ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ПЕРЕДАЮЩИЕ КАМЕРЫ

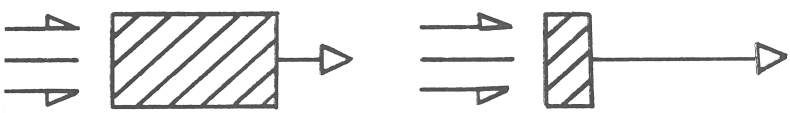
• РАДИО И СВЯЗЬ •

ОДНОТРУБОЧНЫЕ (ОДНОМАТРИЧНЫЕ)

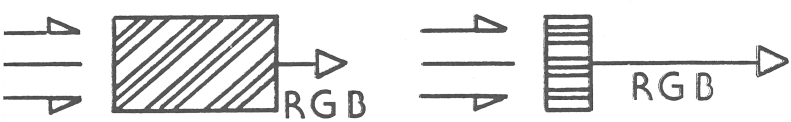
НА ПЕРЕДАЮЩИХ ТРУБКАХ

НА МАТРИЧНЫХ ПЗС

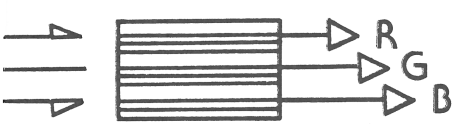
МОНОХРОМНЫЕ (ЧЕРНО-БЕЛЫЕ)



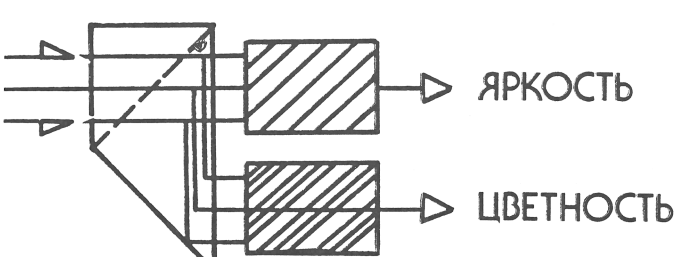
С КОДИРУЮЩИМ СВЕТОФИЛЬТРОМ



С ТРЕХСИГНАЛЬНОЙ ТРУБКОЙ

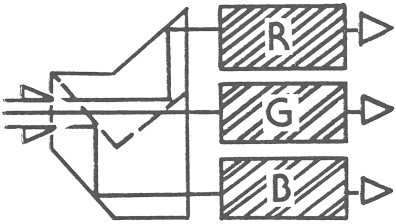


ДВУХТРУБОЧНЫЕ (ДВУХМАТРИЧНЫЕ)

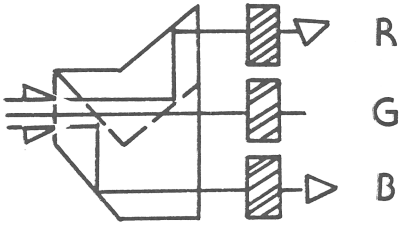


ТРЕХТРУБОЧНЫЕ (ТРЕХМАТРИЧНЫЕ)

НА ПЕРЕДАЮЩИХ ТРУБКАХ

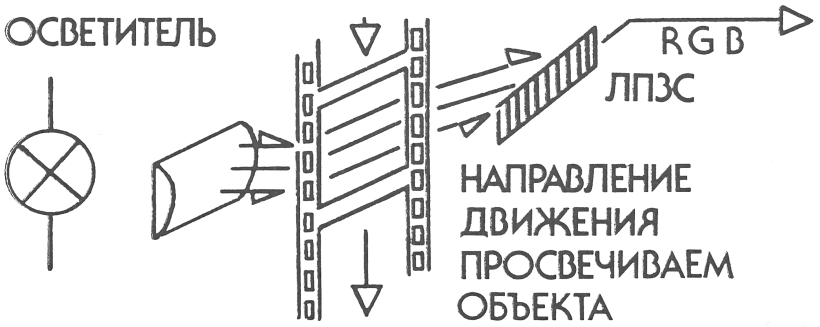


НА МАТРИЧНЫХ ПЗС



С БЕГУЩИМ ЛУЧОМ

НА ЛИНЕЙНЫХ ПЗС



ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ПЕРЕДАЮЩИЕ КАМЕРЫ

МОСКВА
„РАДИО И СВЯЗЬ" 1988

ББК 32.94
Т31
УДК 621.397.61:681.772.7

Авторы: В. А. ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ, Л. Н. ПОСТНИКОВА, А. Я. ХЕСИН, А. Л. ШТЕЙНБЕРГ

Т31 **Телевизионные** передающие камеры / В. А. Петропавловский, Л. Н. Постникова, А. Я. Хесин, А. Л. Штейнберг. — М.: Радио и связь, 1988. — 304 с.: ил.

ISBN 5-256-00091-8.

Рассматриваются основные типы и параметры передающих камер, используемых для вещания, а также камеры бытового и прикладного назначения, даются их классификация и особенности, анализируются отдельные системы и устройства камер, в том числе оптические системы, преобразователи свет—сигнал, системы формирования и обработки сигналов изображения, автоматического управления и пр.

Для инженерно-технических работников, проектирующих и эксплуатирующих телевизионную технику.

Т $\frac{2402020000-093}{046(01)-88}$ 90—88 **ББК.32.94**

Рецензент М. А. Сальман

Редакция литературы по радиотехнике

Производственное издание

ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ ВЯЧЕСЛАВ АНДРЕЕВИЧ, ПОСТНИКОВА ЛЮДМИЛА НИКОЛАЕВНА, ХЕСИН АРКАДИЙ ЯКОВЛЕВИЧ, ШТЕЙНБЕРГ АВИГДОР ЛЬВОВИЧ

ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ПЕРЕДАЮЩИЕ КАМЕРЫ

Зав. редакцией В. Л. Стерлигов
Редактор И. С. Балашова
Обложка художника О. П. Богомоловой
Художественный редактор Т. В. Бусарова
Технический редактор Г. З. Кузнецова
Корректор А. К. Акименкова

ИБ № 1275

Сдано в набор 03.11.87 Подписано в печать 02.03.88 Т-05094
Формат 84×108/32 Бумага типографская № 1 Гарнитура литературная
Печать высокая Усл. печ. л. 15,96 Усл. кр.-отт. 16,17 Уч.-изд. л. 19,19
Тираж 8 000 экз. Изд. № 21358 Зак. № 1207 Цена 1 р. 40 к.
Издательство «Радио и связь». 101000 Москва, Почтамт, а/я 693

Набрано и отпечатано в типографии издательства «Радио и связь». 101000 Москва, Почтамт, а/я 693
Тираж изготовлен в ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени МПО «Первой Образцовой типографии имени А. А. Жданова» Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли: 113054, Москва, Валовая, 28

ISBN 5-256-00091-8 © Издательство «Радио и связь», 1988

ПРЕДИСЛОВИЕ

Телевидение играет все возрастающую роль в ускорении научно-технического прогресса и социальном развитии общества. Телевизионное вещание является мощным средством массовой информации и пропаганды, развития и взаимообогащения национальных культур. Телевизионные системы все шире используют в науке, промышленности и многих других областях народного хозяйства.

С передающей ТВ камеры (датчика сигналов изображения) начинается практически любая телевизионная система. Камера в значительной степени определяет художественные или тактические возможности системы, а также качество изображения на экранах телевизионных приемников и видеоконтрольных устройств, а в сочетании с вычислительной техникой — эффективность «электронного зрения» роботов и других автоматов.

Область применения телевизионных камер непрерывно расширяется, в последние годы начался выпуск камер бытового назначения. Соответственно увеличилось число разновидностей камер, существенно отличающихся по назначению, конструкции, параметрам. Современная камера является сравнительно дорогим, сложным, точным и достаточно капризным электронно-механическим прибором, который разрабатывается и создается совместным трудом многих предприятий ряда отраслей — оптической, электронной, радиотехнической, кабельной и т. д. При изготовлении некоторых ее деталей соблюдаются точности в десятые доли микрометра, в то же время она насыщена сложной электроникой, например несколькими системами автонастройки параметров на основе микропроцессоров.

Вместе с тем телекамера является такой частью телевизионной системы, которая, как правило, находится в особых условиях: удалена от основного комплекса аппаратуры; расположена на подвижном штативе, на плече или в руках оператора (или на манипуляторе робота). Она может быть как инструментом в руках художника и журналиста, частью автоматизированного произ-

водственного комплекса, так и «игрушкой для взрослых» в быту. Телевизионные камеры чаще других видов телевизионной аппаратуры специально предназначают для использования непрофессиональными операторами; для населения они давно уже перестали быть «чудом техники», которое нужно осторожно обходить стороной и не трогать руками. Это приходится учитывать при конструировании камер и при этом соблюдать требования технической эстетики, эргономики и инженерной психологии: камера должна быть удобной, прочной, красивой и легкой (при массе 5...8 кг камера на плече оператора «легка» только первые три минуты).

Все больше организаций разных министерств и ведомств занимаются разработкой, производством, применением и эксплуатацией телекамер. Все больше людей привлекаются к их применению и эксплуатации, в том числе и таких, которые по своей основной специальности далеки от телевизионной техники.

В то же время отечественных и зарубежных монографий по телевизионным камерам до сих пор нет: журнальные публикации отрывочны и предназначены для специалистов.

Предлагаемая читателю книга весьма квалифицированного коллектива авторов в определенной степени восполняет этот пробел в нашей научно-технической литературе.

В. Г. Маковеев

Глава 1.

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ КАМЕР

Современная телекамера представляет собой весьма сложный комплекс, состоящий из множества различных систем. Свой облик телекамеры приобрели в результате многолетнего совершенствования, путем смены нескольких поколений этих устройств, в каждом из которых насчитывались десятки типов и сотни моделей. Развитие телекамер определялось, с одной стороны, общим развитием телевидения, а с другой — развитием электронной техники — разработкой преобразователей свет — сигнал, радиоламп, транзисторов и т. д.

Непосредственной предшественницей и постоянной «соперницей» телекамеры была и остается кинокамера. Многие термины телевидения заимствованы из кинематографии, даже основные параметры современных стандартных ТВ систем вначале отрабатывались на киномоделях. В то же время по мере совершенствования телевизионные методы стали использоваться в кинопроизводстве.

Создание телекамеры, обеспечивающей передачу изображения объекта, расположенного практически на любом расстоянии от нее, произвело переворот в сознании людей. В настоящее время телекамеры применяют не только в ТВ вещании, но и в авиации и космонавтике, биологии и медицине, в различных отраслях промышленности, при проведении научных исследований, на транспорте, а также в учебных целях.

Несмотря на разнообразие типов, моделей и условий применения телекамер, все они построены по сходным схемам, в основе их конструкций лежат общие принципы, для их описания применяют стандартизованную терминологию. Поэтому телекамеры следует считать определенной разновидностью ТВ аппаратуры.

Вряд ли можно четко определить дату создания первой телекамеры. Проекты различных электромеханических устройств для передачи и воспроизведения изображений существовали уже в девятнадцатом веке. Од-

нако развитие телевидения, по существу, началось только в конце 20-х годов нашего века. В это время были созданы экспериментальные, а затем и вещательные модели камер с вращающимся диском, имевшим определенное число расположенных по спирали отверстий. При вращении диска перемещение отверстий в плоскости изображения (в фокальной плоскости объектива) обеспечивало строчную развертку, а переход от одного отверстия к другому — кадровую. Число строк было небольшим: 30...180 (рис. 1.1). Чувствительность этих камер была низкой, так как световая энергия не накапливалась, бóльшая часть светового потока перекрывалась непрозрачным диском. Тем не менее это уже были телекамеры, имеющие оптическую систему, системы развертки и синхронизации, усиления и обработки сигнала. Были разработаны телекино- и теледиакамеры и система внестудийного вещания с промежуточной записью изображения на кинопленку, быстрой ее обра-

Рис. **1.1.** Разложение изображения в камере с оптико-механической разверткой на число строк:
а — 30; *б* — 180

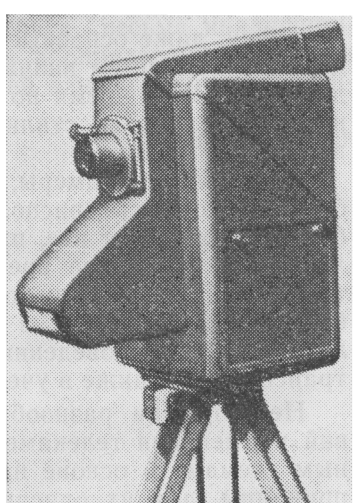


Рис. **1.2.** Первая советская электронная телекамера с передающей трубкой иконоскоп (блоки управления и обработки сигналов в отдельном шкафу)

боткой и непосредственной проекцией изображения на экран. Для повышения чувствительности камер с механической разверткой пытались использовать принцип «бегущего луча», в соответствии с которым по объекту с помощью зеркальных многогранных барабанов разворачивался мощный световой луч, а отраженный (либо проходящий, если объектом являлся диапозитив) световой поток непрерывно измерялся фотоэлементом. Объем сканируемого пространства мог быть достаточно большим, однако оборудование получалось чрезвычайно громоздким. Сам же принцип «бегущего луча» оказался плодотворным и используется до настоящего времени во многих высококачественных телекино- и телediакамерах.

Телевизионные системы, в которых использовались камеры и приемные устройства с оптико-механической разверткой, были экспериментальными. Существенные качественные изменения в ТВ вещании произошли в 30-е годы после появления электронно-лучевых передающих трубок типа иконоскоп, а затем супериконоскоп (приемные трубки — кинескопы — были известны несколько раньше).

В конце 30-х годов в Москве были проведены первые опытные передачи с применением электронной системы телевидения с разложением изображения на 343 строки. В Ленинграде использовалась ТВ система с разложением изображения на 240 строк. Сигнал изображения формировался с помощью телекамеры (в то время она называлась «телепередатчик»), где в качестве преобразователей свет — сигнал использовался иконоскоп (рис. 1.2).

Война (1941—1945 гг.) приостановила работы по совершенствованию ТВ техники. Регулярные телепередачи у нас в стране возобновились в 1945 г. В это же время был принят телевизионный стандарт разложения на 625 строк и начались работы по созданию нового ТВ оборудования.

В 40-е годы начали разрабатываться телекамеры на супериконоскопах. Студийные телекамеры (рис. 1.3) имели турель с несколькими (2—5) сменными объективами; в них вводились системы дистанционного управления, контроля и служебной связи; конструктивно они разделялись на камерную головку и камерный канал, соединенные специальным многожильным камерным кабелем. Чувствительность первых электронных телека-

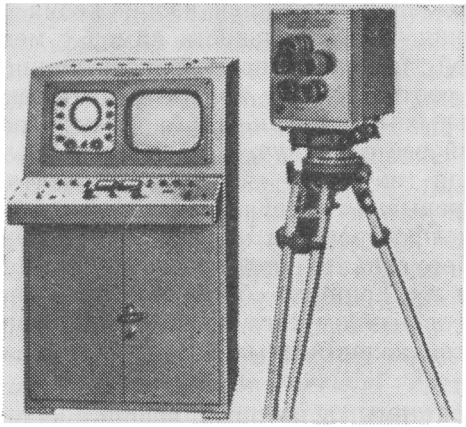


Рис. 1.3. Студийная телекамера на супериконоскопе

мер оставалась невысокой. Поэтому в телестудиях применяли мощные источники света, специальные декорации и грим для актеров (дикторы первых телецентров вынуждены были даже красить губы помадой зеленого цвета).

В целом телекамеры к началу 50-х годов обеспечивали удовлетворительное качество изображения и были достаточно надежными, хотя и требовали частой подстройки, но по массогабаритным характеристикам и чувствительности они существенно уступали кинокамерам. В 50-х годах в нашей стране применяли телекамеры КТ-5, КТ-5А (на супериконоскопах ЛИ-7 и ЛИ-101), КТ-6 и КТ-27 (на суперортиконах ЛИ-17 и ЛИ-201). Передающие трубки ЛИ-17 и ЛИ-201 диаметром 76 мм обеспечивали хорошее качество черно-белого изображения при освещенности 80...100 лк, что позволило камере работать во внестудийных условиях. Позднее стали применять крупногабаритные суперортиконы (диаметром 117 мм).

Схемотехника канала обработки видеосигнала стала совершенствоваться. В видеоканал вводят каскады регулирования формы амплитудной характеристики (гамма-корректоры). Для повышения четкости изображения применяют схемы противошумовой и апертурной коррекций. В это же время ведутся поисковые работы по созданию камер с вращающимся диском цветных светофильтров для электронно-механической системы цветного телевидения, в которой цветоделенные составляющие изображения передаются последовательно по кадрам (*последовательная система передачи цветов*).

Хотя в конечном счете в ТВ вещании по ряду причин отказались от последовательных систем и предпочтение было отдано более сложным системам с одновременной передачей цветоделенных составляющих, накопленный опыт электромеханического цветного телевидения пригодился впоследствии. Кроме того, через много лет на новом этапе развития техники разработчики прикладного телевидения вернулись к простой, компактной и стабильной однотрубочной камере с вращающимся диском светофильтров. Такие цветные прикладные телекамеры работают сейчас в космосе и на земле.

В 50-х годах были проведены теоретические и экспериментальные исследования в новой тогда области телевизионной колориметрии, явившиеся предпосылкой для интенсивной разработки в СССР, США и странах Западной Европы многотрубочных камер с одновременной передачей цветоделенных составляющих изображения с помощью *сигналов первичных цветов: R* (красного), *G* (зеленого) и *B* (синего). Первые камеры этого типа были созданы на трубках суперортикон диаметром 75 мм, например первая отечественная цветная телекамера КТ-24. Масса ее камерной головки достигала 150 кг, так что пришлось разрабатывать специальный гидравлический самодвижущийся штатив.

Для демонстрации по телевидению диапозитивов и кинофильмов на 35-мм и 16-мм пленках были разработаны специализированные теледиа- и телекинокамеры с «бегущим лучом» просвечивающего кинескопа.

В 60-х годах создаются новые модели телекамер. В них начинают применять трубки с внутренним фотоэффектом — видикон, что позволило уменьшить массогабаритные характеристики телекамер.

Особенностью вещательного цветного телевидения является необходимость *двусторонней совместимости* его с черно-белым телевидением, т. е. сигнал цветного телевидения должен без существенных ухудшений приниматься на черно-белый телевизор и, наоборот, сигнал черно-белого телевидения должен приниматься на цветной. Для удовлетворения требованию совместимости были разработаны действующие в настоящее время системы кодирования сигналов *R*, *G*, *B* в один *полный цветовой телевизионный* сигнал. Первой была разработана система НТСЦ (в 1954 г. принята в США, а затем в Японии и некоторых других странах), за ней последовали системы СЕКАМ (принята в СССР, Франции, стра-

нах Восточной Европы и др.) и ПАЛ (принята в странах Западной Европы и др.).

Хотя камеру конструируют для определенной системы, в ней всегда формируют сигналы основных цветов R, G, B, поэтому ее можно, как правило, использовать для любой системы, для чего достаточно заменить блоки кодирования и синхронизации. Это обстоятельство заметно способствовало унификации камер и в конечном счете ускорению развития их производства.

Для улучшения точности совмещения трех цветоделенных растров наряду с трехтрубочными телекамерами цветного телевидения в 60-х годах получили распространение четырехтрубочные, в которых яркостная составляющая полного цветового телевизионного сигнала формировалась с помощью отдельной передающей трубки. В некоторых четырехтрубочных камерах для формирования широкополосного сигнала яркости использовали трубку большого диаметра, например суперортикон, что обеспечивало бóльшую четкость воспроизводимого изображения. Для формирования узкополосных сигналов R, G, B использовались трубки меньшего диаметра, что позволило несколько уменьшить габариты камер. Отечественная вещательная внестудийная телекамера «Спектр-4», которая вела передачу 7 ноября 1967 г. с Красной площади, была трехтрубочной (рис. 1.4), а одна из первых студийных камер «Спектр-7» — четырехтрубочной. Некоторые из четырехтрубочных камер, например телекинокамера КТ-104Ц, находились в эксплуатации до 80-х годов.

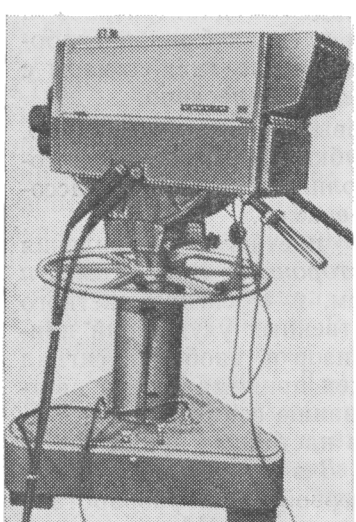


Рис. 1.4. Головка телекамеры «Спектр-4»

В конце 60-х годов была разработана студийная цветная телекамера КТ-116М. В начале 70-х годов ее выпускали серийно, и ею были оснащены первые аппаратные цветного телевидения в стране. Это была четырехтрубочная камера на 30-мм передающих

трубках плюмбикон. Камера выполнена на полупроводниковых элементах и не превышала по габаритам черно-белую телекамеру КТ-6. За рубежом в это время выпускают телекамеры Mark-VII (Великобритания), KCU-40 (ФРГ).

В конце 60-х годов телекамеры стали оснащаться вариообъективами большой кратности и сменными светофильтрами, что позволило успешнее вести внестудийные трансляции. Вводились системы дистанционной ручной и автоматической регулировок диафрагмы объектива и полуавтоматического управления фокусным расстоянием. Возросли чувствительность и разрешающая способность. Началось переоборудование телецентров для цветного вещания. Значительного развития достигла телевизионная техника в 70-х годах. Заменялась элементная база ТВ оборудования. Германиевые транзисторы, являющиеся основной причиной низкой температурной стабильности первых цветных телекамер, были заменены кремниевыми, стали применять микросхемы. Для особо важных аналоговых узлов иногда использовали специально разработанные гибридные микросборки. Примерами таких камер являются TTV-1515 (Франция), Mark-VIII (Великобритания), КТ-132 (СССР). В этих камерах стали применять специально разработанные вариообъективы с изменением фокусного расстояния в 20 раз и более, имеющие малые хроматические аберрации и улучшенные спектральные характеристики.

Для улучшения качества изображения начали применять сравнительно сложные узлы обработки видеосигналов — корректоры неравномерности уровня белого, матричные цветокорректоры (для телекинокамер — регулируемые и логарифмические цветокорректоры), гребенчатые фильтры, использующие ультразвуковые линии задержки, двумерные апертурные корректоры и шумоподавители.

Студийные камеры, мало изменяясь по массогабаритным характеристикам, существенно перерабатывались и совершенствовались. Их оснащали многочисленными системами автоматической настройки, управления и диагностики: сперва аналоговыми, а затем и цифровыми. Появились системы и узлы для автоматической коррекции светорассеяния, настройки цветового баланса, настройки и поддержания совмещения цветоделенных растров, диагностики неисправностей. Кодеры и

синхрогенераторы, ранее выполнявшиеся в виде отдельных блоков, стали вводить в состав камерного канала, что обеспечило большую автономность и расширило возможности применения телекамер. Для передачи большого числа сигналов от камерной головки к камерному каналу и в обратном направлении начали использовать системы частотного и временного их уплотнения. Неудобные, особенно во внестудийных условиях, многожильные кабели были заменены специально разработанными легкими триаксиальными (с двумя коаксиальными оплетками) и трехкоаксиальными кабелями, что позволило удалять камерную головку на расстояние до 1...2 км. Несколько позже для передачи сигналов на большие расстояния (до 4 км) иногда стали использовать волоконно-оптические линии связи (ВОЛС), основными достоинствами которых являются малая масса и высокая помехозащищенность.

