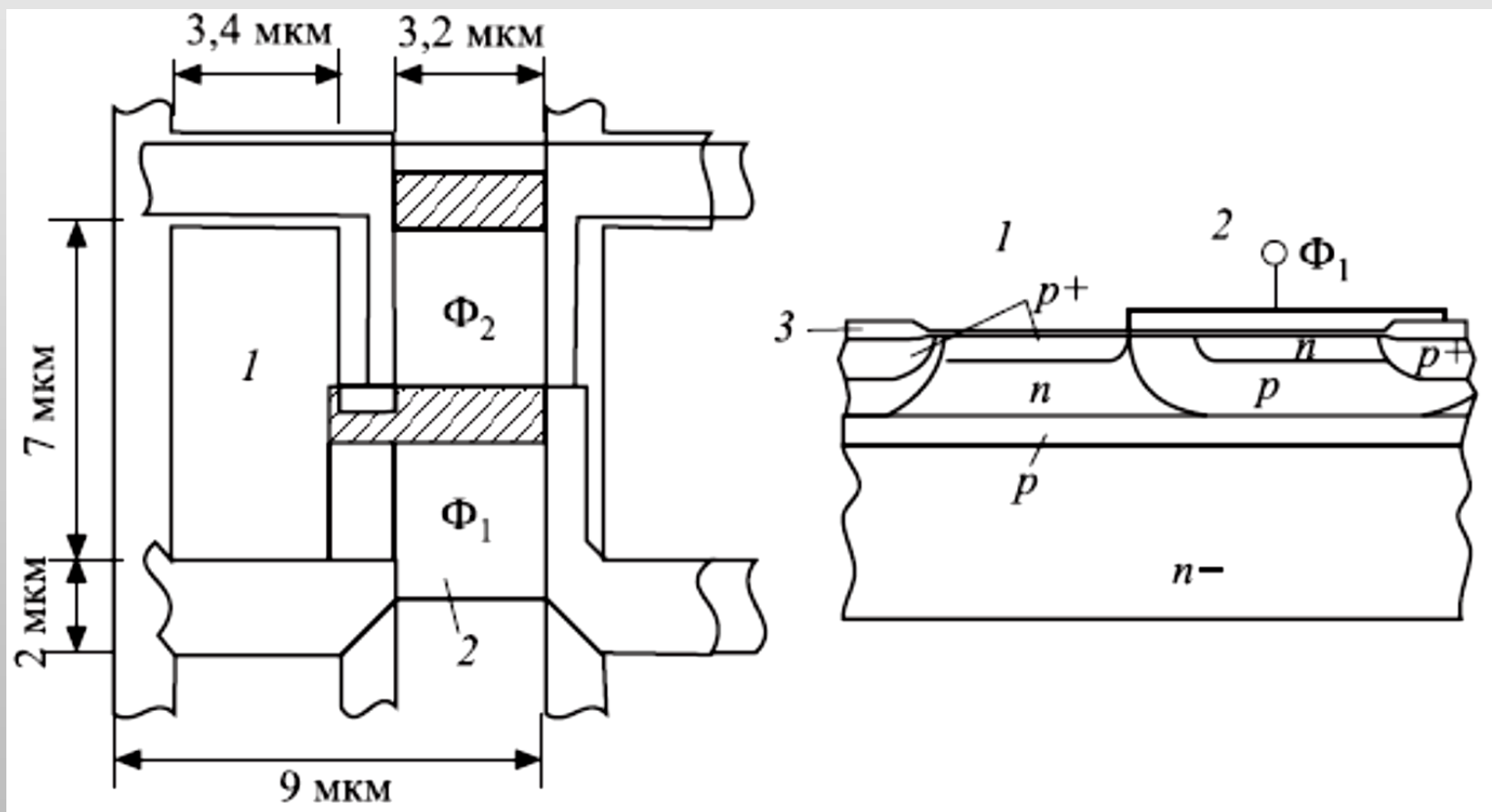
## Принцип работы ПЗС (CCD)



Под действием света создаются пары электрон-дырка. Электроны накапливаются, дырки вытесняются в подложку (р-типа). Для перемещения зарядов в соседнюю ячейку надо подать на нее более положительный потенциал



## Ячейка матрицы – фотодиод



1. Фотодиод; 2. Сдвиговый регистр; 3. Диэлектрик;  $\Phi_1, \Phi_2$  - электроды



## Описание фотодиода

С боков фотодиод 1 и регистр 2 ограничены стоп-каналами типа  $p^+$ . Фотодиод формируется путем создания под слоем диэлектрика 3 области  $n$ -типа, на границе которой с расположенной ниже областью  $p$ -типа возникает потенциальный барьер. При этом обе области оказываются обедненными. Под действием света в них генерируются пары электрон-дырка. Электроны накапливаются в области  $n$ -типа, а дырки уходят в область  $p$ -типа и связанные с ней стоп-каналы, имеющие потенциал, близкий к нулю. Важно, что над самим фотодиодом электрода нет, что повышает чувствительность этого датчика.

