

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА РОССИИ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

---

Кафедра Радиотехнических устройств

В.Н. Дивеев

## ОСНОВЫ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Москва – 2000

ББК 621.372

Д44

Научный редактор - канд. техн. наук, доц. А. И. Хасабов

Рецензент - канд. техн. наук, доц. Куликов Г.В.

Дивеев В.Н.

Д44. Основы телевидения. М.: МГТУ ГА, 2000. - с.

Данные методические указания издаются в соответствии с учебной программой для студентов специальности 20.13 для всех видов обучения.

Рассмотрены и одобрены на заседаниях кафедры РТУ 20.01.00г. и методического совета . . 00 г.

## Введение

Телевидение является отраслью науки и техники служащей целям передачи и приема действительных оптических изображений на расстоянии с помощью радиоволн. Можно считать, что телевидение есть один из частных случаев отображения визуальной информации посредством полутоновой информационной модели изображения [1,6]. В этой связи системы и устройства телевидения лежат в общей сфере интересов систем и устройств отображения информации. Следует также отметить, что телевизионные способы анализа и синтеза визуальных изображений, а также элементы телевизионной техники достаточно широко используются в других средствах отображения информации. Общие закономерности визуального воспроизведения оптических изображений, общие характеристики и параметры систем и устройств отображения информации применительно к учебной дисциплине “Основы телевидения и отображения информации” были изложены в ранее выпущенном нами учебном пособии [6]. Поэтому в данном учебном пособии рассматриваются только те материалы, которые составляет специфику телевидения: особенности анализа действительных оптических изображений (ДОП), синтеза телевизионных изображений (ТИ), характеристики и параметры этих изображений, характеристики и параметры телевизионного сигнала, способы его передачи в радиолинии, способы его создания в телевизионных датчиках–передающих телевизионных приборах, способы воспроизведения телевизионных изображений. В учебном пособии рассматриваются также вопросы телевизионных измерений и контроля, вопросы применения телевизионных способов отображения информации в ГА. Совместно с [6] данное учебное пособие призвано обеспечить достаточную информацию для успешного освоения студентом дисциплины “ОТ и ОИ”.

### 1. Принципы телевизионной передачи.

#### 1.1. Действительное оптическое изображение.

Объектом передачи в телевидении является действительное оптическое изображение (ДОИ), формируемое с помощью объектива оптического звена передающей телевизионной камеры (ПТК) на светочувствительной плоской мишени оптико-электронного преобразователя—передающего телевизионного прибора. Совокупность оптического звена и передающего телевизионного прибора составляет телевизионный датчик (ТД), формирующий электрический сигнал изображения  $U_c(t)$ . Обычно ДОИ имеет форму прямоугольника шириной  $b$  и высотой  $h$ . Отношение  $b/h=K_\phi$  именуется форматом кадра. ДОИ является двухкоординатным изображением, в поле которого распределены, по крайней мере, три параметра: яркость  $B(x,y,t)$ , цветовой тон  $\lambda(x,y,t)$  и чистота цветового тона  $P(x,y,t)$ ; переменная  $t$  указывает, что ДОИ меняется во времени. В полной, передающей информацию об объеме объекта съемки телевизионной системе (ТС), необходимо иметь два бинокулярных ДОИ, соответствующих левому и

правому глазу человека, т.е. параметры  $V_{л}, V_{п}, \lambda_{л}, \lambda_{п}, P_{л}, P_{п}$ , зависящие от  $x, y, t$ . Тем не менее основой телевизионной передачи является передача плоского, двухкоординатного яркостного изображения  $V(x, y)$ – кадра. Временные изменения изображения передаются путем передачи последовательности кадров, следующих с определенной частотой смены. Передача параметров цветности производится путем формирования сигналов яркости трех основных цветов и их разделения в трехканальной системе передачи телевизионных сигналов. О сущности всех этих процессов будет сказано ниже. Теперь же укажем на одну существенную модель ДОИ–дискретизацию этого изображения. Дело в том, что наблюдателем телевизионного изображения выступает человек с его зрительной системой. Глаз человека–его сетчатка–состоит из дискретных рецепторов (светочувствительных клеток) конечных, хотя и малых, размеров. Восприятие телевизионного изображения, осуществляемое глазом человека, имеет пространственно дискретный характер. Это является одним из оснований для представления действительного оптического изображения в ТВ-системе в дискретной форме. Элементами его дискретизации считают: кадр, строку элементов и сам элемент, как минимально различимая площадка изображения, рис.1.

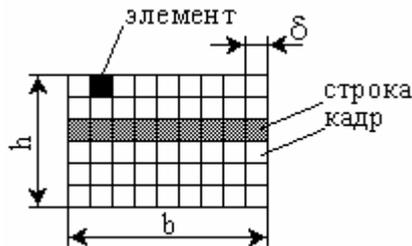


Рис.1.

## 1.2. Параметры пространственной и временной дискретизации ДОИ.

Если размер элемента изображения составляет  $\delta$ , рис.1, то число элементов по вертикали в кадре–число строк  $Z$ –составит величину  $Z=h/\delta$ . Число элементов в строке  $N_Z=b/\delta=K_{\phi} \cdot h/\delta=K_{\phi} \cdot Z$  и число элементов в кадре  $N_K=K_{\phi} \cdot Z^2$ . Параметры  $b, h, \delta, K_{\phi}, Z, N_Z$  и  $N_K$  составляют совокупность параметров пространственной дискретизации ДОИ. Пусть каждый элемент ДОИ может отображать  $m$  различных градаций яркости, тогда информационная емкость кадра ДОИ составит [6]  $I_e=K_{\phi} \cdot Z^2 \cdot \log_2 m$  бит. Если  $K_{\phi}=4/3, Z=625$  и  $m=128$ , то  $N_K=K_{\phi} \cdot Z^2=519531$  и  $I_e=3,63 \cdot 10^6$  бит. Передать информацию о яркости в каждом элементе изображения можно либо одновременно (тогда следует создать многоканальную, с числом каналов  $N_K$ , систему передачи информации), либо последовательно, т.е. поочередно, с достаточной скоростью обходя все элементы изображения и посылая в один канал связи сигналы яркости от элементов кадра. В современных ТВ-системах используется практически последовательный способ передачи. Одновременный способ передачи изображений имеет применение, например, в оптических системах с волоконной оптикой. Обход элементов ДОИ произво-

дится посредством процедуры развертки изображения. Развертка может быть произведена по различным траекториям обхода элементов: поступательным линейным законам движения по горизонтали кадра и по вертикали (строчная и кадровая развертки), по спиральной траектории, синусоидальной траектории, псевдослучайной траектории. Важным является требование однократного обследования каждого элемента ДОИ за время обхода одного кадра. Наиболее употребимым видом развертки является линейная развертка по строкам и кадрам; другие виды могут применяться в специальных системах прикладного телевидения. В дальнейшем мы будем ориентироваться именно на линейную развертку. Для нее параметрические уравнения движения по строке и кадру (вертикали) имеют вид:

$$\begin{aligned} x(t) &= V_x \cdot t, & -\frac{b}{2} \leq x \leq +\frac{b}{2} \\ y(t) &= V_y \cdot t, & -\frac{h}{2} \leq y \leq +\frac{h}{2} \end{aligned}$$

где  $V_x$  и  $V_y$ —скорости развертки по координате  $x$  (горизонтальная развертка) и  $y$  (вертикальная развертка) в кадре ДОИ.

В результате развертки параметры пространственной дискретизации преобразуются в параметры временной дискретизации. Пусть время развертки элементов всего кадра составляет величину  $T_k$  (период кадровой развертки), число строк в кадре— $Z$ . Тогда время развертки строки (период строчной развертки)  $T_z = T_k / Z$ , время развертки одного элемента  $\tau_3 = \frac{T_k}{K_\phi \cdot Z^2}$ , отношение скоростей  $\frac{V_x}{V_y} = \frac{b \cdot T_k}{T_z \cdot h} = K_\phi \cdot Z$ .

Параметры  $T_k$ ,  $T_z$ ,  $\tau_3$  и являются параметрами временной дискретизации ДОИ. Соответствие параметров пространственной и временной дискретизации иллюстрируются таблицей 1.

Таблица 1.

Элемент Дискретизации	Пространственный параметр	Временной параметр
Кадр	$N_k = K_\phi \cdot Z^2$	$T_k$
Строка	$Z, N_z = K_\phi \cdot Z$	$T_z = \frac{T_k}{Z}$
Элемент ДОИ	$\delta$	$\tau_3 = \frac{T_k}{K_\phi \cdot Z^2}$

Очевидно, что самый короткий по времени сигнал есть сигнал одного элемента ДОИ— $\tau_3$ .

Развертка по строке и кадру имеет обычно периодический характер, поэтому следует говорить о частоте строчной  $F_Z$  частоте кадровой  $F_K$  разверток.

### 1.3. Анализ ДОИ, телевизионный видеосигнал, его характеристики и параметры.

Процесс развертки ДОИ в телевизионных системах сопровождается одновременно процессом преобразования яркости каждого элемента в электрический сигнал так, что

$$V(x,y)=V[x(t),y(t)]=V(t) \quad (1.1)$$

$$U_c(t)=\varepsilon \cdot V[x(t),y(t)]=\varepsilon \cdot V(t) \quad (1.2)$$

Соотношение (1.1) есть результат развертки ДОИ, соотношение (1.2)–результат получения электрического сигнала  $U_c(t)$ , адекватного яркости  $V(t)$ ,  $\varepsilon$ –коэффициент преобразования яркости  $V$  в сигнал  $U_c$ . Последнее составляет процесс оптико-электронного преобразования (ОЭП) ДОИ при развертке. Говорят, что соотношение (1.2) составляет процесс анализа ДОИ, т.е. преобразование двухкоординатного (по  $x$ ,  $y$ ) яркостного изображения в однокоординатный (по времени) электрический сигнал. Этот сигнал, являющийся сигналом изображения (ТВ-видеосигналом), и передается в телевизионном канале связи. Устройство, осуществляющее преобразование (1.2), именуется датчиком ТВ-системы, технически телевизионный датчик (ТД) реализуется в форме телевизионных передающих трубок или твердотельных преобразователей на основе ПЗС. Телевизионный видеосигнал изображения (1.2) имеет характер однополярного сигнала (яркость не может быть отрицательной), повторяющегося периодически (или квазипериодически для изменяющихся во времени изображений).

Кроме того, технически развертка имеет время прямого хода  $T_n$  и время обратного хода  $T_{ох}$  как по строке, так и по кадру, а вследствие однополярности сигнал имеет составляющую  $U_0$ , несущую информацию о среднем уровне яркости изображения. Поэтому в обобщенном виде телевизионный сигнал изображения (ТСИ) можно представить в форме рис.2., где видно,

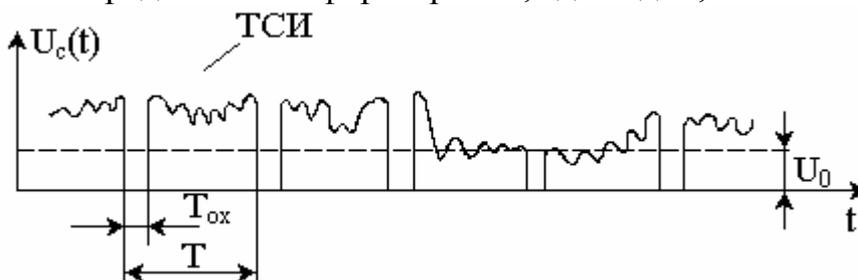


Рис.2.

что ТСИ формируется только во время прямого хода разверток, во время  $T_{ох}$  сигнала изображения нет. В интервале обратных ходов развертки сигнал попросту гасится и импульсы  $T_{ох}$  именуется импульсами гашения обратного хода развертки. Совместно с импульсами гашения обратного хода развертки в

ТС передаются сигналы синхронизации, контрольные, служебные сигналы, сигналы телетекста. Таким образом, ТСИ имеет периодичность повторения с частотами строк  $F_Z=1/T_Z$ , кадров  $F_K=1/T_K$ , обладает относительными потерями времени за счет обратных ходов в устройствах развертки  $\alpha_K = \frac{T_{окк}}{T_K}$  – по кадру,

$\alpha_Z = \frac{T_{окZ}}{T_Z}$  – по строкам. Интервалы прямых ходов разверток:

$$T_{пк} = T_K \cdot (1 - \alpha_K), \quad T_{пZ} = T_Z \cdot (1 - \alpha_Z).$$

Параметры  $T_K$ ,  $T_Z$ ,  $\tau_э$ ,  $\alpha_K$ ,  $\alpha_Z$ ,  $F_K$ ,  $F_Z$  составляют совокупность параметров, характеризующих временную форму ТСИ. Теперь рассмотрим спектральные характеристики ТСИ.

Вследствие периодического характера ТСИ и связи  $F_Z=F_K \cdot Z$  спектр его является гармоническим, т.е. частоты всех спектральных составляющих кратны частоте кадров  $F_K$ :

$$f_i = i \cdot F_K$$

Конечно, это будет полностью справедливо, если ДОО неизменно во времени, тогда спектр ТСИ линейчатый, гармонический, и его форма имеет вид, изображенный на Рис.3.

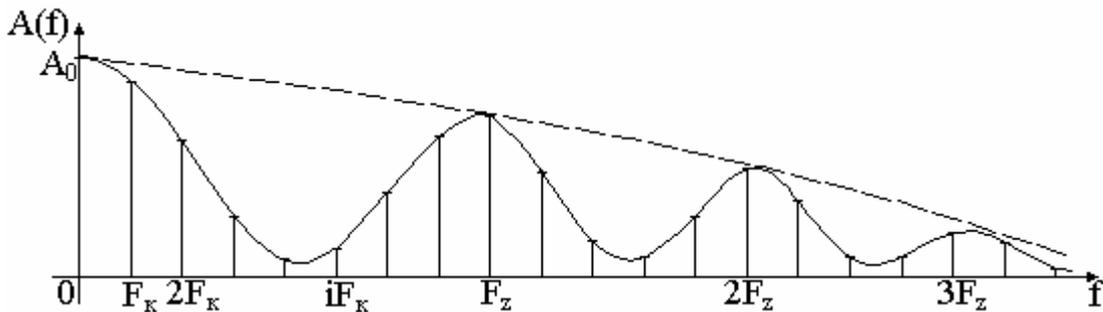


Рис.3.

Расстояние между любыми смежными спектральными составляющими равно частоте кадров  $F_K$ , спектр концентрируется около частот кратных частоте строк  $F_Z$ . С ростом частот интенсивность спектральных составляющих постепенно падает, имеет место постоянная составляющая  $A_0$ .

При изменяющихся во времени ДОО спектр оставаясь гармоническим, приобретает характер сплошного в окрестностях гармоник, рис.4.

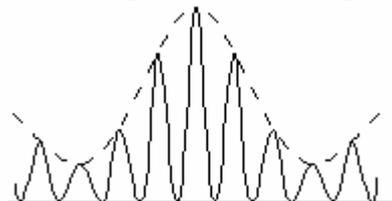


Рис.4.

Минимальной частотой спектра ТСИ является, очевидно, частота кадров:  $f_{\min}=F_K$ .

Максимальную частоту найдем, основываясь на параметрах временной дискретизации. Частота дискретизации, очевидно, равна  $1/\tau_3$ , т.е. интервал временного квантования равен  $\tau_3$ . Это означает, что в соответствии с теоремой временного квантования Котельникова–Шеннона наивысшей частотой спектра ТСИ будет частота

$$f_b = \frac{1}{2 \cdot \tau_3} = \frac{K_\phi \cdot Z^2 \cdot F_k}{2} \quad (1.3)$$

Очевидно, что частота  $f_b$  определяет собой полосу частот спектра ТСИ.

Соотношение (1.3) выражает важнейший параметр спектра телевизионного сигнала, ибо определяет полосу частот, которую занимает телевизионный канал связи. С учетом потерь на время обратных ходов разверток и отличия импульса квантования от прямоугольной формы формула (1.3) приобретает вид, пригодный для инженерных расчетов:

$$f_b = \frac{K_\phi \cdot Z^2 \cdot F_k \cdot (1 - \alpha_k)}{2 \cdot (1 - \alpha_z)} \cdot m \quad (1.4)$$

В телевизионном стандарте с  $Z=625$ ,  $F_k=25$ Гц,  $\alpha_k=0,07\dots 0,08$ ,  $\alpha_z=0,18$ ,  $m=0,75\dots 0,85$

$$f_b \cong 5,7 \text{ МГц}$$

Из этого примера видно, что телевизионный видеосигнал изображения является широкополосным, существенно зависящим от числа строк в кадре и требующим использования достаточно высоких частот несущих радиосигнала, нижняя граница которых

$$f_n \geq 2 \cdot f_b.$$

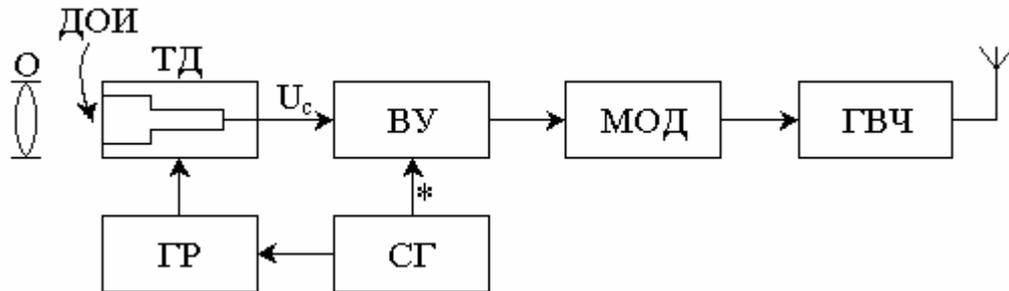
Линейчатая структура спектра ТСИ указывает на возможность выделения сигнала гребенчатыми фильтрами, а также на возможность размещения в промежутках между спектральными составляющими одного сигнала спектральных составляющих другого сигнала, т.е. осуществить уплотнение канала связи с использованием той же гребенчатой фильтрации. Существенное снижение интенсивностей гармоник спектра в области высоких частот служит основанием для размещения в этой области спектров сигналов, несущих дополнительную информацию, например, сигнал цветности в цветных телевизионных системах. Существуют и другие направления уплотнения телевизионного канала, связанные с рассмотренной структурой спектра ТСИ, например, способ частотного перемежения спектров низкочастотной и высокочастотной частей сигнала, приводящий к заметному, по крайней мере в два раза, сокращению полосы спектра, а значит и полосы частот канала связи [1,6].

#### 1.4. Структурная схема телевизионной системы, процесс синтеза телевизионного изображения.

Телевизионная система является частным случаем системы связи, состоящей из телевизионного датчика (кодера), передатчика, линии связи, приемника

и устройства воспроизведения телевизионного изображения (декодера). Структурная схема системы в форме схемы передающей части и приемной части изображена на Рис.5.

а.) Передающая часть



б.) Приемная часть

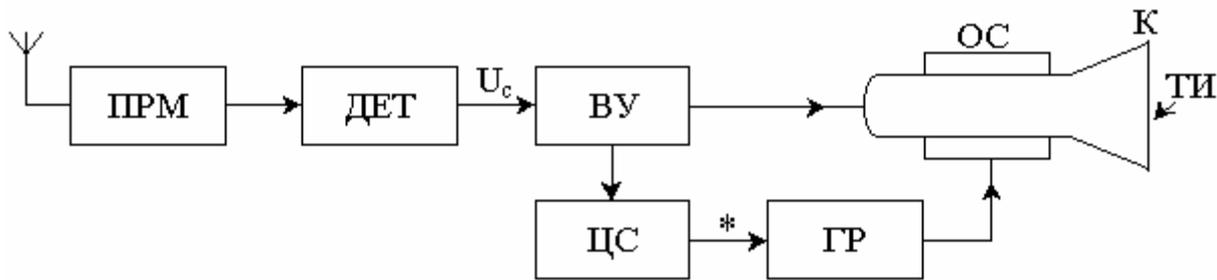


Рис.5.

На входе ТС помещается оптическое звено О (объектив передающей телевизионной камеры), с помощью которого на светочувствительной плоскости (мишени) передающей телевизионной трубки ТД формируется действительное оптическое изображение объектов съемки. В процессе анализа ДООИ, который обеспечивает генератор развертки (ГР) и мишень ТД, формируется телевизионный видеосигнал изображения (1.2)  $U_c$ , который подвергается усилению видеопередающей трубки (ВУ). Далее усиленный сигнал подается в тракт передатчика: модулятор (МОД) и генератор высокой (несущей) частоты (ГВЧ). Сигнал с выхода передатчика направляется в линию связи через антенну непосредственно или в фидер (коаксиальный кабель, волновод и т.д.). Операцию синхронизации разверток ДООИ и устройства воспроизведения (кинескопа или другого типа устройства) в приемной части ТС обеспечивает синхронизатор (СГ), расположенный в передающей части ТС. Этот СГ запускает генераторы разверток, как телевизионного датчика, так и кинескопа. Для обеспечения последнего импульсы синхронизации от СГ подаются в тракт ВУ передающей части и объединяются с видеосигналом (во время обратного хода разверток). На схеме это мероприятие указано связью со звездочкой. Относительно видеосигнала как в передающей так и в приемной частях системы импульсы синхронизации располагаются идентично, этим обеспечивается синфазность синхронизации разверток в обеих частях системы.

В приемной части системы после детектора радиосигнала формируется сигнал изображения совместно с синхросигналами, он усиливается в ВУ и подается на кинескоп (К) с целью управления яркостью свечения. Сигнал  $U_c$  подается обычно либо на управляющий электрод кинескопа, либо на катод (в зависимости от полярности  $U_c$ ).

Цепи синхронизации приемника (ЦС) предназначены для выделения из телевизионного сигнала только импульсов синхронизации так, что после ЦС (в связи \*) имеют место только импульсы синхронизации, запускающие развертки в ГР приемной части. Генераторы разверток через отклоняющие системы кинескопа (ОС) обеспечивают движение луча кинескопа по его экрану по тому же закону, что и развертка на мишени ТД. В результате этой развертки и синфазного процесса модуляции сигналом  $U_c$  яркости свечения люминофора кинескопа на экране последнего формируются яркостное телевизионное изображение (ТИ), адекватное ДОИ.

Процесс формирования ТИ, состоит из процесса развертки и процесса преобразования  $U_c$  в яркость  $V$  свечения люминофора кинескопа, именуется синтезом телевизионного изображения, который можно представить в виде:

$$V(x,y)=g \cdot U_c[t(x), t(y)], \quad (1.5)$$

где  $g$  – коэффициент преобразования уровня сигнала  $U_c$  в яркость  $V$ .

Последнее именуется электро-оптическим преобразованием (ЭОП).

Таким образом, сущностью синтеза ТИ является развертка и синфазный развертке процесс ЭОП.

### 1.5. Телевизионное изображение и его параметры.

Телевизионное изображение является отображением ДОИ на экране воспроизводящего устройства приемной части ТС. Это изображение должно соответствовать закономерностям зрительного восприятия изображений, которые рассмотрены, в частности, в [6].