Кроме больших студийных и внестудийных камер в 70-х годах появляется новый тип оборудования — репортажная телевизионная камера. Первые модели таких телекамер имели небольшую камерную головку (масса без объектива 7...9 кг), выполненную на 25-мм плюмбиконах и размещавшуюся на плече оператора. Через промежуточный электронный блок (обычно ран-

Рис. 1.5. Головка и ранцевый блок цветной репортажной телекамеры КТ-302Р

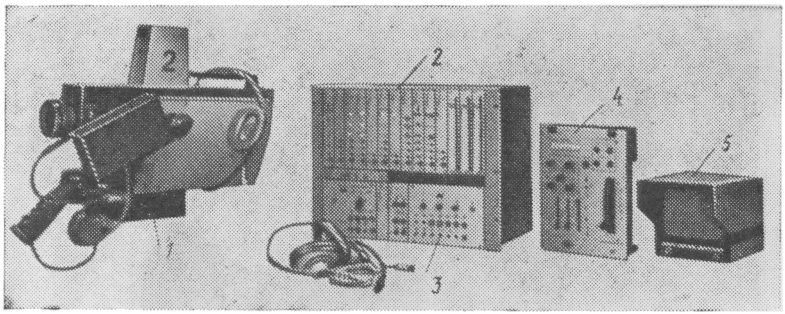


Рис. **1.6.** Телекамера КТР-308:
1 — камерная головка с малым видоискателем; *2* — камерный канал; *3* — блок питания; *4* — пульт дистанционного управления; *5* — большой видоискатель для работы на штативе

цевый, массой 5...12 кг) и камерный кабель эту головку подключали к камерному каналу. По такой схеме были построены первая отечественная репортажная цветная телекамера КТ-302Р (рис. 1.5), камера TTV-1516P (Франция) и др. Их применяют в малогабаритных передвижных репортажных ТВ станциях, которые позволяют оперативно прибыть на место съемки. Конструкция камеры позволяет сочетать оперативность развертывания, мобильность камерной головки с высоким качеством изображения, которое обеспечивают сложные системы обработки, размещенные в ее канале. Так как ранцевые электронные блоки весьма неудобны в работе, были созданы камеры, состоящие из малогабаритной камерной головки, носимой на плече оператора и связанной легким многожильным или триаксиальным кабелем с каналом обработки, размещенным в передвижной ТВ станции. Это камеры КТР-308 (рис. 1.6), КТ-320 (рис. 1.7) (СССР), Mark-IXP (Великобритания) и др.

К концу 70-х годов существенно изменились технические возможности и внешний вид телекинокамер. Если в начале развития цветного телевидения телекинокамера входила в состав телекинопоста, занимавшего довольно большую площадь, где размещались также два или три стандартных кинопроектора и устройство оптической коммутации световых потоков, то теперь она входит в стандартную стойку (рис. 1.8), в которой находятся панель механизма протяжки кинопленки, оптическая система со сменными объективами различных форматов фильмов и блоки формирования и обработки

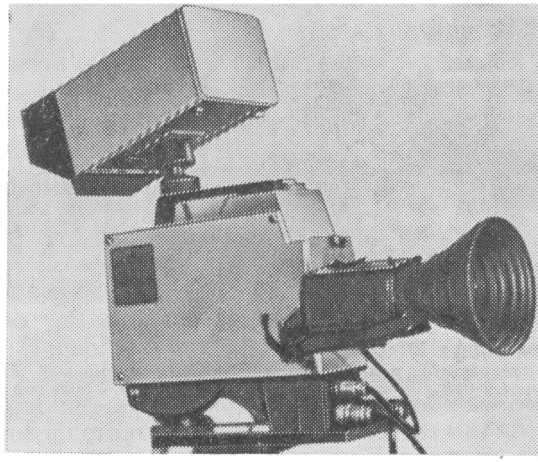


Рис. 1.7. Головка телекамеры КТ-320 с большим видоискателем

видеосигналов. Это телекинокамеры FDL-60 (ФРГ) и Mark-III (Великобритания) и др.

Разработка специального механизма для протяжки пленки и введение его в состав телекинокамер, размещенных в одной стойке, позволило использовать адресно-временной код, облегчающий поиск нужного кадра в процессе работы с телекинодатчиком и обеспечивающий возможность работы программируемого автоматического цветокорректора. Применение в качестве преобразователей свет—сигнал приборов с зарядовой связью (ПЗС), использование цифровой обработки телевизионного сигнала в канале телекинодатчика позволили обеспечить надежность его работы и получить устройство с высокими технологическими возможностями.

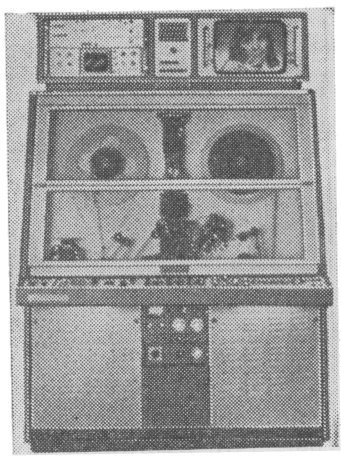


Рис. 1.8. Телекинокамера Mark-III

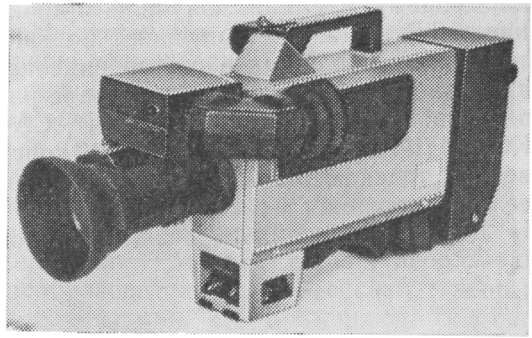


Рис. 1.9. Телекамера КТ-190

Во второй половине 70-х годов появились новые камеры, специально разработанные для видеожурналистики. Появление этих портативных камер, работающих автономно на плече оператора и имеющих на выходе полный цветовой телевизионный сигнал, стало возможным благодаря развитию интегральной микросхемотехники, упрощения и унификации схемных решений, а также использованию новых конструктивных материалов. Питание этих камер осуществляется от встроенной аккумуляторной батареи (или от более энергоемкого «пояса» с аккумуляторами); управление и настройка в значительной степени автоматизированы. По качеству изображения эти камеры не уступают студийным и в комплекте с системой дистанционного управления их часто применяют в качестве дополнительных к студийным и внестудийным телекамерам для разнообразия творческого показа. Основным же назначением таких телекамер остается запись документальных материалов на носимые видеомагнитофоны, постепенно заменяющая в телевидении документальную киносъемку. Одной из первых камер для видеожурналистики была выпущенная в 1976 г. камера ТК-76 (США). В дальнейшем многие фирмы стали выпускать разные модели таких камер. Созданы камеры: отечественная КТ-190 (рис. 1.9), HL-79A (Япония), TTV-1601, TTV-1603 (Франция).

Дальнейшая миниатюризация основных узлов репортажных камер и носимых видеомагнитофонов позволила в начале 80-х годов приступить к разработке и выпуску *видеокамер,* представляющих собой конструктивное объединение телекамеры и кассетного видеомагнитофона. Видеокамера не уступает в мобильности кинокамере, но превосходит ее оперативностью контроля и монтажа отснятого материала, поэтому видеокамеры к

настоящему времени получили широкое распространение в ТВ вещании. Выпускают большое число моделей телекамер, входящих в состав видеокамер и при наличии адаптера работающих в составе различных ТВ комплексов: BVP-30, HL-83 (Япония), CA-1624 (Франция), KCF-1 (ФРГ), HC-II (США). В конструкции отечественной телекамеры КТ-190 предусмотрена возможность ее использования в составе видеокамеры.

Камеры студийного и внестудийного производства

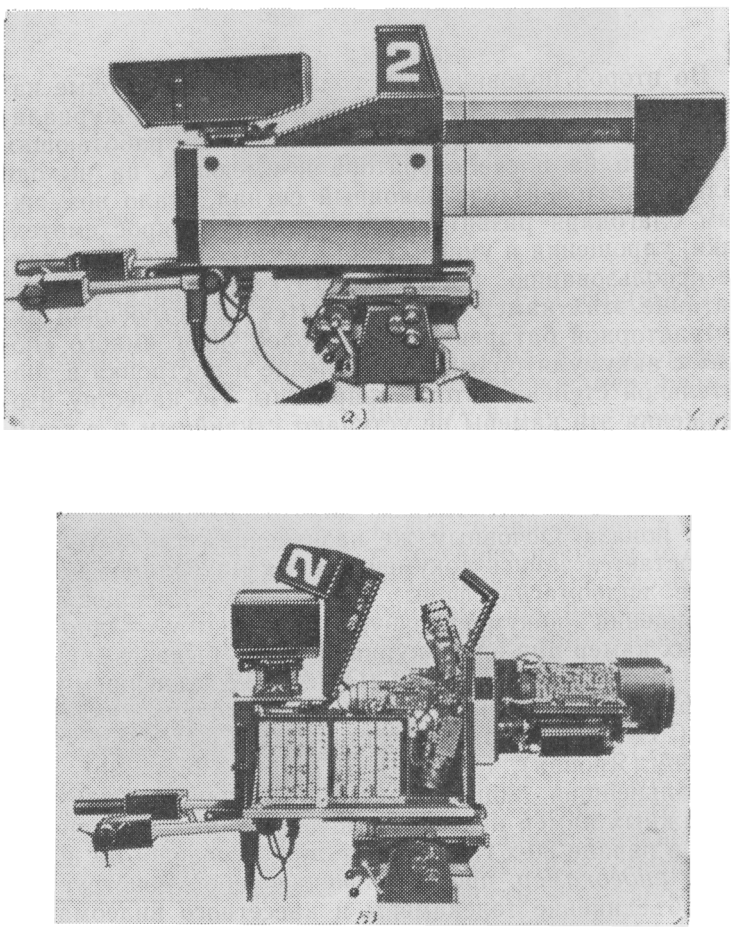


Рис. 1.10. Телекамера КТ-178

также совершенствуются. В них используют более надежные и высококачественные преобразователи свет — сигнал, интегральную схемотехнику в блоках обработки видеосигналов и цифровые системы управления и автоматики на основе микропроцессоров. Это камеры: отечественная КТ-178 (рис. 1.10), BVP-360, SK-110 (Япония), КСМ-125 (ФРГ).

Развитие прикладных и бытовых телекамер также не отстает от развития и совершенствования камер вещательного телевидения. Многие из них используют специальные преобразователи свет — сигнал, которые в вещательном телевидении не применяют. В конце 70-х годов в прикладных телекамерах стали применять твердотельные преобразователи свет — сигнал — матрицы ПЗС.

Массовый (миллионы экземпляров) выпуск бытовых кассетных видеомагнитофонов создал потребность в бытовых телекамерах, которые успешно вытесняют любительские кинокамеры. Цветные бытовые телекамеры, в основном одноматричные (или однотрубочные) с цветокодирующим светофильтром, отличаются от вещательных меньшими массой и габаритами и пониженным качеством изображения.

Глава 2.

ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Телевизионная камера преобразует световой поток от передаваемого объекта в электрический сигнал[1] изображения (видеосигнал), пригодный для последующего просмотра, записи, передачи по каналам связи, автоматического анализа и т. п.

Телекамера формирует сигнал (или группу сигналов), правильная передача которого обеспечивает наибольшее сходство воспроизводимого и исходного изображений. Полная тождественность параметров этих изображений не достижима и не всегда необходима. Например, для камер, используемых при дистанционном наблюдении в медицине, важна тождественность (досто-

[1] Для оптических и электрических сигналов вместо полных обозначений, например E_R, $U_G^{1/\gamma}$, E'_Y, будем использовать в основном краткие — R, G, B, Y и т. д.

верность) цветопередачи, а для камер, используемых при создании художественных телепередач, важнее реализовать замысел режиссера и обеспечить требуемый колорит изображения, который может отличаться от колорита исходной сцены. В зависимости от конкретной задачи способность камеры подавлять мелкие детали на изображении может быть полезной (для ослабления заметности грима на лице актера или дефектов декорации) или вредной (когда теряется различимость лиц и других подробностей при передаче общих планов).

Поскольку конечным потребителем воспроизводимого изображения является человек, важнейшим критерием оценки качества работы камеры служит субъективно оцениваемое качество изображения. Из-за строчной структуры разложения, а также вследствие резкого ограничения амплитуды и полосы частот передаваемых сигналов, ТВ изображения воспринимаются существенно иначе, чем изображения, полученные полиграфическими, оптическими или фотографическими методами.

В результате длительных совместных исследований специалистов по психофизиологии зрения и ТВ технике были выработаны общепринятые нормы, связывающие субъективные оценки качества с объективными параметрами сигналов и изображений. Эти нормы являются основой при разработке как крупных ТВ систем, так и конкретных звеньев, в том числе телекамер.

Для оценки качества работы телекамер используют параметры, традиционно применяемые для контроля любых систем передачи изображений: чувствительность, разрешающая способность, передача градаций яркости, цветопередача, геометрические искажения и т. д., а также специфические параметры, характеризующие качество сигналов, например инерционность преобразования свет — сигнал и отношение сигнал-помеха.

Параметры телекамер можно подразделить на две основные группы: оптико-электрические и эксплуатационные. Оптико-электрические параметры характеризуют передачу градаций яркости, мелких деталей, цветопередачу, искажения передаваемого изображения (геометрические, нелинейные и др.), паразитные составляющие сигналов, в том числе шумы и помехи. Эксплуатационные параметры характеризуют режимы работы камеры, ее массу, размеры, потребляемую мощность, чувствительность, от которой зависит требуемая освещенность объекта, сохранение оптико-электрических параметров

при изменении условий окружающей среды (температуры, влажности и т. д.), возможности ручного и автоматического управления, типы и число выходных сигналов.

Некоторые типы камер обладают специфическими параметрами, например телекинокамеры и камеры прикладного телевидения, — оптико-механическими (характеризующими системы протяжки кинопленки и узлы наведения соответственно), вещательные телекамеры — акусто-электрическими (неравномерность частотных характеристик трактов звукового сопровождения и служебной связи, уровень акустических помех и т. д.).

Современные вещательные камеры снабжены встроенными системами контроля, индикации и управления, автоматически измеряющими и регулирующими некоторые параметры. Общие методы измерения параметров телекамер, применяемые при периодических испытаниях, сопряжены с использованием специальных (сравнительно сложных) приборов и являются составной частью методов ТВ измерений, которые подробно изложены в [29, 58].

2.2. ЯРКОСТЬ И КОНТРАСТНОСТЬ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Одними из основных параметров изображения, характеризующими его качество, являются яркость, контрастность[1] и число различимых уровней (*градаций*) яркости. Чем больше число воспроизводимых градаций, тем выше оценивает зритель ТВ изображение. Важно воспроизвести уровни яркости изображения так, чтобы донести до зрителя необходимую информацию о передаваемом объекте.

Яркость, контрастность и число различимых зрителем уровней яркости передаваемого объекта и воспроизводимого изображения, как правило, различны, но тем не менее можно говорить о достоверности воспроизводимого ТВ изображения. Для этого необходимо, чтобы параметры преобразователя сигнал — свет, условия наблюдения воспроизводимого изображения и форма передаточной характеристики тракта выбирались с учетом свойств зрения.

Яркость определяют как величину, характеризующую интенсивность светового потока, излучаемого в данном направлении единицей площади поверхности в

[1] Рассматривается контрастность только крупных и средних деталей ТВ изображения без учета цветового контраста.

единице телесного угла. Яркость является параметром воспроизводимого изображения и самосветящихся объектов передачи. Когда объектами передачи являются несамосветящиеся предметы, то пользуются понятием *освещенности,* которая определяется как отношение светового потока, падающего на поверхность, к площади этой поверхности. При сравнении передаваемого и воспроизводимого изображений удобнее использовать одни и те же параметры. Кроме того, объекты передачи могут содержать как самосветящиеся, так и несамосветящиеся предметы. Поэтому в телевидении используют понятие яркость, имея в виду *световой поток,* испускаемый или отраженный единицей площади поверхности. Ощущение яркости прямого или отраженного света иногда называют *субъективной яркостью.* В настоящее время в светотехнике его принято обозначать термином светлота. *Светлота* определяется как мера зрительного ощущения светового излучения, зависящая от условий, при которых это излучение воздействует на глаз человека. В телевидении более удобным для применения пока остается термин «яркость».

Диапазон яркостей отдельных участков передаваемого объекта характеризует *контрастность* передаваемого изображения, которую численно выражают отношением максимальной яркости к минимальной. При равномерной освещенности поверхности передаваемого объекта контрастность можно определять отношением максимального коэффициента отражения поверхности к минимальному. Сравнительно равномерную освещенность передаваемой сцены можно обеспечить при специальном выставлении света в ТВ студиях. Допустимая неравномерность освещенности в студии обычно не более чем 2 : 1. При проведении студийных передач можно выбрать текстуру поверхности передаваемых объектов такой, чтобы их коэффициенты отражения не сильно различались между собой. Поэтому контрастность при студийных передачах бывает 40...80. При работе ТВ камер на открытых съемочных площадках, что имеет место при внестудийных передачах и при работе бытовых ТВ камер, камер промышленного и космического телевидения, неравномерность освещения объектов съемки, находящихся одновременно в поле зрения ТВ камеры, может быть значительной. Если, например, в число передаваемых объектов входят яркое безоблачное небо, вода и окно, открытое в неосвещенную комнату дома, то контрастность для объекта съемки может соста-

вить 1000. В то же время при съемке во время плохих погодных условий или в помещениях со слабым искусственным освещением контрастность иногда не превышает 30. Контрастность воспроизводимого ТВ изображения в зависимости от условий наблюдения и типа преобразователя сигнал — свет может быть 40...100 (для черно-белых ТВ систем даже выше).

Однако эти численные значения контрастности не позволяют однозначно оценить наблюдаемое изображение. Субъективное впечатление от непосредственного наблюдения объекта (или изображения этого объекта) будет зависеть от числа различимых уровней яркости.

Глаз человека замечает изменения яркости, если их значения больше абсолютного порога ощущения, который зависит от общей (фоновой) яркости объекта. Теоретические и экспериментальные исследования, учитывающие это свойство зрения, показали, что для разных диапазонов освещенности объектов передачи, содержащих поверхности с разными значениями коэффициентов отражения, число различимых уровней яркости не превышает 300.

Максимально различимое число уровней яркости изображения, воспроизводимого на экране кинескопа, с учетом особенностей зрительного восприятия, определяемого угловыми размерами объекта наблюдения и яркостью фона, на который адаптирован наблюдатель, зависит от параметров кинескопа и условий наблюдения изображения. Яркость фона при наблюдении ТВ изображения в затемненном помещении определяют усредненной яркостью свечения периферийных элементов изображения. При наблюдении изображения в освещенном помещении яркость фона увеличивается.

Пороговые значения изменений яркости для ТВ изображения обычно определяют экспериментально или рассчитывают по формулам, полученным из эмпирических уравнений физиологической оптики [20]. Проведенные вычисления показали, что число различимых уровней яркости для изображения с контрастностью 40 и с максимальной яркостью белого 120 кд/м^2 при отсутствии посторонней засветки экрана составляет приблизительно 100. При увеличении контрастности до 100 и более, что обеспечивается современными кинескопами, это число может быть и больше. Таким образом, несмотря на то, что диапазон яркостей объекта передачи может в несколько раз превышать диапазон яркостей

воспроизводимого изображения, число зрительно воспринимаемых уровней яркости воспроизводимого изображения может быть сравнимым с числом уровней яркости наблюдаемого объекта передачи.

Максимальные значения яркости и контрастности изображения определяются только светотехническими параметрами преобразователей сигнал — свет и условиями наблюдения воспроизводимого изображения. Число воспроизводимых уровней яркости изображения и их соответствие уровням яркости передаваемого объекта зависят как от параметров воспроизводящего ТВ устройства, так и от способов построения трактов обработки видеосигналов в ТВ камерах и характеристик тракта. При воспроизведении на экране ТВ приемника изображения, снятого на кинопленку, субъективное восприятие уровней яркости зависит также от передаточных характеристик кинофотопроцесса.

Качество ТВ изображения оценивается тем выше, чем больше число воспроизводимых уровней яркости при их оптимальном распределении в диапазоне воспроизводимых яркостей. Таким образом, на субъективную оценку качества передачи яркости воспроизводимого изображения влияет форма передаточной характеристики ТВ тракта. Возможности получения оптимальной передаточной характеристики тракта весьма подробно исследовались для систем черно-белого телевидения. С развитием цветного телевидения все подобные исследования проводят с учетом влияния формы передаточных характеристик на цветопередачу воспроизводимого изображения. Например, исследования [92], проводимые для цветной телевизионной системы с учетом реальных условий наблюдения воспроизводимого изображения, показали, что качество изображения оценивается выше, если передаточная характеристика от света до света отлична от линейной и соответствует степенной функции с показателем степени больше единицы (1,2...1,4).

В практике работы прикладных ТВ систем при внестудийном телевещании или при показе фильмов с высокой или низкой плотностью пленки, когда сюжеты передаются с изменяющимися диапазонами яркостного контраста и с неоптимально распределенным числом уровней яркости в пределах передаваемого диапазона яркостей, камера должна обеспечить номинальный уровень сигналов как при больших яркостях передаваемого объекта (малой плотности фильмового материала), так

и при малых освещенностях объекта передачи (при большой плотности пленки). Изменением формы передаточной функции тракта обработки видеосигналов можно добиться оптимального распределения уровней яркости воспроизводимого изображения. Основным критерием получения оптимального распределения является субъективная оценка качества воспроизводимого изображения.

Получение необходимой передаточной характеристики обусловливается выбором светотехнических и электрических параметров ТВ камеры (освещенностей мишеней преобразователей свет — сигнал, коэффициентов усиления различных узлов камеры, уровней ограничения сигналов и т. п.) и наличием установочных и оперативных, ручных и автоматических регулировок этих параметров.

В большинстве ТВ камер оперативной регулировкой является только изменение диафрагмы объектива. Современные объективы ТВ камер имеют достаточно большое относительное отверстие (до 1 : 1,2), что позволяет при довольно низкой освещенности (не более 100 лк) обеспечивать необходимый световой поток на мишенях передающих трубок. При съемке сцен с высокой освещенностью можно уменьшить световой поток в несколько десятков раз и обеспечить номинальную освещенность на мишени, закрывая диафрагму объектива. При очень высоких уровнях освещенности на объекте передачи световой поток предварительно уменьшают с помощью нейтральных светофильтров.

Регулировать диафрагму можно автоматически. Этот способ принято называть *автоматической регулировкой освещенности* (АРО) на мишенях передающих трубок или *автоматической регулировкой диафрагмы* (АРД). При этом, если напряжение, управляющее положением диафрагмы, пропорционально среднему уровню освещенности по всей площади кадра, можно воспроизвести изображение основных объектов передачи вне зоны оптимальной яркости (50...70% максимальной яркости). Чтобы избежать этого, в систему управления диафрагмой включают устройство, которое выделяет информацию об освещенности не всего кадра, а только его центральной части. Поскольку кадр ТВ изображения построен всегда так, что главные объекты находятся в центре, управляющий сигнал будет всегда пропорционален освещенности главных объектов, и установ-

ленная диафрагма обеспечит воспроизведение яркости основных объектов изображения на уровне, наиболее удобном для зрительного восприятия.