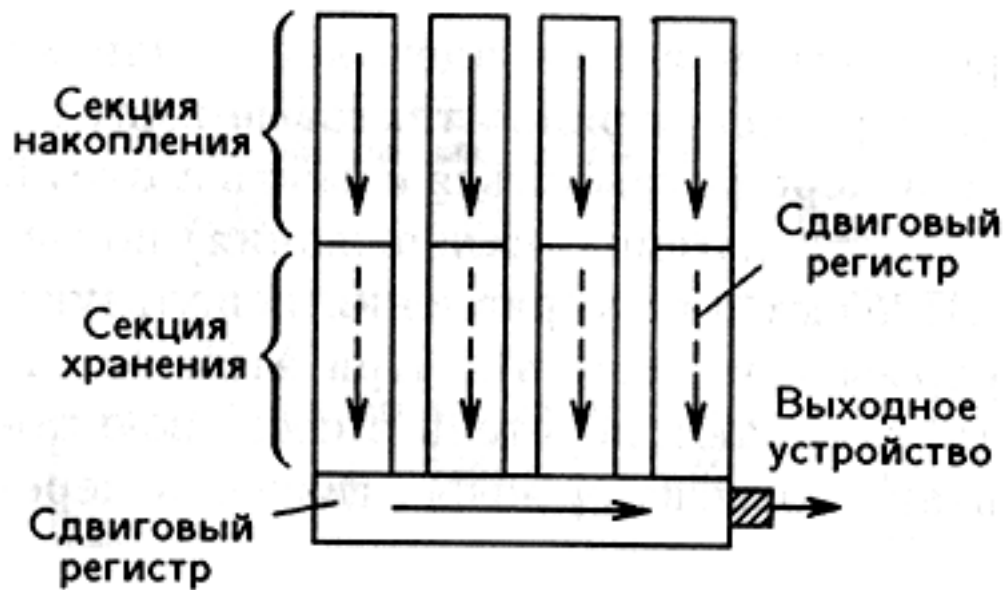
Для уменьшения потерь электронов при переносе в сдвиговом регистре 2 под слоем диэлектрика 3 сформирован встроенный канал  $n$ -типа. Электроны концентрируются в этом канале и оказываются изолированными от границы с диэлектриком, где обычно и происходят потери.

Поверх области  $n$  формируется тонкий слой типа  $p^+$ . В процессе накопления зарядов дырки, генерируемые в области  $n$ , уходят через этот слой и далее через стоп-каналы в источник напряжения, а электроны оказываются изолированными от границы с диэлектриком, на которой высока вероятность рекомбинации.





## Структуры ПЗС матриц



С покадровым переносом



Со строчным переносом



Figure 1 consists of two parts. Part (a) is a top-view schematic of the device. It shows a central region labeled 'ПДО' (2D electron gas) and a surrounding region labeled 'КДО' (control region). Four transistors, labeled  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ , and  $T_4$ , are connected to the gates. The gates are labeled  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$ ,  $\Phi_3$ , and  $B3$ . The output is labeled 'Выход'. Part (b), (c), (d), and (e) are cross-sectional diagrams showing the potential profile  $+E$  and the position of the 2D electron gas (hatched area) for different gate voltages. The diagrams are labeled  $\Phi_2$ ,  $\Phi_3$ , ПДО, and КДО.

ПДО - плавающая диффузионная область,  
КДО - компенсационная диффузионная область



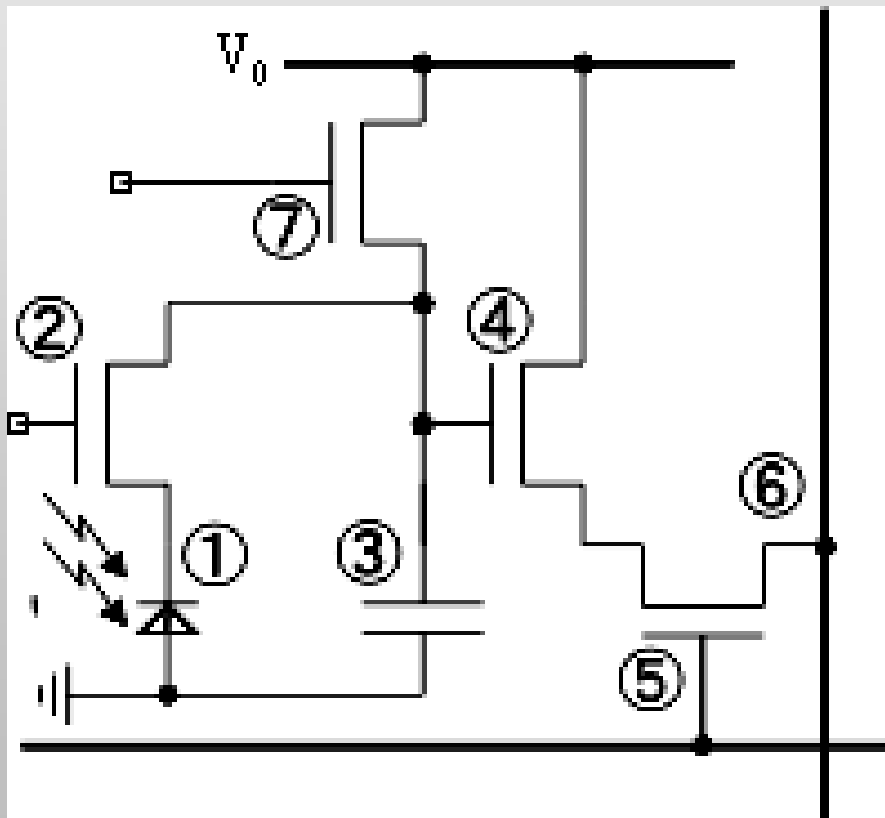
## Шумы в ПЗС матрицах

1. Фотонный шум - обусловлен дискретностью света и сказывается при низкой освещенности.
2. Тепловая генерация пар электрон-дырка.
3. Потери зарядов при переносе.
4. Геометрический или пространственный шум - обусловлен разбросом параметров ячеек.

В результате чувствительность ПЗС матриц без охлаждения составляет 0,1 - 0,01 лк.