Телевизионное изображение, как и ДОИ, имеет прямоугольную форму с шириной  $b$ , а высотой  $h$  и форматом кадра  $K_\phi = b/h$ . Формат кадра, имеющий место в вещательных или подобных им ТС, составляет обычно  $4/3$ , что обосновано форматом области ясного зрения на сетчатке глаза (см. 2.1 в [6]). Однако в ТС прикладного типа могут иметь место  $K_\phi = 2$  или  $1$ . В разрабатываемых ТС высокой четкости (ТВЧ) формат кадра также приближается к  $2$ , что имеет место в современной технике.

Размеры  $b$  и  $h$  можно оценить, исходя из типичных условий наблюдения ТИ человеком, если принять расстояние наблюдения  $L$  порядка  $2-2,5$  м и угловой размер высоты кадра, при этом, равный  $16^\circ$  (угол ясного зрения). Тогда отношение  $L/h \cong 5 \dots 6$  и  $h \cong L/(5 \dots 6) = 0,4 \dots 0,5$  м и  $b = K_\phi \cdot h$ .

ТИ характеризуется значениями максимальной  $V_{\max}$  и минимальной  $V_{\min}$  яркости. Отношение  $V_{\max}/V_{\min} = k$  есть контраст изображения, который для со-

временных телевизионных трубок составляет примерно 100. В телевизионной системе необходимо обеспечить пропорциональную передачу дифференциального контраста  $\Delta B/B$  так, чтобы

$$\frac{\Delta B_{и}}{B_{и}} = \gamma \cdot \frac{\Delta B_{о}}{B_{о}} \quad (1.6)$$

Индексы о и и относятся, соответственно, к яркости объекта съемки и яркости его изображения на экране кинескопа. Переходя в (1.6) к дифференциалам и производя интегрирование уравнения  $\frac{dB_{и}}{B_{и}} = \gamma \cdot \frac{dB_{о}}{B_{о}}$ , получим решение:

$$B_{и} = C \cdot B_{о}^{\gamma}, \quad (1.7)$$

где  $C$ —постоянная интегрирования. Видно, что величина  $\gamma$  определяет степень линейности в передаче яркостной информации, эта величина в ТС должна быть постоянной и может принимать значения как  $\gamma=1$ , так и большие  $\gamma>1$  или меньшие  $\gamma<1$  значения.

Необходимое число строк в кадре  $Z_{н}$  определяется условиями, когда при наблюдении ТИ строчная структура изображения становится незаметной. Это имеет место, когда расстояние между строками (светящимися точками) соответствует разрешающей способности глаза. Если расстояние глаза наблюдателя от экрана кинескопа равно  $L$ , то при угловом расстоянии между строками, равным  $\delta=1' \dots 1,5'$ , линейное расстояние между строками составит  $d=L \cdot \delta$  ( $\delta$ —в радианах и мало). Тогда на высоте кадра  $h$  должно быть

$$Z_{н} = \frac{h}{d} = \frac{h}{L \cdot \delta} = \frac{1}{(5\dots 6)\delta} \quad (1.8)$$

строк. Выражая  $\delta$  в радианах, получим для  $\delta=1'$ :

$$Z_{н} \cong \frac{60 \cdot 60}{(5\dots 6)} = \frac{3600}{5\dots 6} = 600\dots 720$$

Стандарт в  $Z=625$  строк, таким образом, соответствует получаемым результатам.

Частота кадров находится, исходя из величины  $f_{кр}$ —критической частоты мельканий изображения, которая зависит от яркости его:

$$f_{кр} \cong 9,6 \cdot \lg B + 26,8, \quad (1.9)$$

где  $B$ —в кд/м<sup>2</sup>.

Эта частота близка, обычно, к 48...50Гц. Поэтому на практике частоту мелькания кадров делают равной частоте питающей электрической сети (50,60Гц), удовлетворяющей критерию

$$F_{к} \geq f_{кр}. \quad (1.10)$$

В телевидении широко используют т.н. чересстрочную развертку, где частота  $F_{пк}$  мельканий полукадров (полей четных и нечетных строк) удовлетворяет критерию (1.10), а частота смены кадров становится в два раза меньше, т.е.:

$$F_{пк} \geq f_{кр}, F_{к} \geq f_{кр}/2 \quad (1.11)$$

На практике

$$F_{\text{пк}}=50 \text{ или } 60\text{Гц}, F_{\text{к}}=25 \text{ или } 30\text{Гц}.$$

Соотношения (1.10) и (1.11) следует иметь в виду при расчетах системы при прогрессивной (1.10) и чересстрочной (1.11) развертках, а также в расчетах  $f_{\text{в}}$  (1.4).

Частота строчной развертки определяется просто:

$$F_Z=Z \cdot F_{\text{к}} \tag{1.12}$$

Четкость ТИ определяется соотношением

$$Y = \ln Z / \ln Z_{\text{max}}, \tag{1.13}$$

где  $Z$ —выбранное число строк,  $Z_{\text{max}}$ —максимальное число строк, при котором глаз перестает ощущать приращение четкости изображения ( $Z_{\text{max}} \cong 800$ ).

### 1.6. Качество телевизионного изображения.

Качество ТВ-изображения—степень соответствия наблюдаемого изображения на экране кинескопа изображению при непосредственной наблюдении объекта съемки. Это общее определение на практике трудно поддается оценке. Поэтому степень приближения ТВ-изображения к идеальному оценивается степенью искажений его, вызываемых различными критериями. Различают: координатные искажения, яркостные (полутонные) искажения, искажения формы сигнала, цветовые искажения, шумовые (помеховые) искажения. Рассмотрим эти виды искажений.

#### 1.6.1. Координатные искажения.

Координатные искажения—это нарушение геометрического подобия изображения объекту. Вызываются эти искажения нарушением формы раstra в кадре и при отличии скоростей развертки на передаче (в ТД) и на приеме (в К).

Возможные искажения этого типа показаны на рис.6.

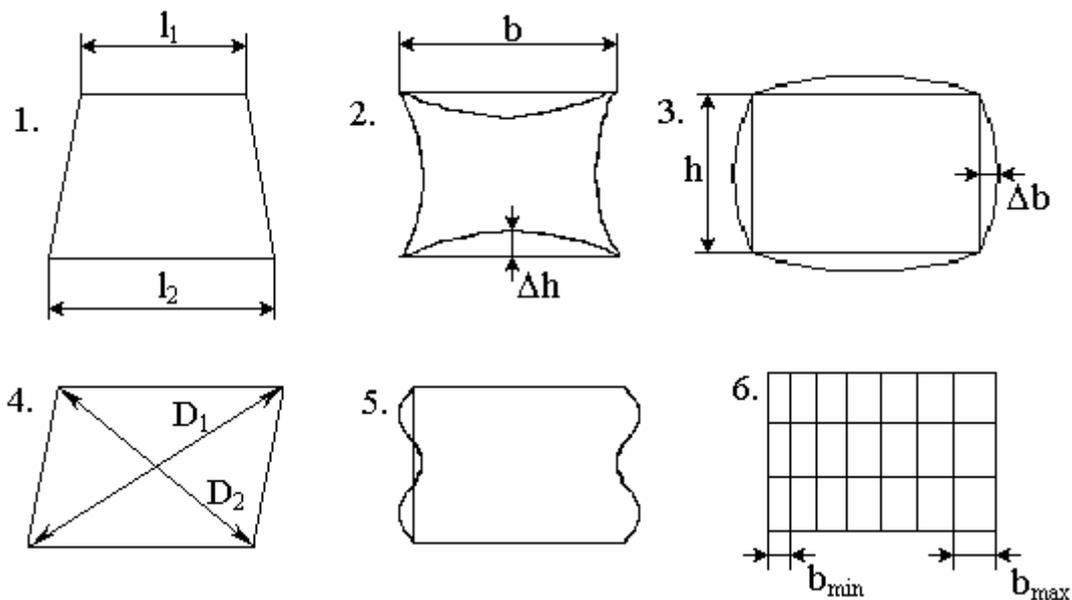


Рис.6.

Искажения типа рис.6.1–трапецеидальные искажения раstra, возникают вследствие нарушения ортогональности оптической оси или электронной оси в ТД или К к плоскости изображения. Оцениваются коэффициентом

$$K_{\Gamma T} = 2 \frac{l_2 - l_1}{l_2 + l_1}.$$

Искажения типа 2 и 3–это дисторсии подушкообразного и бочкообразного вида, возникающие в электронно-оптических системах. Оцениваются коэффициентами искажений

$$K_{\Gamma} = \frac{\Delta h}{b} \text{ или } K_{\Gamma} = \frac{\Delta b}{h}.$$

Искажения типа 4–параллелограммные, возникающие вследствие нарушения ортогональности отклоняющих полей разверток по строке и кадру, оцениваются коэффициентом

$$K_{\Gamma\Pi} = 2 \frac{D_2 - D_1}{D_2 + D_1}.$$

При воздействии на отклоняющие поля низкочастотных периодических помех возникают искажения вида 5.

Геометрические искажения, возникающие из-за различных форм сигналов кадровой или строчной разверток приводят к нелинейным искажениям раstra, рис.6.6, где показан случай искажений в строчной развертке: скорость развертки в левой части кадра меньше, чем в правой. Поэтому расстояния между равноудаленными вертикальными линиями тестового изображения слева меньше, чем справа. Оценка искажений производится так:

$$K_{\Gamma T} = 2 \frac{b_{\max} - b_{\min}}{b_{\max} + b_{\min}}.$$

Геометрические искажения могут вызываться также влиянием потенциала мишени ТД на параметры движения считывающего электронного луча (в суперортиконе, например).

### 1.6.2. Яркостные искажения.

Соотношение (1.7) является характеристикой передачи уровней яркости системы или характеристикой передачи “от света–к свету”. Она образуется последовательным преобразованием яркости объекта в электрический сигнал (ОЭП)  $U_C = C_1 \cdot V_0^{\gamma_1}$ , передачей сигнала по каналу связи  $U_{C1} = C_2 \cdot U_C^{\gamma_2}$ , преобразованием сигнала в яркость ТИ (ЭОП)  $V_U = C_3 \cdot U_{C1}^{\gamma_3}$ .

В целом можно показать, что общая величина  $\gamma = \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3$  и нарушение величин  $\gamma_i$  в преобразованиях приводит к отклонению общего  $\gamma$  от заданного и, следовательно, к искажениям в передаче яркостных соотношений от объекта к изображению. Для оперативного контроля и подстройки яркостных искажений

в ТВ-канал вводят корректоры этих искажений (корректируют значение  $\gamma_2$ )– $\gamma$ -корректоры.

### 1.6.3. Искажения формы сигнала.

Возникают вследствие линейных искажений сигналов в тракте передачи и приема, вызываемых неравномерностью АЧХ и ФЧХ звеньев ТС. Оцениваются эти искажения по параметрам переходной характеристики системы: длительности фронта  $\tau_f$ , величиной выброса  $\delta$ , спада  $\Delta$  плоской части переходной характеристики. Увеличение длительности фронта  $\tau_f$  ведет к снижению четкости воспроизведения, качеству воспроизведения мелких деталей, появление выбросов–к появлению оконтуривания изображений объектов. Спад плоской части (искажение в области низких частот или больших времен) ведет к изменению яркости крупных деталей вдоль строки и появлению хвостов, тянущихся продолжений (светлых или темных, в зависимости от знака  $\Delta$ ).

### 1.6.4. Цветовые искажения.

На практике цветные изображения воспроизводятся с помощью цветных люминофоров, спектральные составляющие которых отличны от идеализированных, лежащих в основе системы RGB, и не имеют 100% насыщенности. Спектральные характеристики устройств цветоделения на передаче также отличны от идеальных. Эти причины вызывают как яркостные (по цветам) так и цветовые искажения воспроизводимых цветных изображений. Для уменьшения таких искажений применяется матричная цветокоррекция.

Цветовые искажения, кроме того, возникают вследствие нелинейных искажений в звеньях ТВ-канала, линейных частотных и фазовых искажений сигналов в этих звеньях. Такого рода искажения приводят к более критическим условиям, предъявляемым к качеству звеньев систем цветных ТВ-систем. Все это требует оперативной коррекции цветных искажений в процессе эксплуатации их.

### 1.6.5. Влияние помех на качество изображения.

Несмотря на разнообразие форм помеховых воздействий, все помехи можно разделить на четыре группы.

1. Регулярная (периодическая) помеха проявляется на изображении в виде дополнительных рисунков: сетки, полос, муара–как неподвижных так и перемещающихся по экрану с различной скоростью и в различных направлениях.

2. Хаотическая импульсная помеха, наблюдаемая на экране в виде темных или светлых точек, штрихов, возникающих в случайных точках экрана. Сильная вспышка яркости при помехе могут влиять на фокусировку луча приемной трубки. Вызывается такая помеха излучениями электрических устройств: зажи-

гания на автотранспорте, электросварки, рентгенаппаратов, искрения токопроводящих линий транспорта и т.д.

3. Яркостная медленно меняющаяся помеха, проявляющаяся в изменении яркости отдельных участков изображения. Возникают такого рода помехи из-за специфических особенностей работы мишеней передающих трубок: ореолы, черные пятна, ложные изображения, хвосты за движущимися объектами. К этой же группе помех относятся повторные изображения, возникающие вследствие приема повторных сигналов, отраженных от окружающих антенну объектов, отраженных от несогласованных концов соединительных кабелей.

4. Флуктуационная помеха, имеющая место во всех звеньях передачи и приема сигналов: антеннах, усилителях, модуляторах. Это широкополосная помеха типа “белого” шума, которая проявляется на изображении в виде мелких мерцающих точек по всему полю изображения. Видность ее зависит от частоты мерцания: с ростом частоты видность помехи уменьшается, что связано с физиологическими свойствами зрения.

Первые три вида помех могут быть сведены до минимума при правильной настройке системы. Флуктуационные помехи являются органической частью ТВ-системы и они должны быть сведены до приемлемого минимума. В среднем считают, что отношение сигнал/шум  $\psi = 20 \lg E_c / \sigma_n$ , равное 33дБ, соответствует отличной оценке, хорошее – при 30дБ и удовлетворительное – при 27дБ.

## 2. Оптико-электрические преобразователи.

### 2.1. Основные физические явления, используемые в ОЭП.

Сущностью ОЭП является преобразование световой энергии в каждом элементе ДООИ в электрический сигнал. В основе такого преобразования в телевизионных датчиках лежат следующие физические явления.

1. Внешний фотоэффект, определяемый законом Столетова – первый (основной) закон фотоэффекта. Фототок в цепи фотоэлемента  $i_{\phi}$  пропорционален световому потоку, падающему на фотокатод:  
 $i_{\phi} = S_{\phi} \cdot \Phi$ ,  $\Phi$  – в люменах,  $i_{\phi}$  – в мкА,  $S_{\phi}$  – чувствительность фотопреобразователя – мкА/лм.
2. Внутренний фотоэффект – при падении светового потока на поверхность фотопроводника в последнем возникает ток свободных электронов – ток проводимости  $i_{пр}$ , зависящий от освещенности  $E$ :  
 $i_{пр} = S_{п} \cdot E^{\beta}$ ,  $E$  – в люксах,  $i_{пр}$  – в мкА,  $S_{п}$  – чувствительность преобразователя – мкА/лк,  $\beta$  – показатель нелинейности преобразования, зависящий от типа фотопроводника и лежащий, обычно, в пределах 0,5...1.
3. Вторичная электронная эмиссия – при бомбардировке поверхности вещества электронами, имеющими достаточную энергию (первичные электроны), возникает ток выбитых (вторичных) электронов, количество которых зависит от энергии первичных электронов. Эффективность

этого процесса определяется коэффициентом вторичной электронной эмиссии  $\sigma = \frac{n_2}{n_1}$  при определенном значении энергии первичных электронов, определяемой ускоряющим напряжением  $U_a$ . При малых  $U_a < U_{a1}$   $\sigma < 1$ , при  $U_{a1} < U_a < U_{a2}$   $\sigma > 1$ , где  $U_{a1} \ll U_{a2}$  именуется нижним и верхним критическими напряжениями, при  $U_a > U_{a2}$  снова  $\sigma < 1$ . В первом случае говорят, что преобразователь работает в режиме медленных электронов, в других—в режиме быстрых электронов.

Вторичная электронная эмиссия создает ток вторичных электронов  $i_2$  за счет тока первичных и используется в так называемых ОЭП с переносом изображения, а также для усиления тока сигнала в преобразователях со вторичными электронными умножителями.

В ОЭП используются два принципа создания сигнала изображения, адекватного яркости светового потока в ДОИ: принцип мгновенного действия и принцип накопления заряда.

В ОЭП мгновенного действия фотоэлектронная эмиссия (внешний фотоэффект) с каждого элемента ДОИ используется в течение времени коммутации (анализа) этого элемента  $\tau_3$ . Световая энергия, воздействующая на элемент в промежутках между коммутациями (практически за время  $\tau_k$ ), в образовании сигнала изображения не используется. Эффективность использования светового потока  $\eta_3$  в таких преобразованиях (диск Нипкова, диссектор) обратно пропорционально числу элементов разложения в кадре, т.е.  $\eta_3 \sim 1/K_f \cdot Z^2$ . Напряжение сигнала на нагрузке преобразователя  $R_n$  за счет фототока:  $U_{ci} = i_{\phi i} \cdot R_n$ , где  $i$ —номер элемента разложения, или  $U_{ci} = S \cdot \Phi_i \cdot R_n$ . Поскольку  $i_{\phi i}$  мал, то в таких системах требуется существенно увеличивать световой поток на освещение объекта съемки. Сущность работы преобразователя мгновенного действия иллюстрируется рис.7.

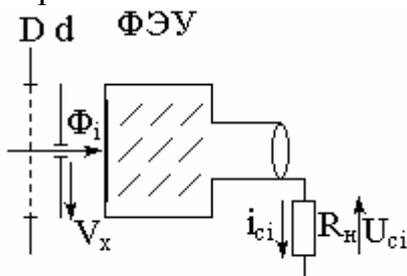


Рис.7.

В плоскости В формируется ДОИ, яркость которого анализируется считывающим элементом в плоскости d-малым отверстием перемещающимся по закону развертки со скоростью  $V_x$  (по строке, например). Световой поток  $\Phi_i$ , прошедший в момент времени  $t_i$  через это малое отверстие попадает на фотокатод фотоэлемента—фотоэлектронного умножителя, например, ток фотоэлектронов  $i_{\phi i}$  усиливается в ФЭУ и создает на нагрузке его  $R_n$  напряжение сигнала  $U_{ci}$ , соответствующие величине  $\Phi_i$ .

Эффективность ОЭП существенно повышается при использовании принципа накопления фототока, который иллюстрируется рис.8.

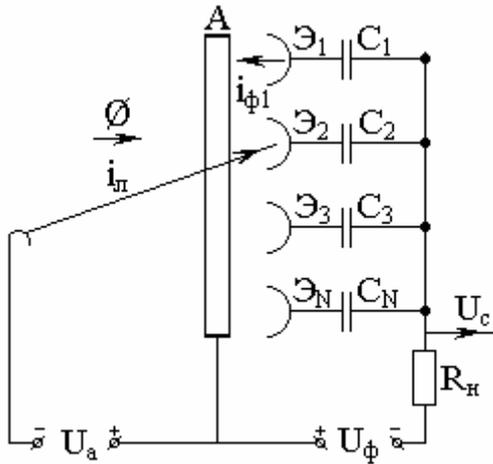


Рис.8.

В плоскости элементарных фотоэлементов  $\mathcal{E}_1 \dots \mathcal{E}_N$  формируется ДОИ. Фототок элементов отводится к аноду А. За счет этого тока элементарные емкости  $C$  накапливают электрические заряды за время кадра  $T_k$ :  $Q_i = i_{\phi i} \cdot T_k$ .

Напряжение сигнала  $U_c$  образуется на нагрузке  $R_n$  за счет разряда каждого конденсатора за время коммутации элемента считывающим электронным лучем  $i_{\text{л}}$ . Ток разряда каждого из конденсаторов будет равен:  $i_{\text{рi}} = \frac{Q_i}{\tau_{\text{э}}} = i_{\phi i} \frac{T_k}{\tau_{\text{э}}} = i_{\phi i} \cdot N_k$ .

Следовательно, ток сигнала в нагрузке превышает ток фотоэмиссии в  $N_k$  раз, значит напряжение сигнала  $U_{\text{сi}} = R_n \cdot S \cdot \Phi_i \cdot N_k$ , т.е. в  $N_k$  раз больше, чем в преобразователе мгновенного действия. Следует отметить, что в современных ТВ-системах используется преимущественно принцип накопления. Принцип мгновенного действия используется в прикладных ТВ-системах, не требующих широкой полосы спектра сигналов или в системах, где несложно обеспечить высокую освещенность объектов съемки (демонстрация кинофильмов, например).

В ОЭП, как уже упоминалось выше, используется принцип переноса изображения, сущность которого иллюстрируется рис.9. и состоит в следующем.

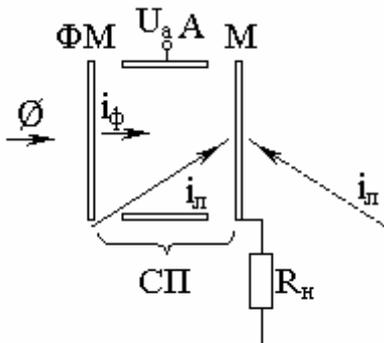


Рис.9.

На фотомишени ФМ формируется ДОИ и адекватное ему распределения фототока  $i_{\phi}$  переносится секцией переноса (СП) изображения на поверхность мишени М. Секция переноса содержит ускоряющий анод А и фокусирующую

систему (катушку соленоида, например) так, чтобы на М создавалось сфокусированное изображение. Это изображение своим током электронов вызывает на М вторичную электронную эмиссию, которая используется в целях накопления потенциала в элементах мишени. Коммутация элементов мишени на сопротивление  $R_n$  осуществляется электронным лучом либо спереди мишени, либо сзади (в зависимости от типа мишени М). Перенос изображения выполняет роль усилителя тока  $i_\phi$  за счет вторичной электронной эмиссии, что повышает чувствительность преобразователя.

## 2.2. Обобщенная схема передающей телевизионной трубки.

Передающая телевизионная трубка (ПТТ) является датчиком ТВ-системы. Это электровакуумный прибор, выполняющий анализ ДОО. Функциональная схема ПТТ может быть представлена так, рис.10.

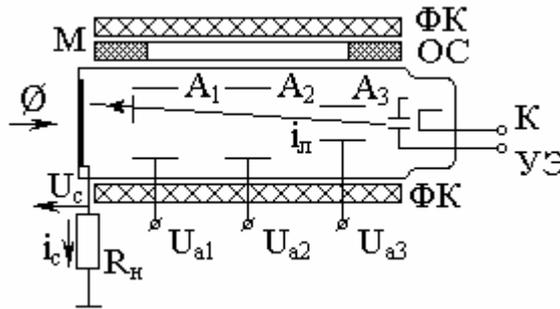


Рис.10.