Однако при этом могут возникнуть искажения воспроизводимого изображения, такие как *заплывание* и потери информации об отдельных деталях, расположенных в темных или наиболее светлых участках передаваемой сцены. Рассмотрим это на примере рис. 2.1. На рис. 2.1, *б* изображены три случая распределения яркости по горизонтали на объектах P_1, P_2, P_3, протяженность которых соответствует длительности одной строки на рис. 2.1, *в* — сигналы от этих участков на выходе камеры. Причем средние яркости деталей объектов на анализируемых участках (заштрихованные области) разные: $L_{03} > L_{01} > L_{02}$, т. е. диафрагма объектива камеры при передаче изображения объектов: P_2 — открыта, P_1 — находится в среднем положении, P_3 — почти закрыта. Этим трем разным положениям диафрагмы соответствуют три зависимости *1*, *2*, *3* освещенности мишени $E_м$ передающей трубки от яркости (рис. 2.1, *а*). Все детали объекта P_1 с высокой яркостью лежат в анализируемой зоне, поэтому в формируемом на выходе камеры видео-

Рис. **2.1.** Возникновение искажений при автоматическом регулировании диафрагмы объектива камеры:
а — зависимость освещенности мишени от яркости объекта (для трех положений диафрагмы); *б* — распределение яркости на объекте; *в* — форма сигнала на выходе камеры

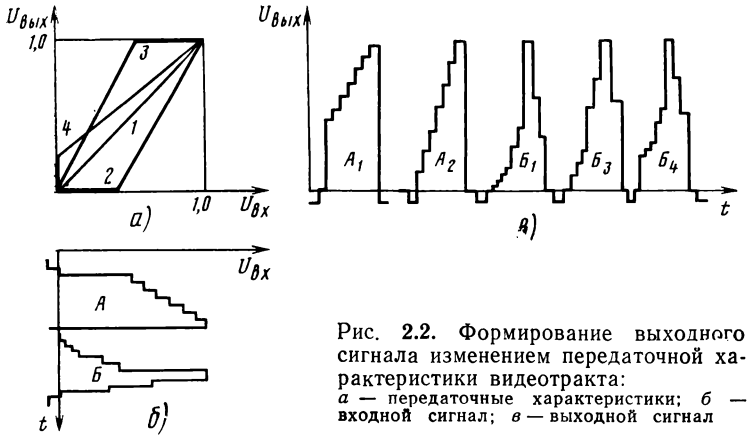


Рис. 2.2. Формирование выходного сигнала изменением передаточной характеристики видеотракта:
а — передаточные характеристики; *б* — входной сигнал; *в* — выходной сигнал

сигнале U_1 содержится информация обо всех уровнях передаваемого объекта. Объект P_2 имеет сравнительно низкую яркость L_{02}, а его детали с высокой яркостью расположены вне анализируемой зоны, поэтому освещенность мишени и соответствующие размахи видеосигнала на выходе камеры U_2 для отдельных участков изображения объекта могут превосходить их номинальные значения $E_{м.ном}$ и $U_{с.ном}$ соответственно. Объект P_3 имеет высокую среднюю яркость, сигнал U_3, соответствующий его деталям с высокой яркостью, передается без ограничения, но число уровней яркости воспроизводимого изображения, которое определяется разницей уровней видеосигнала ΔU, уменьшается, особенно для темных участков передаваемой сцены. Таким образом, при применении только линейной передаточной функции тракта на воспроизводимом изображении объекта могут возникнуть заметные искажения или будет теряться информация об отдельных деталях передаваемой сцены.

Поэтому если контрастность передаваемого объекта из-за ряда причин уменьшена или очень велика, для получения высокого качества ТВ изображения желательно оптимизировать распределение уровней яркости воспроизводимого изображения с помощью соответствующего изменения формы передаточной характеристики тракта. Достаточно просто это достигается изменением уровня черного и коэффициента усиления тракта (рис. 2.2). На вход тракта (рис. 2.2, *б*) подают видеосигналы двух видов: сигнал *А* с уменьшенным динамическим диапазоном яркостей из-за увеличения уровня черного и сигнал *Б* с неравномерным распределением

уровней в полном динамическом диапазоне. На рис. 2.2, *а* показано, что форма передаточной характеристики тракта может быть выбрана линейной *1* или линейно-ломаной *2—4*. Если уровень черного, коэффициент усиления и уровень ограничения по белому не регулируются, передаточная функция линейна и при пропускании сигналов *А* и *Б* через тракт на его выходе будут сигналы A_1 и $Б_1$ с таким же уровнем сигналов, как и на входе. Если сигнал *А* пропустить через тракт с передаточной функцией *2*, то на выходе получаем сигнал A_2 с равномерным распределением уровней. Сигнал *Б*, у которого большая часть информации передается на уровнях, близких к черному, лучше пропустить через тракт с передаточными характеристиками *3* или *4*. Сигнал $Б_3$ при воспроизведении обеспечивает более полное использование всего диапазона воспроизводимых яркостей, сигнал $Б_4$ лучше воспроизводит уровни, близкие к черному, что необходимо, если там находится сюжетно важная часть изображения.

Таким образом, изменение формы передаточной характеристики тракта дает возможность получить оптимальное распределение уровней яркости воспроизводимого изображения.

Регулировки уровня черного и коэффициента усиления легко осуществляются в черно-белых ТВ системах и в четырехканальных цветных ТВ камерах YRGB в вынесенном яркостном канале как вручную, так и автоматически [43]. В ТВ вещании общее усиление в трехтрубочных цветных камерах оперативно не регулируют, так как при этом коэффициенты усиления всех трех каналов должны изменяться одинаково и малейшая неточность изменения коэффициента в каком-нибудь из них приведет к нарушению цветового баланса камеры. Довольно часто встречаются полуоперативные регулировки общего уровня черного всех трех каналов, при этом принимают специальные схемотехнические меры по предупреждению нарушения цветового баланса.

Регулировать форму передаточной функции лучше только в канале яркостной составляющей полного ТВ сигнала, так как в этом случае баланс белого не может быть нарушен. Однако при больших изменениях формы передаточной функции может изменяться цветовая насыщенность деталей передаваемого изображения. Такое регулирование, называемое *коррекцией контраста,* обеспечивает более естественное распределение яркости воспроизводимого изображения (см. § 6.2).

2.3. ЧЕТКОСТЬ, РЕЗКОСТЬ И РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ

Четкостью изображения принято называть отношение контраста периодических структур изображения, состоящих из мелких деталей, к контрасту структур с крупными деталями. Величина, обратная периоду структуры, называется *пространственной частотой.* В зависимости от ориентации структуры различают *горизонтальные* f_x, *вертикальные* f_y, *диагональные* и тому подобные пространственные частоты.

Четкость изображения на экране воспроизводящего устройства, например телевизора, зависит от четкости исходного изображения, характеристик оптических, электронно-оптических и электронных блоков камеры, а также от характеристик воспроизводящего устройства. При анализе и разработке ТВ систем четкость исходного изображения, характеристики тракта передачи и воспроизводящего устройства обычно считают идеальными, т. е. предполагают, что в исходном изображении для любой пространственной частоты (а следовательно, и для отдельных деталей любого размера) относительное значение контраста мелких деталей равно единице, а в воспроизводимом изображении этому значению соответствует определенный размах выходного сигнала камеры. Четкость результирующего изображения при этом однозначно определяется характеристиками камеры.

Оптические и электронно-оптические блоки камеры осуществляют линейную пространственную фильтрацию изображения, наиболее общим образом характеризуемую двумерной передаточной функцией $K(f_x, f_y)$, которую в оптике называют *частотно-контрастной характеристикой* (ЧКХ), в оптоэлектронике — *функцией передачи модуляции* (ФПМ), а в электронике — *амплитудно-частотной характеристикой* (АЧХ).

Необходимо отметить, что встречаются два неравнозначных варианта определения ЧКХ: через отношение контрастов исходной штриховой миры (чередующиеся черные и белые полосы) с прямоугольным распределением яркости и изображения этой миры с квазисинусоидальным распределением яркости и через отношение контрастов исходной миры с синусоидальным распределением яркости и изображения этой миры с таким же распределением яркости. Второй способ является более

строгим, хотя требует использовать сложные в изготовлении синусоидальные миры.

Расхождение значений ЧКХ, измеренных указанными двумя способами, может достигать 27% (поскольку размах первой гармоники прямоугольного сигнала составляет приблизительно 127%), однако на практике расхождение обычно не столь велико.

Для многих узлов и блоков камеры форма передаточной функции вполне определена — например, гауссовская с круговой симметрией. Такая функция задается единственным параметром, например значением аргумента (пространственной частотой), при котором функция достигает определенного значения (относительного значения контраста мелких деталей). Если речь идет о границе заметности, т. е. о пороговом значении контраста мелких деталей, приблизительно равном 0,1 [29], то соответствующее значение пространственной частоты называют *разрешающей способностью* данного узла или камеры в целом. Это системное определение учитывает реальные отношения сигнал-шум, яркость и контраст изображения на экране телевизионного приемника и не всегда совпадает с определением разрешающей способности телекамер, рассматриваемых отдельно (например, в замкнутых ТВ системах).

В телевидении принято измерять пространственные частоты в *телевизионных линиях* (твл). Числом телевизионных линий обозначают число полупериодов пространственной структуры любой ориентации, укладывающееся в высоте телевизионного растра H. Двум телевизионным линиям соответствует одна оптическая. Например, при высоте растра на мишени передающей трубки 9,6 мм (диаметр трубки 25 мм) частоте оптической миры 20,8 линий/мм соответствует частота 400 твл. Для принятого в СССР стандарта разложения 625/50 можно легко вычислить, что горизонтальной частоте $f_x = 78$ твл соответствует частота видеосигнала $f = 1$ МГц, а частоте 400 твл — приблизительно 5 МГц.

Характеристики камеры, естественно, должны быть согласованы с характеристиками телевизионной системы в целом. По принятому в СССР стандарту [17] полоса частот видеосигнала вещательного телевидения ограничена значением 6 МГц, т. е. полоса горизонтальных пространственных частот ограничена значением 468 твл. Формирование или подавление камерой составляющих видеосигнала с горизонтальными частотами выше

468 твл никак не сказывается на четкости изображения, наблюдаемого телезрителем.

Необходимо отметить, что разрешающая способность однозначно характеризует четкость только в электронно-оптических блоках камеры, т. е. на этапе преобразования свет — сигнал. Обработка электрических сигналов, в частности апертурная коррекция (коррекция резкости и контуров), почти не изменяя разрешающей способности, приводит к существенному изменению формы передаточной функции камеры. В современных телекамерах широко применяют апертурные корректоры, передаточные функции которых зависят от уровня видеосигнала (яркости данного участка изображения) и от размаха его высокочастотных составляющих (контраста мелких деталей). Сравнительно полное представление о четкости создаваемого такой камерой изображения дает эквивалентная (линеаризованная) передаточная функция, измеренная для средних яркостей изображения по деталям среднего контраста. Строго определить разрешающую способность таких камер трудно.

С четкостью связана, хотя и не вполне однозначно, *резкость* изображения, которая характеризуется воспроизведением границ участков изображения и отдельных линий (контуров), т. е. соответственно переходной и импульсной реакциями камеры. Чем больше крутизна фронта видеосигнала, тем больше субъективно оцениваемая резкость. Однако при ограниченной полосе частот уменьшение длительности фронта неизбежно сопровождается возрастанием выбросов слева и справа от фронта, создающим эффект «повторов» на изображении.

В линейных звеньях тракта передачи ТВ сигнала соотношение между резкостью и четкостью выражается преобразованием Фурье, связывающим форму сигнала со свойствами его частотного спектра. Однако тракт обработки сигналов телекамеры содержит ряд существенно нели-

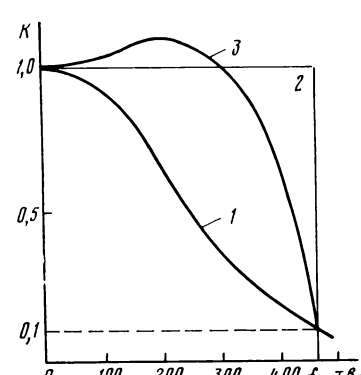


Рис. 2.3. Типичные передаточные функции трактов:
1 — без коррекции четкости; *2* — с «идеальной» четкостью; *3* — с оптимальной четкостью

нейных звеньев, поэтому связь выражается сложнее и зависит от конструкции конкретной камеры.

На рис. 2.3 показаны типичные передаточные функции трех камер с одинаковой разрешающей способностью, сильно различающихся по четкости и резкости воспроизводимого изображения. Таким образом, разрешающая способность камеры сама по себе не характеризует четкость результирующего изображения, а оптимизация передаточной функции в ограниченной полосе частот сводится к поиску компромисса между четкостью, с одной стороны, и числом и характером выбросов — с другой. Плавно спадающая кривая *1* соответствует импульсной реакции практически без выбросов, однако изображение получается «вялым», нерезким. Кривая *2* соответствует «идеальной» четкости, но мало приемлема с точки зрения величины и характера выбросов, так как импульсная реакция при этом имеет вид $\sin(kt)/kt$. Оптимальная кривая *3* обеспечивает хорошие четкость и резкость. При этом переходная импульсная характеристика имеет довольно большой выброс, однако второй и последующие выбросы практически отсутствуют.

Во многих случаях, например при работе в замкнутых телевизионных системах, от камеры требуется такая обработка сигналов, чтобы четкость и/или резкость результирующего изображения были больше, чем исходные. Иногда требуется провести предкоррекцию характеристик воспроизводящего устройства. Для этого передаточную функцию камеры изменяют так, чтобы сигналы верхних пространственных частот передавались с усилением, существенно бо́льшим номинального (до 30%). Естественно, такой сильный подъем передаточной функции заметно ухудшает воспроизведение изображений с высокой исходной четкостью, например изображения печатного текста, так как вблизи резких контуров появляются интенсивные окантовки. Поэтому для согласования характеристик камеры со свойствами передаваемых объектов желательно располагать ручной или автоматической регулировкой высоты (а иногда и частоты) этого подъема.

Для оптимальной передачи горизонтальных пространственных частот черно-белого (монохромного) изображения достаточно реализовать кривую *3*. Однако при передаче составляющих изображения с большой вертикальной пространственной частотой и сигналов цветного телевидения необходимо учитывать дополнительные факторы.

Во всех вещательных и бытовых, а также в большинстве прикладных телевизионных систем используется чересстрочная развертка. Это означает, что оптическое изображение дискретизируется с частотой 25 кад-

ров в секунду, а каждый кадр дискретизируется 575 строками активной части кадра (по 287,5 отсчета в каждом из чередующихся полей). Нецелое число отсчетов в поле означает, что в нечетных полях на левую половину изображения приходится 287, а на правую 288 отсчетов (строк); в четных полях, наоборот, 288 и 287.

Как известно, неискаженная передача сигнала посредством его дискретизации возможна только, когда наивысшая частота в его спектре не превышает половины частоты дискретизации, поскольку дискретизация сигнала означает бесконечное периодическое повторение его спектра по оси частот. При отсутствии надлежащей входной фильтрации (*предфильтрации*) вследствие частичного наложения периодизированных спектров могут возникать специфические искажения (помехи дискретизации), которые обычно лишь частично подавляются выходной фильтрацией (*постфильтрацией*).

Анализ работы телекамеры при дискретизации изображения по вертикали строками чересстрочного растра, а по времени — отдельными кадрами должен учитывать инерционность анализирующего и воспроизводящего устройств, трехмерные (по вертикали, горизонтали и времени) частотные характеристики зрения и трехмерные спектры передаваемых изображений, т. е. учитывать движение элементов и структур изображения [25]. Однако некоторые полезные выводы можно получить упрощенным анализом частного случая передачи

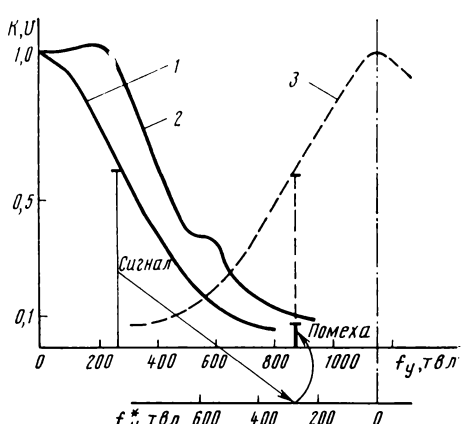


Рис. **2.4.** Дискретизация вертикальных частот изображения: *1*, *2* — передаточные функции предфильтра и постфильтра; *3* — огибающая помех дискретизации

вертикальных штриховых мир (чередующихся черных и белых горизонтальных полос).

Рис. 2.4 поясняет процесс передачи сигналов с большим значением вертикальной частоты посредством их дискретизации. Приведенные количественные соотношения уровней спектральных составляющих типичны для вещательных телекамер, снабженных двумерным апертурным корректором, и воспроизводящих устройств, содержащих черно-белые или цветные кинескопы без теневых масок. Анализ передачи сигналов вертикальных частот в масочных кинескопах требует применения сложного математического аппарата и привлечения методов теории многомерной и многократной дискретизации [25].

Передаточная функция предфильтра (кривая *1*), роль которого выполняют оптические и электронно-оптические блоки камеры, характеризует зависимость контраста пространственной структуры от частоты на этапе дискретизации. Частота дискретизации определена числом отсчетов (строк) по высоте изображения и составляет $2\times575=1150$ твл. Зеркально отраженная шкала вертикальных частот f_y^* и огибающая ближайшего из периодизированных спектров (кривая *3*) характеризуют частоты и контрасты возникающих помех дискретизации. Стрелками показано, как по частоте и контрасту сигнала определить частоту и контраст помехи. Сумма сигнала и помехи фильтруется постфильтром, роль которого выполняют электронные блоки камеры, электронно-оптические блоки воспроизводящего устройства и человеческий глаз (кривая *2*). Отношение сигнал-помеха на выходе постфильтра является достаточно полной характеристикой качества передачи сигналов вертикальных частот.

Как предфильтр, так и постфильтр ограничивают полосу вертикальных частот недостаточно резко, поэтому при передаче составляющих изображения с частотами выше 300...400 твл возникают заметные помехи. Для частот 550...600 твл уровень помех дискретизации достигает уровня основного сигнала, т. е. передать сигналы этих частот невозможно.

Кривые *2* и *3* на рис. 2.4 построены в предположении, что все отсчеты одного кадра воспринимаются глазом как одновременные. Это предположение на практике выполняется лишь приближенно, так как суммарная инерционность воспроизводящего устройства и глаза обычно недостаточна для полного подавления мерцаний с частотой 25 Гц, возникающих при воспроизведении только четных

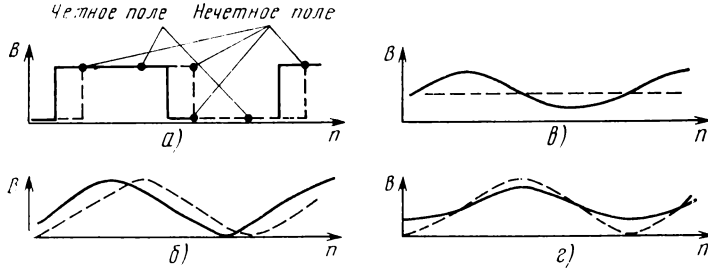


Рис. 2.5. Зависимости яркости от номера строки при передаче вертикальной штриховой миры и чересстрочной развертке:
а — для исходного изображения; *б* — для предфильтра; *в*, *г* — для изображений в нечетном и четном полях

или нечетных полей. На примере случая передачи штриховой миры в виде чередующихся горизонтальных черных и белых полос поясняется природа возникновения дополнительных искажений. На всех графиках рис. 2.5 сплошными линиями показан случай расположения осей штрихов симметрично между строками четного и нечетного полей. Фазы воспроизводимых в двух этих полях изображений вертикальной миры оказываются различными, а контраст этих изображений — пониженным, но одинаковым. Зритель наблюдает дрожание изображения миры по вертикали и понижение ее контраста. Штриховыми линиями показан случай совпадения осей штрихов со строками одного (например, четного) поля, в котором контраст получается полным. Однако в нечетном поле изображение миры превращается в изображение серого поля, т. е. полностью отсутствует, поэтому зритель наблюдает мерцание изображения с частотой 25 Гц и понижение среднего контраста. При движении миры или несовпадении ее частоты с критическим значением 287,5 твл эффекты дрожания и мерцания плавно чередуются. Дрожание и мерцание наблюдаются также на любом достаточно резком горизонтальном контуре изображения.

Указанные вредные эффекты исчезают при одновременном воспроизведении двух полей, например в воспроизводящем устройстве с блоком кадровой памяти и преобразователем развертки из чересстрочной в прогрессивную [55, 67]. Однако до настоящего времени большинство воспроизводящих устройств использует чересстрочную развертку, поэтому разработчикам камер и персоналу телецентров приходится искать компромисс между четкостью по вертикали и помехами дискретизации, т. е. передавать составляющие изображения с частотами выше 300 твл с заметно уменьшенным контрастом либо допускать наличие муаров и мерцаний.

Кодирование сигналов по системам цветного телевидения НТСЦ, ПАЛ или СЕКАМ дополнительно снижает четкость по вертикали и горизонтали.

Четкость яркостной составляющей по горизонтали снижается вследствие действия режекторных фильтров, имеющихся в кодерах и декодерах и предназначенных для ослабления перекрестных помех яркость — цветность и цветность — яркость. Центральные частоты на-

стройки фильтров равны 4,28 МГц (350 твл) в системе СЕКАМ и 4,43 МГц (360 твл) в системе ПАЛ. Необходимо отметить, что из-за относительно узкой полосы подавляемых частот резкость изображения при режекции ухудшается незначительно, а мешающее действие сигнала цветности заметно ослабляется. Поэтому даже черно-белые телевизоры высших классов снабжают такими же режекторными фильтрами, как и цветные телевизоры.

Цветовая четкость декодированного изображения определяется в первую очередь формой АЧХ электрических фильтров нижних частот, через которые пропускаются цветоразностные сигналы. В кодерах систем ПАЛ и СЕКАМ переходные характеристики этих ФНЧ являются практически безвыбросными, так как форма АЧХ близка к гауссовой. На частоте 1,3 МГц (100 твл) глубина модуляции цветоразностных сигналов (цветовой контраст) снижается на 3 дБ, а на частоте 3 МГц на 30 дБ, т. е. цветовая четкость существенно уступает яркостной, однако из-за пониженной чувствительности зрения к цветности мелких деталей субъективное качество изображения ухудшается не так сильно. При передаче вертикальных границ между насыщенными цветами в кодере СЕКАМ ограничиваются пики предыскаженных цветоразностных сигналов, что приводит к затягиванию переходной характеристики и в конечном счете появлению на изображении цветных тянущихся продолжений [59]. Подобные искажения могут быть заметно уменьшены использованием специальных корректоров (см. § 6.5), однако в большинстве камер такие корректоры отсутствуют.

Поочередная по строкам передача цветовой информации, используемая в системе СЕКАМ, дополнительно усугубляет искажения горизонтальных границ и контуров. Число строк одного «цвета» в каждом поле снижается до 143,75, т. е. каждая строка изображения передается в данном «цвете» только в одном из четырех полей. Частота цветовых мерцаний при этом составляет 12,5 Гц, амплитуда дрожания цветных деталей изображения по вертикали оказывается больше, чем при передаче черно-белого изображения той же четкости; это, естественно, повышает заметность указанных вредных эффектов.

Поэтому желательно снизить цветовую четкость по вертикали, приближая ее к цветовой четкости по горизон-

тали. Для ограничения полосы вертикальных частот цветоразностных сигналов до передискретизации их кодером СЕКАМ иногда используют эффективные, но сравнительно сложные гребенчатые предфильтры на линиях задержки (см. § 6.5). Для этой же цели используются оптические фильтры нижних частот или «красная» и «синяя» передающие трубки с пониженной разрешающей способностью (как правило, меньшего диаметра).

Для эффективной работы систем цветовой рирпроекции необходима высокая цветовая четкость как по горизонтали, так и по вертикали. По этой причине в большинстве вещательных телекамер цветовые мерцания не подавляются, что существенно снижает качество цветного изображения.

Резкое снижение цветовой и яркостной четкости, сопровождающееся муаровыми помехами (помехами дискретизации), характерно для камер, использующих штриховые и мозаичные кодирующие светофильтры для разделения цветовых составляющих изображения. Поэтому такие фильтры применяют только в бытовых и прикладных телекамерах.

Некоторые полупрофессиональные камеры имеют упрощенный (так называемый «односторонний») корректор контуров, который повышает четкость и резкость ценой фазовых искажений (односторонних выбросов справа и/или снизу от основного контура). При этом заметно снижается общее качество изображения.

Многие камеры (в частности, бытовые и прикладные) имеют одномерный (горизонтальный) корректор контуров, существенно улучшающий качество изображения, но естественно уступающий двумерному корректору.

Очень сложно оптимизировать передаточную функцию камеры для диагональных частот. Используются самые разнообразные решения — от усиления составляющих изображения с высокими диагональными частотами по сравнению с составляющими с такой же частотой, но горизонтальной или вертикальной ориентацией до полного подавления верхних диагональных частот специальными двумерными фильтрами (с целью снижения шумов и перекрестных помех яркость — цветность). По-видимому, это разнообразие вызвано слабой чувствительностью зрения к составляющим изображения с диагональными частотами, что подтверждают данные субъективных испытаний.