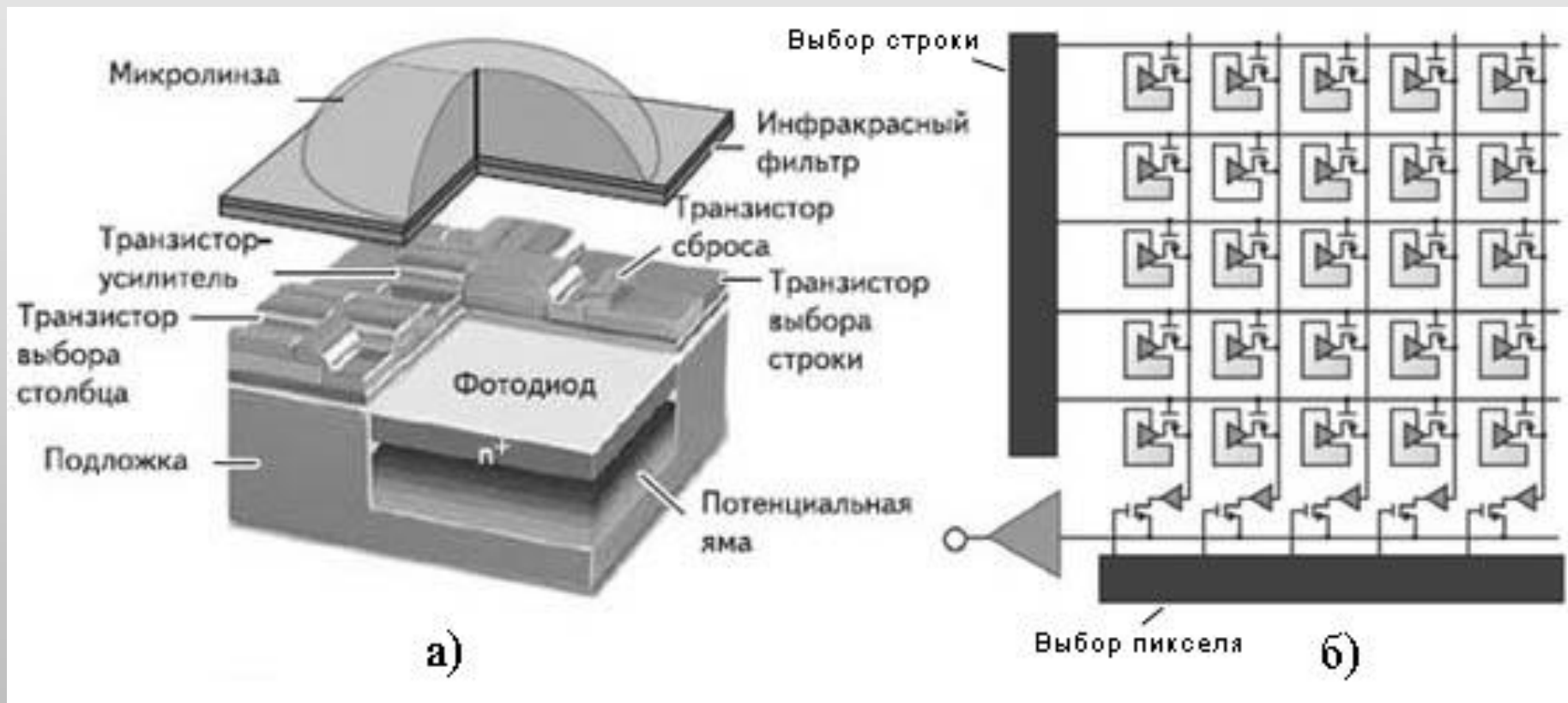
## Ячейка КМОП (CMOS) матрицы



1. Фотодиод
2. Транзистор выбора строки
3. Конденсатор
4. Усилительный транзистор
5. Транзистор выбора столбца
6. Шина столбца
7. Транзистор сброса