Электронный прожектор (катод, управляющий электрод) формирует узкий электронный луч, ускоряемый последовательностью анодов  $A_1, A_2, A_3$ . Фокусировка луча обеспечивается как конструкцией анодов так и фокусирующей катушкой ФК—электромагнитной системой фокусировки. ОС—отклоняющие луч катушки, управляющие разверткой луча по поверхности мишени. М—мишень, на которой в результате экспонирования ее световым потоком ДОО создается распределение накопленных зарядов, адекватное яркости ДОО. Мишень здесь выступает как обобщенный элемент трубки, создающий электронное отображение ДОО. Распределение зарядов на поверхности мишени носит название потенциального рельефа— $\phi_n(x,y)$ . Этот потенциальный рельеф коммутируется электронным лучом  $i_n$ , или, как говорят, считывается в нагрузку. При считывании каждый элемент мишени доводится лучом до некоторого равновесного потенциала  $\phi_p$ . Значит ЭДС, создающая ток в нагрузке  $e_c = \phi_n - \phi_p$ . Ток в нагрузке  $i_c = e_c / R_n$ , тогда напряжение сигнала  $U_c = R_n \cdot i_c = e_c$ . Поскольку  $\phi_p = \text{const}$  по сигналом в  $U_c$  будет составляющая, равная  $\phi_n$ , которая в дальнейшем усиливается в тракте усиления (см. рис.5).

## 2.3. Виды мишеней передающих телевизионных датчиков.

Под мишенью будем понимать плоский электрод телевизионной передающей трубки, на котором создается потенциальный рельеф  $\phi_n(x,y)$ , подлежащий

считыванию. Различают мозаичную мишень, диэлектрическую мишень двустороннюю мишень Брауде, фотопроводниковую мишень, мишень на основе ПЗС (твердотельный ОЭП).

В мозаичной мишени элементарные фотоэлементы—светочувствительные зерна серебра—нанесены на тонкий слой диэлектрика, который, в свою очередь, нанесен на металлическую подложку—электрод, связанный с  $R_H$ , рис.11а.

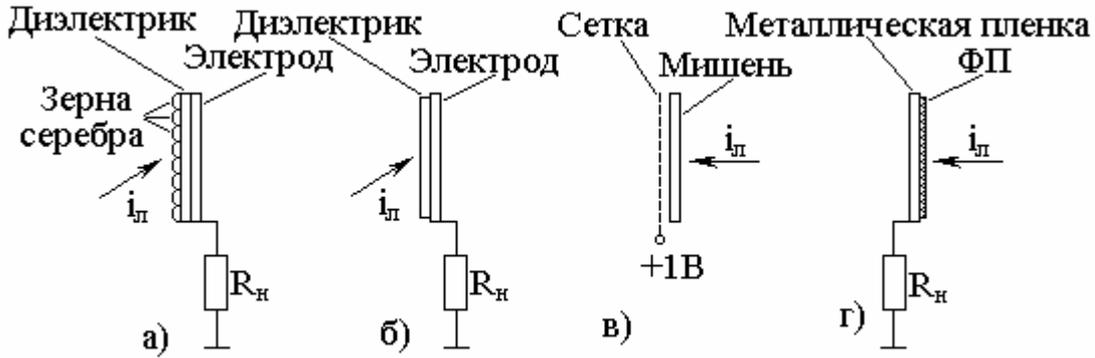


Рис.11.

Такая мишень использовалась в первой из передающих трубок—в иконоскопе С. Катаева. Здесь уже использован принцип накопления, считывание  $\varphi_H$  производится со стороны мозаики.

Диэлектрическая мишень (рис.11б.) конструкция которой ясна из рисунка, для создания  $\varphi_H$  используют вторичную электронную эмиссию с поверхности диэлектрика, которую вызывает расположенная перед мишенью секция переноса изображения. Считывание  $\varphi_H$  производится со стороны диэлектрика.

Двухсторонняя мишень Брауде представляет из себя тонкую пленку из полупроводникового стекла толщиной 3...5мкм, закрепленную на кольце вместе с металлической сеткой, находящейся перед мишенью на расстоянии нескольких мкм. Сетка содержит 30...40 отверстий на 1 мм, имеет прозрачность для электронов порядка 70%. Перед мишенью—секция переноса, вторичные электроны с мишени собираются сеткой, имеющей потенциал +1В. Считывание  $\varphi_H$  производится с обратной стороны мишени тонким лучом медленных электронов.

Фотопроводниковая мишень, рис.11г., состоит из тонкой (прозрачной для света) металлической пленки, нанесенной на торец стеклянной колбы преобразователя и слоя (ФП) фотопроводникового материала (PS, например). Считывающий электронный луч по закону развертки обходит мишень, доводя потенциал каждого элемента мишени до равновесного потенциала  $\varphi_p$ . После такой коммутации элемента, последний подвергается действию светового потока и за счет возникновения тока свободных электронов (внутренний фотоэффект) элементы мишени разряжаются до уровней, пропорциональных освещенности. Иными словами, потенциальный рельеф формируется за счет разряда элементов мишени токами внутренней проводимости от уровня  $\varphi_p$  до уровня  $\varphi_H$ , пропорционального освещенности элемента.

Мишень на основе ПЗС, рис.12., выполняется на основе структуры металл-окисел-полупроводник (МОП-структура), способной собирать, накапливать и хранить зарядовые пакеты неосновных носителей в локализованных потенциальных ямах, образующихся у поверхности полупроводника под действием электрического поля, приложенного к металлу-полупроводнику. Технически МОП-структура выполняется на тонкой полупроводниковой пластине (подложке), имеющей основную проводимость, например типа Р, в виде микроминиатюрных металлических электродов, изолированных от подложки окислом ( $\text{SiO}_2$ ), рис.12.



Рис.12.

На рисунке изображена МОП-структура, каждым элементом которой является трехэлектродная совокупность 1, 2, 3. Каждый электрод совокупности (ячейки) подключен к одной из тактовых шин, на которые могут подаваться напряжения  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ .

В течение первого такта работы в момент  $t_1$  на электрод 1 подается напряжение  $+U_1$ , другие электроды обнуляются. Под электродами 1 образуются потенциальные ямы. При экспозиции поверхности структуры светом свободные электроны, возникающие в результате внешнего фотоэффекта, накапливаются в этих потенциальных ямах, заряд (пакет) этих накопленных электронов пропорционален освещенности ячейки, возникает потенциальный рельеф, рис.13а.,

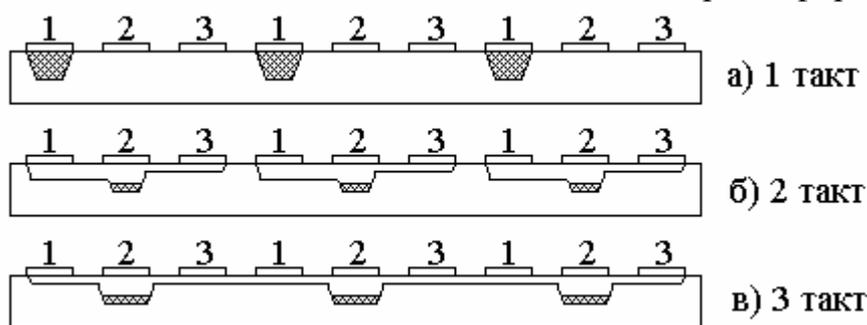


Рис.13.

такой режим работы (такт 1) именуется режимом накопления или хранения. В момент  $t_2$  (второй такт) на электроды 2 подается напряжение  $U_2 > U_1$  в 1,5...2 раза, называемое напряжением переноса или записи. Оно вызывает появление под электродами 2 более глубоких потенциальных ям так, что в них перетекает (переносится) заряд из-под электродов 1. Этот такт работы называется режимом записи (переноса), рис.13б.

В момент  $t_3$  потенциал  $U_2$  становится равным потенциалу режима записи, потенциалы  $U_1$  и  $U_3$  обнуляются, ячейка готова к новому режиму накопления. Электрод 3 в этой структуре выполняет роль как бы барьера, препятствующего межячейному дрейфу накопителей зарядов. Существуют и двухэлектродные

ячейки ПЗС, но в них сложнее обеспечивать направленный (слева-направо) перенос зарядов. Совокупность электродов 1 структуры мишени служит для экспонирования изображением (ДОИ) и создания потенциального рельефа, структура электродов 2—для запоминания этого рельефа с целью дальнейшего считывания его на нагрузку и формирования сигнала изображения. Применительно к телевизионным целям такт 1 должен занимать время, равное времени прямого хода кадровой развертки, такты 2 и 3—не более времени обратного хода кадровой развертки. За время экспонирования изображением очередного кадра запомненный предыдущий кадр подвергается считыванию из структуры электродов 2. Как было отмечено выше, преобразователи на основе ПЗС являются твердотельными невакуумными приборами с дискретной структурой элементов, каждый элемент имеет свой адрес, что удобно при сопряжении матрицы ПЗС с цифровой вычислительной техникой.

## 2.4. Телевизионные передающие приборы.

В данном параграфе рассматриваются основные, используемые в настоящее время телевизионные передающие приборы: электронные передающие трубки типа суперортикон и видикон, твердотельные преобразователи и приводится краткий обзор других видов преобразователей.

### 2.4.1. Суперортикон.

Суперортикон—высококочувствительная передающая трубка, использующая перенос изображения, двустороннюю мишень Брауде, коммутацию мишени лучем медленных электронов, внутренне вторично-электронное усиление. Конструкция трубки изображена на рис.14 в виде верхней половины вертикального разряда. Она содержит: секцию переноса (электроды 1,2,3), секцию считывания медленными электронами (электроды 4,5,6,8), секцию ВЭУ (электрод 7), электронную катушку пушки (8), нагрузка  $R_n$  подключена к последнему диоду ВЭУ. Отклоняющие катушки (9), фокусирующая катушка (10), корректирующая катушка (11) располагаются снаружи колбы трубки.

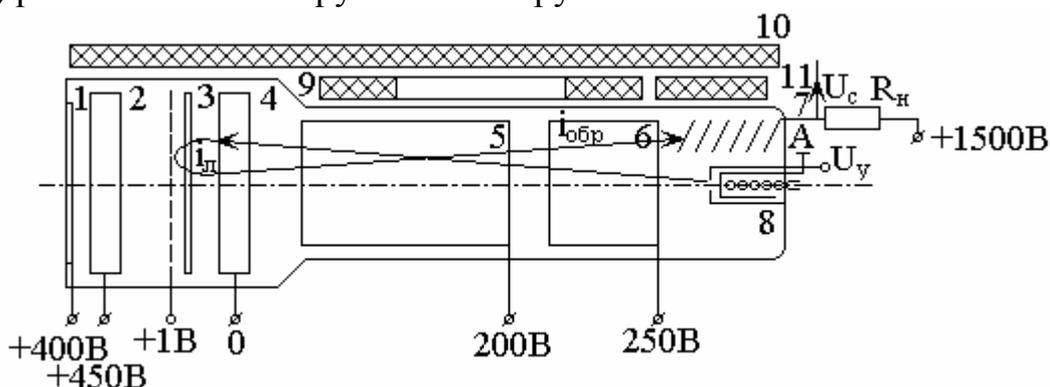


Рис.14.

Секция переноса содержит полупрозрачный фотокатод 1, ускоряющий электрод 2, двустороннюю мишень 3 с сеткой. Полупрозрачный фотокатод на-

несен на внутреннюю поверхность передней плоской части колбы. Секция коммутации содержит тормозящий анод 4 с нулевым потенциалом, расположенный вблизи мишени, аноды 5 и 6, электронную пушку 8 (катод, управляющий электрод), отклоняющую систему катушек горизонтальной и вертикальной разверток 9. Секция ВЭУ (вторично электронный умножитель) состоит из системы динодов, окружающих электронную пушку, с нагрузки ВЭУ  $R_n$  снимается сигнал изображения  $U_c$ .

Работа суперортикаона заключается в следующем. Электронный луч  $i_n$ , ускоренным анодом 6, в дальнейшем претерпевает замедление полем анодов 5 и 4 практически до потенциала катода. Поэтому считывание потенциального рельефа мишени 3 происходит медленными электронами. Электроны луча, достигая мишени, компенсируют потенциальный рельеф, доводя потенциал каждого элемента до потенциала катода, лишние электроны отражаются от мишени и попадают теперь в ускоряющие поля анодов 5 и 6, возвращаясь в область электронной пушки ( $i_{обр}$ ), и “бомбардируют” первый динод ВЭУ. ВЭУ усиливает этот ток  $i_{обр}$ , образуя ток сигнала, протекающий через  $R_n$ , на котором образуется сигнал  $U_c$ . Таким образом, полярность сигнала  $U_c$  является негативной, т.е. чем больше яркость изображения элемента, тем меньше  $i_{обр}$  и, следовательно,  $U_c$ . Однако уменьшение падения напряжения на  $R_n$  приводит к увеличению потенциала точки А (рис.15.) и, следовательно, полярность сигнала, снимаемого с этой точки напряжения, положительна.

Рассмотрим основные характеристики и параметры суперортикаона.

Световая характеристика—зависимость тока сигнала на выходе трубки от освещенности ее фотокатода 1, рис.15а. Эта характеристика линейна в плоскости А—малых освещенностей, порядка сотых-десятых долей люкса, значит суперортикаон высокочувствительная трубка, ее чувствительность превосходит чувствительность глаза.

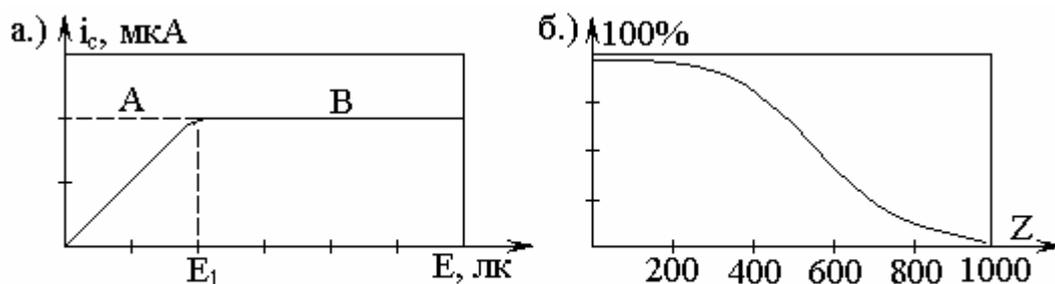


Рис.15.

Апертурная характеристика—зависимость уровня сигнала от  $Z$ , рис.15.б, показывает падение уровня сигнала объясняется недостаточной степенью фокусировки секцией переноса, конечным размером диаметра коммутационного луча.

Спектральная характеристика—зависимость тока сигнала (или  $U_c$ ) от длины волны света, т.е.  $i_c = \varphi(\lambda)$ . Эта характеристика определяется материалом, из которого изготовлен фотокатод.

К параметрам суперортикона можно отнести параметры напряжений, подаваемых на электроды трубки, световую чувствительность, определяемую током  $i_c$  в точке  $E_1$  (рис.15а.), размеры мишени, диаметр считывающего луча, отношение сигнал-шум на выходе трубки. Последний параметр достигает величины 80 и более.

Суперортикон достаточно сложен в производстве и настройке режима, однако высокочувствителен.

#### 2.4.2. Видикон.

Видикон использует мишень на основе фотопроводимости, позволяющей одновременно реализовывать и фоточувствительность и накопление. Видикон отличается простотой конструкции, небольшими размерами и массой, высоконадежен и недорог. Конструкция видикона, рис.16, состоит из фотомишени 1 и секции считывания, содержащей аноды 3, 4 и электронной прожектор 5 отклоняющая и фокусирующая катушки (ОС и ФК) размещены с наружи трубки. Фотомишень изготавливается из материалов соединений сурьмы, мышьяка, селена и серы, которые определяют характеристики спектральной чувствительности. Сетка 2 является выравнивающей, обеспечивающей подход электронного луча к мишени под прямым углом ( $U_{вс}=(1,5...2)U_{a1}$ ). Видикон может работать как в режиме быстрых, так и медленных электронов луча  $i_1$ , что задается потенциалом  $E_m$ , подаваемым на подложку фотопроводника, чаще используется режим медленных электронов.

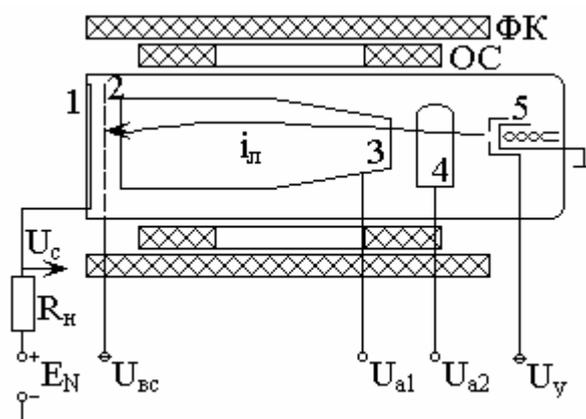


Рис.16.

Состав характеристик и параметров видикона аналогичен суперортикону. Следует тем не менее отметить, что световая чувствительность видикона примерно на порядок ниже, чем у суперортикона, однако достаточно высокая для работы в естественных условиях освещенности. Недостатком видикона является его инерционность, которая проявляется при передаче движущихся объектов в виде тянущихся за ними следов. Видиконы нашли широкое применение в прикладных ТВ-системах, в малогабаритных видеокамерах, для передачи кинофильмов благодаря простоте конструкции, малым габаритам, хорошими эксплуатационно-техническим характеристикам и параметрам. Существует ряд

модификаций видикона, направленных на улучшение его технических характеристик (плюмбикон, секон, кремникон и др.).

### 2.4.3. Твердотельные преобразователи.

Твердотельным аналогом передающей телевизионной трубки с электронным сканированием по строке и кадру является матричный преобразователь ДОИ на основе матриц ПЗС. Он представляет собой двухкоординатный массив светочувствительных элементов, обеспечивающий процессы фотопреобразования, процесс памяти и процесс считывания хранимого потенциального рельефа. Рассмотрим эти процессы на примере системы с кадровым переносом потенциального рельефа, как наиболее предпочтительной системы. В такой системе имеется секция накопления 1 и секция переноса 2, рис.17.

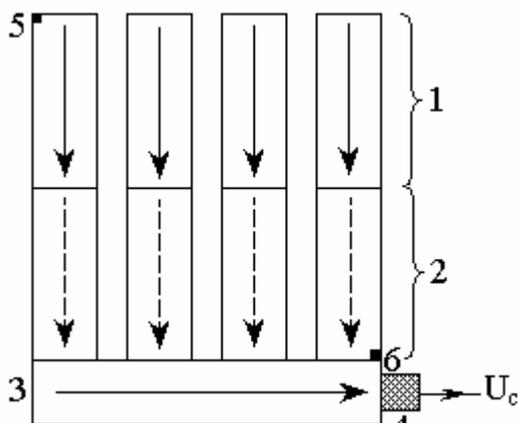


Рис.17.

Секция накопления является экспонируемой ДОИ матрицей ПЗС, секция переноса защищена от света и равна по объему секции накопления.

Накопленные заряды секции 1 за время хода по кадру сдвигаются в секцию переноса 2. Во время накопления в фотоприемной секции следующего кадра информация из секции 2 построчно передается в секцию переноса заряда—сдвиговый регистр 3. Сдвиг строк в секцию 3 осуществляется во время обратных ходов строчной развертки. Затем зарядовые пакеты строки поэлементно выводятся сдвиговым регистром к выходному устройству 4, преобразующего заряды в сигнал изображения. В такой схеме число переносов пакетов заряда для разных элементов изображения различно. Максимальным оно будет для первого элемента верхней строки 5, минимальным—для 6. Максимальное число переносов (для трехтактной схемы сдвига)  $N_{\max}=2 \cdot 3 \cdot z + 3 \cdot n$ , где  $z$ —число строк,  $n$ —число элементов в строке. При переносе зарядов возникают потери, характеризующиеся коэффициентом потерь  $K_{\text{п}} \cong 1 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-5}$ .

Результирующая неэффективность переноса всего прибора равна, следовательно,  $N_{\max} \cdot K_{\text{п}}$ .

Характеристики матричных твердотельных преобразователей аналогичны по составу другим передающим ТВ-трубкам. Чувствительность матрицы достигает величины 50мкА/лм и соизмерима с чувствительностью современных пе-

редающих приборов. Разрешающая способность определяется числом элементов накопления в матрице и в настоящее время удовлетворяет существующим телевизионным стандартам. Отношение сигнал-шум реализуется не меньшим 24, что также соответствует требованиям.

#### 2.4.4. Другие виды преобразователей.

В предыдущих разделах рассмотрены основные виды телевизионных приборов, осуществляющих ОЭП. Существуют и другие виды ОЭП, используемые для специфических задач для специфических задач преобразования изображений. Во-первых, исторически первыми электронными трубками были такие как иконоскоп, работа которого основана на использовании мишени, рассмотренной в 2.3 (рис.11а), супериконоскоп (рис.11б). Последний достаточно долго использовался в телевизионном вещании.

Диссектор (рис.18)—трубка мгновенного действия. Внутри трубки имеется фотокатод, работающий на основе внешнего фотоэффекта 1, ускоряющий анод 2, диафрагма 3 с вырезанным малым отверстием (апертурой) за которым располагается ВЭУ 4 с нагрузкой  $R_H$ . Фокусирующие 5 и отклоняющие катушки 6 располагаются снаружи колбы. В плоскости диафрагмы образуется перенесенное электронное изображение, которое отклоняющей системой сканируется по закону развертки относительно неподвижной апертуры. Электроны пролетевшие апертуру размножаются ВЭУ и создают сигнал изображения  $U_0$  на  $R_H$ . Диссектор применяется в прикладном телевидении, для демонстрации кинофильмов, т.к. требует повышенной освещенности объектов съемки, вследствие отсутствия эффекта накопления.

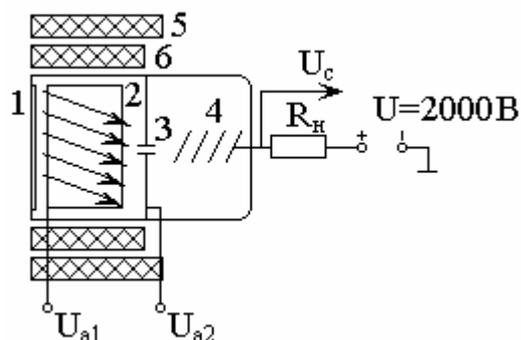


Рис.18.

Моноскоп—трубка для передачи одного неподвижного изображения. Мишень этой трубки представляет собой алюминиевую пластину с нанесенным на ее поверхность рисунком изображения, полученным с помощью окисления алюминия. Коэффициент вторичной электронной эмиссии с разных участков пластины различен, что в процессе развертки изображения электронным лучем создает на нагрузке мишени сигнал изображения.

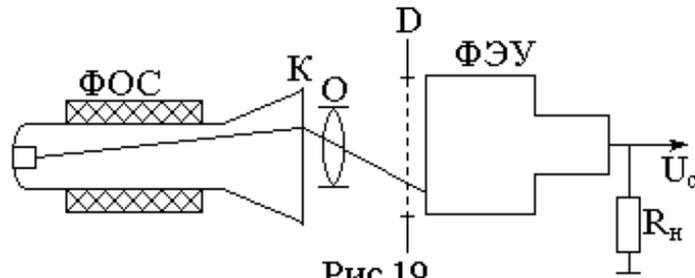


Рис.19.