Сравнительно полно характеризует четкость результирующего изображения такой параметр камеры, как относительная глубина модуляции ее выходного сигнала на каких-либо фиксированных частотах, например

80% на горизонтальной частоте 400 твл и 60% на вертикальной частоте 300 твл. Наряду с этим может указываться и разрешающая способность камеры по горизонтали, например 650 твл в центре изображения. Следует еще раз подчеркнуть, что из-за обработки сигналов электронными блоками камеры теряется непосредственная связь таких ее параметров, как разрешающая способность и глубина модуляции на верхних пространственных частотах.

Во многих камерах, исходя из нежелательности подчеркивания высокочастотных составляющих шума, корректируются только сигналы от мелких деталей со сравнительно большим контрастом. При этом изображение получается своеобразным — «ретушированным», т. е. лишенным мелких деталей малого контраста. С другой стороны, в технической документации глубина модуляции обычно указывается только для деталей большого (номинального) контраста, хотя при его снижении она фактически падает в несколько раз. Указание при описании камеры относительной высоты порога шумоподавления, например 5%, позволяет правильно оценить данный эффект.

Таким образом, наиболее информативной для оценки субъективных четкости и резкости цветного изображения оказывается форма двумерной передаточной характеристики камеры в области до 300 твл. В то же время четкость и резкость по горизонтали заметно изменяются в зависимости от передачи сигналов с частотами 360...450 твл. Большое значение имеют также параметры, характеризующие нелинейные свойства апертурного корректора (в частности, высота порога шумоподавления), и параметры кодирования.

2.4. ЦВЕТОПЕРЕДАЧА

Телевизионные камеры формируют цветовой ТВ сигнал, при воспроизведении которого на экране приемного устройства необходимо получить информацию о цвете соответствующих объектов передаваемой сцены. Цвет характеризуется понятиями яркости, цветового тона и цветовой насыщенности. *Цветовой тон* и *насыщенность* характеризуют цветность светового потока. Таким образом, оценить точность цветопередачи можно с помощью двух параметров: яркости и цветности. В телевидении под характеристиками цветопередачи обычно понимают

критерии соответствия субъективно воспринимаемых яркости и цветности воспроизводимого изображения яркости и цветности передаваемого объекта. В данном параграфе рассматриваются вопросы, касающиеся передачи информации о цветности всех цветов объекта, в том числе и опорного белого, точности воспроизведения цвета в телевидении и способов оценки точности цветопередачи ТВ системы.

Множество цветностей, которое можно воспроизвести на экране телевизионного приемника, определяется спектральными характеристиками преобразователей сигнал — свет. В практике цветного телевидения цветовые параметры этих преобразователей принято характеризовать координатами цветности основных цветов стандартного (эталонного) приемника и стандартного (опорного) белого цвета, который воспроизводится на экране при подаче на входы приемника трех сигналов R, G, B равных размахов.

В качестве основных цветов приемника в СССР приняты рекомендованные Европейским радиовещательным союзом цвета со следующими цветовыми координатами: красный ($x=0{,}640$, $y=0{,}330$), зеленый ($x=0{,}290$, $y=0{,}600$), синий ($x=0{,}150$, $y=0{,}060$) в системе МКО (1931 г.) или с цветовыми координатами красного ($u=0{,}451$, $v=0{,}349$), зеленого ($u=0{,}121$, $v=0{,}374$) и синего ($u=0{,}175$, $v=0{,}105$) в системе координат МКО (1960 г.). В качестве опорного белого выбран белый цвет стандартного источника излучения D_{65} [17]. Опорный белый цвет D_{65} наблюдатель воспринимает как дневной свет. Многочисленные спектрорадиометрические измерения дневного света показали, что спектральное распределение излучения D_{65} хорошо приближается к среднему значению суммарного излучения неба и солнца при определении их спектрального состава на горизонтальной поверхности [24]. Спектральное распределение излучения источника света может быть задано координатами цветности в выбранной системе координат или соответствующей им цветовой температурой свечения абсолютно черного тела, точнее коррелированной цветовой температурой (коррелированная цветовая температура — это температура излучателя абсолютно черного тела, координаты цветности которого близки к координатам цветности излучения источника определяемого света). Опорный белый цвет D_{65} задан цветовыми координатами $x=0{,}310$, $y=0{,}316$ или коррелированной цветовой температурой 6500 К.

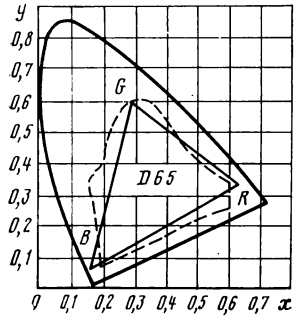
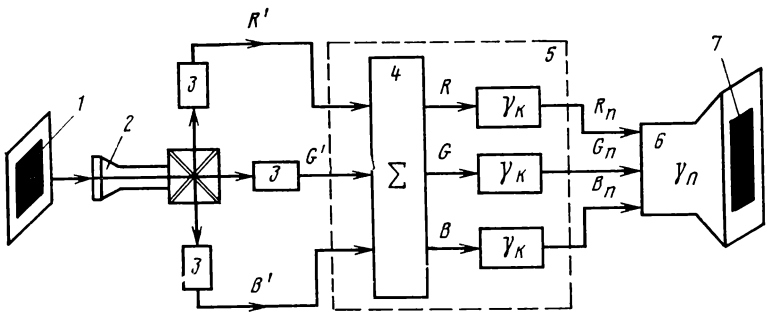


Рис. **2.6.** Диаграмма цветностей и треугольник основных цветов стандартного приемника *R*, *G*, *B*

Рис. **2.7.** Упрощенная структурная схема ТВ тракта передачи информации о цвете:

1 — передаваемый объект; *2* — оптико-механический блок камеры; *3* — преобразователь свет—сигнал; *4* — схема матричной цветокоррекции; *5* — тракт обработки видеосигнала; *6* — ТВ приемник; *7* — воспроизводимое изображение



Свечения люминофоров стандартного приемника не являются монохромными спектральными излучениями имеют меньшую цветовую насыщенность, что наглядно видно из диаграммы цветностей в системе координат МКО (1931 г.), на которой (рис. 2.6) расположен треугольник цветностей стандартного приемника, образованный его основными цветами. Площадь треугольника ограничивает область цветностей, которые можно воспроизвести на экране приемника, и, как видно из рисунка, не охватывает всю площадь диаграммы цветностей. Стремление расширить воспроизводимую область цветностей вызывает необходимость изменить цветность свечения всех люминофоров в сторону увеличения их насыщенности, однако это приводит к уменьшению эффективности светоотдачи люминофоров, снижению максимальной яркости свечения экрана и, как следствие, к снижению качества воспроизводимого изображения. Тем не менее если сравнить эту площадь с площадью, ограниченной штриховой линией на этом же рисунке (область цветностей существующих современных красителей), то можно утверждать, что на экране стандарт-

ного приемника можно воспроизвести цветность практически всех существующих объектов передаваемого изображения. Если говорить о соответствии воспроизводимой цветности цветности оригинала, то надо рассматривать весь телевизионный тракт от света и до света.

Точность воспроизведения цвета в телевидении определяется характеристиками преобразователей свет — сигнал (сигнал — свет), структурой построения, параметрами тракта обработки видеосигналов и особенностями восприятия цвета наблюдателем. Светотехнические характеристики преобразователей и схемотехническое построение тракта обработки выбирают с учетом характеристик зрительного восприятия.

На рис. 2.7 представлена упрощенная схема ТВ тракта, где световой поток от передаваемого объекта *1* проходит через оптико-механический блок камеры *2*, содержащий цветоделительную систему. Разделенные красная, зеленая и синяя составляющие светового потока попадают на три преобразователя свет — сигнал *3*, на выходах которых образуются соответственно три видеосигнала:

$$R' = a_R \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \tau_R(\lambda)\,\rho(\lambda)\,P(\lambda)\,d\lambda,$$

$$G' = a_G \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \tau_G(\lambda)\,\rho(\lambda)\,P(\lambda)\,d\lambda,$$

$$B' = a_B \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \tau_B(\lambda)\,\rho(\lambda)\,P(\lambda)\,d\lambda,$$

где a_R, a_G, a_B — коэффициенты пропорциональности; $\tau_R(\lambda)$, $\tau_G(\lambda)$, $\tau_B(\lambda)$ — спектральные характеристики чувствительности красного, зеленого и синего каналов камеры; $\rho(\lambda)$ — спектральное распределение коэффициентов отражения передаваемого объекта; $P(\lambda)$ — спектральная характеристика источника света.

Коэффициенты пропорциональности a_R, a_G, a_B выбирают такими, чтобы при освещении белой поверхности объекта передачи источником стандартного белого света D_{65} сигналы на выходах всех трех преобразователей свет — сигнал были равны между собой. При передаче объекта, цвет поверхности которого отличен от белого, уровни сигналов R, G, B будут различными. Они будут зависеть от спектральной характеристики излуче-

ния передаваемого объекта, которая определяется произведением $\rho(\lambda)P(\lambda)$, и от спектральных характеристик пропускания отдельных каналов. Число каналов и форму спектральных характеристик их пропускания выбирают для каждой камеры с учетом обеспечения необходимой точности цветопередачи при оптимальных значениях чувствительности и отношения сигнал-шум.

Для трехтрубочных камер RGB, RYB, RWB спектральные характеристики чувствительности показаны на рис. 2.8. Для сравнения на этих же рисунках штриховыми линиями нанесены идеальные спектральные характеристики [42] для цветовой системы стандартного приемника при опорном белом D_{65}.

Спектральные характеристики чувствительности каналов камеры RGB отличаются от идеальных отсутствием отрицательных участков и вторичных максимумов, что приводит к ошибкам в цветопередаче. В первых камерах цветного телевидения использовали более узкие спектральные характеристики для компенсации отсутствия отрицательных компонент, что давало некоторое улучшение цветопередачи, это применяют и сейчас в камерах прикладных ТВ систем там, где нет электронной цветокоррекции.

В камерах RYB (рис. 2.8, *б*) спектральная характеристика канала *Y* близка к стандартной кривой относительной видности, и, таким образом, в этом канале формируется яркостной сигнал. Спектральная характеристика канала B соответствует или несколько шире идеальной кривой, а в канале R она сужается. Камера RYB обеспечивает хорошую чувствительность, но вносит довольно значительные ошибки цветопередачи. Кроме того, поскольку бóльшая часть светового потока направляется в канал Y, сигналы на выходе преобразователей свет — сигнал в каналах R и B малы, что приводит к ухудшению общего отношения сигнал-шум.

Более оптимальным является выбор спектральных характеристик для камеры RWB (рис. 2.8, *в*). Для увеличения чувствительности этой камеры по сравнению с камерой RGB спектральную кривую канала W расширяют, но оставляют у́же кривой относительной видности. Это позволяет сохранить достаточным значение светового потока в каналах R и B, спектральные характеристики которых также выбирают как можно более широкими. Таким образом, камера RWB может иметь требуемую чувствительность при хорошем отношении сиг-

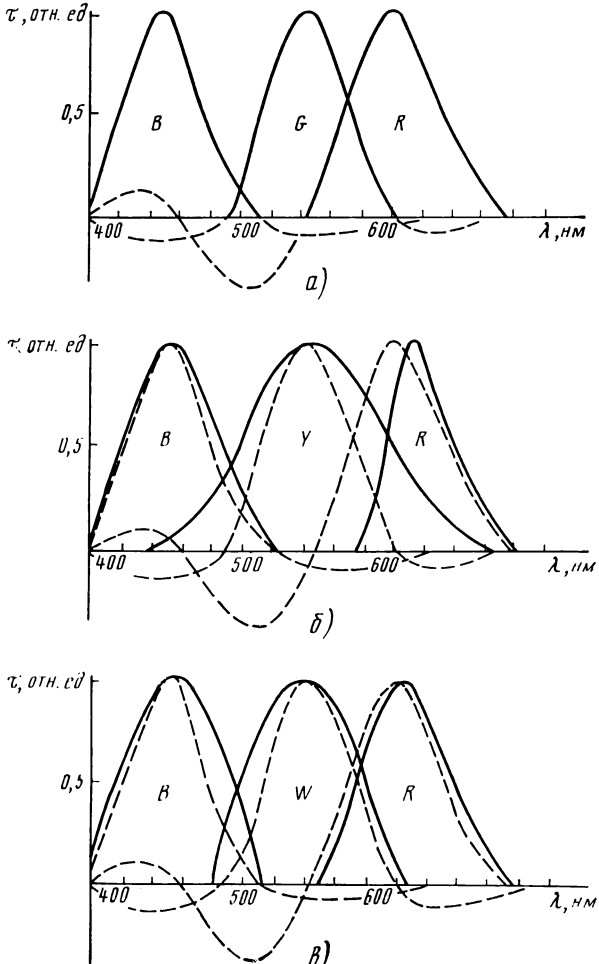


Рис. 2.8. Спектральные характеристики чувствительности камер:
а — RGB; *б* — RYB; *в* — RWB

нал-шум, при этом ошибки цветопередачи меньше, чем в камере RYB, и довольно просто могут быть скорректированы с помощью электронной матрицы цветокоррекции.

Кроме трехканального построения ТВ камер встречаются и четырехканальные. Камеры YRGB, использующие четыре преобразователя свет — сигнал, довольно широко применяли в телевизионном вещании в конце 60-х и начале 70-х годов (они обеспечивали хорошую точность совмещения цветоделенных растров). В настоящее время даже в четырехканальных камерах используют трехканальный цветоделительный блок и три преобразователя свет — сигнал, а четыре сигнала Y, R, G, B образуются путем электронного матрицирования сигналов Y, R, B или W, R, B. Применение трехканальных цветоделительных блоков позволяет получить бóльшую по сравнению с камерой YRGB чувствительность каналов R и B и улучшить отношение сигнал-шум результирующего сигнала на выходе камеры. Применение четырехканального тракта обработки видеосигналов позволяет наиболее просто осуществить некоторые виды электронной коррекции (двумерную апертурную, коррекцию формы передаточной характеристики тракта и т. д.), но необходимую точность цветопередачи здесь обеспечить довольно сложно.

Обратимся снова к структурной схеме рис. 2.7. Три сформированные и сбалансированные по белому цвету D_{65} подбором требуемых коэффициентов a_R, a_G, a_B видеосигнала проходят через матрицу цветокоррекции *4* и блоки тракта обработки видеосигнала *5*, где осуществляются различные виды коррекции сигналов, не влияющие на точность цветопередачи, за исключением гамма-коррекции, в процессе которой изменяется форма передаточной характеристики тракта, выражаемая степенной функцией $R_{\text{п}}=R^{\gamma_{\text{к}}}$, где $\gamma_{\text{к}}$ — величина обратно пропорциональная показателю степени степенной функции, аппроксимирующей модуляционную характеристику преобразователя сигнал — свет (кинескопа). Первоначально выбирали значение $\gamma_{\text{к}}=1/\gamma_{\text{п}}$, но многочисленные испытания показали, что качество изображения с точки зрения цветопередачи оценивается выше, если передаточная характеристика от света до света соответствует степенной функции с показателем степени $\gamma=$ $=1{,}2...1{,}4$. Некоторая неточность цветовоспроизведения, которая имеет место, приводит к увеличению насыщен-

ности воспроизводимого цвета, что субъективно оценивается как улучшение качества изображения. Результаты этих исследований нашли свое отражение в нормах на параметры телевизионных трактов. По ГОСТу [17] $\gamma_к = 0{,}45$. Поскольку передаточная функция анализатора света практически линейна, а модуляционная характеристика цветного кинескопа может быть аппроксимирована степенной функцией с $\gamma_п = 2{,}8$, показатель степени передаточной функции от света до света будет равен 1,26. После прохождения видеотракта сигналы $R^{\gamma_к}$, $G^{\gamma_к}$, $B^{\gamma_к}$ подаются на модулирующие электроды кинескопа приемника *6*, где в результате преобразования сигнал — свет возникают излучения трех групп люминофоров, яркость свечения которых пропорциональна размаху модулирующего сигнала:

$$L_{R(G,\,B)} = S_{R(G,\,B)}[R\ (G,\ B)]^{\gamma_к \gamma_п},$$

где $S_{R(G,\,B)}$ — крутизна преобразования; $\gamma_к$ — показатель степени передаточной функции каналов R, G, B; $\gamma_п$ — показатель степени функции, аппроксимирующей модуляционные характеристики приемника — кинескопа (для линейной системы $\gamma_п = 1/\gamma_к$).

Крутизна преобразования каждого канала численно определяется яркостью свечения люминофора соответствующего преобразователя, которая требуется для получения суммарного свечения опорного белого цвета D_{65} при $R_п = G_п = B_п$. Определив яркости свечения основных цветов приемника для цвета D_{65} и для воспроизводимого цвета, можно вычислить в выбранной системе координат координаты последнего. Таким образом, можно установить однозначную связь между цветностью оригинала, размахами видеосигналов в каналах камеры с учетом нелинейности передаточной характеристики тракта и координатами цветности воспроизводимого изображения. Эти вычисления подробно приводятся в [42].

Передача цветности будет абсолютно точной, если координаты цветности изображения будут те же, что и координаты цветности оригинала. Практически такое возможно только при передаче опорного белого цвета, при точной балансировке уровней сигналов *G*, *R*, *B* и правильной настройке воспроизводящего устройства. Координаты всех остальных воспроизводимых цветностей всегда отличаются от координат цветности оригинала. Обычно изменение цветности

$$\Delta e = [(u - u_и)^2 + (v - v_и)^2]^{1/2},$$

где u, v и $u_и$, $v_и$ — координаты цветности оригинала и изображения.

При сравнительной оценке изменения цветности для разных цветов наиболее удобно пользоваться координатами цветности равноконтрастной диаграммы цветности u, v. Поэтому при выборе колориметрических параметров камеры все расчеты проводятся с использованием этой координатной системы, причем стремятся получить наименьшие изменения координат цветности всех воспроизводимых цветов. Для оценки точности воспроизведения цветности необходимо установить, какие же значения изменения координат воспроизводимой цветности можно считать допустимыми.

В конце 40-х годов Н. Д. Нюбергом были предложены три понятия точности цветовоспроизведения. *Физическая точность* цветовоспроизведения имеет место, когда спектральные составы излучения изображения и оригинала одинаковы. Когда спектральные составы изображения и оригинала различны, но зрительное восприятие цветов оригинала и изображения одинаково, существует *физиологическая точность цветовоспроизведения.* И наконец, когда изображение оценивается зрителем как высококачественное, хотя физиологическая точность не выдержана, имеет место *психологическая точность цветовоспроизведения.*

В телевидении (так же, как в кино и полиграфии) критерием правильности цветопередачи является психологическая точность. Спектральные составы излучений изображения и оригинала здесь не могут быть одинаковыми, а физиологической точности соответствует *абсолютная колориметрическая точность,* т. е. совпадение координат цветности и яркости цветов изображения и оригинала, что практически неосуществимо. Поэтому множество экспериментальных исследований было посвящено установлению максимально допустимого значения изменения координат цветности изображения по отношению к оригиналу, при котором не нарушается психологическая точность цветовоспроизведения. Это значение является пороговым и равно 0,0038 отн. ед. равноконтрастной системы u, v. При рассмотрении телевизионного изображения зритель оценивает воспроизводимый цвет по памяти, и, хотя большинство объектов передачи оценивается им весьма критично, так как они являются хорошо знакомыми всем предметами (цвет кожи лица, рук, воды, травы, неба и т. д.), для некото-

рых цветов можно допустить бо́льшие изменения цветности, для некоторых, наоборот, меньшие.

Множество проведенных и проводимых в настоящее время исследований направлено на уточнение пороговых значений изменения цветности телевизионного изображения. На основании их установлено, что точность воспроизведения цветности хорошо знакомых всем телесных цветов должна составлять примерно одну треть порогового значения [85]. Ошибка воспроизведения цветностей насыщенных цветов может превышать это значение в 5...7 раз, особенно если изменяется цветовая насыщенность, а не цветовой тон. Данные этих исследований еще раз подтверждают правомерность использования критерия психологической точности при оценке цветопередачи той или иной телевизионной системы.

Таким образом, колориметрические расчеты ТВ систем проводят для нескольких (20—30) наиболее критичных испытательных цветов и качество цветопередачи оценивают по отличию координат цветности изображения от координат цветности оригинала для каждого из испытательных цветов. Эта методика позволяет достаточно точно провести колориметрические расчеты ТВ камер. Однако она не позволяет получить интегральное значение, оценивающее качество цветопередачи. В последние годы проводятся исследования, ставящие своей целью оценить точность цветопередачи с учетом изменений яркости воспроизводимого цвета и получить интегральную оценку качества цветопередачи ТВ системы. К таким попыткам можно отнести создание рекомендованной Международной комиссией по освещению в 1964 г. системы, координаты которой связаны с координатами системы XYZ:

$$W^* = 25Y^{1/3} - 17 \ (1 \leqslant Y \leqslant 100), \ U^* = 13W^*(u - u_0),$$

$$V^* = 13W(v - v_0),$$

где u, v — координаты цветности в системе МКО (1960 г.); u_0, v_0 — координаты цветности источника освещения стандартного белого цвета, помещенного в нулевой точке отсчета системы W*U*V*. Цветовое различие между двумя цветами $\Delta E = [(\Delta U^*)^2 + (\Delta V^*)^2 + (\Delta W^*)^2]^{1/2}$, где

$$\Delta U^* = U_1^* - U_2^*; \ \Delta V^* = V_1^* - V_2^*; \ \Delta W^* = W_1^* - W_2^*.$$

Однако ни данная формула, ни ряд других предложенных способов комбинаций шкал светлот и цветно-

стей для оценки искажений цвета не обеспечили удовлетворительного совпадения расчетных и экспериментальных данных. Окончательных рекомендаций МКО по данному вопросу пока не выработано [24].

В 1972 г. был предложен метод интегральной оценки качества цветопередачи [101]. Этот метод заключался в определении индекса цветопередачи

$$R = 100 - 4{,}6\frac{1}{8}\sum_{i=1}^{8}\Delta E_i,$$

где ΔE_i — цветовое различие между оригиналом и изображением каждого испытательного образца, вычисленное в системе W*U*V*.

При изображении хорошего качества $R \approx 80$. Однако определять индекс цветопередачи по приведенной формуле можно, если только для измерений использовать строго определенные восемь испытательных образцов цветового атласа Манселла. Данных о практическом использовании индекса цветопередачи при оценке точности цветопередачи ТВ камер нет.

Точность цветопередачи можно оценивать при передаче изображения испытательных объектов с известным спектральным распределением коэффициентов отражения, освещенных стандартным источником света, с помощью колориметра, измеряющего координаты цветности изображения непосредственно на экране кинескопа, или объективного измерения размахов видеосигналов R, G, B на выходах телекамеры с последующим пересчетом результатов измерений в координаты цветности. Довольно широко используется метод субъективных оценок. Разработанные международные рекомендации [86] по условиям наблюдений изображения при его оценивании, выбору шкал оценок и методам математической обработки результатов экспериментов позволяют получать достаточно достоверные результаты исследований.

Следует заметить, что при визуальной оценке качества цветопередачи можно обнаружить цветовые различия изображений, расчетная колориметрическая точность которых одинакова. Это объясняется тем, что при расчетах учитывают только значение изменения координат цветности, но не направление этого изменения. В то же время один модуль ошибки цветности может соответствовать как малоразличимому изменению цветовой насыщенности, так и заметному изменению

цветового тона. Такие различия особенно заметны при совместной работе двух или более телекамер. Они могут быть вызваны как неточной настройкой камер (например, неправильной установкой баланса белого), так и различием форм характеристик спектральной чувствительности телекамер. Для камер одной модели это может быть вызвано большим допуском на разброс кривых спектральной чувствительности. В разных моделях камер кривые спектральной чувствительности довольно часто различаются, что обусловлено разным подходом разработчиков камер к проблеме цветоделения светового потока.