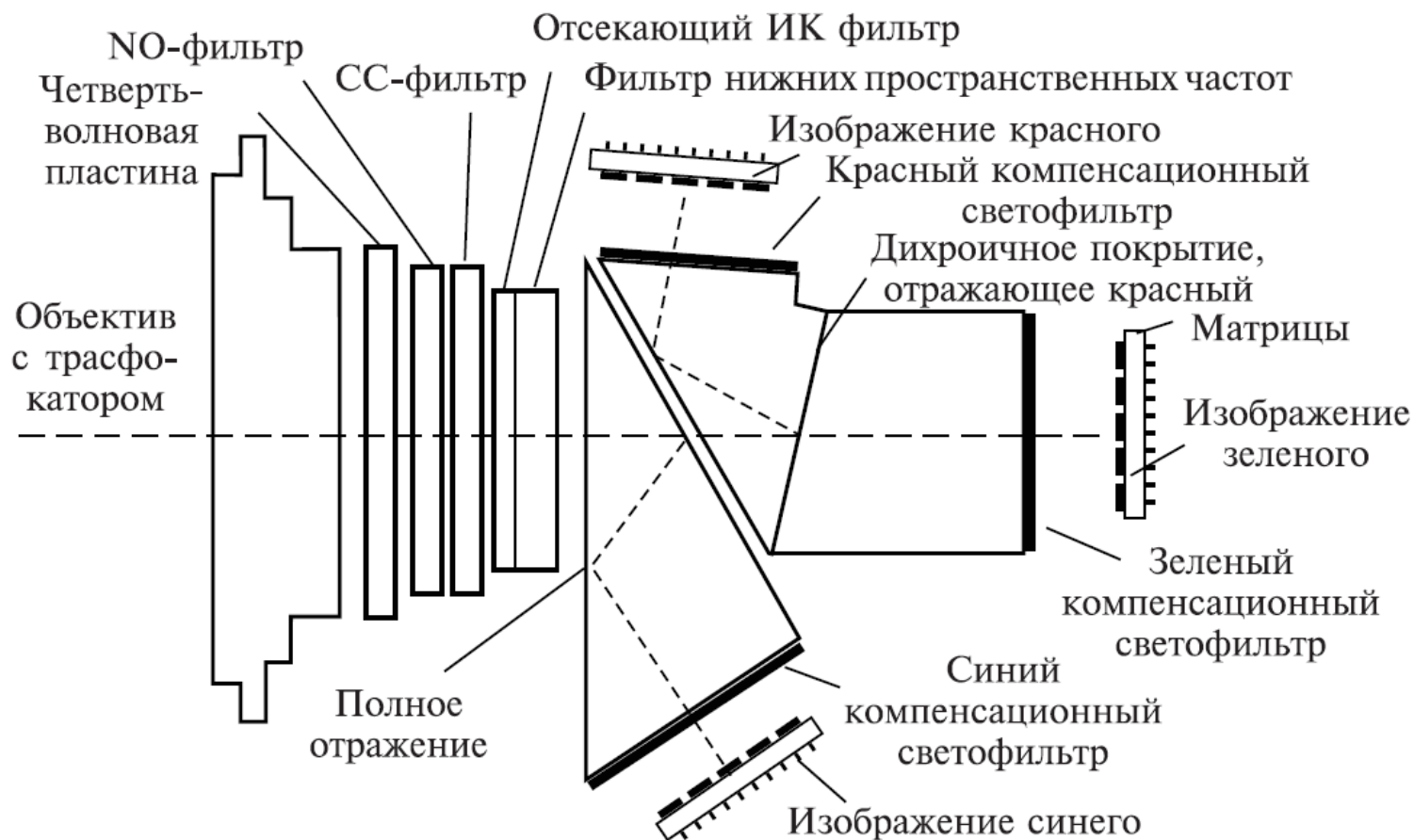


# Конструкция ячейки и структура КМОП матрицы





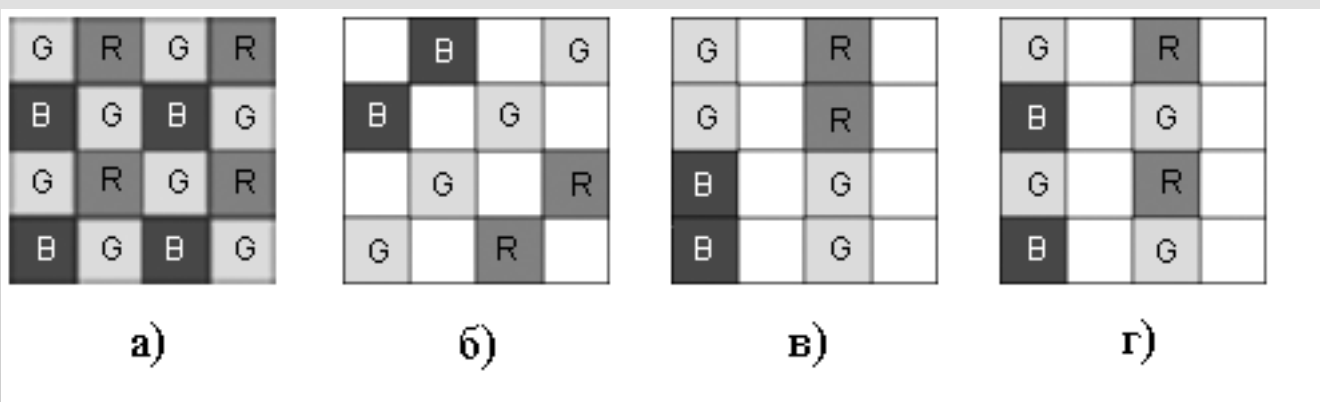
## Оптика студийной ТВ камеры



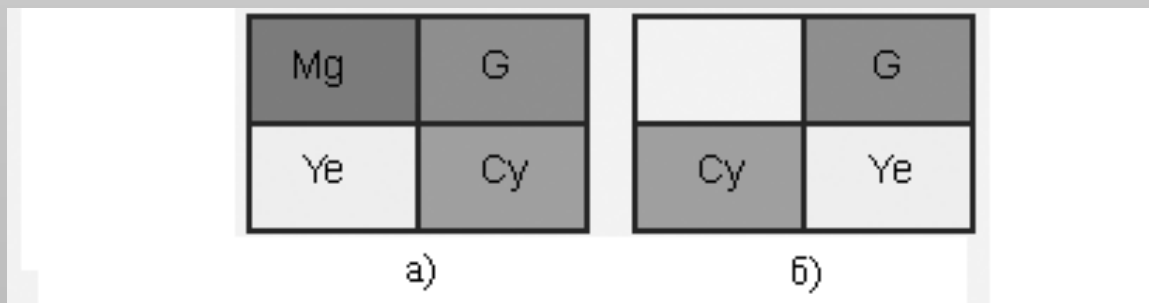


# Мозаичные светофильтры

## Фильтры основных цветов

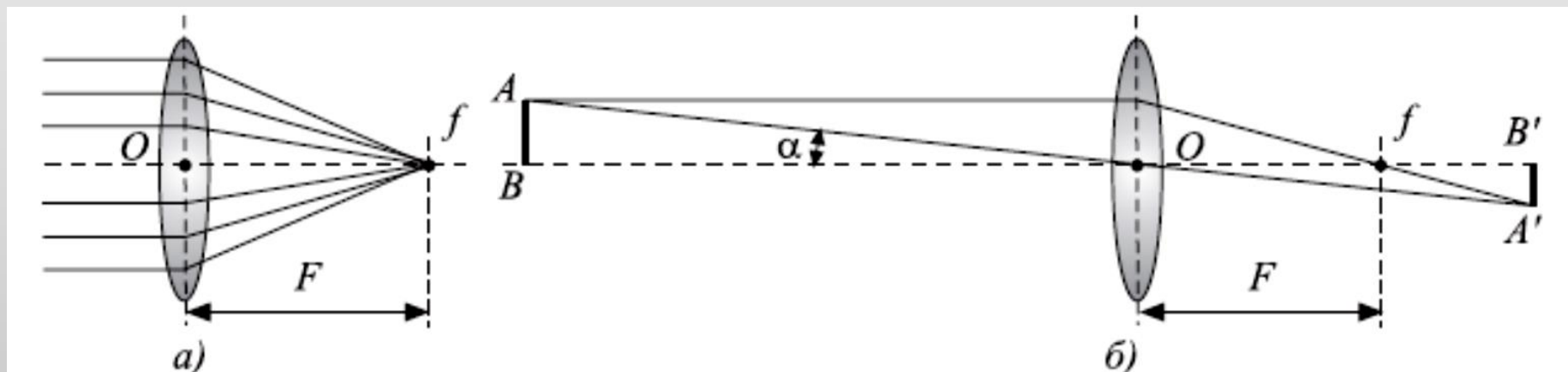


## Фильтры дополнительных цветов





## Собирающая линза



а) Фокусное расстояние.      б) Построение изображения.