Датчик с бегущим лучем. Используется для передачи изображений типа диапозитивов или фотоизображений на фотопленке, рис.18.

На экране ЭЛТ—кинескопа К по закону развертки, задаваемой фокусирующей и отклоняющей системой (ФЭС), движется световое пятно (апертура), которое оптикой О проецируется в плоскость диафрагмы Д. В эту плоскость помещается кадр фотопленки, он просвечивается световой апертурой. Световой поток этой апертуры на выходе возбуждает фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), в нагрузке которого возникает сигнал изображения  $U_c$ .

### 3. Способы воспроизведения телевизионных изображений.

#### 3.1. Кинескопы.

Кинескопы делятся на кинескопы черно-белого и цветного изображений. Кинескопы черно-белого изображения (КЧБ) являются электронно-лучевой трубкой с электромагнитной системой отклонения, т.е. отклоняющая система состоит из двух катушек индуктивности, размещаемых ортогонально относительно горловины ЭЛТ, Рис 20.

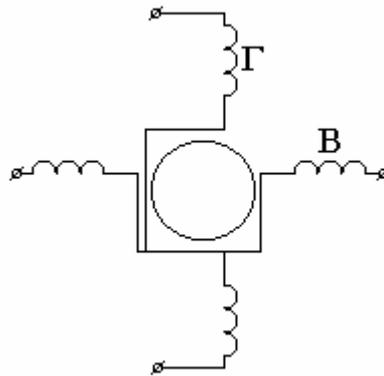


Рис.20.

Вертикальные катушки Г осуществляют горизонтальные (по строке) отклонение луча, горизонтальные – вертикальное (по кадру) отклонение. Такая же ориентация катушек имеет место и в цветных кинескопах. Экран ЭЛТ КЧБ с внутренней стороны покрыт люминофором, который возбуждается бегущим по нему электронным лучом вызывая катодлюминисценцию - свечение люминофора в зависимости от текущего значения плотности тока электронного луча:

$$B = A \cdot j(U - U_0)^n, \quad (3.1)$$

где  $V$ -яркость свечения люминофора,  $j$ -плотность тока луча, несущая информацию о сигнале изображения,  $U_0$ -пороговое напряжение возбуждения люминофора,  $U$ -напряжение второго анода кинескопа,  $n$ -показатель нелинейности преобразования и  $A$ -коэффициент, зависящий от вида люминофора. Устройство кинескопа схематически показано на Рис. 21.

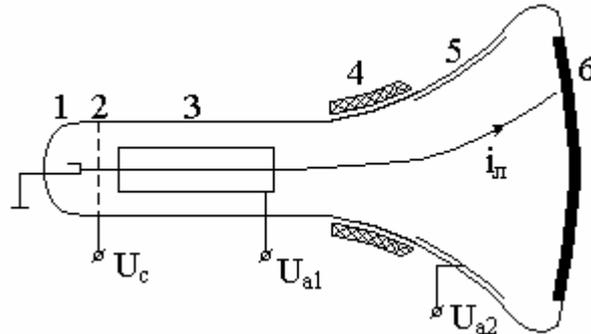


Рис.21.

Здесь: 1-электронная пушка, 2-управляющий электрод, на который относительно катода (корпуса) подается сигнал изображения  $U_c$ , 3-внутренняя фокусирующая система и первый анод, 4-наружная отклоняющая система, 5-второй анод (нанесенный на внутреннюю поверхность колбы слой графита) и 6-слой люминофора, покрытый тонкой пленкой алюминия. Все выводы электродов кроме  $U_{a2}$ , сделаны через цоколь,  $U_{a2}$ -через колбу

Промышленность выпускает большую номенклатуру кинескопов с диагональю 6...71см. Обозначения, например, 61ЛК2Б означает: диагональ экрана кинескопа-61см, ЛК-кинескоп лучевой, 2-тип электронного прожектора, Б-белый цвет свечения экрана. В обозначении 61ЛК3Ц-буква Ц указывает, что кинескоп цветной.

### 3.1.1. Цветные кинескопы.

Для получения цветного изображения в современных ТВ-системах преимущественно используется один электровакуумный прибор – цветной кинескоп, в котором цветные изображения формируются из трех цветовых компонент методом пространственного смещения. При этом на экране кинескопа формируется три разноцветных раstra-красный, зеленый, синий, пространственно совмещенные в одном элементе изображения. Трехрастровая система предполагает наличие в кинескопе трех электронных прожекторов и трех люминофорных групп красного, зеленого и синего цветов свечения. Обеспечение правильного попадания каждого из лучей на люминофорные элементы своей группы производится с помощью теневой маски. По способу расположения прожекторов лучей кинескопы делятся на дельта- кинескопы, прожекторы которых а также люминофорные группы расположены в вершинах равносторон-

них треугольников и на компланарные кинескопы с расположением прожекторов в линию и линейчатыми люминофорными группами.

Масочный дельта-кинескоп, Рис. 22.

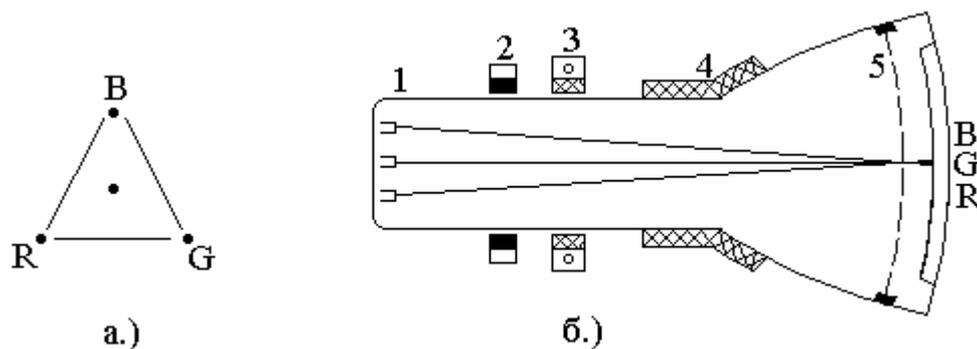


Рис.22.

В горловине трубки расположены три прожектора R, G, B 1, расположенные симметрично относительно оси кинескопа Рис. 22а. Каждый луч прожектора модулируется по плотности тока сигналами своего цвета  $U_R$ ,  $U_G$ ,  $U_B$  (модуляторы не показаны). Каждый луч, двигаясь по экрану, проходит через отверстие в маске 5, попадая за ним на люминофорный элемент своего цвета свечения, Рис. 22.

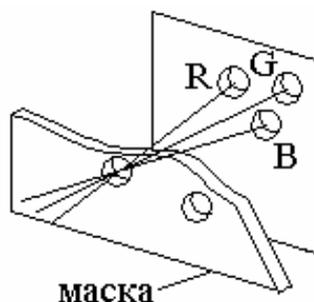


Рис.23.

Люминофорная группа имеет наименование – триада. Таких триад на экране  $R_{\phi}Z^2$  штук, т.е. порядка 550000 для стандарта в 625 строк. Отверстия в маске, которая расположена на расстоянии 15 мм от экрана, имеют диаметр 0,25 мм, толщина маски (из листовой стали) 0,15 мм, число отверстий равно числу триад. Конструкция прожекторов, их наклон, размеры элементов маски и триады связаны определенными геометрическими соотношениями, чтобы обеспечить проекцию центров прожекторов в центры элементов триады. Эта геометрия должна обеспечиваться по всему полю кадра. Для этого кинескоп снабжен системой магнитной и электромагнитной коррекции траекторий лучей – системой сведения: статической и динамической 2 и 3. Элемент 3 служит для индивидуальной коррекции траекторий R, G, и B лучей с помощью постоянных магнитов (статическое сведение) и электромагнитов (динамическое сведение), которые питаются токами специальной формы в интервале прямого хода строчной и кадровой разверток. Элемент 2 служит для коррекции чистоты цвета, смещая все три луча так, чтобы центры лучей совмещались с центрами элементов R, G

В триады. Элемент 4 – отклоняющая система катушек, развертка всех трех лучей – единая.

Масочный кинескоп с триадным дельтавидным расположением прожекторов применяется в большинстве телевизоров и ВКУ, однако он не лишен недостатков: необходимость сложных систем сведения лучей и малая прозрачность маски, которая задерживает более 80% тока в каждом луче.

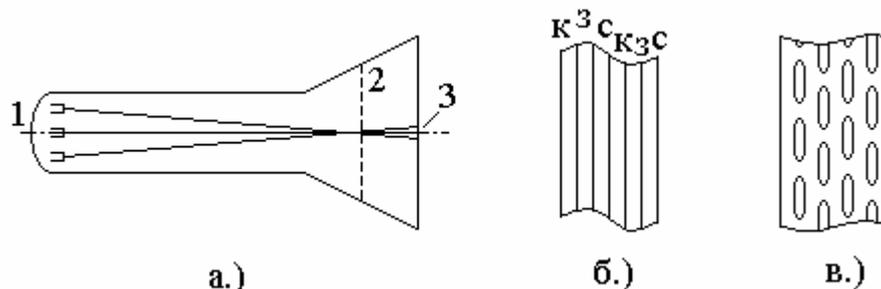


Рис.24.

Масочный кинескоп с компланарным расположением прожекторов. В таком кинескопе оси трех прожекторов расположены в одной горизонтальной плоскости, ось зеленого совпадает с осью кинескопа, а оси других наклонены на  $1,5^\circ$  к оси кинескопа, Рис. 24. Кинескоп имеет линейчатую структуру люминофорного покрытия экрана (Рис. 24б.) и целевую теневою маску которая выполнена в виде отверстий-прорезей, между которыми имеются перемычки. Преимущества такого кинескопа: растры следует совмещать только в горизонтальном направлении, повышенная яркость свечения вследствие высокой прозрачности маска, улучшается чистота цвета, т.к. на “чужую” полосу цвета луч может попадать только в горизонтальном направлении. В таких кинескопах можно построить по принципу самосведения лучей, но эта операция осуществляется непосредственно на производстве при условии совместного изготовления узла кинескопа, его отклоняющей и магнитно-растрирующей системой.

### 3.2. Проекционный и светоклапанный способ воспроизведения ТИ.

Рассматриваемые способы относятся к воспроизведению ТИ на больших экранах.

Суть проекционного способа воспроизведения цветного ТИ состоит в оптической проекции изображений с трех кинескопов (с красным ТИ, зеленым ТИ и синим ТИ) на один экран. При этом каждый кинескоп модулируется сигналом соответствующим своему цветовому тону ( $U_R$ ,  $U_G$ ,  $U_B$ ). Для этих целей разработаны специальные проекционные кинескопы с размером экрана порядка 80 мм и большой яркостью свечения люминофора (с большими значениями  $U$ , см. (3.1)). Размеры изображения в этом случае целесообразны до  $12 \text{ м}^2$ . Поиск путей создания более эффективных проекционных систем привел к разработке светоклапанных устройств воспроизведения ТИ. В этих устройствах ТВ-сигнал воздействует на пространственные модуляторы света (ПМС), модулирующие световой поток от внешнего мощного источника света. Это позволяет практи-

чески неограниченно повысить интенсивность излучения, определяемую мощностью внешнего источника света.

ПМС подразделяются на модуляторы с прямой модуляцией светового потока и на модуляторы с косвенной модуляцией. В ПМС первого типа под действием ТВ сигнала меняется прозрачность или коэффициент отражения модулирующей среды ПМС, в результате чего ПМС становится носителем промежуточного изображения (например, диапозитива). Это изображение путем про света ПМС или отражения от него мощного светового потока проецируется на большой экран.

В модуляторах второго типа под действием модулирующего ТВ сигнала меняются такие свойства ПМС, как изменение рельефа ПМС, изменяющие плоскости поляризации проходящего через ПМС света или отраженного от него. В таких модуляторах требуются дополнительные устройства, превращающие разность хода световых лучей (от рельефа) или изменение поляризации в адекватные изменения интенсивности светового потока. При рельефной записи на ПМС ТВ сигнала таким устройством служит щелевая оптика, при поляризационной записи – два взаимно перпендикулярных поляризатора.

Для примера рассмотрим принцип работы светоклапанного устройства типа “Аристон”, выпускаемого отечественной промышленностью. Для пространственной модуляции в ПМС здесь используется слой вязкого масла “Эйдофор”, деформирующийся под воздействием электронного пучка, модулируемого по плотности тока ТВ сигналом. Схема устройства изображена на Рис. 25.

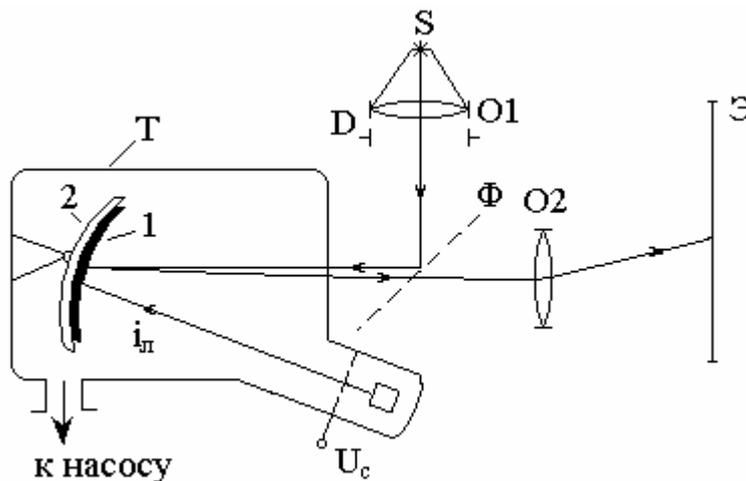


Рис.25.

Мощная ксеноновая дуговая лампа S через конденсатор O1 и щелевое зеркало Φ равномерным световым потоком освещает поверхность ПМС 1. ПМС представляет собой тонкую масляную пленку, нанесенную на поверхность сферического металлического экрана 2. Площадь освещенного участка масляной пленки определяется диафрагмой D – это площадь кадра ТВ изображения. По поверхности этого кадра по закону ТВ развертки двигается электронный луч, модуляция интенсивности которого производится ТВ сигналом  $U_c$ , подаваемым

на модулятор (управляющий электрод) вакуумной трубки Т. Вакуум внутри Т создается откачивающим вакуумным насосом. Заряд электронов, доставляемый электронным лучом на поверхность мишени 1 деформирует толщину масляной пленки, адекватно уровню сигнала  $U_c$ , так что поверхность пленки имеет распределение глубины рельефа  $d(x,y)$ , адекватное потенциальному рельефу  $\varphi_n(x,y)$  передаваемого ДОИ. Световые колебания, падающие на мишень рассеиваются этим рельефом. Лучи света, отраженные от недеформированной поверхности мишени, попадают на зеркальные плоскости зеркала  $\Phi$ , т.к.  $\Phi$  располагается в фокусе сферического зеркала 2. Рассеянные лучи частично проходят через щели между зеркальными полосками и через объектив О2 создают изображение на экране Э. Подбором проводимости и вязкости масла обеспечивается сохранение деформации в кадре за время периода кадровой развертки. Во время обратного хода развертки заряд, вызывающий деформацию снимается с пленки путем подачи определенного потенциала на специальный электрод зеркала 2.

Установка “Аристон” обеспечивает воспроизведение черно-белых и цветных изображений на экране до  $50 \text{ м}^2$  с высокой яркостью, четкостью (до 1000 стр.), контрастом (до 100:1). Недостатком является сравнительно большие габариты, масса, необходимость непрерывной откачки, охлаждения и ряд других эксплуатационных сложностей.

К светоклапанным устройствам относится также система “Титус”, использующая поляризационный ПМС, обладая не менее высокими показателями, а также лазерное сканирующее устройство с модуляцией яркости лазерного луча ТВ-сигналом.

Воспроизведение ТВ изображений осуществляется и на матричных больших экранах.

Матричные экраны состоят из дискретных ячеек числом, соответствующим количеству элементов в воспроизводимом кадре ТИ, размещаемых по строкам и столбцам кадра. В ячейках размещаются дискретные элементы, излучающие свет под воздействием уровня сигнала изображения. Это могут быть: лампы накаливания, газополные лампы, ячейки на основе электролюминесценции, жидкокристаллические элементы и т.д. (см. 4.3[6]) и читатель может обратиться к этому источнику.

## **4. Цифровые преобразования в ТВ системе.**

### **4.1. Система цифрового телевидения, характеристики сигналов и канала.**

Цифровое телевидение – область телевизионной техники, в которой операции обработки, консервации и передачи телевизионного сигнала связаны с его преобразованием в цифровую форму.

Системы цифрового телевидения (СЦТ) можно видеть двух типов. В системе первого типа – полностью цифровой – преобразование передаваемого изображения в цифровой сигнал и обратное преобразование цифрового сигнала в

изображение на приемном экране осуществляется непосредственно в преобразователях свет-сигнал и сигнал-свет. Во всех звеньях тракта передачи информация имеет цифровую форму. В перспективе создание такой системы вполне реально, но в настоящее время существуют ЦТС второго типа, в которых аналоговый ТВ сигнал, получаемый с датчиков, преобразуется в цифровую форму, подвергается всей необходимой обработке, передаче, а затем преобразуется вновь в аналоговую форму. При этом используются существующие датчики аналоговых ТВ сигналов (гл. 2) и воспроизводящие устройства (гл. 3). Здесь рассматриваются ЦТС второго типа. Структурная схема такой ЦТС представлена на Рис. 26.

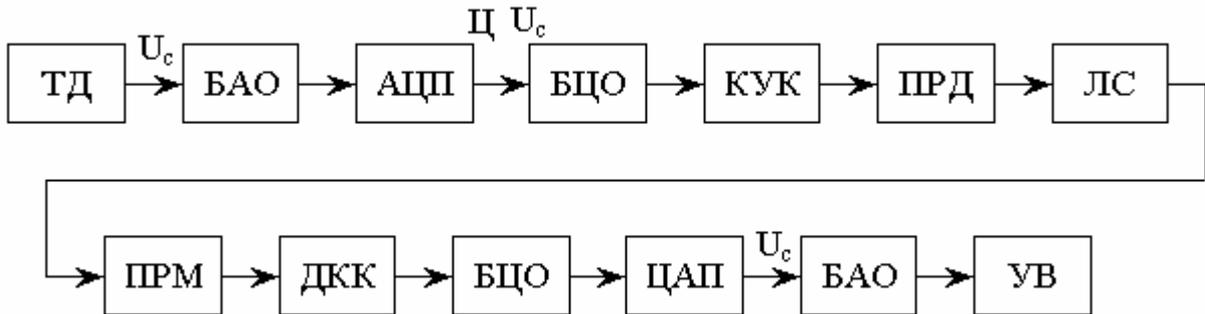


Рис.26.

На схеме приняты обозначения: ТД - телевизионный датчик, на выходе которого формируется аналоговый ТВ сигнал изображения; БАО – блок аналоговой обработки (фильтрация, коррекция), АЦП – аналого-цифровой и ЦАП – цифро-аналоговый преобразователи; БЦО – блок цифровой обработки, осуществляющий какие-либо операции коррекции, устранение избыточности (групповое кодирование) и т.д.

Цифровую форму сигнал  $U_c$  с датчика сигнала изображения приобретает после АЦП, в котором осуществляется три операции: временная дискретизация сигнала, квантование по уровню дискретных временных отсчетов и непосредственное цифровое кодирование квантованных отсчетов сигнала. Дискретизация по времени производится в соответствии с основаниями теоремы Котельникова-Шеннона так, что интервал дискретизации  $T_d=0,5/f_B$ , где  $f_B$  – наивысшая частота спектра ТВ сигнала, а следовательно, частота дискретизации  $f_d=2 f_B$ .

Квантование по уровню представляет собою также дискретизацию ТВ сигнала, но не по времени, а по уровню так, что динамический диапазон сигнала  $U_c$  разбивается на отдельные области значений, отстоящие друг от друга на величину  $\Delta U$  – шага квантования. Величина  $U_{cm}/\Delta U=m$  есть число уровней квантования. Это число счетно и может быть представлено числом в некоторой системе счисления, чаще всего в двоичной системе.

Такое представление и составляет сущность операции кодирования, в двоичной системе этот код носит название импульсно-кодовой модуляции (ИКМ). При ИКМ по каналу связи передаются кодовые комбинации с частотой следования, равной частоте отсчетов, т.е. с частотой  $f_d$ . Каждая кодовая комбинация

соответствует определенному отсчету и содержит некоторое число  $K$  двоичных символов (битов).

Скоростью передачи цифровых сигналов по каналу связи является число передаваемых по каналу двоичных символов в единицу времени. Значит эта скорость в нашем случае

$$C = f_D \cdot K \quad (4.1)$$

Число двоичных символов  $K$  в кодовой комбинации одного отсчета связано с числом уровней квантования  $m$  соотношением

$$K = \log_2 m \approx 3,31 \lg m \quad (4.2)$$

Число уровней квантования  $m$  должно быть выбрано не меньшим, чем число градаций яркости, различимое глазом, которое в зависимости от условий наблюдения колеблется в пределах 90...200 (см. [1,6]). Отсюда

$$K = 3,31 \lg(90 \dots 200) \approx 6,4 \dots 7,6.$$

Так как число символов в кодовой комбинации может быть только целым, то выбор разрядности кодовой комбинации ограничивается числами  $K=7$  или  $8$ . Это соответствует  $m=128$  или  $256$ . При  $K=8$  из (4.1) следует  $C = f_D \cdot 8$  и, если ориентироваться на стандарт  $Z=6,25$  строк,  $F_K=25$  Гц, то  $f_B \approx 6,5$  МГц,  $f_D=13$  МГц и  $C=104$  Мбит/с. Если же учесть, что кроме сигнала яркости передается информация о цвете, то общий цифровой поток должен быть удвоен и будет составлять величину в 208 Мбит/с.

Для передачи цифровой информации со скоростью  $C$  полоса частот канала связи

$$\Delta f_c = \frac{1}{2T_T} = 0,5f_T,$$

где  $T_T$  – время передачи одного двоичного символа – время такта,  $f_T$  – тактовая частота.

При равномерном расположении тактовых импульсов внутри интервала  $T_D$ , т.е.  $f_T = K f_D$  получим

$$\Delta f_c = 0,5C \quad (4.3)$$

Таким образом, для передачи цифрового ТВ сигнала необходим в соответствии с (4.3) канал с полосой пропускания  $\Delta f_c \geq 104$  МГц. Соответствующее этой полосе, требуется быстроедействие от всех узлов преобразования цифровой ТС. Широкая полоса канала ЦТС определяет главным образом трудности внедрения цифрового телевидения. В то же время следует иметь в виду, что существенное расширение полосы частот канала ЦТС обменивается на существенное сокращение большого динамического диапазона аналогового сигнала по сравнению с малым (на два уровня) диапазоном цифрового сигнала. Это приводит к повышению помехоустойчивости канала передачи информации.