2.5. ИСКАЖЕНИЯ ПЕРЕДАВАЕМОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Искажением считают любое нежелательное отличие воспроизводимого изображения от исходного, которое зависит от содержания изображения. В частности, многие виды искажений заметно проявляются только при передаче определенных изображений (например, испытательных таблиц). При закрытом объективе камера должна формировать сигналы, соответствующие равномерному черному полю; при передаче изображения шахматного поля изображения всех клеток должны иметь одинаковые размеры и т. п. Искажения могут вызываться либо особенностями конструкции камеры и ее отдельных блоков (такие искажения принято называть *систематическими*), либо неточностями сборки и настройки или ошибками оперативного управления (такие искажения называются *устранимыми*).

В то же время существуют искажения, свойственные определенным типам и даже только конкретным моделям камер, например нарушение чересстрочного разложения в телекамерах с двукратным сканированием кинопленки[1].

Необходимо заметить, что у современных вещательных телекамер, работающих в нормальных условиях, значения всех рассматриваемых искажений не превышают порогов субъективной заметности. Таким образом, речь будет идти только о типичных отклонениях от нормы.

Качество изображения ухудшается не только вследствие искажений, но и из-за действия шумов и помех, обычно проявляющихся в виде «снега», муаровых узо-

[1] Подобные искажения в данной книге рассматривать не будем.

ров, пятен, отдельных линий и штрихов, наложенных на изображение и не зависящих от его содержания. Шумы и помехи будут рассмотрены в § 2.6.

По визуальному восприятию различают геометрические искажения, рассовмещение цветоделенных составляющих, искажения цветопередачи (для камер черно-белого телевидения — градационные искажения), неравномерность яркости и/или цветности по полю изображения, инерционность, линейные и нелинейные искажения крупных и мелких деталей изображения.

Геометрические искажения проявляются в виде нарушения формы передаваемых объектов и вызываются погрешностями оптической системы (прежде всего, дисторсией объектива), отклонением формата растра от номинального (обычно это прямоугольник с соотношением сторон 4 : 3) и неравномерностью движения электронного пучка по мишени передающей трубки. Эти искажения часто обозначают по видоизменению формы растра: «подушка», «бочка», «трапеция», «ромб» и т. д. Необходимо помнить, что искажение прямоугольного объекта обратно по виду вызвавшему его искажению растра, т. е. «подушкообразная» форма растра приводит к «бочкообразной» форме прямоугольных объектов в воспроизводимом изображении и т. п. Напротив, искажения оптического происхождения проявляются непосредственно.

Для оценки искажения обычно измеряют смещение изображения точечного объекта от правильного положения и выражают его в процентах от высоты растра H, например не более 1% по всему полю изображения. Однако с точки зрения субъективно оцениваемого качества изображения важно знать не только абсолютные максимумы смещения отдельных точек, но и распределение ошибок по полю изображения. Дело в том, что зритель обращает внимание в основном на форму предметов в центре экрана и редко замечает искажения в углах. Поэтому искажения нормируют раздельно для трех зон изображения, разделенных концентрическими окружностями с диаметрами 0,8 и 4/3 H. У камер ТВ вещания геометрические искажения в первой (центральной) зоне обычно не превышают 0,05%, а в третьей зоне (в углах) — 0,4%. При этом, как правило, не учитывают искажения, обусловленные дисторсией объектива. Дисторсия вариообъективов может достигать 3...5%, однако обычно она проявляется в основном

в третьей зоне, поэтому субъективное ухудшение получается не очень большим. Кроме того, при изменении фокусного расстояния («масштабировании») дисторсия может менять знак — «бочка» превращается в «подушку» или наоборот, поэтому при используемых чаще всего средних фокусных расстояниях искажения оказываются минимальными.

Пространственное *статическое рассовмещение* цветоделенных составляющих изображения проявляется в виде резких цветных окантовок вблизи яркостных границ. Оно может вызываться погрешностями оптической системы (хроматическими аберрациями объектива или нестабильностью цветоделительного блока), перемещением передающих трубок в держателях вследствие температурных изменений, вибраций и т. п. Нестабильность развертывающих, фокусирующих и корректирующих магнитных полей (изменение токов в соответствующих катушках) приводит к изменению размеров, повороту и смещению цветоделенных растров, т. е. в конечном счете к рассовмещению. У некоторых моделей камер вследствие неоптимальности конструкции заметное рассовмещение может вызываться внешними магнитными полями, в том числе магнитным полем Земли. При этом рассовмещение зависит от ориентации камеры в пространстве.

Ошибки рассовмещения наиболее заметны в центральной зоне, где обычно располагают сюжетно важные детали изображения, поэтому наиболее вредны различия центровок, при которых окантовки видны по всему полю изображения, в том числе и в центре. Различия же размеров трех цветоделенных растров при совпадении центровок приводят к появлению менее заметных окантовок, ширина которых увеличивается от центра к краям экрана. При наличии геометрических искажений, не совпадающих в трех цветоделенных каналах, ошибки рассовмещения могут проявляться только в каком-либо участке изображения, например в углах.

Ошибки рассовмещения нормируют аналогично геометрическим искажениям — в процентах от высоты растра, обычно раздельно для трех зон изображения. Современные вещательные телекамеры обеспечивают точность совмещения 0,05...0,1% в центральной зоне и 0,1...0,3% во второй и третьей зонах. При этом не учитываются изменения размеров цветоделенных составляющих изображения, обусловленные изменением хроматических

аберраций при перестройке фокусного расстояния вариообъектива. При масштабировании они приводят к появлению возрастающих к краям экрана дополнительных окантовок (обычно синего цвета).

Кроме описанного выше статического рассовмещения, часто наблюдается *динамическое рассовмещение,* обусловленное изменением положения развертывающего пятна при наклонном падении электронного пучка на участки мишени с повышенным контрастом потенциального рельефа, т. е. с сильными локальными электрическими полями. Искажения в виде цветных окантовок заметно возрастают по мере приближения к краям экрана и по мере усиления контраста передаваемых объектов. Обнаружить и измерить эти искажения довольно трудно, так как они проявляются только при определенном сочетании нескольких факторов.

Систематические *искажения цветопередачи,* свойственные многим моделям телекамер, в том числе некоторым вещательным, часто обусловлены неоптимальным выбором спектральных характеристик цветоделительного блока и отсутствием матричного цветокорректора (см. § 2.4). Во внестудийных условиях искажения цветопередачи могут возникать из-за несоответствия фактических значений контраста передаваемых объектов и спектрального состава освещения значениям, предусмотренным конструкцией камеры. Эти искажения проявляются чаще всего в виде заметного изменения цветового тона, яркости и насыщенности объектов определенных цветов, независимо от их освещенности и положения на экране. Ахроматические (серые) объекты при этом не искажаются.

При неточной настройке баланса сигналов на уровнях белого и черного, а также динамического баланса, наблюдаются искажения в виде *окрашивания ахроматического объекта,* обычно зависящего от яркости, но не зависящего от положения на экране.

Типичной причиной искажений цветопередачи является также *диффузное рассеяние светового потока* в оптических узлах. При отсутствии или неточной настройке корректоров светорассеяния наблюдается изменение яркости и/или цветности темных объектов в зависимости от средней яркости кадра, особенно заметное при панорамировании, масштабировании и появлении в кадре источников света.

Специфические искажения цветопередачи возникают

при неправильном управлении оперативными регулировками камеры (прежде всего, диафрагмой объектива и регулятором общего уровня черного). Они заметны как потеря градаций яркости и нарушение насыщенности светлых объектов (например, человеческого лица) и ошибки в передаче яркости темных объектов. Эти искажения не всегда обусловлены низкой квалификацией персонала, они могут возникать и вследствие несоответствия передаваемых объектов возможностям телевизионной системы. Например, попытка передавать лицо человека на фоне карандашного рисунка неизбежно приводит к ошибкам в передаче либо лица, либо фона.

Мультипликативное искажение в виде затемнения изображения на периферии экрана обычно создается оптическими узлами камеры. Возникающая *неравномерность уровня белого* существенно возрастает при открывании диафрагмы объектива, она может достигать 20...40%; частичная компенсация этого искажения обеспечивается при использовании специальных электронных корректоров.

При попадании в кадр очень светлых объектов (например, источников света) становятся заметными искажения в виде смещенных повторных изображений объекта или отдельных деталей оптической системы (например, восьмиугольное изображение диафрагмы). Причиной этих искажений являются отражения световых лучей от внутренних поверхностей оптических узлов, поэтому направление и период повторения зависят от положения объекта по отношению к центру экрана. Другим источником повторов является нарушение согласования длинных кабелей и линий задержки, но в этих случаях период повторения по горизонтали не зависит от положения объекта.

Камерам на передающих трубках с накоплением зарядов, особенно не снабженным специальными узлами подсветки, свойственна повышенная инерционность, проявляющаяся в виде плавно спадающих *тянущихся продолжений* по траектории движения в кадре контрастных (ярких или темных) объектов. При разной инерционности трубок в цветоделенных каналах эти продолжения имеют окраску. Инерционность трубок возрастает в процессе эксплуатации, поэтому такие искажения особенно заметны при превышении гарантированного срока службы передающих трубок. После длительной передачи какого-либо неподвижного объекта, например испытательной таблицы, могут наблюдаться искажения типа *«впечатывания»*, когда на изображение наложено в виде малоконтрастного фона изображение ранее передававшегося объекта. Инерционность и «впечатывание»

становятся более заметными по мере увеличения чувствительности камеры (снижения входного светового потока и повышения усиления электронных блоков).

Попадание в кадр источников света или блестящих предметов может приводить к перегрузке передающих трубок, вследствие которой на передаваемом изображении возникают искажения в виде *размытых (обычно белых) пятен* вокруг светлого объекта. При перемещении такого объекта по траектории его движения возникает тянущееся продолжение, белое в ближней части и цветное в дальней, получившее название *«хвост кометы»*. В новых моделях камер приняты специальные меры для ослабления этого искажения; у камер предшествующих выпусков оно весьма заметно.

В электрическом тракте камеры важно сохранить неискаженной форму сигналов. Для цветного телевидения имеет значение также идентичность формы трех сигналов *R*, *G*, *B*. Искажения сигналов, вызываемые неравномерностью АЧХ каких-либо узлов или блоков, принято называть *линейными*, так как они линейно связаны с размахом искаженного сигнала. Различают низко-, средне- и высокочастотные линейные искажения, проявляющиеся соответственно в области больших (миллисекунды), средних (несколько микросекунд) и малых (доли микросекунды) интервалов времени.

Низкочастотные искажения, проявляющиеся на изображении в виде изменения средней яркости фона по обе стороны (а иногда и несколько ниже) контрастных объектов, могут вызываться нарушением работы устройств гашения и фиксации уровня, часто используемых в электронных узлах камер. Если это нарушение затрагивает все три канала R, G, B, то искажение проявляется как черно-белое; если затронуты один или два канала, то искажение становится цветным. Среднечастотные искажения в виде коротких горизонтальных тянущихся продолжений (справа от объекта) могут вызываться неточной настройкой предварительных видеоусилителей и другими причинами. Неидентичность настройки усилителей трех каналов приводит к окрашиванию тянущихся продолжений. При избыточном усилении сигнала средних частот возникают негативные тянущиеся продолжения (черные после белого, белые после черного), которые иногда называют *«пластикой»*.

Избыток усиления сигналов высоких частот приводит к появлению выбросов на переходной характеристи-

ке, т. е. *повторов* и *окантовок* справа от контура передаваемого объекта. Визуально они существенно отличаются от симметричного подчеркивания контура с помощью корректоров четкости, имеющихся в большинстве камер. Недостаток усиления верхних частот приводит к потере четкости по горизонтали, четкость по вертикали при этом сохраняется. Потеря четкости и появление тянущихся продолжений могут вызываться и неточной настройкой режимов передающих трубок. Однако в этом случае искажения проявляются иначе, например при расфокусировке они располагаются симметрично по отношению к изображению объекта и обычно одинаковы по вертикали и горизонтали.

Особый вид искажений возникает при неправильной работе цепей фиксации уровня черного. Если импульсы фиксации уровня черного попадают в интервал времени, соответствующий передаче яркого объекта, то во всех строках растра, проходящих через изображение этого объекта, уровень черного нарушается, и эти строки визуально становятся более темными. Если искажение затрагивает только один или два из трех каналов R, G, B, то на изображении слева и справа от объекта появляются темные окрашенные горизонтальные полосы.

При передаче границ насыщенных цветных объектов (например красного флага на фоне синего неба) в виде цветных тянущихся продолжений проявляются как линейные искажения в тракте передачи сигналов цветности (они отличаются от яркостных несколько большей протяженностью), так и нелинейные, возникающие только на определенных цветовых переходах и только при достаточно большой насыщенности. Некоторые из этих искажений являются систематическими, т. е. присутствуют даже при правильной настройке всех блоков. Например, цветные тянущиеся продолжения возникают при ограничении пиков сигналов в частотном модуляторе кодера СЕКАМ. В усовершенствованных моделях камер эти искажения существенно снижаются при установке специальных корректоров.

Заметные линейные *комбинационные искажения* (комбинационные помехи), проявляющиеся на изображении в виде черно-белых и цветных низкочастотных муаров и мерцаний, возникают при передаче мелких деталей и периодических структур изображения в камерах с твердотельными преобразователями свет — сигнал, а также в одно- и двухтрубочных камерах с коди-

рующими штриховыми и мозаичными светофильтрами.

При наличии в передаваемых объектах высокочастотных периодических вертикальных и диагональных структур в декодированном изображении появляются специфические искажения, обусловленные перекрестной помехой из канала яркости в канал цветности. В системах НТСЦ и ПАЛ эти искажения в виде *цветных муаров* плавно возрастают при увеличении яркостного контраста мелких деталей, а в СЕКАМ из-за использования частотной модуляции они имеют пороговый характер. До порога искажения проявляются так же, как в системах НТСЦ и ПАЛ, в виде малоконтрастных цветных муаров. При превышении порогового значения контраста высокочастотной структуры возникают хорошо заметные цветные (красно-синие) «факелы» справа от вызвавшей их появление яркостной структуры. При правильной настройке кодера СЕКАМ и остальных блоков камеры пороговый уровень не достигается и «факелы» не возникают. При неточной настройке кодера или при амплитудном ограничении полного сигнала СЕКАМ (в последующих узлах и блоках) указанные искажения возникают.

2.6. ШУМЫ И ПОМЕХИ

Помехой считают любое нежелательное изменение видеосигнала, не связанное с передаваемым изображением и обычно имеющее детерминированный характер. Помехи различают по происхождению — *внутренние* или *внешние*; по виду энергии — *электрические, электромагнитные* или *акустические*; по частотному диапазону — *статические, низкочастотные* или *высокочастотные*; по изменению параметров помехи во времени — *стационарные, периодические* и *нестационарные*; по форме паразитного сигнала — *импульсные, синусоидальные* и т. п.; по воздействию на сигнал — *аддитивные, мультипликативные* или *геометрические* (воздействующие на временное положение сигнала или пространственное положение элементов изображения). Кроме того, существуют такие искажения сигнала, которые трудно отличить от помех; их традиционно относят к помехам (перекрестные и комбинационные помехи, а также, помехи дискретизации), несмотря на то, что они возникают только при определенных параметрах передаваемого изображения и соответственно видеосигнала.

Субъективная заметность и вредное действие помех сильно изменяются в зависимости от их частоты. Эта зависимость весьма сложна, особенно сказывается на заметности помехи расположение ее частоты по отношению к гармоникам строчной и полевой частот. Например, при приближении частоты помехи к частоте цветовой поднесущей на декодированном изображении возникают хорошо заметные низкочастотные цветные узоры; в то же время на экране ЦВКУ, получающего видеосигналы *R*, *G*, *B*, минуя кодер и декодер, а также на экране черно-белого ВКУ такая помеха практически не видна. Вредное действие импульсных помех определяется не только их размахом, но и временным положением (фазой). Например, импульсная помеха в интервале строчного гашения видеосигнала сама по себе не видна. Однако при совпадении ее временного положения (вообще говоря, случайного) с импульсами фиксации уровня черного происходит хорошо заметное смещение этого уровня, а если речь идет о помехе только в одном из трех видеосигналов первичных цветов, то происходит еще более заметное окрашивание темных участков изображения.

Для большинства помех общепринятые нормы и методы объективных измерений отсутствуют. Сравнительно хорошо отработана методика измерения часто встречающихся помех от питающей сети (фоновых помех). Размах этих помех измеряют в полосе до 1 кГц (чтобы учесть все гармоники паразитного сигнала) и для трех уровней видеосигнала — черного, серого и белого (чтобы учесть аддитивную и мультипликативную составляющие). Порогом заметности фоновой и других низкочастотных помех считается уровень минус 46 дБ по отношению к номинальному размаху видеосигнала.

При оценке помехозащищенности камер, как правило, проверяют субъективную незаметность помехи на изображении для некоторых типовых условий. В частности, защищенность от электрических помех нормируют и проверяют при испытании камер в специальных помещениях, где действуют электромагнитные поля определенных напряженности и частоты.

Заметность помех сильно зависит от режимов работы камеры: повышения чувствительности, регулировки контраста и степени апертурной коррекции, изменения длины кабеля и напряжения питающей сети. Это относится как к внешним помехам, так и к внутренним. Например, дифференциальная неравномерность уровней черного (внутренняя статическая стационарная помеха) в нормальном режиме работы 0 дБ может не превышать порога субъективной заметности, но в режиме 18 дБ (с увеличением чувствительности в 8 раз) хорошо заметна в виде размытых цветных пятен на изображении.

Необходимо отметить, что телекамеры являются источниками нормируемых электромагнитных и акустических помех. В частности, мощными источниками по-

мех являются электродвигатели и редукторы приводов объективов. Создаваемые камерой помехи опасны прежде всего для ее предварительных видеоусилителей и для микрофонов (радиомикрофонов), располагаемых на камере или вблизи нее. Взаимные помехи между двумя или несколькими совместно работающими камерами встречаются очень редко.

Особым видом внутренних помех являются *флуктуационные помехи (шумы)*. В камерах на передающих трубках основными источниками шумов являются входные каскады предварительных видеоусилителей, в камерах других типов источниками шумов являются преобразователи свет — сигнал (фотоумножители и твердотельные преобразователи). Во всех камерах исходные шумы, подвергаясь той же обработке, что и видеосигналы, существенно изменяют свой спектральный состав и амплитудное распределение. Кроме того, в процессе обработки появляется сильная зависимость уровня шумов от локальных свойств изображения: например, шумы усиливаются на темных участках при коррекции контраста и на участках с мелкими деталями при коррекции четкости. Цветокоррекция приводит к перераспределению шумов между сигналами R, G, B и общему увеличению зашумленности изображения. При изменении цветовой температуры освещения номинальный ток «зеленой» передающей трубки практически не меняется, а токи «красной» и «синей» трубок изменяются в 1,5...2 раза. Шумы соответствующих усилителей при этом остаются неизменными. Таким образом, отношение сигнал-шум в «зеленом» канале остается неизменным, а в «красном» и «синем» изменяется в противоположные стороны. В канале яркости это отношение изменяется незначительно.

Из сказанного выше ясно, что измерять и нормировать флуктуационные помехи можно только при соблюдении многих условий. Достаточно просто измерить шумы на выходах предварительных видеоусилителей или (что то же самое) на выходах камеры при отключенных блоках обработки видеосигналов. Именно эти сведения о шумах обычно приводят в технической документации и проспектах предприятий-изготовителей. Однако результаты подобных измерений позволяют приближенно оценивать разные камеры, но по ним нельзя однозначно оценить зашумленность изображения при нормальной работе камеры с включенными блоками обработки. В настоящее время отсутствуют общие методики измерения шумов при включенных блоках обработки. Для отдельных видов обработки такие методики существуют. В частности, хорошо согласуются с субъективными оценками результаты измерения шумов на уровне «серого» (40% яркости), где крутизна амплитудной харак-

теристики камеры обычно близка к единице. Правильнее оценить мешающее действие шума можно, если учитывать размахи составляющих сигнала изображения на верхних пространственных частотах. Две камеры, имеющие одинаковые исходные значения отношения сигнал-шум, но разную исходную глубину модуляции (например, 20 и 50% на частоте 400 твл) формируют изображения равной четкости, резко различающиеся по субъективно оцениваемой зашумленности.

В телевидении принято оценивать уровень шумов отношением номинального размаха видеосигнала к дисперсии шума, измеренной в номинальной полосе частот. Амплитудное распределение исходного шума является нормальным, поэтому считают, что размах шумового сигнала в 6 раз больше дисперсии (пик-фактор 14...16 дБ). В результате обработки видеосигналов пик-фактор шума может дополнительно увеличиться на 4...6 дБ. Спектральная плотность исходного шума возрастает с ростом частоты приблизительно на 20 дБ за декаду, поэтому переход от измерений в полосе 5 МГц (принятых в странах, где действуют стандарты *I* и *G* [109]) к измерениям в полосе 6 МГц (принятым в СССР) дает заметную (на 1...2 дБ) разницу результатов. После обработки спектр шума часто оказывается сосредоточенным в НЧ области. Разницу в субъективном восприятии шумов разного спектрального состава в монохромном телевидении принято учитывать путем применения специальных «взвешивающих» фильтров, имитирующих характеристики зрения. Полученные таким способом значения дисперсии шума и отношения сигнал-шум называют «*взвешенными*». Обычно они отличаются от «невзвешенных» на 12...16 дБ. Однако для камер цветного телевидения «взвешивание» шумов применяется редко, так как получающиеся результаты плохо согласуются с субъективными оценками. Вместо «взвешивания» сравнительно часто применяют измерение и нормирование шумов в различных полосах частот, например 6 МГц для «зеленого» канала и 1,5 МГц для «красного» и «синего». Порогом субъективной заметности «невзвешенного» шума с треугольным спектральным распределением обычно считают уровень —48...—50 дБ.

Для борьбы с помехами в современных камерах используются различные средства. Высокочастотные и среднечастотные помехи подавляют экранированием и установкой электрических фильтров. Фоновую помеху, помимо стабилизации напряжений питания, подавляют дифференциальными усилителями и цепями фиксации

уровня черного. Для компенсации неравномерности уровней черного и белого применяют специальные генераторы корректирующих сигналов. Импульсные помехи блоков развертки подавляют стробированием (гашением) видеосигналов. Заметность шумов снижают двумерной или одномерной фильтрацией и ограничением сигналов малой амплитуды (к которым относятся и шумы). Борьба с акустическими помехами заключается в применении конструктивных мер — установке жестких оптико-механических блоков на эластичных прокладках, амортизации электродвигателей приводов объективов и т. д.

В заключение следует отметить, что для вещательных телекамер наибольшее влияние на качество изображения оказывают внутренние статические помехи (дифференциальные неравномерности уровней) и флуктуационные помехи (шумы). В отдельных случаях сказывается влияние внешних электромагнитных помех. Остальные виды помех, хотя и могут выявляться точными измерениями, как правило, не превышают порогов субъективной заметности.

2.7. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

К эксплуатационным относятся характеристики камеры, которые определяют возможности ее использования в различных условиях освещения, при разных параметрах окружающей среды (температура, влажность, градиент температуры и т. д.), механических воздействиях, длинах камерного кабеля и способах подключения камеры к другой аппаратуре. К эксплуатационным относят также массогабаритные характеристики и характеристики электропитания.

Важнейшим параметром является чувствительность камеры, т. е. ее способность обеспечивать оптимальное качество изображения при заданной освещенности объекта. Предприятия-изготовители применяют разные методы определения чувствительности. Наиболее распространено косвенное определение номинальной чувствительности камеры посредством указания значения освещенности эталонного объекта белого цвета с заданным коэффициентом отражения источником света с цветовой температурой 3200 К при относительном отверстии объектива $O = 1:4$, которое обеспечивает номинальный ток сигнала передающей трубки зеленого или яркостного канала. Иногда чувствительность указывают не для

$\ddot{О}=1:4$, а для другого значения относительного отверстия, например, 1 : 2,8 или 1 : 5.