$$\frac{1}{OB} + \frac{1}{OB'} = \frac{1}{F}$$





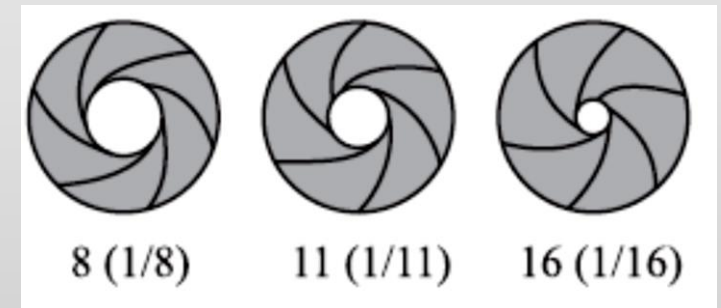
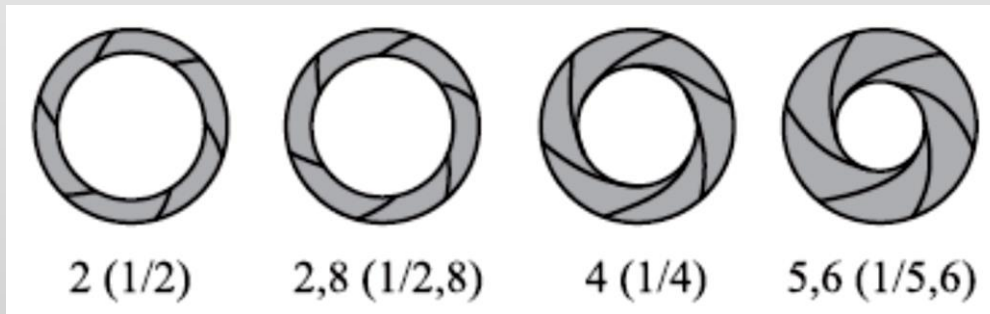
## Профессиональный объектив



Линзы рассчитывают так, чтобы обеспечить взаимную компенсацию создаваемых ими aberrаций (искажений).



## Диафрагма объектива



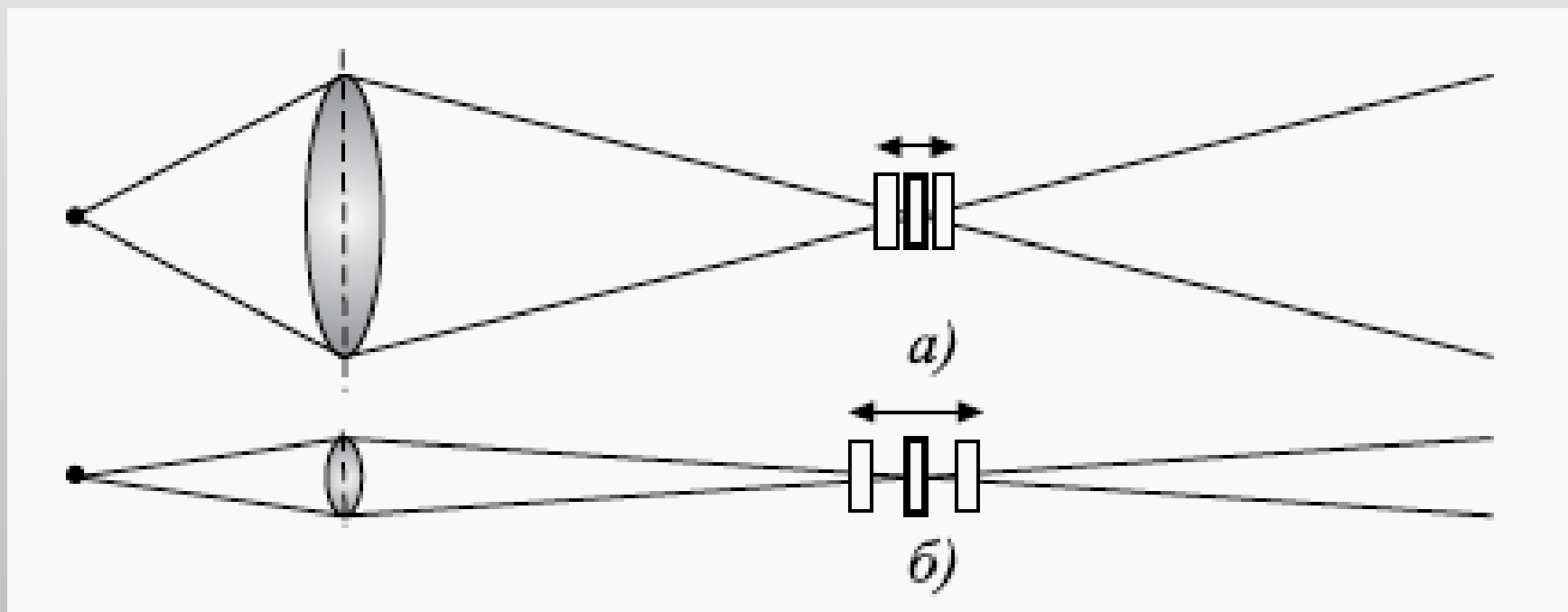
Светосила

$$Q = \frac{E_{\text{из}}}{B_{\text{об}}} = \tau \left( \frac{D}{F} \right)^2$$

Здесь  $\tau$  - коэффициент светопропускания,  $D$  и  $F$  - диаметр входного отверстия (апертура) и заднее фокусное расстояние объектива. Отношение в скобках называется относительным отверстием. Его значение записывают как отношение единицы к диафрагменному числу.