Как видно из вышеприведенных соотношений скорость цифрового потока в ЦТС велика. Самый широкий по спектру канал единой автоматизированной системы связи ЕАСС, т.н. четвертичный канал, пропускает поток 139,264 Мбит/с, третичные магистрали 34,368 Мбит/с. Экономически целесообразно

сигнал ЦТС передавать в полосе третичной магистрали, но для этого надо иметь возможность “сжать” ТВ сообщение за счет определенных резервов в них имеющихся.

## 4.2. Кодирование телевизионного сигнала.

Импульсно-кодовая модуляция в ТС присуща заметная избыточность в передаваемой информации. При равной вероятности любых из возможных уровней яркости одного элемента изображения содержание соседствующих с ним элементов мало отличается, т.е. имеет место сильные корреляционные связи между соседними элементами, приводящие к избыточности при кодировании телевизионного сигнала. В настоящее время существует ряд приемов по сокращению этой избыточности, что обеспечивает уменьшение скорости цифрового потока информации в ТС. Рассмотрим три из этих способов: кодирование с предсказанием и адаптивное групповое кодирование.

### 4.2.1. Кодирование с предсказанием.

Принцип кодирования сигнала с предсказанием таков: передача в каждом отсчете не истинного значения элемента, а кодированной разности между истинным значением и предсказанным, называемой ошибкой предсказания. Алгоритм формирования ошибки предсказания  $e(nT_d)$  состоит в следующем:

$$e(nT_d) = U_c(nT_d) - U_c(nT_d), \quad (4.4)$$

где  $U_c(nT_d)$  – уровень сигнала  $n$ -ого отсчета,  $U_c(nT_d)$  – уровень предсказанного сигнала этого же отсчета. Хотя динамический диапазон величины  $e$  не меньше, чем  $U_c$ , вероятность ее распределения аппроксимируется экспоненциальным законом распределением (а не равномерным, как в случае  $U_c$ ), сосредоточенным в области, близкой к  $e=0$ . Поэтому сигнал ошибки может быть проквантован значительно меньшим числом уровней  $K$ , чем исходный сигнал  $U_c$ , что обеспечивает меньшую скорость потока двоичной информации [см. (4.1, 4.3)].

Восстановление сигнала на приемной стороне производится по алгоритму

$$U_c(nT_d) = e(nT_d) + U_c(nT_d) \quad (4.5)$$

В простейшем случае роль предсказанного значения отсчета может выполнять значение предыдущего отсчета, т.к. значения соседних отсчетов часто весьма схожи.

Из сказанного выше можно видеть, что кодирование с предсказанием подобно системе передачи с дельта-модуляцией (ДМ). И если  $e(nT)$  кодируется ИКМ, то подобные системы именуют дифференциальной ИКМ (ДИКМ). Системы ДМ простого вида вызывают затягивание крутых фронтов сигналов, что заставляет увеличивать частоту дискретизации, последнее уменьшает эффективность передачи.

В так называемых многоуровневых ДИКМ этот недостаток в заметной степени устраняется. В таких системах ошибка  $e(nT)$  квантуется не на два уровня (как в простых системах с ДМ), а на несколько, обычно на 16 уровней и

преобразуется в двоичный код, обычно четырехразрядный. Система такой ДИКМ изображена на Рис. 27.

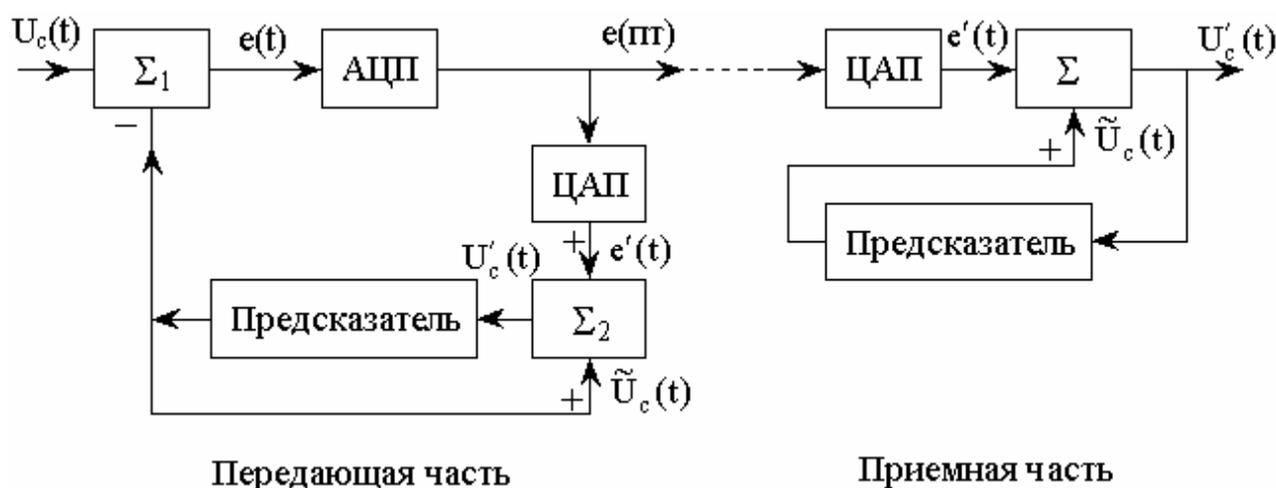


Рис.27.

В этой схеме  $e(nT)$  цифровой сигнал ошибки в форме ИКМ,  $U_c(t)$  – исходный аналоговый сигнал ТС,  $\tilde{U}_c(t)$  – предсказанный сигнал аналоговой формы,  $U'_c(t)$  – аналоговый сигнал на выходе системы (он содержит, разумеется, шумы квантования),  $e(t)$  – аналоговый сигнал ошибки,  $e'(t)$  – аналоговый сигнал ошибки с шумами квантования.

По этой схеме видно, что операции (4.4, 4.5) в ней осуществляются на аналоговом уровне, кодируется и передается цифровой  $e(nT)$  сигнал ошибки. В целом методами ДИКМ удастся сократить число бит на один элемент до 3...5 по сравнению с 7...8 битами при ИКМ. ДИКМ не свободна от недостатков, связанных с тем, что появление помехи, искажающей один из отсчетов, сказывается и на искажениях всех последующих отсчетов, поскольку они вычисляются по предыдущему значению. Уменьшить влияние этой причины можно достаточно частой передачей опорных, истинных значений отсчетов, а не их ошибок. Это, разумеется, снижает эффективность кодирования. Повышает помехоустойчивость системы использование двумерного кодирования, при котором для предсказания используются отсчеты не только по элементам текущей, но и предшествующих строк.

#### 4.2.2. Групповое кодирование с преобразованием.

Групповое кодирование с преобразованием (ГКП) предполагает передачу вместо каждого из дискретных отсчетов сигнала определенных линейных комбинаций из совокупности этих отсчетов. При этом указанная замена производится внутри одного небольшого участка (окна) изображения, содержащего группу из ограниченного числа элементов.

На Рис. 28 изображен фрагмент изображения, содержащий  $n^2$  дискретных элементов – группу их. Каждому из элементов соответствует в ТВ сигнале свой дискретный отсчет  $X_{ij}$  так что совокупность отсчетов можно представить как

матрицу исходного распределения яркостей элементов  $V \equiv X$ . Все элементы этой матрицы с информационной точки зрения равноправны.

Идея ГКП состоит в осуществлении такого преобразования группы отсчетов в матрице, чтобы новые, преобразованные отсчеты имели разный вклад в общее содержание изображения. Путем выделения главных новых отсчетов, несущих основной объем информации, и обеспечив им наилучшие условия передачи и “сэкономив” на передаче несущественных отсчетов, можно снизить объем потока цифровой информации в ТВ-системе. Такая постановка вопроса вполне правомочна, т.к. известно, например, разложение любой функции в ряд Фурье и обратного синтеза из элементов этого ряда исходной функции. Значимость каждого члена ряда при обратном синтезе различна: малыми членами ряда можно пренебречь, сократив полосу спектра сигнала и, соответственно полосу канала передачи.

В качестве матаппарата преобразование могут использоваться и по другим видам базисных ортогональных функций: Адамара-Уолша, Хаара, наклонное преобразование и др. Заметных преимуществ у того или иного вида преобразования нет: выбор зависит от характера изображения.

$$\begin{array}{ccccccc} L_{11} & L_{12} & L_{13} & \dots & L_{1n} \\ L_{21} & L_{22} & \dots & \dots & L_{2n} \\ L_{31} & L_{32} & \dots & \dots & L_{3n} \\ \vdots & & & & \\ L_{n1} & L_{n2} & \dots & \dots & L_{nn} \end{array}$$

Рис.28.

Все преобразования, очевидно, являются двумерными, количество преобразованных элементов равно числу элементов в исходной матрице  $X$ , т.е.  $n^2$ .

Алгоритм преобразования группы Рис. 28 в общем виде:

$$y_{kl} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{kji} V_{ij}, \tag{4.6}$$

где весовые коэффициенты определяются с помощью алгоритма гармонического анализа по Фурье, например. В канал связи передаются теперь компоненты матрицы  $Y$ , называемой трансформантой. На приемном конце ТВ канала производится восстановление матрицы исходных значений  $X$  и  $V$ :

$$V_{ij} = \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n b_{ijkl} y_{kl}, \tag{4.7}$$

где  $b_{ijkl}$  – соответствующие весовые коэффициенты.

При сохранении общего числа отсчетов в трансформанте (4.6) сильно изменяются соотношения амплитуд между ними. Энергия сигнала распределяется между компонентами не равномерно как в исходной матрице  $X$ , а сосредоточивается в отсчетах, соответствующих малым номерам строк и столбцов трансформанты. Значения других отсчетов для широкого класса изображений

малы, так что их можно передать с меньшим числом уровней квантования или не передавать вовсе. В этом состоит смысл эффективного кодирования.

На Рис. 29 приведена схема с рассматриваемым способом кодирования.

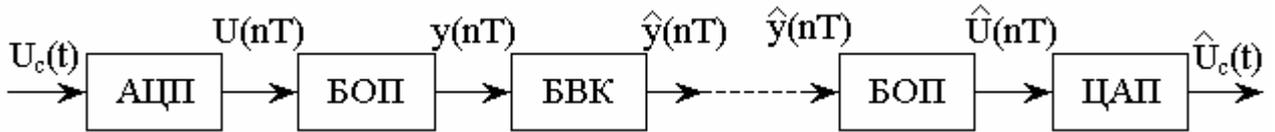


Рис.29.

На рисунке БОП – блок ортогонального преобразования, вычисляющий элементы трансформанты  $y(nT)$ . БВК – блок вторичного кодирования осуществляет отбор компонентов трансформанты, передаваемых с полным числом градаций по уровню, с меньшим числом градаций и отбрасывание несущественных компонент. Действие приемной части схемы ясно из нее самой.

На Рис. 30 приведено характерное распределение зон элементов матрицы  $Y$ , подлежащих передаче.

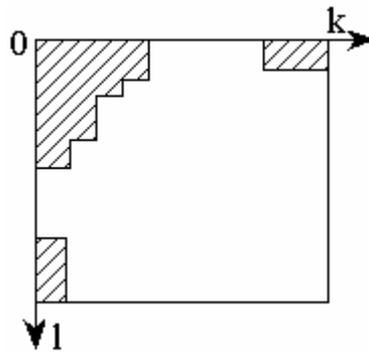


Рис.30.

Для достаточно широкого класса изображений максимальные амплитуды имеют сигналы нижних пространственных частот (крупные детали изображения). Это соответствует элементам матрицы малых номеров строк и столбцов – левый верхний угол матрицы. Четкость изображения определяется верхними пространственными частотами (компоненты в левом нижнем и правом верхнем углу матрицы). Элементы матрицы в заштрихованных зонах и подлежат, обычно передаче. Из рисунка видно, что сокращение общего объема информации значительно. При сохранении удовлетворительного качества изображения оказывается достаточной передача в среднем всего 2 бита на один отсчет, в то время при ИКМ необходимо передавать 7...8 бит. Конечно, для “нетипичных” сюжетов качеству изображения может быть нанесен заметный ущерб. Для более широкого спектра изображений лучшие результаты дает способ адаптивного группового кодирования.

#### 4.2.3. Адаптивное групповое кодирование.

В данном способе кодирования наряду с использованием предыдущего способа более глубоко используются свойства нашего зрения. К числу этих свойств относится то, что глаз регистрирует не отдельные элементы, а целые

контурные отрезки, не различая изменения яркости внутри контуров. В соответствии с этим при адаптивном кодировании передается информация о средней яркости участка изображения и средней яркости контуров и мелких деталей в нем. Для этого вместо группы отсчетов этого участка передается их средняя яркость, затем находится разность между истинным значением яркостей каждого элемента группы и полученным средним значением яркости. Вычисляется среднее значение этой разности, которое передается также.

На приемной стороне суммируются два сигнала: средней яркости и усредненной контурной разности. Также замена одного изображения другим остается незамеченной, если фрагменты (группа) не превышает размера 4x4 элемента. Оценим число битов, необходимых в среднем для передачи одного отсчета изображения способом адаптивного кодирования.

На передачу средней яркости фрагмента из 16 элементов отведем максимум уровней квантования в 7 бит. После вычитания из истинного сигнала его среднего, во-первых, надо передать информацию о знаке разности – 1 бит на каждый элемент (всего 16 бит). Далее необходимо передать информацию о средней яркости контурного изображения, здесь число уровней квантования может быть уменьшено по крайней мере в 4 раза, т.е. потребуется не более 5 бит. Итого:  $7+16+5=28$  бит на группу из 16 элементов, а значит 1,75 бит на элемент.

Применение адаптивного группового кодирования позволяет на практике довести цифровой поток сигналов для системы СЕКАМ до уровня 34,368 Мбит/с, что говорит об эффективности этого способа применительно к задачам ТВ вещания.

#### 4.3. Перспективы внедрения систем цифрового телевидения.

Главной особенностью цифрового ТВ сигнала является его высокая помехоустойчивость, на основе этого сохранение качества ТВ изображения. Кроме этого цифровая форма ТВ сигнала позволяет стыковать ТВ-систему со средствами вычислительной техники, что обеспечивает процессы автоматизации управления синтезом ТВ сигналов изображений датчиков и синтезированными изображениями, полученными на основе компьютерных технологий. В настоящее время широко используется получение телевизионных изображений на экранах персональных компьютеров посредством цифровых преобразований ТВ сигналов в имеющих широкую номенклатуру цифровых видеоадаптерах.

Уже сейчас можно указать ряд направлений обработки ТВ сигналов, в которых используются цифровые средства:

- цифровое шумоподавление;
- цифровая апертурная коррекция, цифровая коррекция временных искажений, градационных искажений;
- цифровая гребенчатая фильтрация ТВ-сигналов;
- цифровые технологии преобразования ТВ изображений из одного стандарта в другой;

цифровые технологии производства спецэффектов, объединения изображений, изменения масштабов изображения и др.;

цифровые системы телекоммуникаций, объединяющие передачу изображений, текстов, звука, графики и т.д.

Цифровое телевидение, его методы находят применение и в прикладных задачах. Здесь часто решаются задачи обработки той информации, которая поступает на вход устройства: вычисляются координаты объектов, их размеры, площади, количество, решаются задачи распознавания объектов.

Наиболее сложным процессом является, безусловно, внедрение цифровых методов в телевизионное вещание. По сути дела телевидение стоит сейчас перед задачей реализации заключительного этапа процесса внедрения цифровых методов – построение полностью цифровой ТВ-системы, включающей цифровую передачу сигналов в канале связи. Как следует из вышеприведенных материалов для этого имеются как теоретические так и практические предпосылки и решение этой задачи не следует считать отдаленным.

## **5. Телевизионные системы.**

### **5.1. Одновременные совместимые системы цветного телевидения.**

Цветные ТС классифицируются по способу передачи цветовых компонент: одновременные и последовательные. В последовательных ЦВТС сигналы, соответствующие красному, зеленому и синему изображениям, передаются последовательно во времени, что требует утроенной (по сравнению с черно-белой ТС) частоты кадровой и строчной разверток, и утроенной полосы спектра сигнала. Кроме того в последовательной системе есть ряд недостатков: она не совместима с черно-белой системой, имеет место появление цветного ореола у быстро движущихся объектов, ограниченные размеры экрана. Поэтому прогресс в развитии последовательных ЦВТС не имеет места, и в настоящее время практически повсеместно применяются одновременные, совместимые с черно-белым телевидением, ЦВТС. Последовательные ЦВТС применяются, например, для передачи цветоделенных во времени изображений из космоса, передачи эти осуществляются медленно и в небольшой полосе частот. В настоящее время основными ЦВТС являются системы типа: НТСЦ, ПАЛ, СЕКАМ. При этом преимущественно – ПАЛ и СЕКАМ, т.к. система ПАЛ по принципу передачи цветовой информации аналогична НТСЦ и отличается особенностями в формировании сигналов. Во всех этих системах используется один и тот же принцип кодирования сигналов цветного изображения.

#### **5.1.1. Кодирование сигналов цветного изображения.**

Источниками исходных цветовых сигналов в ЦВТС являются сигналы на выходе телевизионных датчиков (трех), каждый из которых дает сигнал изображения, соответствующий цвету ДОО, подаваемого на датчик.

Деление исходного ДОИ на цветные ДОИ осуществляется посредством дихроичных зеркал, Рис. 31.

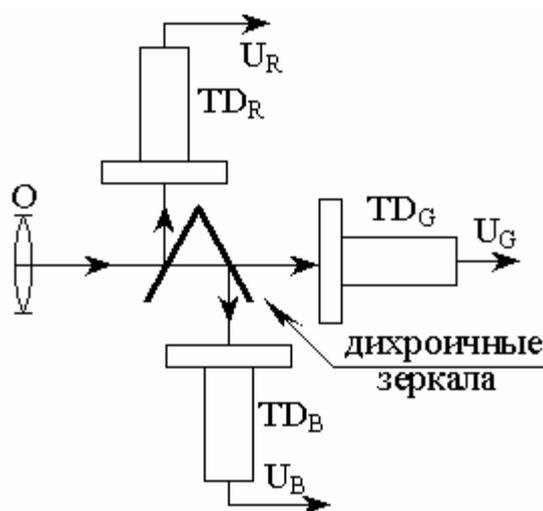


Рис.31.

Основные сигналы цветности:  $U_R$  - красный,  $U_G$  - зеленый,  $U_B$  - синий. Для обеспечения требования совместимости – приема монохромным телевизором цветной программы в черно-белом виде – должен быть передан, кроме  $U_R$ ,  $U_G$ ,  $U_B$ , сигнал яркости  $E_Y = rU_R + gU_G + bU_B$ , (5.1)

где  $r$ ,  $g$ ,  $b$  – относительные яркости основных цветов, обеспечивающие стандарт белого цвета. При наличии сигнала  $E_Y$  нет надобности в передаче всех трех компонент  $E_R$ ,  $E_G$ ,  $E_B$ , достаточно передать только любые два из них, а информацию о третьем получить на приеме путем вычитания из  $E_Y$  двух переданных. Кроме того поскольку  $E_Y$  несет в себе информацию о яркости элементов изображения, она может быть исключена из сигналов основных цветов передачи. Тогда используют цветоразностные сигналы  $E_{R-Y} = U_R - E_Y$ ;  $E_{G-Y} = U_G - E_Y$ ;  $E_{B-Y} = U_B - E_Y$ , амплитуда которых обращается в нуль при передаче белых и серых деталей изображения и мала при слабонасыщенных цветах. Это улучшает помехоустойчивость совместимых ЦВТС, уменьшает заметность цветowych сигналов на монохромных телевизорах. Из трех цветоразностных сигналов используют два:  $E_{R-Y}$  и  $E_{B-Y}$ . Таким образом, полную информацию о передаваемом цветном изображении кодируют в трех составляющих:  $E_Y$ ,  $E_{R-Y}$ ,  $E_{B-Y}$  путем выполнения операций (5.1) и двух операций получения цветоразностных сигналов:

$$\begin{aligned} E_{R-Y} &= U_R(1-r) - gU_G - bU_B \\ E_{B-Y} &= U_B(1-b) - rU_R - gU_G \end{aligned} \quad (5.2)$$

Операции кодирования (5.1, 5.2) производят в кодирующих матрицах типа Рис. 32, где показано получение сигнала  $E_{R-Y}$ ; для получения сигналов с отрицательными значениями  $r$ ,  $g$ ,  $b$  необходимо включить в соответствующую цепь инвертор полярности.

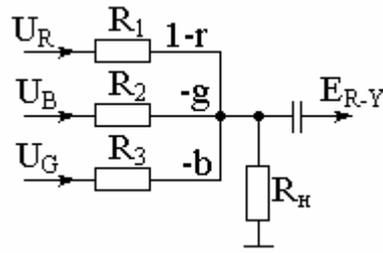


Рис.32.

В приемном устройстве кодированные сигналы должны быть преобразованы в сигналы основных цветов  $U_R, U_G, U_B$ , т.е. произведено декодирование в соответствии с соотношениями:

$$U_R = E_Y + E_{R-Y}; U_G = E_Y - \frac{r}{g} E_{R-Y} - \frac{b}{g} E_{B-Y}, \quad (5.3)$$

$$U_B = E_Y + E_{B-Y}.$$

Эти преобразования можно осуществить либо в декодирующей матрице, либо в прожекторе трехлучевого кинескопа. В последнем случае вначале необходимо получить цветоразностный сигнал  $E_{G-Y} = -\frac{r}{g} E_{R-Y} - \frac{b}{g} E_{B-Y}$ ; далее сигнал яркости подается на три катода кинескопа, а цветоразностные сигналы  $E_{R-Y}, E_{B-Y}, E_{G-Y}$  – на три его управляющие сетки.

Сигналы  $E_Y, E_{B-Y}, E_{G-Y}$  передаются в различных ЦВТС по разному, т.е. различными способами разделения каналов. В системе НТСЦ и ПАЛ это разделение осуществляют фазовым способом (фазово-квадратурным), в системе СЕКАМ – временным способом.

### 5.1.2. ЦВТС типа НТСЦ, ПАЛ.

Структурная схема системы НТСЦ приведена на Рис. 33, где а) - передающая часть, в) – приемная. После операции кодирования яркостный сигнал передается в системе так же, как и в черно-белой ТС в полосе канала, соответствующей максимальной частоте ТВ сигнала.