В этих случаях при сравнении камер разных моделей значения относительного отверстия легко пересчитать в значения номинальной освещенности при $\ddot{О}_{ном}=1:4$; $E_{ном}=E(\ddot{О}/\ddot{О}_{ном})^2$, E — освещенность для данного относительного отверстия $\ddot{О}$.

В США и Японии принято определять чувствительность при коэффициенте отражения объекта 89,9%, а в остальных странах, в том числе СССР, — 60%. Иногда чувствительность определяют не по номинальному току сигнала, а по номинальному отношению сигнал-шум. Такой переход оправдан тем, что новые передающие трубки с диодным прожектором способны работать в широком диапазоне сигнальных токов и для них значение номинального тока не критично. Поэтому в новых вещательных телекамерах предусмотрен режим пониженной чувствительности, что при достаточной освещенности позволяет улучшить отношение сигнал-шум.

Большое практическое значение имеет также максимальная чувствительность камеры, определяемая посредством указания минимальной освещенности эталонного объекта при полностью открытой диафрагме (максимальном относительном отверстии объектива) и максимальном дополнительном усилении видеотракта, возможном для данной камеры (9, 12, 18 или 24 дБ).

Из параметров окружающей среды на работу камер сильнее всего влияет температура. Обычно нормируют диапазон рабочих температур, в котором гарантируется функционирование всех систем и блоков. Часто указывают разные диапазоны для камерного канала и камерной головки, работающих соответственно внутри и вне помещения. Например, для отечественной камеры КТ-320 диапазон рабочих температур для камерного канала, блока питания и пульта управления 5...35°С, а для камерной головки и видоискателя —30...+40°С. Однако это не означает, что в данном диапазоне температур все параметры камеры остаются в пределах установленных допусков без дополнительной подстройки. Обычно предприятия-изготовители гарантируют сохранение параметров в пределах допусков при изменении температуры на ±10°С от точки настройки. В первую очередь при изменении температуры нарушаются совмещение растров и цветовой баланс. Поэтому многие камеры снабжают блоками, обеспечивающими автома-

тическую (периодическую или непрерывную) подстройку этих параметров и тем самым компенсирующими вредное влияние градиента температуры, например при выходе из теплого помещения на улицу в холодное время года. При работе в условиях пониженной температуры на камерную головку надевают утеплительный чехол, что позволяет расширить диапазон рабочих температур. Нормируют также диапазон температур, в котором гарантируется исправность камеры при длительном хранении (обычно он шире диапазона рабочих температур).

Работа камеры в условиях повышенной влажности может привести к пробоям в высоковольтных цепях и ухудшению характеристик оптической системы. Особенно опасен вынос камеры из теплых влажных помещений на холод вследствие конденсации влаги. У видеокамер при этом отказывают автоподстройки лентопротяжного механизма, поэтому видеомагнитофоны часто снабжаются специальными индикаторами «Влажность». Для видеомагнитофонов и некоторых моделей камер опасна также пониженная влажность. Основным способом защиты камер от повышенной влажности является герметизация корпуса. Применяются также непроницаемые чехлы для защиты от дождя и снега. Для прикладных телекамер используют водо- и пыленепроницаемые защитные кожухи.

Как правило, нормируют предельную относительную влажность внешней среды определенной температуры, например 95% при температуре до 25°С, при которой гарантируется работоспособность камеры.

Поскольку телекамеры содержат оптические и электровакуумные устройства, они подвержены влиянию механических воздействий. Наиболее полно по этим показателям нормируют прикладные телекамеры. Например, отечественные телекамеры КТП-60 и КТП-65 обеспечивают виброустойчивость (работоспособны) при ускорении до 9,8 м/с^2 (1g) на частотах 10...35 Гц и вибропрочны (не разрушаются) при ускорении до 19,6 м/с^2 (2g) на частоте 20 Гц.

При работе во внестудийных условиях большое значение имеет максимальная длина камерного кабеля, которая определяет наибольшее удаление камеры от передвижной станции, т. е. способность камеры работать на верхних этажах зданий, при спортивных трансляциях, когда камеры расставлены по трассе соревнований, и т. д.

Существуют три основных типа кабелей — многожильный, триаксиальный и волоконно-оптический. В некоторых моделях камер используется обычный коаксиальный кабель. Максимальная длина многожильного кабеля обычно находится в пределах 300...800 м. Триаксиальный кабель диаметром 9 мм обеспечивает удаление камерной головки до 800 м, диаметром 13 мм — до 1500 м, диаметром 16 мм — 2500 м. Наибольшее удаление (до 4000 м) обеспечивают волоконно-оптические кабели. Следует отметить, что не все модели телекамер могут работать с любыми кабелями. Многие предназначены для работы только с многожильным кабелем; новые модели вещательных телекамер обычно снабжают сменными адаптерами для разных кабелей.

Способы использования выходных сигналов телекамер зависят от их типов и количества. Основным выходным сигналом ТВ камер черно-белого изображения является *полный телевизионный сигнал* [18], состоящий из сигналов яркости Y и синхронизации S. Для ТВ камер цветного изображения основным является *полный цветовой телевизионный сигнал* системы НТСЦ, ПАЛ или СЕКАМ. Параметры этих сигналов определены соответствующими международными [109] и национальными стандартами (в нашей стране [17]).

На выходе камеры размах полного сигнала должен составлять 1 В на нагрузке 75 Ом, размах яркостной составляющей 0,7 В (полярность — положительная, т. е. уровень белого выше уровня черного), размах сигнала синхронизации —0,3 В (импульсы отрицательной полярности). Наряду с этими сигналами на выходах большинства вещательных телекамер формируют сигналы основных цветов. Параметры этих сигналов не стандартизированы, однако практически они совпадают почти для всех типов камер. Большинство параметров этих сигналов (интервалы гашения, полярность и размах сигналов, полные сопротивления соединительных линий) совпадают с параметрами стандартного сигнала яркости. Сигналы R, G, B, как правило, не содержат сигнала синхронизации S (сигнал S передается по отдельной соединительной линии).

Хотя основу парка вещательных телекамер составляют трехтрубочные, однако в эксплуатации еще находятся ранее выпускавшиеся четырехтрубочные камеры (например, телекинокамера КТ-104Ц [16]), которые формируют четыре выходных сигнала Y, R, G, B, причем эти

сигналы отличаются полосой частот: сигнал Y — широкополосный, а R, G, B — узкополосные.

В последнее время появились вещательные камеры, выходными сигналами которых являются сигналы *аналоговых раздельных составляющих* (component's signals): Y, C_R, C_B, где $C_R = 0{,}712\,(R-Y)$, $C_B = 0{,}564\,(B-Y)$. Численные значения коэффициентов обеспечивают равенство размахов трех составляющих (0,7В, $\pm 0{,}35$В и $\pm 0{,}35$В соответственно), которое облегчает контроль и коммутацию этих сигналов.

Разрабатываются камеры, у которых выходными будут цифровые сигналы, соответствующие международному стандарту 4 : 2 : 2 [28]. Кроме основных выходных сигналов многие камеры формируют ряд дополнительных и контрольных, предназначенных для подачи на блоки электронной рирпроекции, управляющие входы видеомикшеров, осциллоскопы, видеомониторы и видоискатели. Номенклатура и параметры дополнительных и контрольных сигналов определяются технологическими возможностями конкретной камеры. Наибольшее число дополнительных сигналов формируют студийно-внестудийные камеры, наименьшее — видеокамеры, прикладные и бытовые телекамеры.

В некоторых моделях вещательных телекамер имеются специальные входы для подачи внешних испытательных сигналов, сигналов комбинированных изображений с основного и промежуточных выходов видеомикшера (просмотр которых позволяет оператору правильно выбрать план и расположение объектов в кадре по экрану видоискателя) и сигналов «телесуфлера», позволяющих диктору или актеру читать текст с экрана специального видеомонитора, подключенного к камере.

В большинстве моделей вещательных телекамер предусмотрены входы и выходы сигналов служебной (телефонной) связи оператора и ассистента оператора с режиссером и видеоинженером, а также входы для подключения микрофонов комментатора и узконаправленных микрофонов, закрепленных на камере. Кроме того, извне подаются сигналы индикации подключения камеры к преднаборным и программным выходам видеомикшера или сигналы индикации начала видеозаписи. Эти сигналы включают желтые, зеленые и/или красные световые индикаторы на камерной головке, видоискателе и пульте управления камерой, что помогает ориентироваться актеру, оператору и видеоинженеру.

При одновременной работе нескольких камер в составе многокамерного комплекса необходимо обеспечить их синхронизацию. Для этого на специальные входы камер от внешнего синхрогенератора подаются сигналы или команды синхронизации. Следует отметить, что сигналы служебной связи, индикации и синхронизации не стандартизированы, хотя у многих моделей камер они фактически совпадают.

С точки зрения эксплуатации камеры наиболее важными параметрами являются масса и габариты камерной головки. Обычно их указывают без учета сменных вариообъективов и видоискателей. В то же время надо учитывать, что вариообъективы большой кратности имеют массу и габариты, сравнимые с параметрами камерной головки. Для портативных камер, кроме массы и габаритов камерной головки (которые обычно указывают без учета этих характеристик объектива, но с учетом малого видоискателя), важны полные масса и габариты всего носимого комплекта, куда входят камерная головка, вариообъектив, плечевой штатив, микротелефонная гарнитура и иногда радиотелефон, аккумуляторы электропитания, видеомагнитофон или передатчик радиолинии.

Большинство телекамер питается от однофазной сети переменного тока. Потребляемая от сети мощность обычно находится в пределах 50...300 Вт и зависит от варианта комплектации камеры. Например, для камеры TTV-1525 фирмы «Томсон-ЦСФ» мощность потребления камерной головки составляет 55 Вт, камерного канала 90 Вт, т. е. суммарно 145 Вт, а при установке большого вариообъектива, приводы которого потребляют до 75 Вт, общее потребление возрастает до 220 Вт.

Портативные телекамеры могут питаться как от сети, так и от встроенных или внешних аккумуляторных батарей. При автономном питании они потребляют мощность примерно 30 Вт. Ресурс встроенных аккумуляторных батарей обычно достаточен для работы камеры в течение 1 ч. При питании камеры от аккумуляторов, встроенных в подключенный к ней видеомагнитофон, ресурс достаточен для записи целой кассеты с некоторым запасом (т. е. на 30...45 мин).

Глава 3.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ТИПЫ КАМЕР

3.1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ТИПОВАЯ СТРУКТУРА

По назначению и технологическим возможностям телекамеры классифицируют на вещательные, прикладные и бытовые.

Вещательные телекамеры:

студийные камеры, применяемые в аппаратно-студийных комплексах (АСК) и передвижных телевизионных станциях (ПТС), которые могут иметь сравнительно большие габариты и массу и отличаться высокой степенью автоматизации, наличием дополнительных сервисных систем, возможностью применения крупногабаритных вариообъективов большой кратности и обеспечивающие получение высокого качества изображения;

камеры внестудийного видеопроизводства (ВВП), применяемые в небольших двух-, трехкамерных ПТС, которые имеют сравнительно небольшие габариты и массу камерной головки и могут работать как со штатива, так и с плеча оператора и обеспечивают высокое качество изображения в разнообразных условиях работы (климатических, погодных, смешанном освещении и т. п.);

камеры видеожурналистики (ВЖ), применяемые совместно с портативными видеомагнитофонами и радиолиниями для оперативных репортажных передач и отличающиеся достаточно высоким качеством изображения, портативностью и возможностью автономной работы;

видеокамеры, представляющие собой конструктивные объединения малогабаритных камер ВЖ, кассетных записывающих видеомагнитофонов и источников питания, автономно работающие с плеча оператора и отличающиеся несколько пониженным качеством воспроизводимого изображения;

телекино- и *теледиакамеры,* применяемые, как правило, в составе АСК для передачи кинофильмов и/или диапозитивов.

Прикладные телекамеры:

визуального наблюдения и контроля;

систем учебного ТВ и телевизионных тренажеров;

систем телевизионной автоматики, обеспечивающие обнаружение объектов, измерение их параметров, идентификацию, счет и классификацию объектов.

Бытовые телекамеры, предназначены для видеосъемки с записью на кассетный видеомагнитофон и воспроизведением, как правило, в домашних условиях. Их часто объединяют с записывающим видеомагнитофоном, при этом образуется бытовая видеокамера.

Следует отметить, что, в отличие от вещательных и бытовых телекамер, чувствительных только к электромагнитным волнам видимого диапазона, прикладные телекамеры могут использовать и другие диапазоны волн. К ним относят камеры инфракрасного диапазона (камеры тепловидения), ультрафиолетового диапазона и рентгенотелевизионные установки.

Кроме того, телекамеры могут иметь различные параметры разложения изображения и полосу частот видеосигналов. Так, для применяемых в настоящее время вещательных стандартов используется разложение изображения на 625 или 525 строк и 50 или 60 полей в секунду, а для разрабатываемых перспективных систем телевидения высокой четкости (ТВЧ) — более 1000 строк. Прикладные телекамеры могут иметь параметры разложения изображения, близкие к вещательным стандартам, а также повышенное или пониженное число строк и/или кадров. В некоторых прикладных телекамерах используется однострочное разложение изображения. Бытовые телекамеры работают с вещательными стандартами разложения изображения.

По конструкции телекамеры подразделяют на одноблочные, многоблочные и модульные.

Одноблочные объединяют все узлы и системы, необходимые для формирования полного телевизионного сигнала НТСЦ, ПАЛ или СЕКАМ.

Многоблочные состоят, как минимум, из двух блоков — камерной головки с видоискателем и камерного канала (блока управления), в число блоков могут входить также пульт настройки, пульт дистанционного управления, блок питания, блок контроля, причем изменение числа этих блоков и их взаимного соединения обычно не предусматривается.

Модульные, которые при различном сочетании блоков (модулей) могут использоваться для разных применений — от бытового и прикладного до студийного вещательного (например, камера ВЖ путем замены

объектива и видоискателя и подключения пульта управления преобразуется в камеру ВВП). Такие камеры принято обозначать ВЖ/ВВП.

Телекамеры независимо от их назначения построены по сходным структурным схемам (рис. 3.1). В отдельных видах камер некоторые из показанных на рис. 3.1 систем могут отсутствовать. Например, для прикладных телекамер не нужна система служебной связи и звукового сопровождения. В некоторых камерах имеются дополнительные системы (например, система протяжки кинопленки в телекинокамерах или система уплотнения, обеспечивающая частотное и/или временное объединение и разделение сигналов для передачи по камерному кабелю).

Оптическая система *2* предназначена для преобразования светового потока, поступающего от объекта (который, в свою очередь, освещен естественным или искусственным источником света), в один или несколько световых потоков для создания одного или нескольких (цветоделенных) изображений на светочувствительных поверхностях преобразователей свет — сигнал.

Система преобразования свет — сигнал *3* преобразует распределения освещенностей светочувствительных

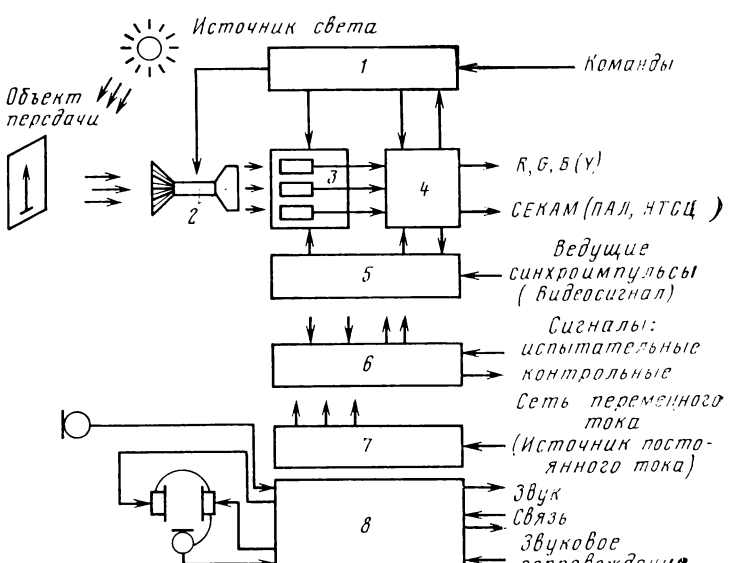


Рис. 3.1. Структурная схема типичной передающей камеры

поверхностей в электрические сигналы (видеосигналы) по определенному закону анализа (развертки) изображения.

Система обработки видеосигналов *4*, предназначена для:

коррекции искажений, вносимых оптической системой и системой преобразования свет — сигнал, вследствие отклонения их характеристик от идеальных;

преобразования сигналов с целью изменения визуального восприятия или выделения определенных деталей и участков изображения (например, для повышения контраста объектов, компенсации цветовой температуры источника света и т. п.);

преобразования сигналов с целью обеспечения возможности их использования в последующем в линиях связи, коммутаторах, видеомагнитофонах и т. д. (например, кодирование по одной из систем цветного телевидения).

Система синхронизации *5* обеспечивает временно́е согласование функционирования всех систем и блоков телекамеры путем обмена синхросигналами, командами и синхроимпульсами, а также при работе камеры совместно с внешними устройствами, в том числе при совместной работе нескольких телекамер.

Система контроля и индикации *6* предназначена для обеспечения визуального и осциллографического контроля состояния камеры и параметров формируемых ею видеосигналов, а также настройки камеры и диагностики неисправностей.

Система управления *1* обеспечивает формирование в автоматическом режиме или преобразование в ручном режиме команд и управляющих сигналов для:

регулирования параметров отдельных систем камеры в процессе передачи по желанию оператора или при изменении условий передачи (например, диафрагмирования при изменении освещенности или изменения соотношения коэффициентов усиления цветоделенных видеосигналов при изменении цветовой температуры освещения);

поддержания параметров камеры при ее работе в пределах установленных допусков;

настройки камеры и диагностики неисправностей.

Система электропитания *7* обеспечивает формирование разных напряжений (как правило, стабилизированных), необходимых для работы отдельных систем ка-

меры, из напряжения сети переменного тока или автономного источника постоянного тока.

Система звукового сопровождения *8* и служебной связи обеспечивает следующие функции:

двустороннюю (или многостороннюю) речевую и командную связь оператора камеры с другими творческими и техническими работниками, участвующими в передаче;

формирование звукового сигнала (сигналов) с использованием микрофона, установленного на камере, и/или микрофона комментатора.

прослушивание оператором сигнала звукового сопровождения формируемой передачи с целью улучшения координации его действий с действиями других участников передачи.

3.2. СТУДИЙНЫЕ КАМЕРЫ И КАМЕРЫ ВНЕСТУДИЙНОГО ВИДЕОПРОИЗВОДСТВА

Общие сведения. Для студийных камер можно выделить следующие отличительные особенности: наиболее высокое качество изображения, обусловленное применением сложных вариообъективов с большой кратностью изменения фокусных расстояний при сравнительно малых искажениях, использованием передающих трубок большого диаметра и сложных систем обработки видосигналов, автоматической настройкой и коррекцией искажений;

большие технологические возможности, обусловленные расширенным набором входных и выходных видео- и звуковых сигналов (основных, контрольных связных, просмотровых, сигналов телесуфлера и т. д.), возможностью ручного и автоматического управления большим числом параметров в процессе передачи и автоматического управления в составе многокамерных комплексов;

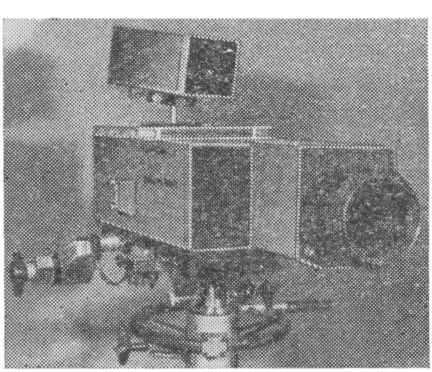


Рис. **3.2.** Студийная телекамера КТ-132

сравнительно большие габаритные размеры, примерно 500×400×400 мм и масса 25...40 кг (без вариообъектива и видоискателя), позволяющие, однако, свободно переносить камеру на значительные расстояния, поднимать по лестницам и т. д. (поэтому иногда эти камеры называют «студийно-внестудийными» — Studio/Outside Broadcasting).

Телекамеры КТ-132 (рис. 3.2) составляют в настоящее время основу парка студийных камер на телецентрах нашей страны. В комплект камеры [57] входят камерная головка КТ-132, блок камерного канала БКК-1014, блок питания БП-459 и панель дистанционного управления ПР-172.

Камера выполнена по классической структурной схеме (см. рис. 3.1) и содержит все основные системы, указанные в § 3.1. Камерная головка КТ-132 построена по трехтрубочной схеме на 30-мм плюмбиконах и содержит призменный цветоделительный блок с дихроическими зеркалами, разделяющими световой поток на красную R, псевдояркостную W и синюю B составляющие. Предусмотрено подключение вариообъективов двух типов: 10-кратного «Радуга-М» с диапазоном фокусных расстояний 21...210 мм (для применения в студиях) и 20-кратного «Сокол-М» с диапазоном 29,5...590 мм (для применения в ПТС). Имеются нейтральные и цветные светофильтры. Для настройки камеры используют встроенный диапроектор. В камерной головке размещены предварительные видеоусилители, генераторы разверток и корректирующих сигналов, блоки синхронизации, питания передающих трубок и дистанционного управления. Головка соединяется с камерным каналом облегченным кабелем длиной до 1000 м, содержащим три коаксиальные пары и три обычные жилы. Снижение числа жил оказалось возможным благодаря применению системы частотного уплотнения. При этом в одной жиле от канала к головке передается напряжение управления диафрагмой объектива, а по двум другим — напряжение питания 100 В. По одной коаксиальной паре передается из камеры в канал сигнал W с введенными в него синхроимпульсами, по второй — сигнал R, а в обратном направлении (из канала в камеру) на несущей 12 МГц — уплотненная по времени смесь сигналов синхронизации, служебной связи и управления, по третьей — видеосигнал B и сигнал служебной связи на несущей 8,14 МГц, а в обратном направлении — видеосигнал для видоискателя на несущей 20 МГц.

На камерной головке установлен видоискатель с диагональю экрана кинескопа 16 см.

В камерном канале в основном обрабатываются видеосигналы (коррекция контраста, четкости, цветопередачи) и формируются управляющие сигналы и команды. Отработка команд управления производится мотор-потенциометрами и мотор-вариометрами, которые представляют собой механическое сочленение малогабаритного электродвигателя с потенциометром или катушкой переменной индуктивности. Они размещены как в камерной головке, так и в камерном канале. Предусмотрены автоматические настройки балансов черного и белого и совмещение растров по размерам и центровкам с использованием испытательного изображения. Кроме того, предусмотрена автоматическая коррекция центровок в процессе передачи с использованием яркостных границ передаваемого изображения.

Номинальная освещенность объекта, лк (при $O=1:4$)	1000
Минимальная освещенность, лк	100
Отношение сигнал-шум на выходе канала яркости, дБ	44
Разрешающая способность по горизонтали изображения, твл	
в центре	550
в углах	450
Глубина модуляции на отметке 400 твл, %, не менее	45
Установочная точность совмещения растров, %:	
в круге диаметром 0,8 H (H — высота изображения)	0,05
в круге диаметром L (L — ширина изображения)	0,2
в остальной части растра	0,4
Геометрические искажения растров передающих трубок по всему полю изображения (без учета дисторсии объектива), %, не более	1
Масса камерной головки (без объектива), кг	43
Потребляемая мощность, В·А	510

Отечественная студийная телекамера КТ-178 (см. рис. 1.10), разработанная в 1984—1985 гг., имеет лучшие параметры и технологические возможности по сравнению со своей предшественницей — телекамерой КТ-132. В ней вместо 30-мм применены 25-мм плюмбиконы (глетиконы) с диодным прожектором, что позволило увеличить динамический диапазон, глубину модуляции, отношение сигнал-шум и снизить массу камерной головки, ее габариты и потребляемую камерой мощность.