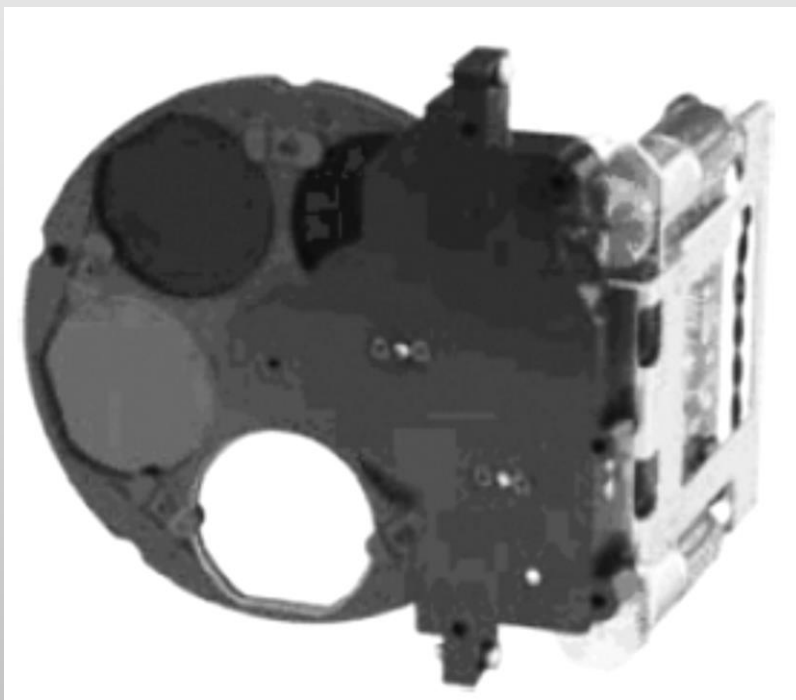
## Влияние диафрагмы на глубину резкости



При меньших диафрагмах глубина резко отображаемого пространства больше



## Блок сменных светофильтров



Светофильтр выбирают в зависимости от освещения сцены



## Оптика в портативных устройствах

Многолинзовые оптические схемы в наше время применяются не только в профессиональных телевизионных и фотокамерах, но и в портативных устройствах, таких как смартфоны. Регулировка диафрагмы в таких объективах в большинстве случаев отсутствует, но имеется настройка фокусировки, а иногда и оптический Zoom.

Следует иметь в виду, что для камер смартфонов в документации и рекламе обычно указывают не реальное фокусное расстояние их объективов, а эквивалентное фокусное расстояние, то есть фокусное расстояние объектива нормальной фотокамеры, при котором поле обзора оказывается таким же, как у камеры смартфона. А на размер поля обзора влияет не только фокусное расстояние, но и размер матрицы, который в фотокамерах намного больше. Реальное же фокусное расстояние объектива в смартфоне намного меньше заявляемого.



## Оптика дешевых видеокамер

Если зона наблюдения постоянная, как в случае видеодомофона, то применяются короткофокусные объективы с фиксированной фокусировкой, установленной на так называемое гиперфокальное расстояние. При этом задняя граница резко изображаемого пространства лежит в бесконечности, то есть все объекты, начиная с некоторого расстояния от камеры, создают резкое изображение. Зона наблюдения оказывается ограниченной по расстоянию от камеры, но достаточно большой по углу обзора.

Если необходимо изменение зоны наблюдения по расстоянию от камеры, как это может потребоваться в автомобильных видеорегистраторах, приходится использовать более сложные объективы с возможностью наводки на резкость.



## Обработка сигнала в ТВ камерах

1. Цветовая коррекция
2. Гамма-коррекция
3. Апертурная коррекция
4. Противошумовая коррекция



## Настройка баланса белого

Для неокрашенных участков изображения должно выполняться равенство

$$E_R = E_G = E_B \text{ (баланс белого);}$$

Распространенный вариант выполнения заключается в том, что перед объективом помещают белый лист бумаги и запускают выполнение автоматической настройки, параметры которой затем сохраняются. В некоторых камерах присутствует опорный источник белого света, по которому выполняется эта настройка.

Известны методы контроля и коррекции баланса белого по изображению сцены, например, путем выделения в нем объектов, цвет которых должен быть вполне определенным.





## Матричная цветовая коррекция

Для точного воспроизведения цветности объекта необходимо, чтобы цветоделительная система телевизионной камеры разделяла световой поток на составляющие с такими же спектральными характеристиками, как у свечения люминофоров экрана. На практике это требование не выполняется. Поэтому необходима матричная цветовая коррекция, при которой над сигналами основных цветов выполняются следующие операции

$$\begin{cases} E_R = a_{11}E_{R0} + a_{12}E_{G0} + a_{13}E_{B0} \\ E_G = a_{21}E_{R0} + a_{22}E_{G0} + a_{23}E_{B0} , \\ E_B = a_{31}E_{R0} + a_{32}E_{G0} + a_{33}E_{B0} \end{cases}$$