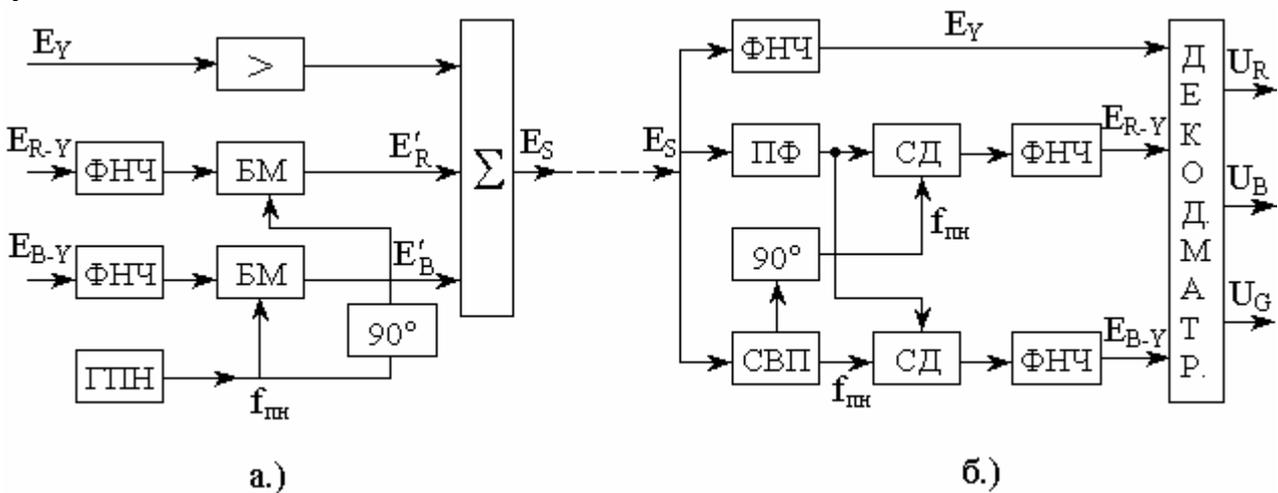


Рис.33.

Цветоразностные сигналы сперва фильтруются в полосе порядка 0...2 МГц (эта полоса определяется стандартом ТВ системы). Такая полоса передачи цветных сигналов объясняется существенно меньшей разрешающей способностью глаза человека при различении мелких цветных деталей изображения. Далее цветоразностные сигналы (после ФНЧ) подаются на балансные модуляторы поднесущего колебания с частотой  $f_{\text{пн}} \cong (3,58 \dots 4,43)$  МГц, фаза одного из колебаний сдвинута относительно фазы другого на  $90^\circ$  (блоки ГПН и  $90^\circ$ ). На выходе БМ образуются модулированные (балансно) цветоразностные колебания поднесущих  $E'_R$  и  $E'_B$ . Эти колебания размещаются в области верхних частот спектра яркостного сигнала  $E_Y$ , Рис. 34.

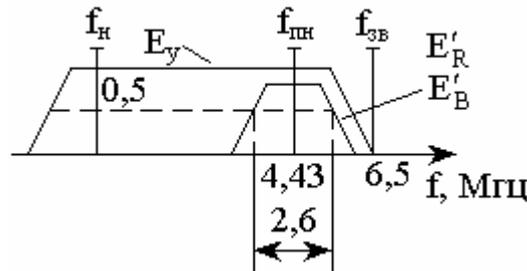


Рис.34.

На рисунке приведен пример размещения спектров сигналов  $E_Y$ ,  $E'_R$ ,  $E'_B$  в системе ПАЛ. Значения частот даны относительно точки размещения основной несущей  $f_n$ . В части спектра яркостного сигнала, где размещаются цветоразностные спектры, интенсивность спектральных составляющих мала. На приемной стороне совокупный сигнал  $E_S$  подвергается предварительной фильтрации в канале яркости  $E_Y$  (в полосе яркостного сигнала) и в канале цветности полосовым фильтром ПФ в полосе сигналов цветности со средней частотой  $f_{\text{пн}}$ .

Получение исходных цветоразностных сигналов производится двумя синхронными детекторами СД, ФНЧ на выходе которых имеет полосу, аналогичную ФНЧ в передающей части. Далее сигналы  $E_Y$ ,  $E_{R-Y}$ ,  $E_{B-Y}$  декодируются.

Система ПАЛ – со строчной переменной фазой в основном отличается от системы НТСЦ переменной фазы на  $180^\circ$  сигнала от строки к строке одной из компонентов цветоразностных сигналов, а именно, сигнала  $E'_R$ , поэтому полный ТВ-сигнал

$$E_S = E_Y + E_{B-Y} \cdot \sin \omega_{\text{пн}} t \pm E_{R-Y} \cdot \cos \omega_{\text{пн}} t$$

Это делает систему с квадратурной модуляцией нечувствительной к квадратурным фазовым искажениям, возникающим при синхронном детектировании и отличии сдвига фаз поднесущих от  $90^\circ$ . Если эти квадратурные искажения и есть, то глаз при наблюдении изображения усредняет их, т.к. направление искажений на соседних строках, мало отличных друг от друга, противофазны.

### 5.1.3. ЦВТС типа СЕКАМ.

Система СЕКАМ (последовательная цветовая память) отличается поочередной передачей двух цветоразностных сигналов через строку при частотной

модуляции поднесущих  $f_r$ ,  $f_b$  и непрерывной передаче сигнала яркости. Последовательная передача ЧМ сигналов цветовой информации практически освобождает систему от квадратурных фазовых искажений и от перекрестных искажений между сигналами цветности.

Сигналы СЕКАМ формируются в следующем виде (ГОСТ7845-79):

$$\begin{aligned} E_Y &= 0,3U_R + 0,59U_G + 0,11U_B \\ E_{R-Y} = D_R &= -1,9(U_R - E_Y) \\ E_{B-Y} = D_B &= 1,5(U_B - E_Y) \end{aligned} \quad (5.4)$$

Полоса частот  $E_Y$  равна полосе черно-белой ТС, сигналов -  $D_R$ ,  $D_B$  равна 1,5 МГц. В системе для повышения качества воспроизводимого изображения осуществлен ряд специальных мер. Вводятся две поднесущие так, что каждый цветоразностный сигнал  $D_R$  и  $D_B$  модулируют по частоте свою поднесущую  $f_r$ ,  $f_b$  (4,4 и 4,25 МГц), отличаются на 10 строчных частот. Кроме того с целью повышения помехоустойчивости при ЧМ в передающую часть системы введены фильтры предискажений сигналов  $D_R$ ,  $D_B$  до модуляции и после модуляции, а в приемную часть – фильтры коррекции до частотных детекторов и после них. Предискажения поднимают уровень сигналов с ростом частоты спектра, коррекции производят обратные операции. Размещение спектров цветоразностных сигналов после ЧМ подобно их размещению в системе ПАЛ (Рис. 34). Для уменьшения заметности цветowych поднесущих в яркостном канале фаза поднесущих меняется на  $180^\circ$  в каждой третьей строке и от поля к полю. Имеется и еще ряд мероприятий, улучшающих помехозащищенность системы.

Структурная схема передающей части системы представлена на Рис.35, приемной части – на Рис.36.

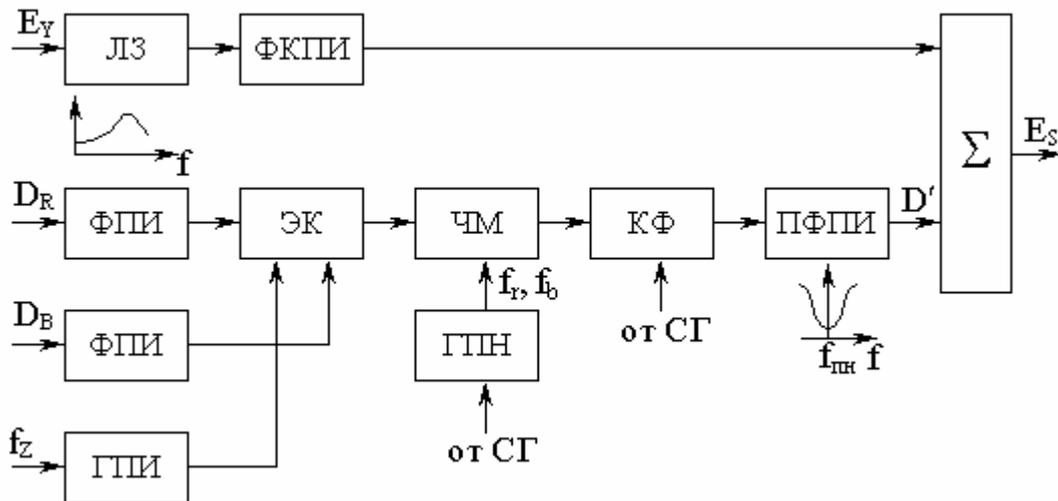


Рис.35.

На Рис. 35 сигнал яркости  $E_Y$  проходит корректирующую линию задержки, компенсирующую задержку канала цветности, и фильтр коррекции перекрестных искажений ФКПИ. Сигналы цветности  $D_R$  и  $D_B$  проходят фильтры предискажений ФПИ, а после ЧМ полосовой фильтр предискажений ПФПИ. После ФПИ сигналы цветности поступают на электронный коммутатор ЭК, который

управляется генератором ГПИ так, что сигналы  $D_R$  и  $D_B$  появляются на его выходе поочередно от строки к строке. ЧМ – частотный модулятор, на который от генератора поднесущих ГПН также поочередно подаются соответствующие поднесущие. КФ – коммутатор фазы на  $180^\circ$ . Характер АЧХ фильтров предискажений показан на рисунке.

На Рис. 36 яркостной канал содержит корректирующую линию задержки и режекторный фильтр РФ, служащий для частичного ослабления поднесущих цветоразностных сигналов.

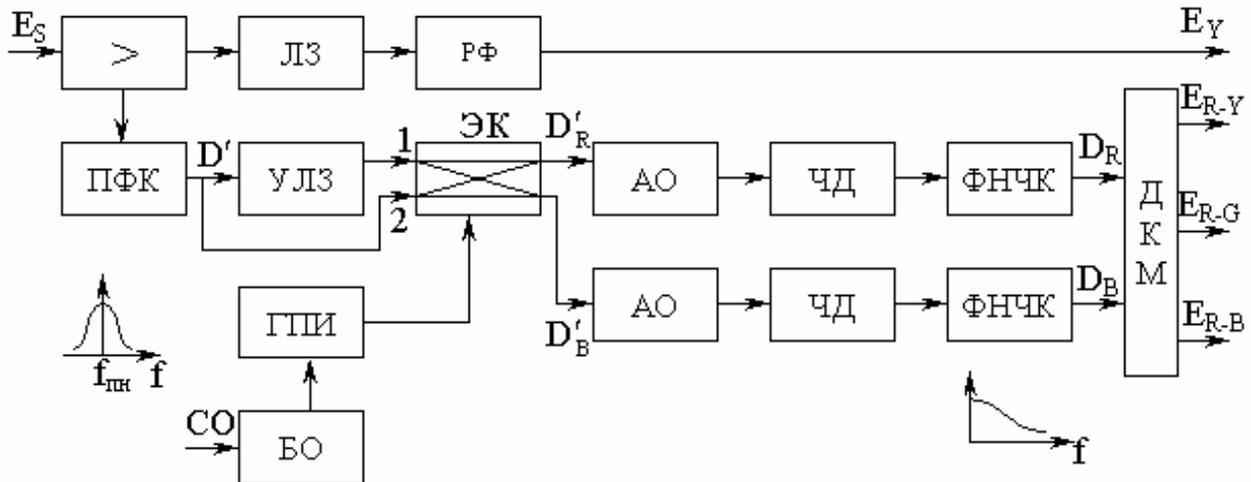


Рис.36.

В канале цветности фильтры ПФК и ФНЧК выполняют роль коррекции предискажений. Электронный коммутатор совместно с ультразвуковой линией задержки УЛЗ обеспечивает на своих выходах присутствие только сигнала красного  $D'_R$  и синего  $D'_B$ . Для этого прямой 2 и задержанный 1 в УЛЗ сигналы на выходе ЭК меняются местами. Далее сигналы на поднесущих  $D'_R$  и  $D'_B$  подвергаются частотному детектированию в ЧД, и после коррекции цветоразностные сигналы  $D_R$  и  $D_B$  подаются на декодирующую матрицу для выделения сигнала  $E_{R-G}$ . Необходимо, чтобы на ЧД поступали сигналы своего цвета, а для этого надо фазу работы ЭК сделать той же, что и на передающей части. С этой целью в системе, во время обратного хода по кадру передается специальный сигнал цветовой синхронизации (опознавания), который обрабатывается в блоке опознавания БО и управляет фазой коммутирующего генератора ГПИ.

## 5.2. Особенности телевизионного радиоканала.

В телевизионных радиоканалах вещания используют ультракороткие волны – метровые и дециметровые. В пределах пяти частотных диапазонов размещено 60 радиоканалов:

I диапазон 48,5...66 МГц (1 и 2 каналы)

II диапазон 76...100 МГц (3...5 каналы)

III диапазон 174...230 МГц (6...12 каналы)

IV диапазон 480...582 МГц (21...34 каналы)

V диапазон 582...790 МГц (35...60 каналы)

Диапазон УКВ 30...3 см (1...10 ГГц) используется в радиорелейных и космических линиях связи, а также в передвижных телевизионных станциях и трансляционных ТВ пунктах.

Из-за того, что УКВ при распространении испытывают очень малую рефракцию, радиус действия в пределах земной поверхности ТВ систем ограничен практически расстоянием прямой видимости. Если  $h_1$  и  $h_2$  – высота передающей и приемной антенны в метрах, то это расстояние в км:

$$R \cong 4,12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

Согласно ГОСТ7845-79 радиосигнал изображения формируется с помощью АМ несущей изображения полным цветовым ТВ – сигналом с частичным подавлением нижней боковой полосы, а радиосигнал звукового сопровождения – с помощью ЧМ несущей звука. Частотные характеристики канала изображения (передатчика – а, приемника – б) представлены на Рис. 38 для отечественного стандарта.

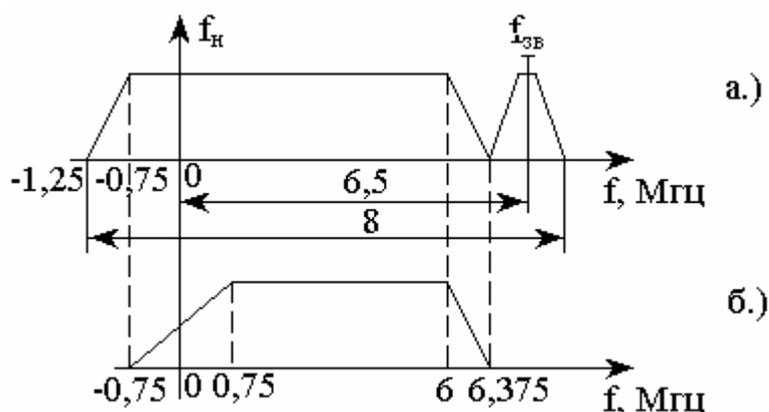


Рис.38.

Скос частотной характеристики приемника в области несущей изображения обусловлен необходимостью уравнивания коэффициента амплитудной модуляции в области нижних частот и верхних частот при частичном (вполовину) подавлении несущей. Полярность АМ в телевизионной системе, как правило негативная, т.е. наибольшему значению сигнала яркости соответствует минимальный уровень несущего колебания. Максимальному уровню несущей соответствует передача сигналов синхронизации, что обеспечивает достаточно высокую помехоустойчивость процесса синхронизации ТВ приемника (разверток кинескопа).

В качестве линий связи ТВ-систем, обеспечивающих дальний прием применяются: кабельные магистрали, радиорелейные линии, волноводные магистрали, космические линии связи.

Сеть телевизионного вещания состоит из: программных телецентров, трансляционных телевизионных станций и линий связи между ними. Параметры сигналов телевизионного вещания стандартизируются, основные стандарты представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1.

Стандарты			
Параметр	Д, К	В	М
	СССР, Франция, члены ОИРТ	Западная Европа	США, Канада, Япония
Тип системы	СЕКАМ	ПАЛ	НТСЦ
Ширина спектра	6,0	5	4,2
Разнос несущих изображений и звука	6,5	5,5	4,5
Ширина полосы радиоканала	8	7	6
Отношение мощностей передатчиков изображения и звука	10:1	(5...10):1	(4...10):1
Число кадров/полей в секунду	25/50	25/50	30/60
Число строк	625	625	525
Вид модуляции несущей изображения	АМ с частично подавленной несущей		
Вид модуляции несущей звука	ЧМ	ЧМ	ЧМ
Полярность модуляции	Негативная		
Формат кадра	4:3	4:3	4:3

### 5.3. Полный телевизионный сигнал.

Полный телевизионный сигнал изображения формируется на выходе видеоусилителя передающей части телевизионной системы. Он содержит: видеосигнал изображения, импульсы гашения обратного хода разверток, синхроимпульсы разверток для генераторов разверток кинескопа, уравнивающие импульсы, сигнал цветовой синхронизации. Кроме того во время гашения обратного хода кадровой развертки в течении нескольких периодов строчной развертки передаются сигналы телевизионной метрики, служащие для контроля параметров телевизионного канала и сигнала. Структура полного телевизионного сигнала представлена на Рис. 39, где на позициях 1 показан сигнал изображения, позициях 2 – сигнал гашения строчной, позициях 3 – гашения кадровой развертки, позициях 4 – сигналы строчной, позициях 5 – кадровой синхронизации, позициях 6 – сигнал цветовой синхронизации, позициях 7 – уравнивающие импульсы (задние и передние), позициях 8 – импульсы врезок в кадровой синхроимпульс.

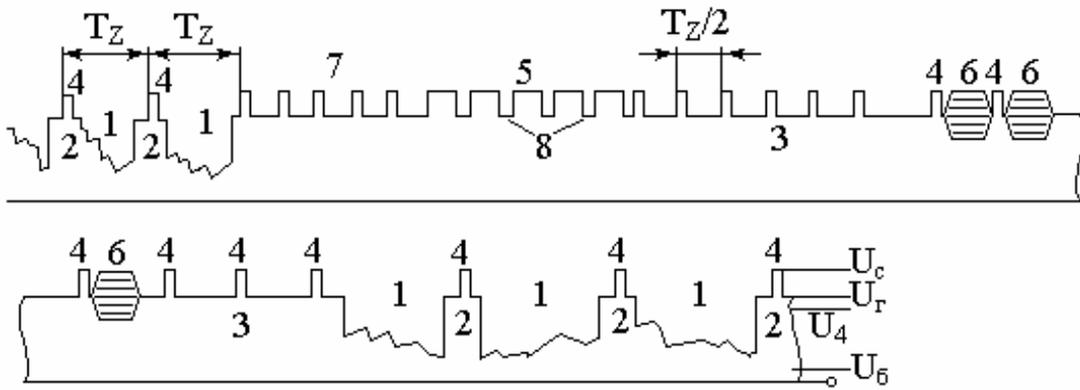


Рис.39

Импульсы строчной синхронизации 4 следуют непрерывно с периодом  $T_z$  и имеют длительность порядка 4 мкс, во время кадрового гасящего импульса они также передаются, каждая вторая врезка 8 и каждый второй уравнивающий импульс 7 выполняет роль синхроимпульсов строчной развертки: Врезки и уравнивающие импульсы имеют длительность 2...2,5 мкс и следуют с удвоенной строчной частотой. Кадровый синхроимпульс имеет длительность, равную  $3T_z$  и следует с частотой  $T_{ПК}$  – полукадровой развертки. Импульс гашения по строке 2 имеет длительность 12 мкс, импульс гашения кадровой -  $25T_z \approx 1700$  мкс. Импульсы 6 занимают 9 периодов строчной развертки и представляют собой трапециевидальные импульсы поднесущих частот цветоразностных сигналов. Сигналы изображения передаются во время прямого хода строчной развертки вне интервала импульса 3. Уровни сигналов стандартизируются. Так, уровень белого  $U_B$  составляет 12,5% полного размера полного телевизионного сигнала, уровень черного  $U_ч$  – 72,5%, уровень гашения – 75%, уровень синхроимпульсов – 100%. При чересстрочной развертке начало четного гасящего импульса 3 сдвинуто на  $T_z/2$  влево по сравнению с Рис. 39.

#### 5.4. Особенности систем прикладного телевидения.

Прикладные телевизионные системы появились в эксплуатации в 50-х годах. Это были упрощенные вещательные системы в специальном конструктивном выполнении. Самым массовым видом прикладных ТС является ПТУ – промышленные телевизионные установки. Особенностью ПТУ является их замкнутость, т.е. сигнал передается в них по замкнутым линиям связи (кабель, волновод). В ряде других направлений прикладного телевидения (космические, например) для передачи сигналов используется свободное пространство. Рассмотрим особенности построения прикладных ТС различного назначения.

##### 5.4.1. Системы ПТУ.

Системы ПТУ можно подразделить на ПТУ с визуальным наблюдением изображения (ПТУВ) и телевизионные автоматы (ПТУА). ПТУВ как правило работают на вещательном стандарте разложения, в качестве датчиков используются видеконы и в последнее время датчики на основе ПЗС. Современные

ПТУВ выпускаются в различных комплектациях и конструктивном оформлении. Особенностью комплектации является различное число камер, видеоконтрольных устройств (ВКУ), наличие или отсутствие коммутирующих устройств. Номенклатура блоков ПТУ разнообразна и позволяет комплектовать разнообразный состав установки. Так, типичными блоками являются: ПТК-передающая телевизионная камера, ВКУ, пульт управления (ПУ), блок канала (БК), блок коммутации и управления (БКУ), линейный усилитель (ЛУ), устройство наведения (УН), блоки питания (БП). Блок канала служит для дополнительного усиления и коррекции сигнала в одном канале с целью увеличения дальности передачи сигнала датчика. БКУ служит для обеспечения соединений ПТК с нужными ВКУ в многоканальных ПТУ. ПУ служит для включения в работу нужных ПТК, управления наведением камеры на необходимые объекты (фокусировка изображения, поворот оптической оси камеры по горизонтали и вертикали). ЛУ служит для усиления сигналов нескольких ПТК в многоканальных ПТУ. УН служит для поворота установленной на нем ПТК по горизонтали (в основном) и соединения ПТК с кабелями. Блоки питания, как правило, имеются в основных блоках системы (ПТК, ВКУ, УН, ЛУ, БКУ), т.к. блоки могут находиться в пространственно удаленных местах, но есть и автономные БП, обслуживающие систему в целом (если система сконцентрирована в одном месте (некоторые виды учебных ПТУ)). На основе указанной номенклатуры блоков можно строить одноканальные (ПТК, БК и ВКУ) ПТУ и многоканальные, содержащие всю номенклатуру блоков ПТУ.

К особенностям технических характеристик ПТУ следует отнести следующее.

Выбор необходимого числа строк определяется для них необходимостью различения деталей изображения заданного размера:

$$Z_n = \frac{ph}{d}, \quad (5.5)$$

где  $h$  - размер кадра по вертикали,  $d$  – размер детали по вертикали,  $p$  – число элементов разложения, необходимое для распознавания детали.

Структура сигналов синхронизации может быть более простой, нежели в вещательных ТС (без уравнивающих импульсов).

Виды разверток могут быть также упрощены: синусоидальная развертка, например, но, однако, чаще всего применяются линейные развертки, что обеспечивает совместимость ПТУ с вещательными ТС и унифицирует схемную и конструктивную базу.

Передача сигнала изображения в ПТУ может осуществляться как на уровне видеосигнала (для расстояний передачи не более 300 м), так и на уровне радиосигнала, с предварительной АМ или ЧМ несущего колебания (для расстояний более 300 м).