Камера КТ-178 с блоком питания БП-878, блоком камерного канала БКК-1062 и панелями местного

(ПР-241) и дистанционного (ПР-242) управления образуют камерную систему КД-1 [45]. Предусмотрена ее работа как в студиях, так и в ПТС, поэтому она может комплектоваться как многожильным камерным кабелем длиной до 300 м, так и триаксиальным длиной до 1000 м. Можно подключать к камере вариообъективы двух типов: ОЦТ 35×13П с 35-кратным изменением фокусного расстояния или ОЦТ 10×14 с 10-кратным изменением.

Полоса частот сигналов в каналах R и B триаксиальной системы уплотнения расширена до 3 МГц, что обеспечивает хорошее качество селекции силуэтного сигнала при последующей рирпроекции. Можно передавать сигналы звукового сопровождения (комментатора) от камеры к блоку камерного канала. Матричный цветокорректор имеет два набора коэффициентов: для цветовых температур 3200 или 4800 К, что расширяет возможности применения камеры. В камерный канал введен узел компрессии белого, улучшающий качество изображения при высоком контрасте передаваемой сцены.

В телекамере КТ-178 имеются автоматические регулировки токов лучей, диафрагмы объектива, баланса черного и белого, совмещения растров. Исходными для системы автоматической настройки являются сигналы *R*, *G*, *B*, которые поступают на анализатор уровней, где вырабатываются сигналы рассогласования. Затем они через блок формирования поступают в цифровое запоминающее устройство (ЗУ) с автономным электропитанием. Информация, хранящаяся в ЗУ, непрерывно считывается и преобразуется в аналоговые управляющие сигналы. При автоматической настройке совмещения используются треугольные элементы испытательной таблицы 0373, которая может проецироваться на мишени передающих трубок либо через объектив, либо с помощью встроенного диапроектора.

Для автоматической регулировки диафрагмы используется информация детектора средних (по полю изображения) значений видеосигнала и пикового детектора, измеряющего сигнал в центральной зоне растра, ограниченной окружностью. Все сигналы управления поступают в камерную головку КТ-178 по камерному кабелю в цифровой форме; внутренняя восьмиразрядная шина данных функционирует совместно с микропроцессором К580.

В телекамере КТ-178 имеются автоматические регулировки тока луча и балансов белого и черного, а также предусмотрена возможность дистанционного автоматического управления параметрами во время работы камеры.

Освещенность объекта, лк	
номинальная (при $\ddot{О}=1:4$)	1600
минимальная	200
Отношение сигнал-шум на выходе канала яркости, дБ	52
Глубина модуляции на отметке 400 твл, %, не менее	50
Установочная точность совмещения растров, %	
в круге диаметром $0{,}8H$	0,07
в круге диаметром L	0,2
в остальной части растра	0,3
Масса камерной головки (без объектива), кг	32,8
Потребляемая мощность, В·А	400

В последнее время в СССР и за рубежом разработаны студийно-внестудийные телекамеры нового поколения, сочетающие последние достижения в области обработки сигналов с преимуществами цифровых систем управления на основе микропроцессоров. К ним относятся отечественная телекамера КТ-178 и некоторые модели современных зарубежных камер.

Камера BVP-360P (Япония) по триаксиальному (с двойной коаксиальной оплеткой) или многожильному кабелю может подключаться к блоку управления CCU-360P, к которому, в свою очередь, можно подключать пульт дистанционного управления и/или пульт централизованной настройки (рис. 3.3). В то же время при установке в камеру адаптера сетевого питания ее можно подключать в пульт дистанционного управления и/или пульт централизованной настройки (рис. 3.3). В то же время при установке в камеру адаптера сетевого питания ее можно эксплуатировать без каких-либо дополнительных блоков (можно подключать упрощенный пульт управления), например для записи полного ТВ сигнала ПАЛ на видеомагнитофон. Имеется три

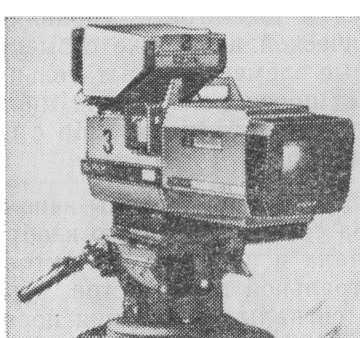


Рис. 3.3. Студийная телекамера BVP-360P фирмы «Сони»

варианта пульта управления с разными наборами функций: полным — для создания художественных передач, сокращенным — для внестудийного видеопроизводства, минимальным — для обычных студийных передач.

Обеспечено оперативное управление такими параметрами, которые в предшествующих моделях регулировались только при настройке камеры. В частности, наряду с общим уровнем черного в широких пределах можно регулировать контраст; кроме регулировки степени апертурной коррекции введена регулировка оконтуривания (внутриполосного подъема АЧХ); можно регулировать раздельно по каналам коррекцию светорассеяния, что позволяет имитировать «подкраску» изображения при попадании в кадр источников света и т. п.

До восьми камер можно одновременно настраивать с помощью пульта настройки MSU-360P. Если одну из камер принять за образец, параметры остальных камер можно подстроить к ее параметрам. Предусмотрено четыре типа файлов: для восьми вариантов настройки; для 64 различных сюжетов; для двух вариантов цветопередачи; для 16 различных объективов. Кроме автоматической настройки обеспечена автоматическая компенсация в реальном масштабе времени ошибок совмещения и цветового баланса, вызываемых включением экстендеров, изменением фокусного расстояния и фокусировки объектива. Предусмотрено пять режимов автоматической настройки, отличающихся полнотой охвата и быстродействием. Настройка обычно производится по встроенному диапроектору.

Числовые значения регулируемых параметров отображаются индикаторами на жидких кристаллах. Индикатор пульта MSU-360P обеспечивает вывод четырех строк по 20 символов.

В камере использованы три 18-мм плюмбикона (или сатикона) со смешанным управлением, уменьшенной выходной емкостью и диодным прожектором.

Освещенность объекта (при использовании плюмбиконов), лк	
номинальная (при $\ddot{O}=1:4$)	1600
минимальная	10
Отношение сигнал-шум на выходе канала яркости, дБ	58
Разрешающая способность по горизонтали в центре, твл	700
Установочная точность совмещения растров, %	
в круге диаметром $0{,}8H$	0,05
в круге диаметром L	0,1
в остальной части растра	0,15

Геометрические искажения растров по всему полю изображения, %, не более 1
Масса камерной головки (без объектива), кг 29

Технологические возможности камеры определены расширенным набором входных и выходных сигналов, в числе которых шесть звуковых: два основных, два контрольных и два связных; девять видеосигналов: основные — сигнал ПАЛ и сигналы *R*, *G*, *B* (с возможностью переключения на *Y*, *B*—*Y* и *R*—*Y*), контрольные — для осциллографа и видеомонитора, два просмотровых сигнала и один сигнал телесуфлера, шесть импульсных и вспомогательных сигналов.

Камера КСМ-125 (ФРГ) массой 30 кг выполнена на трех 25-мм плюмбиконах с диодным прожектором и малой выходной емкостью, что позволило обеспечить отношение сигнал-шум 56 дБ при глубине модуляции 60% на частоте 400 твл (без апертурной коррекции). Сигнал апертурной коррекции формируется из сигнала зеленого канала, но при передаче красных или синих деталей он автоматически заменяется на сигналы соответствующих каналов, что позволяет во всех случаях обеспечить хорошую четкость без ухудшения отношения сигнал-шум. Камера снабжена компрессором белого, автоматически адаптирующимся к распределению уровней яркости объекта, что позволяет передавать изображения с максимальной яркостью до 400% в пределах номинального диапазона сигнала 0...100%.

Предусмотрена автоматическая настройка перед началом передачи, автоматическое управление в процессе передачи и автоматическая компенсация ошибок совмещения, вызываемых изменением хроматических искажений при регулировании фокусного расстояния и фокусировки объектива. Можно применять любой объектив, но снабженный диапроектором со специальным диапозитивом. При этом ошибки совмещения, вносимые объективом, снижаются втрое. Особенностью камеры КСМ-125 является наличие режима «минус 3 дБ», в котором чувствительность камеры снижают (при достаточно высокой освещенности) для улучшения отношения сигнал-шум.

Камера TTV-1525C (Франция) массой 35 кг на 25-мм плюмбиконах имеет характерные особенности: деление изображения на 182 зоны при автоматической коррекции совмещения и анализ 8000 точек изображения при автоматической коррекции равномерности уров-

ней черного и белого, а также наличие сменного 18-см цветного видоискателя, работающего по сигналу СЕКАМ.

Следует отметить, что 30-мм плюмбиконы продолжают применять в студийных камерах, в том числе новейших моделей. В частности, в камере LDK-6 (Нидерланды) массой 39 кг предусмотрена возможность использования как 25-мм, так и 30-мм плюмбиконов, а в камере SK-110 (Япония) — только 30-мм плюмбиконов с диодным прожектором и малой выходной емкостью.

Камеры SK-110A и SK-110D массой по 40 кг имеют широкий набор автоматических регулировок, но несколько различаются конфигурацией системы управления. В камерах этих моделей на экран видоискателя можно выводить буквенно-цифровую информацию о значениях параметров и состоянии камеры. Большинство новых моделей студийных камер имеют встроенные системы диагностики неисправностей.

Как было отмечено в § 3.1, кроме модульных телекамер ВЖ/ВВП, которые в случае применения для ВЖ используются как автономные, а для ВВП — как неавтономные, в современном ТВ вещании применяют и специализированные неавтономные телекамеры ВВП, предназначенные для установки в ПТС или в небольших передвижных репортажных ТВ станциях (ПРТС) или на других подвижных транспортных средствах. К ним относятся отечественные камеры КТР-308 и КТ-320, а также TTV-1525 (Франция), Mark-IXP (Великобритания) и др. Выпуск и применение камер ВВП обусловлены тем обстоятельством, что в ВЖ все более широко применяют видеокамеры, а для ВВП нужны телекамеры с более высоким качеством изображения и большими технологическими возможностями.

Основное отличие телекамер ВВП от телекамер ВЖ и видеокамер — отдельный блок камерного канала, расположенный в транспортном средстве. Они обеспечивают высокое качество изображения, близкое к создаваемому студийными камерами. От автономных телекамер они отличаются большей продолжительностью непрерывной работы, наличием оперативных дистанционных регулировок и средств технического контроля, что позволяет улучшить качество изображения и создает большие удобства управления. От студийных телекамер камеры ВВП отличаются небольшими габаритами и массой камерной головки, меньшим потреблением энергии, а также возможностью работы с плеча оператора.

Телекамеры ВВП, в отличие от телекамер ВЖ и видеокамер, используются не только для внестудийных передач репортажного характера, но и для длительных, заранее планируемых передач, а также для подготовки фрагментов (вставок) для студийных передач по заранее подготовленному сценарию.

Телекамера КТР-308 [13] состоит из камерной головки, камерного канала, блока питания и пульта дистанционного управления (см. рис. 1.6). Камера имеет сменные 4-см или 16-мм видоискатели. Камерная головка соединяется с камерным каналом многожильным кабелем длиной до 200 м.

Частотное уплотнение на частоте 25 МГц используют для передачи сигнала от камерного канала на видоискатель, временное уплотнение — для передачи информации о фазах строчной и кадровой разверток во время гасящих импульсов.

При работе в составе ПРТС формируемые камерой сигналы *R*, *G*, *B* подают на вход микшера ПРТС, а источником ведущих импульсов строк и полей является синхрогенератор ПРТС. Система синхронизации камеры преобразует импульсы и обеспечивает фазирование камерной головки с камерным каналом и камерного канала с микшером ПРТС.

В камерном канале предусмотрена возможность установки дополнительных плат кодера СЕКАМ. В этом случае выходным сигналом камеры является полный ТВ сигнал СЕКАМ.

Для оперативной проверки и настройки видеотракта в камерном канале предусмотрены вводы внутреннего и внешнего испытательных сигналов.

Камеру КТР-308 подключают к системе служебной связи ПТС. Выходные сигналы дублированы, что позволяет подключить дополнительное или контрольное оборудование. Камера имеет развитую систему контроля и индикации, которая обеспечивает видеоинженера и оператора необходимой информацией при оперативной регулировке перед передачей, а также при регламентных работах.

Камеру КРТ-308 можно использовать в двух вариантах комплектации в зависимости от конкретных условий работы. Для этого к камерной головке подключают соответствующие сменные блоки, а камерный канал, блоки питания и пульт дистанционного управления используют в обоих вариантах. В носимом варианте ис-

пользуют плечевой штатив. К камерной головке подключаются 4-см видоискатель и микротелефонная гарнитура, на левый головной телефон которой подается смесь сигналов служебной связи, звукового сопровождения. На видоискатель могут подаваться видеосигнал от камеры, сигнал программы или преднабора. В варианте работы с легким штативом, используемом при создании длительных, заранее планируемых информационных передач, к камерной головке подключают 16-см видоискатель и микротелефонную гарнитуру, на левый головной телефон которой подают сигнал служебной связи, а на правый — сигнал звукового сопровождения, что расширяет технологические возможности оператора и режиссера. В этом варианте на одной рукоятке штатива закрепляют ручку управления приводом изменения фокусного расстояния и выбором программы на видоискатель, а на другой — ручку управления фокусировкой объектива, связанную с объективом гибким валом.

Оптический тракт камеры КТР-308 построен по трехканальной схеме с призменным цветоделительным блоком и дихроическими зеркалами. Используется объектив ОЦТ6×13 с 6-кратным изменением фокусного расстояния и относительным отверстием $O = 1:2{,}2$, присоединяемый непосредственно к корпусу цветоделительного блока байонетным креплением. При проверке и настройке камеры вместо объектива можно подключать компактный диапроектор.

Между объективом и цветоделительным блоком установлены диски с нейтральными и цветными светофильтрами, которые позволяют расширить рабочие диапазоны освещенности и цветовых температур. Одно из положений дисков соответствует сквозному отверстию (для чистки входной поверхности призменного блока), в другом световой поток полностью перекрывается (для настройки уровней черного и коррекции их неравномерностей).

В камере КРТ-308 используют три 25-мм плюмбикона с внутренними световодами для подсветки (светового смещения) их мишеней, которая необходима для уменьшения инерционности трубок. Источниками подсветки являются три раздельно регулируемые по яркости лампы накаливания, установленные на панелях передающих трубок.

Для обеспечения высококачественной цветопередачи в тракт обработки сигнала введена матрица цветокор-

рекции, действующая в диапазоне цветовых температур 3000....5000 К. При больших значениях цветовых температур применяют желтые светофильтры или специальные регуляторы цветового тона.

Приблизительное соответствие яркостей объекта и его изображения, необходимое для правильной цветопередачи, обеспечивается в камере КТР-308 определенной пропорцией псевдояркостного и красного сигналов (85 и 15%), причем складываются сигналы до гамма-коррекции. Синяя составляющая, слабо влияющая на уровни сигнала яркости, не используется. Она составляет приблизительно 10% идеального выходного сигнала, что соответствует 2,5% на входе гамма-корректора канала яркости, т. е. примерно такая же, что и технологические погрешности цветоделительного блока. Примененный способ цветопередачи обеспечивает оптимальную яркость наиболее критичных (близких к красному) цветов и в то же время позволяет сохранить высокие четкость и отношение сигнал-шум исходного псевдояркостного сигнала.

Основными недостатками телекамеры КТР-308 являются большая масса камерной головки (11,5 кг с 4-см видоискателем) и малая кратность изменения фокусного расстояния 6-кратного вариообъектива.

Телекамера КТ-320 является модернизацией КТР-308. В ней используются 10-кратный вариообъектив и 18-мм плюмбиконы с диодным прожектором, что позволило существенно снизить массу камерной головки. Кроме того, усовершенствованы системы управления, контроля и индикации. Вместо автоматического управления уровнем черного (система АРЧ) применена более эффективная система автоматической регулировки контраста (АРК), обеспечивающая поддержание уровней сигнала яркости с точностью не хуже ±5% в диапазоне средних яркостей изображения 20...80% по отношению к номинальному значению. Предусмотрена автоматическая регулировка тока лучей передающих трубок (АРТЛ) в диапазоне до 800% от номинального значения освещенности мишеней передающих трубок. Имеется специальный блок осциллографического контроля. Предусмотрено полное перекрытие светового потока в конце рабочего хода диафрагмы объектива, что ускоряет и облегчает настройку уровней черного.

Увеличение номинальной освещенности на объекте до 2400 лк при $O=1:4$ по сравнению с 1600 лк для

телекамеры КТР-308 связано с разными размерами передающих трубок.

Это компенсируется тем, что вариообъектив телекамеры КТ-320 имеет существенно бóльшую светосилу при полностью открытой диафрагме ($\ddot{О}=1:1{,}8$), чем вариообъектив телекамеры КТР-308 ($\ddot{О}=1:2{,}2$). Поэтому минимальная освещенность на объекте для обеих телекамер одинакова. Однако при одинаковом относительном отверстии чувствительность телекамеры КТ-320 из-за меньших передающих трубок ниже, чем телекамеры КТР-308. По этой же причине камера КТ-320 обеспечивает меньшую глубину модуляции на частоте 5 МГц (30% по сравнению с 40% для КТР-308).

Телекамера TTV-1525 [97] сконструирована для использования в трех вариантах: носимом, с легким и тяжелым штативами (рис. 3.4). Переход от одного варианта к другому осуществляется подключением сменных блоков к базовой камерной головке. Камерный канал, пульты регулировки и дистанционного управления и основной блок питания используются во всех вариантах.

Носимый вариант предусматривает подключение 4-см видоискателя, плечевого штатива, поясного упора и легкого вариообъектива. Общая масса носимого комп-

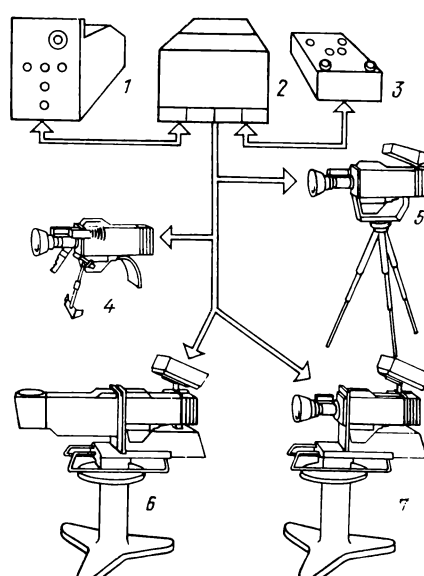


Рис. **3.4.** Телекамера TTV-1525 фирмы «Томсон-ЦСФ»:

1 — пульт дистанционной настройки; *2* — камерный канал; *3* — панель управления; *4* — носимая камерная головка с плечевым штативом; *5* — камерная головка на легком штативе; *6* — камерная головка на студийном штативе с большим вариообъективом; *7* — камерная головка на студийном штативе с малым вариообъективом

лекта 12,3 кг. Вариант с легким штативом используется для сравнительно простых передач. В этом случае устанавливаются 4-см или 11-см видоискатели и вариообъективы с бóльшей массой, чем при носимом варианте. Вариант с тяжелым штативом применяется для сложных внестудийных передач или в студии. При этом под камерной головкой устанавливают дополнительный блок-основание, обеспечивающий использование тяжелых высококачественных объективов. В этом варианте используются 11-см или 17-см видоискатели, питание которых осуществляется от преобразователя, размещенного в блоке основания.

Характерной особенностью телекамеры TTV-1525 является смешанный набор передающих трубок; 25-мм леддикон в псевдояркостном (зеленом) канале и 18-мм плюмбиконы в синем и красном каналах. Все передающие трубки с диодными прожекторами. Смешанный набор передающих трубок обусловил введение в призменный цветоделительный блок специальных объективов сжатия формата от 25 до 18 мм для синего и красного каналов. Для 25-мм трубок используется внутренний (встроенный) источник светового смещения, для 18-мм трубок — внешние светодиоды. В камере имеются нейтральные и цветные светофильтры и встроенный диапроектор. Цветокоррекция охватывает диапазон цветовых температур 2500...10 000 К.

Особенностью телекамеры TTV-1525 является также большой диапазон регулировки усиления в зависимости от условий передачи — восемь значений общего усиления от —9 до +12 дБ (ступенями через 3 дБ) и +18 дБ для экстремальных условий передачи.

В камерном канале предусмотрено несколько видов обработки сигналов изображения: коррекция четкости на выходах цепей цветокоррекции, коррекция контуров на выходах гамма-корректоров, коррекция неравномерности белого во всех трех каналах, гамма-коррекция, ограничение уровня белого, цветокоррекция. Предусмотрена возможность удаления камерной головки от камерного канала до 1500 м. Предусмотрены автоматические регулировки диафрагмы, баланса белого в процессе передачи и автоматические настройки уровней черного, серого и белого, коррекции светорассеяния, центровок, размеров и линейности по горизонтали и вертикали (для совмещения растров) перед передачей с использованием диапроектора.

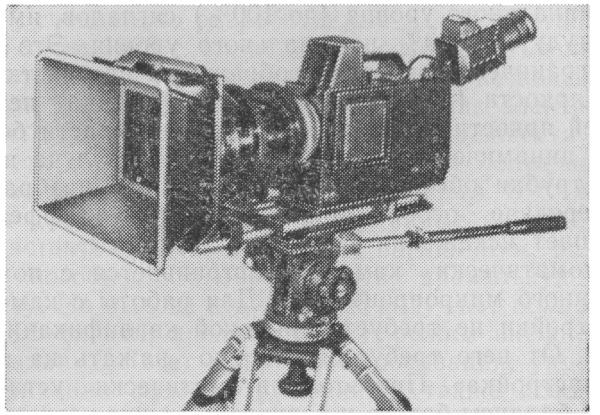


Рис. **3.5.** Электронная кинематографическая камера (кинотелекамера) ЕС-35 фирмы «Икэгами»

Специализированная телекамера ЕС-35 (Япония) представляет собой кинотелекамеру (электронная кинематографическая камера) [64, 76]. Внешне она похожа на 35-мм кинокамеру (рис. 3.5) и сконструирована как ее электронный аналог. Камера ЕС-35 предназначена для однокамерной видеосъемки художественных фильмов. Она должна обеспечивать результирующее изображение, приближающееся по качеству к киноизображению на 35-мм пленке, иметь эксплуатационные возможности 35-мм кинокамеры и быть привычной для кинооператоров.

Как видно из рис. 3.5, камера может устанавливаться на треноге, имеет быстро разъединяющийся держатель. Масса камеры 8 кг, что позволяет держать ее в руках. Камера ЕС-35, как и ее кинематографические аналоги, имеет устройство блуждающей маски, набор сменных объективов (в который входят вариообъектив и несколько объективов с постоянным фокусным расстоянием) и видоискатель кинокамерного типа. Основное ее отличие от кинокамеры и существенное преимущество заключаются в том, что она связана кабелем с видеомагнитофоном, что позволяет режиссеру и всем другим творческим работникам наблюдать изображение на экране видоискателя или ВКУ сразу же во время съемки и немедленно начать монтаж.

Чтобы обеспечить широкий световой динамический диапазон (аналогично кино) применены схемы сжатия

до номинального уровня (до 100%) сигналов, имеющих амплитуду до 600% номинального уровня. Это устраняет ограничение сигнала изображения на участках высокой яркости (используется характеристика передачи уровней яркости с плавным изгибом в области белого). Схема динамического регулирования тока луча передающей трубки обеспечивает стабилизацию изображения при передаче особо ярких объектов и эффективно уменьшает искажения типа «хвост кометы».

Автоматически камера настраивается с помощью встроенного микропроцессора. Для работы с камерой и ее настройки не требуется высокой квалификации оператора. От него требуется только нажать на кнопку «Автонастройка». При этом автоматически устанавливаются балансы белого и черного, а также четкость изображения.

Специально созданный набор объективов, характеристики которых оптимизированы для полностью открытой диафрагмы (как это принято в кинопроизводстве), обеспечивают тот же угол зрения по горизонтали, что и 35-мм кинокамере. При слишком большом уровне освещенности объекта оператор может регулировать усиление и устанавливать нейтральные светофильтры. Предусмотрен также набор фильтров, используемых в кинематографии для создания спецэффектов.