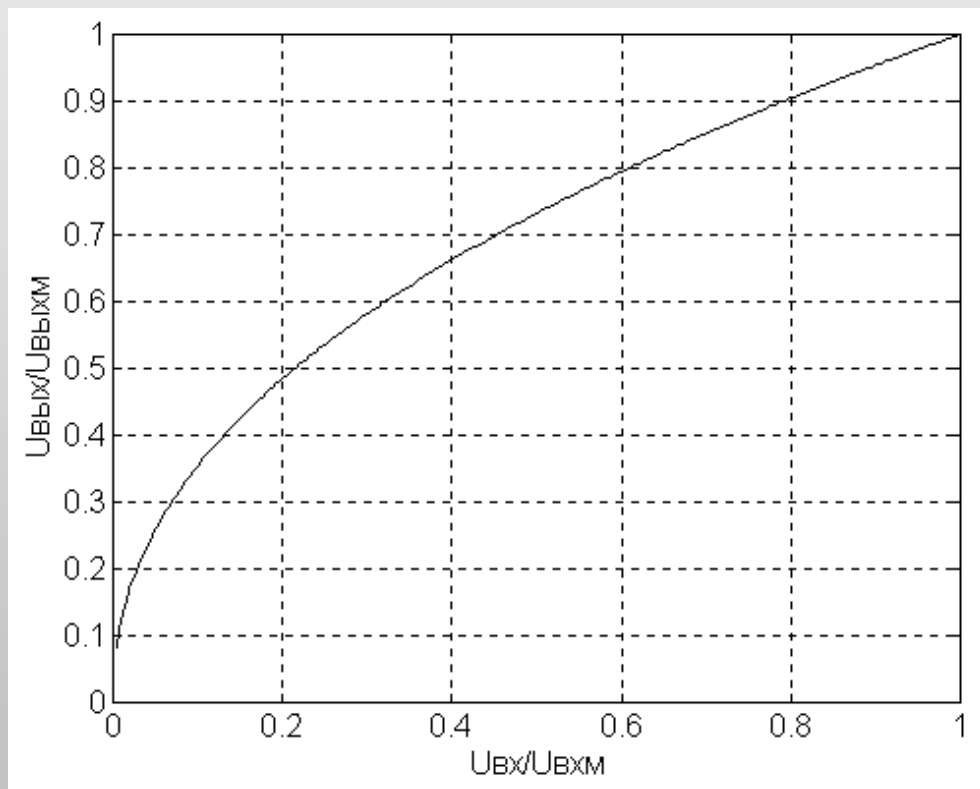
где  $E_{R0}$ ,  $E_{G0}$ ,  $E_{B0}$  – сигналы основных цветов до коррекции,

$E_R$ ,  $E_G$ ,  $E_B$  – сигналы после коррекции,

$a_{ij}$  – коэффициенты, задаваемые так, чтобы минимизировать ошибки цветопередачи.



## Гамма-коррекция



$$Y = X^\gamma, \text{ где } \gamma \approx 0,45.$$

В результате количество битов на отсчет уменьшается с 14 – 16 на выходе АЦП до 10 – 12 для дальнейшей обработки, причем шум квантования для менее ярких участков оказывается меньше, чем для более ярких.



## Апертурная коррекция

Апертурными искажениями в телевизионных системах называются искажения, обусловленные в основном неидеальностью преобразователей свет-сигнал и сигнал-свет. Апертурные искажения проявляются в ухудшении четкости изображения, снижении резкости контуров и уменьшении контрастности малоразмерных деталей.

Назначение апертурной коррекции – исправить апертурные искажения. В современной аппаратуре применяют цифровую апертурную коррекцию.



## Цифровая пространственная фильтрация

Пусть  $x(i, j)$  – значения, например, яркости элементов исходного изображения,  $y(i, j)$  – значения яркости элементов изображения, получающегося в результате фильтрации,  $a(m, n)$  – матрица, задающая двумерный фильтр и имеющая размеры  $M$  по горизонтали и  $N$  по вертикали. Действие двумерного нерекурсивного фильтра описывается соотношением

$$y(i, j) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} a(m, n) \cdot x[i + m - (M - 1) / 2, j + n - (N - 1) / 2],$$

где  $i$  – номер строки,  $j$  – номер элемента в строке. Каждый элемент выходного изображения представляется суммой элементов входного изображения, умноженных на элементы матрицы фильтра. Такая операция называется двумерной сверткой. Количество учитываемых соседних элементов входного изображения определяется размером матрицы фильтра.



## Примеры матриц фильтров

а) 
$$\begin{pmatrix} 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0,1 & 0,2 & 0,1 \\ 0,1 & 0,1 & 0,1 \end{pmatrix}$$

ФНЧ

б) 
$$\begin{pmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 5 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{pmatrix}$$