Как видео так и радиосигнал передаются, как правило, по коаксиальным кабелям. Визуальные ПТУ находят широкое применение в практике народного хозяйства: в диспетчерской службе, охранных службах, в медицине, в учебном

процессе, в наблюдениях за ходом технологических процессов, особенно на опасных участках производства (на атомных блоках, в подводных наблюдениях, в буровых камерах и т.д.).

В телевизионных автоматах сигнал изображения, как правило, не визуализируется, а поступает только в специализированное вычислительное устройство, которое решает задачи в соответствии с назначением системы: измеряются размеры, площади, считываются и опознаются объекты, читается текст, определяются координаты объектов и т.д. ПТУА могут не иметь традиционного раstra разложения; траектория развертки, например, может следовать по линии контрастных переходов.

Рассмотрим пример телевизионного автомата, следящего за местоположением светящегося объекта, с растровым разложением изображения. На мишени телевизионного датчика объект пусть выглядит в виде светящейся точки, расположенной относительно центра раstra – точки  $x_0, y_0$  Рис. 40,- на расстояниях  $N_x, N_y$ , равных числу элементов разложения по горизонтали и вертикали.

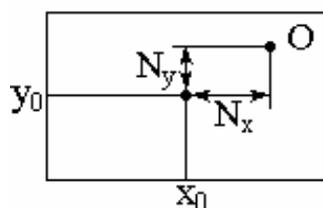


Рис.40.

Величины  $N_x$  и  $N_y$ , измеряемые вычислительным устройством автомата, можно рассматривать как сигналы ошибки для автоматической следящей системы. Эти сигналы управляют приводом телевизионной камеры так, чтобы совместить точку  $O$  с центром мишени. Этими сигналами можно управлять прицелом орудийных установок, рулями самолета и т.д. Иными словами, такой телевизионный датчик может служить датчиком наведения, в частности, для реализации телевизионной системы посадки, например, по лучу лазера. Подобный принцип используется во многих телевизионных автоматах.

#### 5.4.2. Расчет параметров системы ПТУ.

Исходными данными для расчета параметров систем прикладного телевидения будем считать:

- размер экрана ВКУ – диаметр ЭЛТ кинескопа –  $D_K$ ;
- размер мишени видикона  $h_\Phi, b_\Phi$ ;
- размер минимальной опознаваемой детали на экране кинескопа -  $\Delta$ ;
- формат кадра –  $K_\Phi$ ;
- число элементов разрешения, достаточное для распознавания детали –  $p$ ;
- относительные величины обратных ходов разверток по кадру -  $\alpha_K$ , по строке -  $\alpha_Z$ ;
- тип развертки – прогрессивная или чересстрочная;
- объект съемки и его отражательная способность – коэффициент рассеяния света -  $\rho$ ;
- яркость свечения кинескопа –  $B$ ;
- расстояние съемки –  $L$ ;

- параметры объектива камеры: фокусное расстояние  $f_0$ , прозрачность -  $\tau$ , относительное отверстие  $O$ ;
- минимально необходимая освещенность изображения на мишени видикона -  $E_{И}$ .

Последовательность расчетов параметров приводится ниже.

1. Размеры кадра на экране кинескопа:

$$b = K_{\Phi} \cdot h, b^2 + h^2 = D^2, K_{\Phi}^2 h^2 + h^2 = D^2,$$

$$h = \frac{D}{\sqrt{1 + K_{\Phi}^2}}$$

2. Необходимое число строк в кадре:

$$Z_{Н} = \frac{h \cdot p}{\Delta}$$

3. Число элементов в строке:  $N_Z = K_{\Phi} \cdot Z_{Н}$ .

4. Число элементов в кадре:  $N_K = K_{\Phi} \cdot Z_{Н}^2$ .

5. Частота и период кадровой развертки:

$$f_{КР} = 26,6 + 9,61 \lg B.$$

Для прогрессивной развертки  $F_K \geq f_{КР}$ ,

Для чересстрочной развертки  $F_K \geq \frac{f_{КР}}{2}$ ,

$$T_K = \frac{1}{F_K}.$$

6. Частота и период строчной развертки:

$$F_Z = Z_{Н} \cdot F_K, T_Z = \frac{1}{F_Z}.$$

7. Время развертки одного элемента изображения:

$$\tau_{Э} = \frac{T_K}{K_{\Phi} \cdot Z^2} = \frac{T_K}{N_K}.$$

8. Верхняя и нижняя частоты в спектре сигнала изображения:

$$F_{\min} = F_K, F_{\max} = m \cdot \frac{K_{\Phi} \cdot Z^2 \cdot F_K (1 - \alpha_K)}{2(1 - \alpha_Z)},$$

где  $m = 0,75 \dots 0,85$ .

9. Требуемая освещенность объекта съемки:

$$E_0 = \frac{4E_{И} \left(1 + \frac{f_0}{4}\right)^2}{\ddot{O}^2 \cdot \rho \cdot \tau}$$

10. Углы зрения передающей камеры:

$$\text{по вертикали } 2\theta_{В} = 2 \arctg \frac{h_{\Phi}}{2f_0},$$

по горизонтали  $2\theta_{\Gamma} = 2\arctg \frac{b_{\Phi}}{2f_0}$ .

11. Информационная емкость изображения:

$I_e = N_K \cdot \log_2 K$ , где  $K$  – число различных градаций яркости – 90...200.

12. Производительность датчика информации:

$C = I \cdot F_K$ .

13. Глубина резкости оптического звена:

$$\Delta A = \frac{2qA_0}{(q^2 - 1)}, \text{ где } q = \frac{2\ddot{O}^2}{h_{\Phi} \cdot L}.$$

$$\text{Если } \Delta A \ll L, \text{ то } \Delta A \cong \frac{2h_{\Phi} \cdot L^2}{Z_H \cdot f_0^2}.$$

Пользуясь приведенными соотношениями варьируя параметры оптического звена  $f_0$ ,  $O$ , подбирая тип видикона, видеоконтрольного устройства, можно получить оптимальный вариант построения системы на основе ПТУ.

## 5.5. Применение телевидения в ГА.

### 5.5.1. Направления использования телевидения в ГА.

Телевизионные системы достаточно широко применяются в технологических процессах и системах ГА. При этом следует, вообще говоря, классифицировать телевизионные системы ГА, как системы широкого применения, и системы специфического применения. Под первыми будем понимать такие, которые имеют применение и в других отраслях народного хозяйства. Под специфическими - такие, которые имеют применение только или преимущественно в ГА. В то же время можно подразделять ТВ-системы, используемые в ГА, по степени автономности. Автономные ТВ-системы используются по своему назначению непосредственно и не требуют согласования, стыковки с другими техническими устройствами. Неавтономные - являются функциональной частью других технических систем. Далее будем рассматривать направления применения ТВ-систем в ГА в соответствии с первым признаком приведенной выше классификации, т.е. систем широкого и специфического применения.

К ТВ-системам широкого применения можно отнести:

- обычные системы и устройства вещательного телевидения;
- системы информационного телевидения;
- системы диспетчерского телевидения.

Первое направление, как направление широкого применения в пояснениях не нуждается. Второе направление предусматривает использование телевизионных установок в качестве систем отображения информации для пассажиров в аэровокзалах, аэропортах, о рейсах, услугах и т.п. Третье направление предусматривает использование телевизионных промышленных устройств для

получения визуальной информации о состоянии помещений аэропортов, аэровокзалов, отдельных зон и участков аэропортов (стоянок, посадочных площадок, зон ожидания, информационных табло и т.п.). Эти установки используются, как правило, в служебных целях.

К ТВ системам специфического применения относятся:

- системы бортового телевидения;
- телевизионные системы интроскопии;
- телевизионные тренажеры;
- системы отображения информации, использующие преобразования радиолокационных изображений в изображения с телевизионным принципом разложения;
- телевизионные системы посадки воздушных судов.

### 5.5.2. ТВ-системы широкого применения.

Система информационного телевидения, Рис.41.

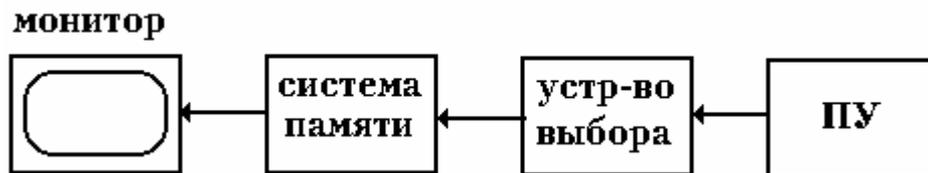


Рис. 41.

Система содержит устройство памяти, содержащее совокупность кадров, подлежащих отображению. Выбор необходимого кадра осуществляется устройством выбора по командам от пультов управления (ПУ), который располагает набором кнопок клавиатуры пользователя. Выбранный кадр отображения возникает на экране монитора в форме буквенно-цифровой информации.

Система диспетчерского телевидения.

Такие системы широко применяются в различных отраслях народного хозяйства; техническую основу систем составляют промышленные телевизионные установки, серийно выпускаемые промышленностью. Структурная схема одноканальной установки такого типа показана на Рис.42.

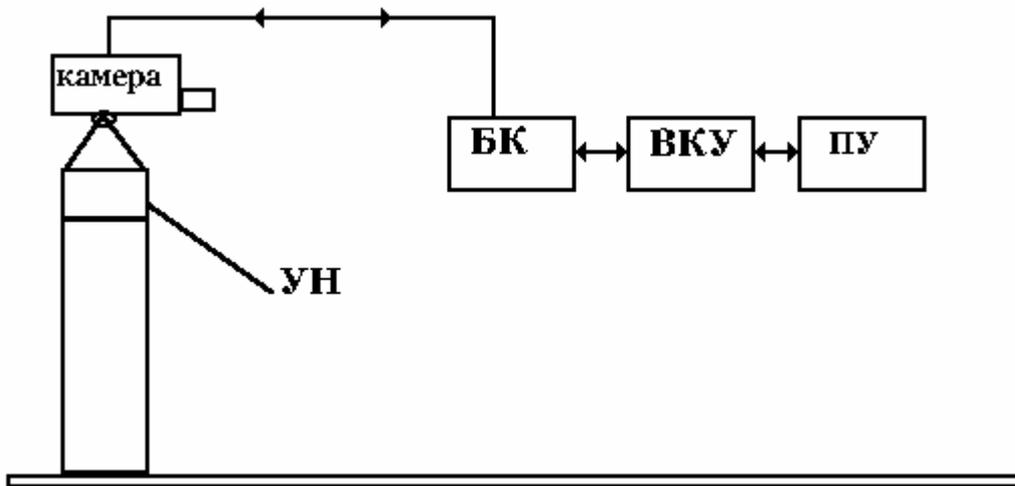


Рис. 42.

Система состоит из передающей телевизионной камеры, устанавливаемой на устройстве навидения (УН). УН управляет ориентацией камеры и ее оптического звена (поворот камеры по азимуту, углу места, установка фокуса диафрагмы объектива). Органы управления ориентацией располагаются на ПУ. Изображение, создаваемое в камере, отображается на экране монитора - видеоконтрольного устройства (ВКУ). БК - блок канала осуществляет промежуточное усиление видеосигнала изображения. В систему могут входить несколько камер с УН и несколько ВКУ (многоканального ПТУ).

Для эффективной работы установки необходимо обеспечить ряд условий, связанных с освещенностью контролируемых объектов и глубиной резкости получаемых изображений.

### 5.5.3. ТВ-системы специфического назначения.

#### Системы бортового телевидения.

Такие системы устанавливаются в салонах пассажирских воздушных судов и служат для целей обслуживания пассажиров в полете. Источником сигналов изображений служат видеоманитофоны.

Изображение создается путем проецирования экрана проекционных кинескопов (в трех цветах) на общий экран, установленной на стенке салона. Структурная схема установки бортового телевидения приведена на Рис. 43.

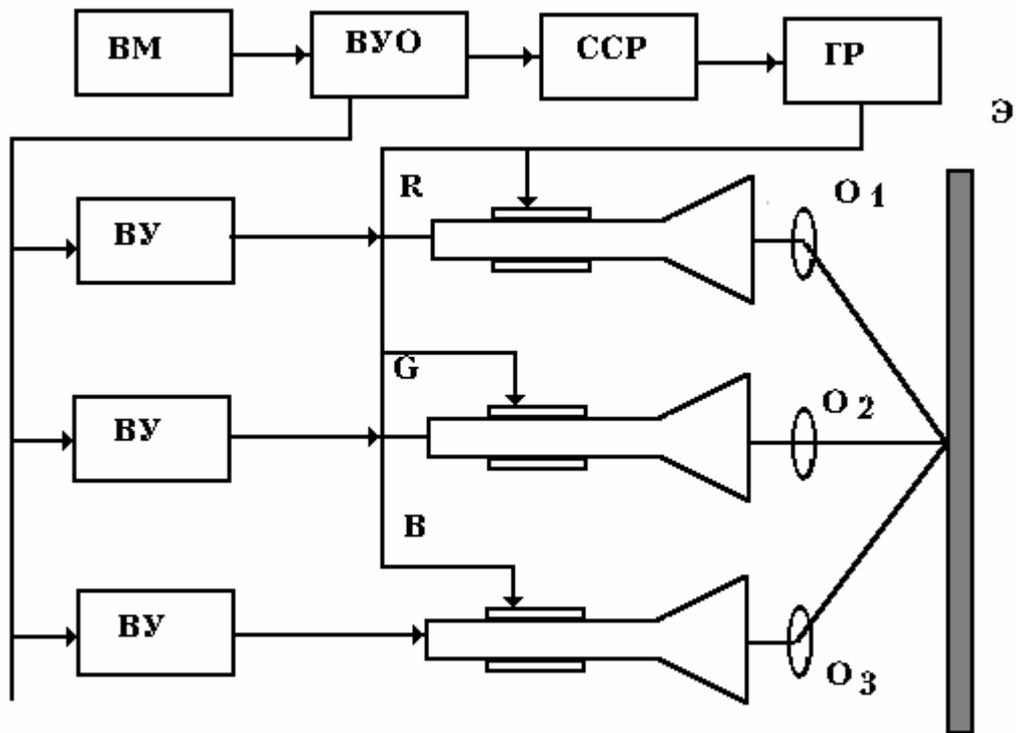


Рис.43.

ВМ - видеомэгнофон, ВУД - видеоусилитель-декодер, ССР - система синхронизации разверток, ГР - генераторы развертки, ВУ - видеоусилители сигналов цветowych компонент R, G, B .

Рассмотренная схема не является единственно возможной. Имеется также бортовые ТВ-системы, построенные по принципу кабельного телевидения с индивидуальными телевизионными терминалами, размещенными у кресел пассажиров.

#### Телевизионные системы интроскопии.

Находят применение в службе досмотра багажа пассажиров. Телевизионная система типа ПТУ используется здесь для съемки изображения с экрана рентгеновской установки, просвечивающей предметы багажа. Общая схема, поясняющая работу такой установки, приведена на Рис. 44.

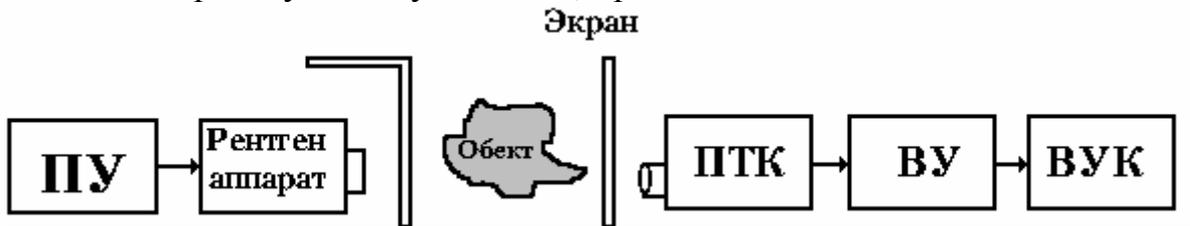


Рис.44.

Здесь ПУ - пульт управления установкой, ПТК - передающая телевизионная камера, ВУ - видеоусилитель, ВКУ - видеоконтрольное устройство - монитор наблюдения.

### Телевизионные тренажеры.

Телевизионные тренажеры применяются для обучения пилотов ВС в режимах имитации посадки и взлета ВС с взлетно-посадочной полосы (ВПП). Движения самолета имитируется перемещением телевизионного датчика относительно макета ВПП. Управление перемещением осуществляет обучаемый из макета кабины самолета. Перед лобовыми стеклами кабины размещаются мониторы (для левого и правого пилотов), на которых создается телевизионное изображение, снимаемое датчиком. Схема системы представлена на Рис. 45.

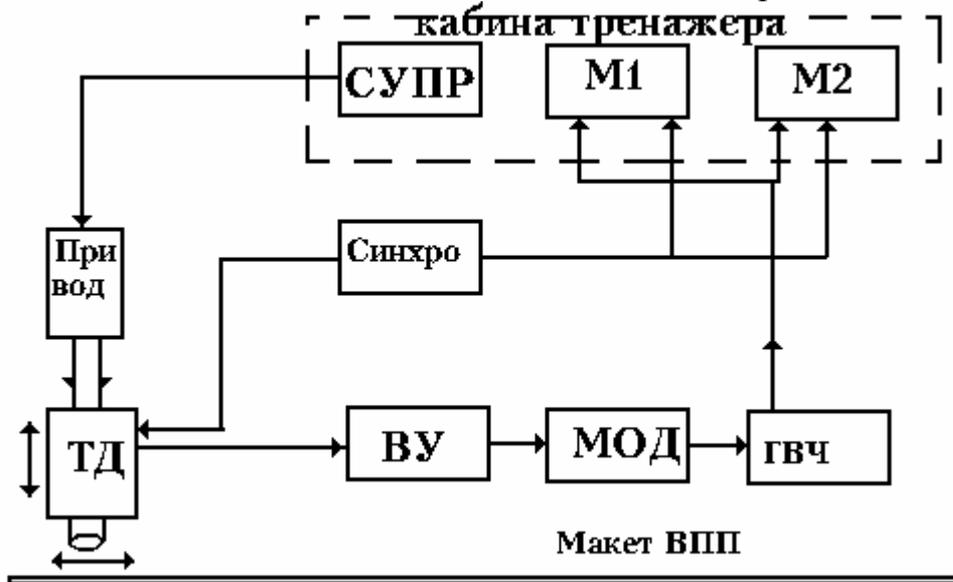


Рис. 45.

На рисунке - ТД - телевизионный датчик, СУПР - система управления приводом датчика, М1, М2 - мониторы, ВУ - видеоусилитель сигнала изображения, МОД - модулятор, ГВЧ - модулируемый генератор высокой частоты.

Система МОД - ГВЧ - осуществляет передачу видеосигнала датчика на несущей частоте к мониторам, где осуществляется демодуляция.

Положение ТД управляется по курсу, углу места, высоте, т.е. по тем координатам, которые имеют место в режимах посадки и взлета ВС.

### ТВ-устройство в системах отображения информации.

В данном разделе рассматриваются устройства преобразования изображений, формируемых на экранах РЛС, РНС, в изображения с телевизионным способом синтеза изображений (т.е. с телевизионным типом развертки). Необходимость таких преобразований связана, во-первых, с имеющейся тенденцией использования устройств отображения преимущественно на телевизионном способе синтеза, и во-вторых, с необходимостью получения стабильных по яркости изображений. Дело в том, что изображение на экранах индикаторов РЛС за время обзора пространства по азимуту постепенно теряет яркость вследствие конечного времени послесвечения люминофоров.

В этом отношении целесообразна регенерация изображения без потери яркости. С этой целью применяется преобразование радиолокационного изображения в телевизионную посредством запоминающей ЭЛТ типа графekon. Схема такого преобразования показана на Рис. 46.

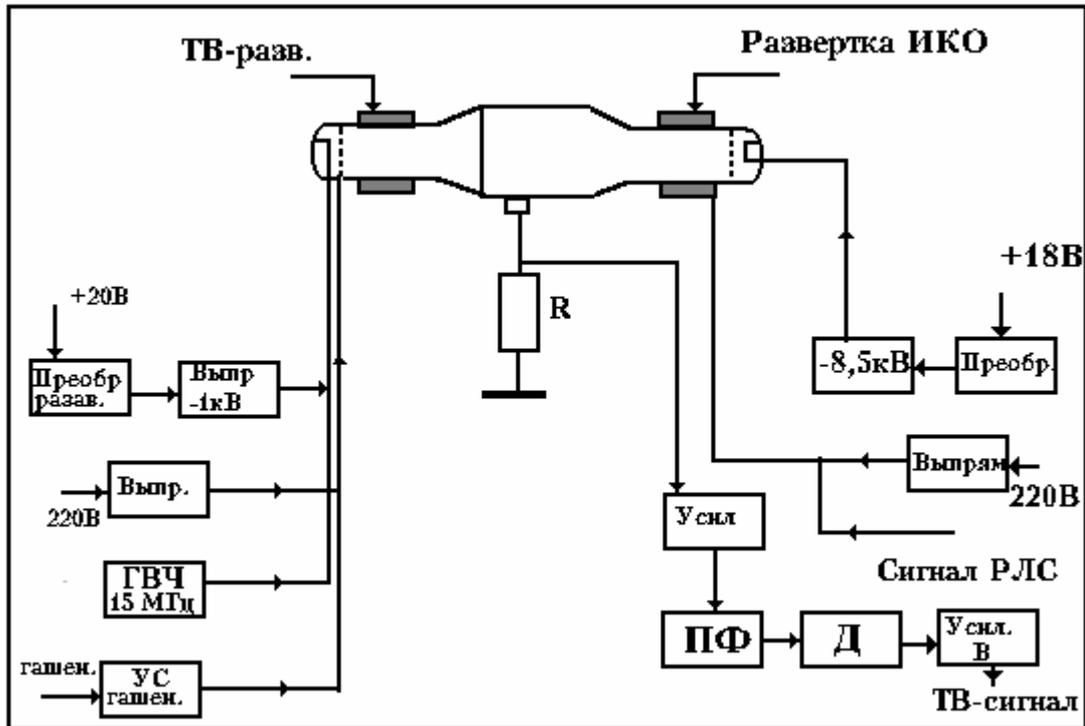


Рис.46.

Принцип работы графekonа изложен в курсе в разделе "Специальные ЭЛТ в устройствах ОИ", смотри Дивеев В.Н. "Основы отображения информации с применением ГА", М.: МИИГА, 1991 г., стр.36-37.

На рисунке ГВЧ - 15 МГц, источник ВЧ колебания, который управляет интенсивностью считывающего луча графekonа. Поэтому считанный сигнал, выделяемый на нагрузке R запоминающей мишени графekonа, имеет характер амплитудно модулированного колебания с несущей в 15 МГц и с огибающей имеющей формы считанного сигнала изображения. Он усиливается (усил.), фильтруется (ПФ), детектируется (Д) и после видеоусилителя (усил В) используется для подачи на видеоконтрольные устройства диспетчеров. Эти устройства имеют такую же телевизионную развертку, как и в графekonе.

Телевизионные системы посадки пока не находят применения из-за сильной зависимости эффективности функционирования от метеоусловий, хотя исследования в этом направлении ведутся уже с 30-х годов.