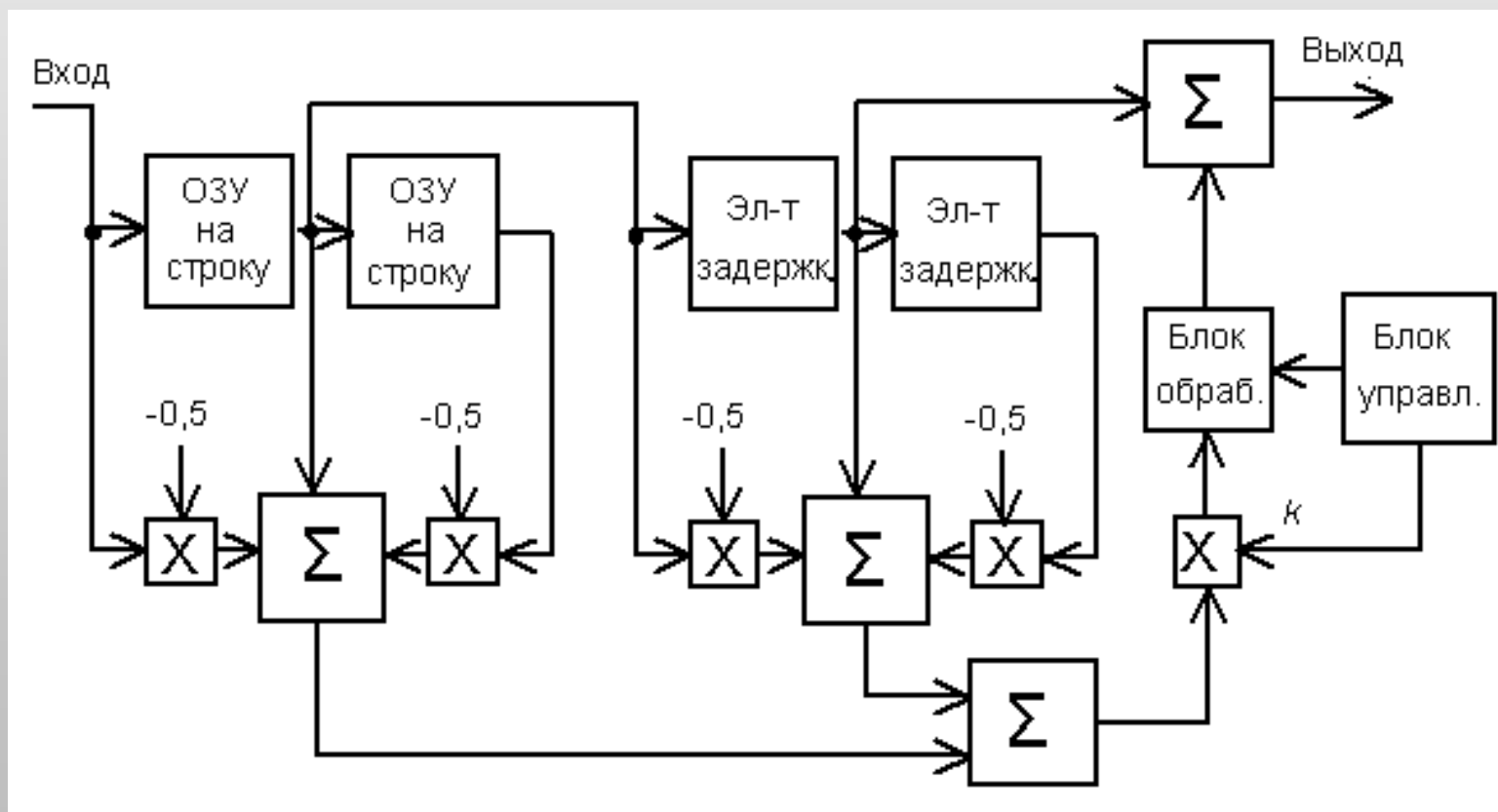
ФВЧ

в) 
$$\begin{pmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{pmatrix}$$

Оператор Лапласа



## Цифровой апертурный корректор





## Пояснения к схеме

Из значения яркости текущего элемента изображения вычитаются умноженные на  $k/2$  значения яркостей его ближайших соседей по горизонтали и по вертикали (ФВЧ). Для этого в случае горизонтальной координаты используются два элемента задержки на один период дискретизации каждый, а в случае вертикальной координаты – два ЗУ на строку. Полученные корректирующие сигналы суммируются. Результат суммирования умножается на коэффициент  $k$  и добавляется к входному сигналу, задержанному на одну строку и еще один период дискретизации.

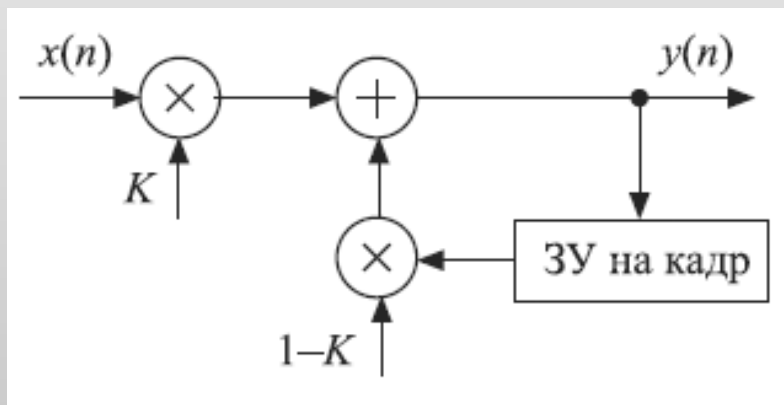
Блок управления анализирует свойства обрабатываемого участка изображения и устанавливает коэффициент  $k$ , определяющий уровень корректирующего сигнала, и параметры дальнейшей обработки этого сигнала. При этом увеличивается уровень корректирующего сигнала на контурах объектов и уменьшается уровень коррекции на гладких участках изображения, чтобы не усиливать шумы и малоконтрастную текстуру.



## Противошумовая коррекция

Вариант 1 – применение пространственного ФНЧ.

Вариант 2 – фильтрация во времени



$$y(n) = K x(n) + (1 - K) \cdot y(n - N_{\text{кадр}})$$

ЗУ на кадр создает задержку на  $N_{\text{кадр}} = f_{\text{д}} T_{\text{кадр}}$  элементов,

где  $f_{\text{д}}$  – частота дискретизации,  $T_{\text{кадр}}$  – период кадров.

Если  $f_{\text{д}} = 13,5$  МГц, а  $T_{\text{кадр}} = 40$  мс, то  $N_{\text{кадр}} = 540000$ .

Наилучшие результаты дает адаптивное сочетание двух вариантов.





## Автоматические настройки

**Автоматическая фокусировка** по уровню высокочастотных составляющих сигнала яркости в некоторой области изображения. Линзы фронтальной группы перемещаются в такое положение, при котором уровень ВЧ составляющих максимален, и, следовательно, четкость мелких деталей изображения наилучшая.

**Регулировка длительности экспозиции** (накопления зарядов) и/или диафрагмы на основе анализа динамического диапазона сигнала яркости или всех сигналов основных цветов, чтобы добиться наилучшей передачи всего диапазона яркостей объекта.

**Автоматическая компенсация колебаний камеры** в руках оператора. Один из вариантов реализации этой функции основан на оценке смещений изображения из-за таких колебаний и последующем компенсирующем смещении изображения в цифровой памяти. При этом число пикселей матрицы должно быть с запасом по обеим координатам. Методы оценки смещений могут быть сходными с используемыми при сжатии видеоинформации.



Спасибо за внимание!