### 5.6. Особенности систем космического телевидения.

Система космического телевидения состоит из комплекса устройств, размещаемых на борту космического аппарата (станции) и на Земле.

Бортовое устройство состоит из передающей камеры с оптическим звеном и телевизионного канала, который размещается внутри космического аппарата, а камера – иногда и вне станции.

Телевизионная информация передается или непосредственно, или с помощью предварительной записи ее.

В приемном устройстве антенна имеет большую активную площадь и снабжается системой слежения. Ввиду уникальности ТВ информации из космоса она кроме визуального наблюдения документируется на киноплёнке и видеоманитофоне, а иногда и фототелеграфной записью.

### 5.6.1. Дальность космических ТВ передач.

При космических расстояниях решающую роль играет мощность бортового передатчика  $P_1$  и чувствительность приемного устройства (по мощности)  $P_2$ . Связь этих мощностей выражается соотношением:

$$P_1 \cdot D_1 \cdot D_2 = P_2 \cdot L_{\Pi}, \quad (5.6)$$

где  $D_1$  и  $D_2$  – коэффициенты усиления антенны передатчика и приемника,  $L_{\Pi}$  – основные потери при распространении радиоволн.

Требуемая мощность на входе приемника:

$$P_2 = \Psi^2 \cdot q \cdot N \cdot T^\circ \cdot k \cdot \Delta f_{\text{Э}}, \quad (5.7)$$

где  $\Psi$  – отношение сигнал-помеха на выходе линейного детектора (по напряжению);  $q > 1$  – множитель, если уровень помех определяется космическими помехами;  $N$  – коэффициент шума приемника;  $T^\circ$  – абсолютная температура входной цепи;  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Вт/град.·Гц – постоянная Больцмана;  $\Delta f_{\text{Э}}$  – эффективная полоса частот приемника.

Коэффициент усиления параболической антенны:

$$D = \eta \left( \frac{\pi d}{\lambda} \right)^2, \quad (5.8)$$

где  $d$  – диаметр зеркала антенны,  $\eta$  – коэффициент использования площади антенны,  $\lambda$  – длина волны.

Основные потери радиоволн:

$$L_{\Pi} = \left( \frac{4 \cdot \pi \cdot l}{\lambda} \right)^2, \quad (5.9)$$

где  $l$  – дальность космической связи.

Полоса  $\Delta f_{\text{Э}}$  должна быть равна ширине спектра ТВ сигнала, т.е.

$$\Delta f_{\text{Э}} = f_{\text{В}} = \frac{K_{\Phi} \cdot Z^2 \cdot F_{\text{К}}}{2} \quad (5.10)$$

Подставляя в (5.6) вышеприведенные соотношения получим в тыс. км ( $P_1$ , Вт;  $F_{\text{К}}$ , Гц;  $f_0 = c/\lambda$ , МГц;  $d_1, d_2$ , м):

$$l = 10^3 \cdot d_1 \cdot d_2 \cdot f_0 \cdot \sqrt{\frac{P_1 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}{\Psi^2 \cdot q \cdot N \cdot T^\circ \cdot K_\Phi \cdot F_K \cdot Z^2}} \quad (5.11)$$

Приняв за параметр величину  $d_1 \cdot d_2$  в  $m^2$  при  $Z=625$  Гц,  $K_\Phi=4/3$ ,  $F_K=25$  Гц,  $f_0=5000$  МГц,  $\Psi^2=100$ ,  $NT^\circ=100$  К,  $q=2$ ,  $\eta_1 \cdot \eta_2 \cong 1$  при АМ передаче получим, Табл. 5

Таблица 5.1

$d_1 \cdot d_2, m^2$	$P_1, Вт$ для расстояний в км				
	ИСЗ $40 \cdot 10^3$	Луна $384 \cdot 10^3$	Марс $229 \cdot 10^6$	Юпитер $778 \cdot 10^6$	Плутон $5910 \cdot 10^6$
10	10	$5 \cdot 10^3$	$10^9$	$10^{10}$	$5 \cdot 10^{11}$
100	100	50	$10^7$	$10^8$	$5 \cdot 10^9$

При современных малых мощностях бортовых передатчиков телевизионная АМ передача изображений со стандартными параметрами возможна только с околоземных орбит. При частотной модуляции выигрыш по мощности будет в 3 раза и в 5...6 раз при приеме ЧМ с частотной обратной связью. Но и это не решает проблемы, поэтому для ее решения используется замедленная передача отдельных кадров изображения, т.е. осуществляется обмен полосы частот  $f_B$  на время передачи при сохранении величины  $\Psi$ . Объединив соотношения (5.10) и (5.11) для  $\Delta f_C = f_B$  получим:

$$\Delta f_C = 5 \cdot 10^5 \cdot \frac{d_1^2 \cdot d_2^2 \cdot f_0^2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot P_1}{\Psi^2 \cdot q \cdot N \cdot T^\circ \cdot l^2} \quad (5.12)$$

В Табл. 5.2. приведены значения  $\Delta f_C = f(P_1)$  и  $T_K = f(\Delta f_C)$  для средних расстояний до ряда планет.

Таблица 5.2.

$P_1, Вт$	$\Delta f_C, Гц$			$T_K, с$
	Марс	Юпитер	Плутон	
1	0,1	–	–	$2,6 \cdot 10^6$ (30 сут)
10	1	0,1	–	$2,6 \cdot 10^5$ (3 сут)
100	10	1	–	$2,6 \cdot 10^4$ (7,2 ч)
1000	100	10	<0,1	$2,6 \cdot 10^3$ (43 мин)

Таким образом при замедленной передаче изображений, в узкой полосе частот телевизионная связь реально осуществима, по крайней мере в пределах Солнечной системы.

### 5.6.2. Некоторые ТВ системы космического назначения.

ТВ системы вещательного типа применяются для получения ТВ изображений с борта космических станций с целью их стыковки с наземными вещательными ТВ системами. Так пилотируемые корабли “Восток–1” и “Восток–2” обслуживались системами с числом строк 100 и 10 кадров в секунду; “Восток–3”,

“Восток–6” – 400 строк и 10 кадров, а все остальные, начиная с “Восхода–1” – 625 строк и 25 кадров.

Фототелевизионная система. Использовалась впервые при съемке обратной стороны Луны. Эта система является двухступенчатой: сперва с помощью оптической фотографической системы получают фотоизображения на фотопленке, которую проявляют, фиксируют и сушат. Далее кадры фотопленки помещают в окно, где диапозитив просвечивается бегущим световым лучом по закону развертки изображения. Схема устройства передачи показана на Рис.47.

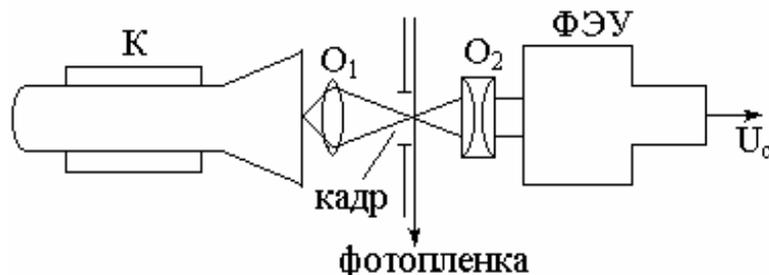


Рис.47.

По экрану малогабаритного кинескопа К по закону развертки движется светящаяся точка (пятно), которая посредством объектива  $O_1$  проецируется на передаваемый кадр фотопленки. Это проецируемое световое пятно просвечивает кадр и выходящий световой поток через конденсор  $O_2$  поступает фотоумножитель ФЭУ, который и выдает в канал связи сигнал изображения  $U_c$ . Передача с переменными параметрами ( $Z$  до 1000 строк,  $T_K$  до 30 мин.) велась с расстояний от 450 тыс. км. до 2,5 млн. км. от Земли. Полоса частот сигнала составляла величину порядка 250...400 Гц.

Оптико-механическая панорамная ТВ система. Подобные системы применяются при съемке ландшафта поверхности планет. Камера системы выполняется в виде небольшого металлического цилиндра, внутри которого расположены необходимые функциональные узлы. Камера поднята над поверхностью на высоту порядка 0,7 м, Рис.48.

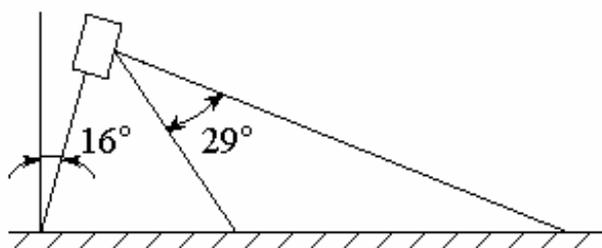


Рис.48.

Функционально ТВ камера представляет собой оптико-механическое сканирующее устройство, Рис.49. Оно состоит из зеркала  $Z$ , которое качается с помощью кулачкового привода (на рисунке не показан) и вращается совместно со всей колонкой вокруг вертикальной оси. Световой поток от поверхности планеты проходит окно  $D$  в кожухе  $A$ , отражается от зеркала и направляется в объектив  $O$ , который образует в плоскости  $\mathcal{E}$  изображение поверхности объекта съемки. Это изображение вследствие качания зеркала перемещается

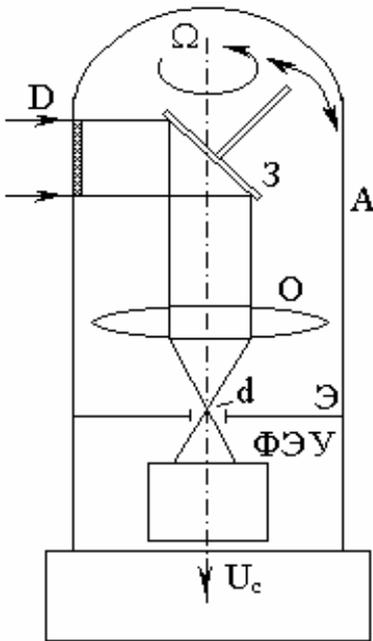


Рис.49.

(сканирует) в плоскости Э относительно считывающего элемента – малого отверстия диаметром  $d$ , это сканирование можно считать строчной разверткой изображения. Вращение колонки относительно вертикальной оси эквивалентно кадровой развертке изображения. Световой поток, прошедший апертуру  $d$  падает на фотоэлектронный умножитель ФЭУ, с выхода которого снимается сигнал изображения  $U_c$ . Разрешающая способность камеры определяется диафрагмой  $d$ , формирующей 500 элементов в строке. Скорость строчной развертки – 1 строка в секунду. За время одного оборота колонки образуется 6000 строк. Определим полосу частот сигнала.

$$\Delta f_c = \frac{1}{2\tau_{\Omega}},$$

где  $\tau_{\Omega} = \frac{1}{500}$  с, значит  $\Delta f_c = \frac{500}{2} = 250$  Гц.

Следовательно, рассматриваемая система узкополосная с замедленной передачей изображения.

В системе использовался ФЭУ-54, сигнал изображения передавался посредством ЧМ на частотах 183, 538 МГц. Телевизионные системы обычного вида и оптико-механические системы широко применялись для исследования Луны и планет (Венера, Марс, Меркурий, Юпитер, кометы). При этом использовались малокадровые системы, цифровые сигналы. Телевизионные методы применяются и для исследования Земли для нужд прогноза погоды, изучения природных ресурсов.

### 5.7. Особенности систем объемного телевидения.

Системы объемного телевидения можно подразделить на два вида: стереоскопические системы и голографические. В системах первого вида передаются и воспроизводятся два изображения, соответствующие изображениям, воспринимаемым левым и правым глазом наблюдателя. Для съемки в этом случае используются две передающие камеры, разнесенные на базис съемки - расстояние между центрами объективов камер. Два изображения воспроизводятся на двух экранах кинескопов или на одном. В последнем случае эти изображения должны быть разнесены во времени или в пространстве. Для получения эффекта объемности необходимо обеспечить раздельное рассматривание этих изображений, т.е. левый глаз должен видеть только то изображение, которое снято левой камерой, а правый – правой камерой. Два кадра, снятые с разных позиций, называются стереопарой.

Деление (сепарация) изображений стереопары для левого и правого глаза может осуществляться с помощью наглазных устройств, очков (индивидуальное деление) и с помощью растровых экранов (коллективное). Растровые методы (применялись в кино) пока не находят широкого использования из-за узкой угловой зоны видения объемного изображения: необходимо при наблюдении найти головой эту зону и удерживать ее в ней.

Наглазные устройства – это стереоскопы, зеркальные, линзовые, очки из поляризаторов, цветные очки. Рассмотрим поляридный очковый способ деления стереопары. На Рис.50. изображены два кинескопа  $K_1$  и  $K_2$ , расположенные перпендикулярно друг к другу.

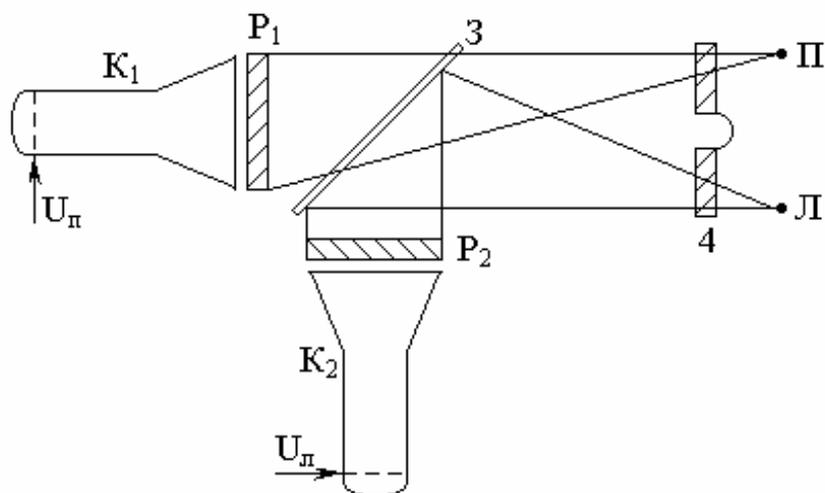


Рис.50.

Перед экранами этих кинескопов устанавливаются поляридные пластины (или пленки)  $P_1$  и  $P_2$ . Плоскости поляризации этих пластин взаимно перпендикулярны. Изображения от  $K_1$  и  $K_2$  совмещаются на полупрозрачном зеркале  $Z$ . Наблюдатель имеет очки из таких же поляризаторов  $4$ , соответствующих  $P_1$  и  $P_2$ . В результате правый глаз будет видеть изображение кинескопа  $K_1$ , левый глаз –  $K_2$ . Аналогично можно осуществить сепарацию цветными фильтрами и соответствующими фильтрами очков.

Голографическое телевидение. Голография открывает новые возможности построения системы объемного телевидения, использующий только один канал передачи информации. В голографическом телевидении создается и передается не действительное оптическое изображение объекта, а его голограмма – интерференционная картина отраженных от объекта световых волн и волны опорного светового колебания. Информация об объеме объекта съемки заключена в разности фаз между отраженной волной от точек объекта и фазой опорного колебания. Голограмма, воспроизведенная на приемной стороне системы, просвечивается световыми волнами, в результате дифракции этих волн на выходе из голограммы за ней образуется интерференционная картина распределения интенсивностей света на объекте съемки. Но эта картина глазом не видима, но может быть выявлена, если область воспроизводимого объекта содержит взвешенные в ней элементы рассеяния света (дым, например). Тем не менее видимый глазом

объект съемки восстановленный на приемной стороне, выявляется, если наблюдатель рассматривает голограмму на просвет, т.е. со стороны выходящих из голограммы световых волн. Глаз фокусирует дифрагированные из голограммы лучи света и видит объект как бы за ней (наподобие тому, как это происходит в рассеивающей линзе). Таким образом, система голографического объемного телевидения выглядит так, как это показано на Рис.51.

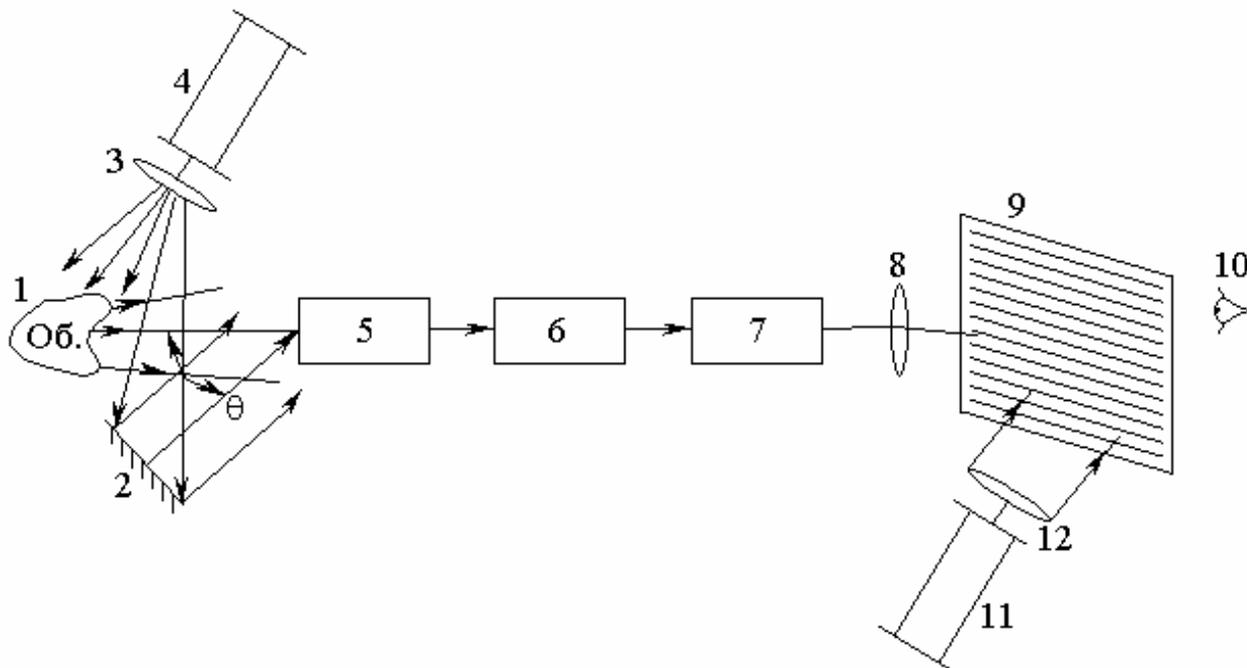


Рис.51.

Объект съемки 1 освещается лазером 4, луч которого посредством коллиматора 3 делается широким, часть светового потока лазера отводится к зеркалу 2, отраженная волна от которого служит опорным колебанием. Отраженные от объекта 1 световые колебания воспринимаются совместно с опорным мишенью передающей телевизионной трубки 5. На мишени и возникает голограмма, которая передается обычным способом в телевизионном канале связи 6. Воспроизводится изображение голограммы на экране лазерного кинескопа 7. Экран лазерного кинескопа представляет собой матрицу элементарных полупроводниковых лазеров, излучающих когерентный монохроматичный свет. Изображение голограммы с экрана кинескопа проецируется объективом 8 на светочувствительную поверхность пространственного модулятора света 9. Этот модулятор просвечивается коллимированным лучом 12 лазера 11 и глаз наблюдателя 10 на просвет видит объемное изображение объекта передачи.

При реализации голографических ТВ систем возникает много технических трудностей, связанных с большой информационной емкостью голограммы и высокой удельной плотностью информации. Это объясняется тем, что любая точка объекта съемки освещает всю голограмму (мишень телевизионного датчика), и любая точка (элемент мишени) воспринимает информацию от всех точек объекта. Отсюда следует, что любой фрагмент (часть) голограммы несет

полную информацию о передаваемом объекте. Поэтому полоса частот, необходимая для передачи голограммы, оказывается очень широкой, определяемой соотношением:

$$\Delta f_c = 2Sv^2F_k,$$

где  $S$  – площадь голограммы на мишени,  $v$  – пространственная частота записи голограммы, которая равна  $v = \sin\theta/\lambda$ ,  $\theta$  – угол между волновым фронтом опорной волны и фронтом волны предметного потока,  $\lambda$  – длина волны света. Пусть  $F_k = 25$  Гц,  $S = 3,6 \text{ см} \times 2,8 \text{ см}$ ,  $\theta \approx 45^\circ$ ,  $\lambda = 500 \text{ нм}$ . Для этих параметров  $\Delta f_c = 7 \cdot 10^{10}$  Гц. Кроме того, создание анализирующих (ТД) и синтезирующих (кинескоп) устройств с таким разрешением – задача пока сложная. Поэтому создание голографических ТВ систем – дело будущего.

#### Список использованных источников.

1. Телевидение./ Учебник для вузов. Под ред. Джакони В.Е.–М: Радио и связь, 1986г.
2. Кривашев М.И.. Перспективы развития телевидения. – М.: Радио и связь, 1982г.
3. Новаковский С.В. и др. Телевидение в XXI веке. – М.: Знание, 1981г.
4. Системы вещательного телевидения. Основные параметры. Методы измерений. ГОСТ 7845-79.
5. Цукерман И.И. Проблемы современного телевидения (цифровое телевидение). – М.: Знание, 1980г.
6. Дивеев В.Н. Основы отображения информации с применением в гражданской авиации. М.: МГТУ ГА, 1997г.
7. Шмаков П.В. и др. Стереовидение. – М.: Связь, 1968г.

## Содержание

Введение .....	3
1. Принципы телевизионной передачи .....	3
1.1. Действительное оптическое изображение .....	3
1.2. Параметры пространственной и временной дискретизации ДОИ .....	4
1.3. Анализ ДОИ, телевизионный видеосигнал, его характеристики и параметры.....	6
1.4. Структурная схема телевизионной системы, процесс синтеза телевизионного изображения .....	8
1.5. Телевизионное изображение и его параметры .....	10
1.6. Качество телевизионного изображения .....	12
2. Оптико-электрические преобразователи .....	15
2.1. Основные физические явления, используемые в ОЭП .....	15
2.2. Обобщенная схема передающей телевизионной трубки .....	18
2.3. Виды мишеней передающих телевизионных датчиков .....	18
2.4. Телевизионные передающие приборы .....	21
3. Способы воспроизведения телевизионных изображений.....	26
3.1. Кинескопы .....	26
3.2. Проекционный и светоклапанный способ воспроизведения ТИ.....	29
4. Цифровые преобразования в ТВ-системе .....	31
4.1. Система цифрового телевидения, характеристики сигналов и канала .....	31
4.2. Кодирование телевизионного сигнала .....	34
4.3. Перспективы внедрения систем цифрового телевидения .....	38
5. Телевизионные системы .....	39
5.1. Одновременные совместимые системы цветного телевидения.....	39
5.2. Особенности телевизионного радиоканала .....	44
5.3. Полный телевизионный сигнал .....	46
5.4. Особенности систем прикладного телевидения .....	47
5.5. Применение телевидения в ГА.....	51
5.6. Особенности систем космического телевидения .....	56
5.7. Особенности систем объемного телевидения.....	60
Список использованных источников .....	63