При работе камеры оператор использует основной видоискатель, а ассистент оператора или режиссер — дополнительный. В камере предусмотрено следящее устройство фокусировки, применяемое в кинокамерах. Кроме рабочего режима, камера и видеомагнитофон могут находиться в дежурном (резервном) режиме. Электропитание камеры осуществляется от встроенных аккумуляторных батарей.

3.3. КАМЕРЫ ВИДЕОЖУРНАЛИСТИКИ И ВИДЕОКАМЕРЫ

Общие сведения. Видеожурналистика (за рубежом принят термин ENG—Electronic News Gathering), являющаяся перспективным, быстро развивающимся средством ТВ вещания, предусматривает сбор новостей, проведение различных интервью, репортажей и других актуальных передач [62, 88]. Комплект аппаратуры ВЖ (иногда называемый ТВ журналистским комплектом (ТЖК)) в большинстве случаев включает портативную ТВ камеру и кассетный видеомагнитофон, управляемые одним человеком — оператором (журналистом). Теле-

камеры, специально разработанные для ВЖ, стали применять после 1975 г. Их основной особенностью являются автономность (возможность работы независимо от ПТС или ПРТС) и собственный источник электропитания. По механическим параметрам, надежности и стабильности в работе к ним предъявляют более жесткие требования, чем к студийным телекамерам. В то же время они должны иметь, как и студийные камеры, высокие чувствительность, отношение сигнал-шум, разрешающую способность и обеспечивать правильную цветопередачу. На выходе камеры ВЖ получают полный цветовой ТВ сигнал, предусмотрен и режим внешней синхронизации. За счет микроминиатюризации, упрощения и унификации схемных решений, а также использования новых конструкционных материалов камеры ВЖ имеют небольшие габариты и массу. По надежности и стабильности они не должны уступать переносным кинокамерам.

Достижения в области создания камер ВЖ привели к появлению в 1976—1977 гг. модульных камерных систем, которые при сочетании модулей могут использоваться для разных видов технологического производства. Современные модульные камерные системы в основном представляют собой камеры ВЖ/ВВП. С малыми вариообъективами и видоискателями они используются для ВЖ, а с большими — для внестудийного видеопроизводства. Некоторые из них могут использоваться для создания больших внестудийных передач (в ПТС) и в студиях. В этом случае в них предусматривается дистанционное управление с применением цифровых блоков. При применении камер ВЖ/ВВП в составе оборудования ПРТС, ПТС и в студии используется электронный блок дистанционного управления камерой. Через него осуществляются настройка, управление камерой во время работы, а также электропитание, служебная связь, контроль и некоторые другие функции.

Применение сменных модулей (вариообъективов с различными массой, габаритными размерами, светосилой, диапазоном изменения фокусных расстояний и диафрагмы, видоискателей с разными размерами экрана, плечевых или треножных штативов, прикрепляемых к камере направленных микрофонов, кодеров для различных систем цветного ТВ, блоков апертурной коррекции, блоков дистанционного управления, синхрогенераторов с возможностью ведомого режима, устройств электропи-

тания, блоков уплотнения для передачи сигналов изображения и сигналов управления по триаксиальному или волоконно-оптическому кабелю и др.) обеспечивает универсальность использования телекамер ВЖ и видеокамер [65].

В 1981 г. впервые были созданы видеокамеры — конструктивное объединение портативной телекамеры и кассетного видеомагнитофона, являющееся наиболее перспективными для видеожурналистики [63].

Рассмотрим основные особенности портативных (репортажных) телекамер (телекамер ВЖ, телекамер ВЖ/ВВП и видеокамер) по сравнению со студийными телекамерами.

При ТВ репортаже часто и в больших пределах изменяется освещенность передаваемых сцен и объектов. Кроме того, освещенность может быть невелика, но не всегда можно применить искусственное освещение. Поэтому телекамеры, предназначенные для ВЖ, должны иметь наибольшие чувствительность, светосилу и пределы изменения диафрагмы объектива. В них предусмотрена возможность дополнительного усиления, которое используется при недостаточной освещенности (обычно на 9, 12, 18 или 24 дБ). В связи с этим телекамеры ВЖ должны иметь запас на значение отношения сигнал-шум, так как оно заметно снижается при использовании дополнительного усиления. Высокое отношение сигнал-шум в телекамерах, работающих совместно с портативными видеомагнитофонами, требуется также потому, что при записи на эти аппараты и воспроизведении записей отношение сигнал-шум невелико (не более 48 дБ для канала изображения), и поэтому снижение этого значения при работе комплекса телекамера — видеомагнитофон должно оставаться в пределах допустимых норм.

Разрешающая способность телекамер ВЖ (определяемая глубиной модуляции) должна быть такой, чтобы качество изображения удовлетворяло требованиям ТВ вещания. Для современных телекамер ВЖ и видеокамер она обычно та же, что и для студийных камер (550...650 твл в центре экрана).

Масса и габаритные размеры телекамер ВЖ и видеокамер должны быть невелики, чтобы обеспечить удобство работы оператора с камерой, находящейся на его плече или в руках. Оптимальным значением полной массы для носимых на плече профессиональных камер

(с видоискателем, вариообъективом и аккумуляторными батареями) является 6...7 кг, так как более легкая камера менее устойчива и может вибрировать при движении оператора или панорамировании. Ручные камеры (обычно бытовые или полупрофессиональные) более легкие, так как основное требование к ним — возможность держать одной рукой (как и 8-мм кинокамеру), что требуется, например, если оператор находится в толпе и поднимает камеру над головами окружающих. Небольшие масса и габариты позволяют также легко и длительно переносить камеру, работать с ней в труднодоступных местах и расширить творческие возможности оператора (съемка в различных ракурсах, «скрытой камерой» и др.).

Для автономных телекамер ВЖ и видеокамер необходима небольшая мощность, потребляемая от встраиваемых (прикрепляемых к камере) или размещенных на поясе оператора аккумуляторных батарей, чтобы обеспечить непрерывную работу камеры во время репортажа (обычно не менее 1 ч).

В связи с тем, что ТВ репортаж часто проводится во время движения оператора (ходьбе, беге, на транспортном средстве — автомобиле, вертолете, мотоцикле, катере и др.), создаются тяжелые условия работы камеры ВЖ или видеокамеры, что обусловливает необходимость их высокой надежности, стабильности работы, механической прочности и устойчивости к вибрациям. Пыле- и влагозащищенность камер позволяют использовать их в неблагоприятных погодных условиях — при дожде, повышенной влажности, тумане, пыльных бурях и т. п. Возможность нормальной работы в широком диапазоне температур позволяет применять одну и ту же серийную камеру как при изменяющейся внешней температуре (например, в горячем цехе и зимой на улице), так и в различных климатических зонах — арктических, тропических и др.

В последние годы портативные камеры разрабатывались в направлении простоты управления и удобства работы. Это обеспечивает быструю подготовку камеры к работе, возможность для оператора выполнять творческие задачи, не отвлекаясь на настройку и регулировку камеры, а также расширяет творческие возможности оператора. С такими камерами может работать оператор, не имеющий специальной технической подготовки.

Значительно расширяются технологические возможности портативных камер. Они стали широко использоваться не только для ВЖ и ВВП, но и в студиях и ПТС одновременно с большими камерами с целью создания новых художественных решений и получения различных ракурсов передаваемых сцен. Некоторые вновь разработанные модели портативных телекамер могут работать совместно со студийными камерами от общих блоков или пультов управления. Предусматривается дистанционное управление по триаксиальному, многожильному и волоконно-оптическому кабелям и применение для этих целей специальных адаптеров. Автоматическая или ручная коррекция камерного кабеля (выравнивание частотной характеристики и компенсация временной задержки) создает условия для использования телекамер ВЖ/ВВП с камерными кабелями разной длины и дает возможность удалять камеру от блока (панели) управления на разные расстояния.

Для получения высокого качества изображения и идентичности настройки отдельных камер при проведении многокамерных передач требуется значительное время на настройку камер. Использование управляющих микро-ЭВМ, построенных на базе микропроцессоров, позволило создать новое поколение цветных камер с автоматической настройкой параметров, сохранением их стабильности во время работы и диагностикой неисправностей [11]. Микропроцессорная техника повысила точность автоматической настройки таких сложно регулируемых параметров, как центровка и совмещение растров. Использование автоматических систем настройки особенно важно для телекамер ВЖ и видеокамер. Эти системы наряду с высоким качеством изображения обеспечивают кратковременность настройки, возможность работы с камерой менее квалифицированного оператора, простоту и удобство в эксплуатации. Применение встроенных в камеру микропроцессоров и запоминающих устройств позволяет обеспечить автоматическую настройку камеры, сохранение (запоминание) параметров оптимальной настройки (в том числе и при выключении камеры), а также техническую диагностику и обнаружение неисправностей.

Число моделей применяемых в ТВ вещании портативных телекамер достигает нескольких десятков. Наряду с созданием многих новых моделей модифицируются хорошо себя зарекомендовавшие камеры: умень-

шаются их габариты, масса и потребляемая энергия, увеличивается число и повышается качество автоматических регулировок с применением интегральных схем и все более широко используются микропроцессоры и цифровая память, а также расширяются функции периферийных устройств, применяются триаксиальный и волоконно-оптический кабели и передающие трубки повышенной четкости с диодным прожектором и малой выходной емкостью.

В табл. 3.1 приведены основные технические характеристики наиболее совершенных трехтрубочных телекамер ВЖ. Эти камеры могут использоваться и для внестудийного видеопроизводства, а некоторые из них и в студиях. При этом предусмотрено дистанционное управление камерами. В табл. 3.2 включены основные параметры видеокамер, в состав которых входят трехтрубочные телекамеры [61].

Приведенные в табл. 3.1 и 3.2 значения разрешающих способностей 650 твл телекамер HL-79E и DXC-M3 и видеокамер BVP-3 и TTV-13123 предельные, т. е. соответствуют глубине модуляции 10%. Мощность, потребляемая портативными телекамерами, 15...25 Вт, видеокамерами 18...35 Вт. В большинстве телекамер для связи камерной головки с блоками и панелями управления, видеомагнитофонами и другими устройствами используются многожильные и триаксиальные кабели. В телекамерах КСА-110 и BVP-330A применены волоконно-оптические линии связи, имеющие значительные преимущества [47]. При использовании волоконно-оптического кабеля камера КСА-110 может быть удалена на расстояние до 4000 м от блока управления.

Рассмотрим подробнее особенности некоторых наиболее совершенных портативных телекамер и видеокамер, разработанных с учетом последних достижений телевизионной техники.

Отечественная камера видеожурналистики КТ-190. В ней применены три 18-мм плюмбикона (глетикона) с диодным прожектором ЛИ-488. Назначением телекамеры является работа в автономном режиме в составе комплекта ВЖ. При этом на камеру устанавливают малый видоискатель ВИ-1 с диагональю экрана 4 см и сменный адаптер, который обеспечивает ее стыковку с портативным видеомагнитофоном, записывающим полный ТВ сигнал СЕКАМ или сигналы раздельных аналоговых составляющих $Y+S$, C_R, C_B. Электропитание

Таблица 3.1.

Основные технические характеристики трехтрубочных телекамер видеожурналистики

Камера	Тип передающих трубок	Номинальная освещенность на объекте (при $\dot{O}$=1:4), лк	Отношение сигнал-шум, дБ (система)	Разрешающая способность в центре, твл	Точность совмещения, %	Геометрические искажения, %	Масса*, кг
1	2	3	4	5	6	7	8
На 18-мм трубках							
КТ-190 (СССР)	Плюмбиконы (глетиконы)	2400	51	600	0,1; 0,2; 0,4	1	5,6
FP-15 (Япония)	Сатиконы	2000	54 (НТСЦ)	580	0,1 0,3 0,7	1 1 2	5
SK-97 (Япония)	Сатиконы или плюмбиконы *2	2000	58	600	0,05; 0,1; 0,2	1	6
HL-79E (Япония)	Плюмбиконы *3	1600	59 (НТСЦ)	650	0,05; 0,1; 0,3	1,5	5,9
HL-95 «Уникам» (Япония)	Плюмбиконы *4	1600	58 (ПАЛ)	650	0,05; 0,1; 0,2	1,5	3,2
KY-950 «Прокам» (Япония)	Плюмбиконы *3	1600	58	600	0,1 0,2; 0,4	1 2	4,5
LDK-14 (Нидерланды)	Плюмбиконы *3	1800	57 (НТСЦ)	600	0,1; 0,2; 0,4	1,5	5,85
КСА-110 (ФРГ)	Плюмбиконы *3	2400	55 (СЕКАМ)	40% *5	40 нс 80; 160 нс	0,5 1	6,3
BVP-330A	Плюмбиконы *1	2000	57 (НТСЦ)	600	0,1 0,2; 0,5	1 2	4,7
DXC-M3 (Япония)	Сатиконы *6	2000	57 (НТСЦ)	650	0,1; 0,2; 0,6	1,5	4,3

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8
			На 13-мм трубках				
ТС-90 (Япония)	Плюмбиконы, сатиконы	4500	55 (НТСЦ)	600	0,1; 0,2; 0,3	—	3,15 2,4
BY-110E (Япония)	Сатиконы *4	4000	52	600	0,1; 0,4; 0,8	—	(3,7 с 10-кратным вариообъективом)

* Масса камеры с малым видоискателем и без вариообъектива;
*2 Трубки с диодным прожектором;
*3 Трубки с диодным прожектором и малой выходной емкостью;
*4 Трубки с электростатической фокусировкой и электромагнитным отклонением;
*5 Глубина модуляции на частоте 5 МГц;
*6 Трубки с электромагнитной фокусировкой и электростатическим отклонением.

Таблица 3.2.

Основные технические характеристики трехтрубочных видеокамер

Видеокамера	Телекамера	Тип передающих трубок	Номинальная освещенность на объекте (при $\ddot{O}$= 1:4), лк	Отношение сигнал-шум, дБ (система)	Разрешающая способность в центре, твл	Видеомагнитофон	Формат записи; тип кассеты, ширина ленты, мм	Масса*3, кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9
			На 18-мм трубках					
BVW-3 «Бетакам» (Япония)	BVP-3	Сатиконы *1	2000	56 (ПАЛ, СЕКАМ)	650	BVV-1	L («Бетакам»); «Бета»; 12,7	8,5
BVW-3 «Бетакам» (Япония)	BVP-30	Плюмбиконы *2	1700	57 (СЕКАМ)	650	BVV-1	L («Бетакам»); «Бета»; 12,7	8,5

Продолжение табл. 3,2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
TTV-13123 (Франция)	CA-1623	Сатиконы	2000	54 (ПАЛ, СЕКАМ)	650	MA-1611	L («Бетакам»); «Бета»; 12,7	8,3
TTV-13123 (Франция)	CA-1624	Плюмбиконы	2000	56 (ПАЛ, СЕКАМ)	650	MA-1611	L («Бетакам»); «Бета»; 12,7	8,3
ARC-10 (США)	FPC-10P(S)	Плюмбиконы *3, сатиконы	2000	59 (P); 58 (S)	600 (P) 550 (S)	FPR-10	M; VHS; 12,7	10
LDK-54 (Нидерланды)	LD-54	Плюмбиконы *4	1600	55 (ПАЛ)	650	LDL-2000	«Лайнплекс»; CVC; 6,35	9,5
HL-83 (Япония)	HL-83	Плюмбиконы, сатиконы	1600	55	500	HM-100	M; VHS; 12,7	9,5
B-100PL/«Рекам» (Япония)	AK-100PL/S	Плюмбиконы, сатиконы	2150(P) 2600(S)	59 (P) 58 (S)	600 (P) 550 (S)	AV-100	M; VHS; 12,7	10
На 13-мм трубках								
KBF-1 «Квотекам» (ФРГ)	KCF-1	Плюмбиконы	3600	54 (НТСЦ)	40% *5	BCF-1	«Лайнплекс»; CVC; 6,35	6,8
«Хокай-II» (США)	HC-II	Плюмбиконы, сатиконы	3700	59	600	HP-I или HP-II	M; VHS; 12,7	—

*1 Масса камеры с малым видоискателем и без вариообъектива;
*2 Трубки с электромагнитной фокусировкой и электростатическим отклонением;
*3 Здесь и далее обозначения: P — плюмбиконы, S — сатиконы;
*4 Трубки с электростатической фокусировкой и электромагнитным отклонением;
*5 Глубина модуляции на частоте 4 МГц.

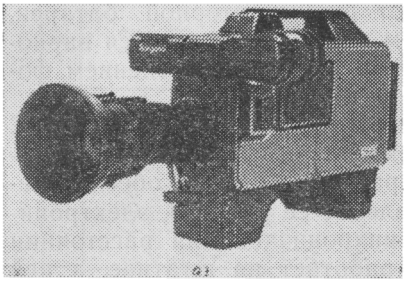
камеры осуществляется от аккумуляторной батареи, размещенной в специальном поясе. Используется вариообъектив «Вариогоир-24» с 10-кратным изменением фокусного расстояния.

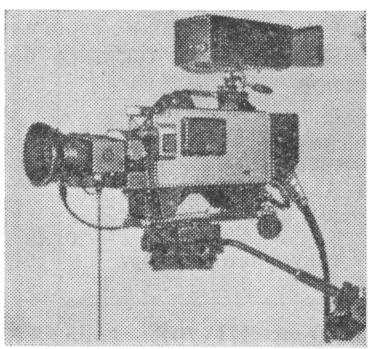
При использовании камеры в составе АСБ или ПТС к ней подключаются: триаксиальный адаптер, триаксиальный кабель и блок управления РЕ-25, обеспечивающий дистанционное управление ее работой, электропитание и ведомый режим синхронизации на расстоянии до 1500 м. Если камера работает на штативе, к ней можно подключать большой видоискатель ВИ-2 с диагональю экрана 11 см.

В камере КТ-190 имеются автоматические регулировки токов лучей, диафрагмы объектива, баланса черного и белого, центровки растров.

Потребляемая камерой мощность	
от аккумуляторной батареи, Вт	36
от сети 220 В переменного тока (вместе с блоком управления РЕ-25), В · А, не более . . .	200
Температура окружающей среды при влажности 95%, °С	—20...40
Время непрерывной работы от аккумуляторной батареи, ч, не менее	1

Телекамера ВЖ/ВВП модели HL-79E (рис. 3.6), предназначенная для ВЖ, ВВП и работы в студии, является дальнейшей модернизацией серии HL-79 (HL-79A и HL-79D) более ранних разработок. В HL-79E увеличены разрешающая способность, отношение сигнал-шум, точность совмещения и чувствительность, при этом масса камеры снижена с 6,7 до 5,9 кг. Камерой управляет микропроцессор, обеспечивающий автоматические настройку и диагностику при изменении значений параметров во время работы камеры. Это позволяет оператору основное внимание уделять художественным решениям, не тратя времени на настройку и регулировку. При использовании многожильного и триаксиального кабелей применяются адаптеры и настраивают камеру через цифровой блок автоматической настройки, а управляют работой через цифровой блок дистанционного управления. Улучшение качества изображения, простота и удобство работы достигаются применением новейших технологии и технических решений: включением блока компрессии, позволяющего передавать сцены экстремальной яркости за счет снижения до номинального уровня сигналов с высоким уровнем при использовании автоматического плавного изме-





б)

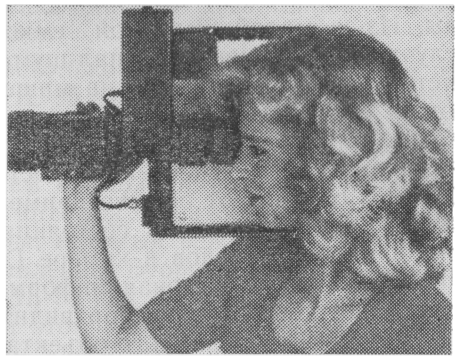
Рис. **3.6.** Телекамера ВЖ/ВВП HL—79E фирмы «Икэгами»:
а — камера с малым вариообъективом и видоискателем для ВЖ; *б* — камера на штативе с адаптерами для ВВП и работы в студии

нения характеристики передачи яркости в области белого; использованием апертурной коррекции, улучшающей четкость красных и синих деталей изображения, динамической фокусировки, повышающей разрешающую способность в углах изображения, динамической коррекции, улучшающей четкость изображения в углах, и адаптивной апертурной коррекции, улучшающей четкость изображения областей высокой яркости, подвергшихся обработке схемой компрессии.

Телекамера LDK-14SL является новой модификацией камеры LDK-14. В ней применены плюмбиконы с диодным прожектором и малой выходной емкостью, обеспечивающие высокую разрешающую способность и возможность работы с расширенным динамическим диапазоном яркостей. Используется автоматическая настройка с индикацией на экране видоискателя регулировки диафрагмы, уровня черного, баланса белого и центровки. Усовершенствована система индикации уровня сигнала. При записи на видеомагнитофон сигнала цветных полос на экране видоискателя одновременно можно наблюдать изображаемую сцену и фронты сигнала цветных полос. В камере предусмотрена возможность выбора уровня черного 0; —10 и —30%.

Портативная камера LDK-614 (рис. 3.7), созданная в соответствии с отмеченной выше тенденцией, может работать в комплексе со студийными камерами LDK-6.

Рис. **3.7. Портативная** телекамера LDK—614 фирмы **«Филипс»**



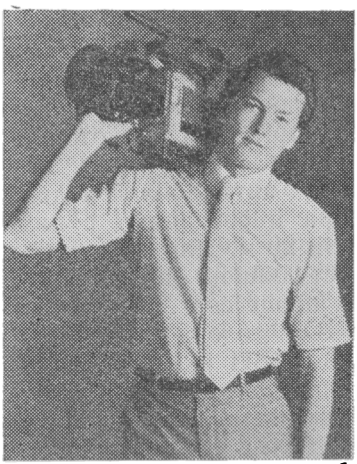


Рис. **3.8.** Телекамера ВЖ/ВВП DXC-M3 фирмы «Сони» с малыми вариообъективом и видоискателем для ВЖ

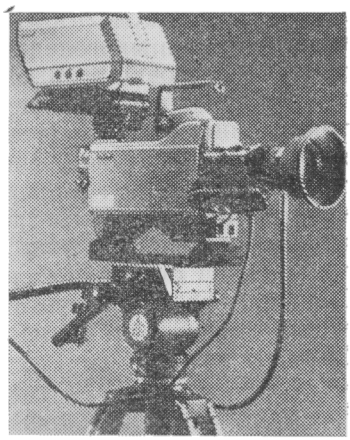


Рис. **3.9.** Телекамера DXC-M3, предназначенная для ВВП и работы в студии

Портативная камера DXC-M3 (рис. 3.8, 3.9) — легкая профессиональная камера ВЖ/ВВП (масса с малым видоискателем без объектива 4,3 кг). В камере используются передающие трубки сатикон с диодным прожектором, малой выходной емкостью, магнитной фокусировкой и электростатическим отклонением. В отличие от обычных 18-мм сатиконов они работают в низковольтном режиме (230 В), что позволило применить низковольтные компоненты в радиоэлектронных схемах

и уменьшить массу и габариты элементов и всей камеры. Из-за малой выходной емкости трубок в камере улучшено отношение сигнал-шум, а из-за малого диаметра электронного луча на мишени трубки — разрешающая способность по всему полю изображения. Применение микропроцессора для автоматической настройки и управления обеспечивает простоту и надежность работы. В отличие от обычно применяемой в современных телекамерах индикации состояния и условий работы с помощью светодиодов в камере DXC-M3 впервые стала использоваться текстовая информация на экране видоискателя, которую оператор видит одновременно с изображением передаваемого объекта.

Телекамера FAC-72. Модульный принцип построения современных портативных телекамер особенно наглядно можно проиллюстрировать на примере трехтрубочной телекамеры FAC-72 (ФРГ), имеющей оригинальную конструкцию и многоцелевое назначение. Для облегчения камерной головки до 3 кг ее электронные узлы помещены в отдельную упаковку-процессор. Для некоторых применений камеры (телевизионная микроскопия, кино- и теледиадатчики, испытания автомобилей и др.) головку отделяют от процессора и соединяют с ним кабелем разной длины 2,5; 10 или 20 м. Для видеожурналистики и применения во внестудийном видеопроизводстве и в студиях головка и процессор стыкуются. Если камера используется для ВЖ, то она комплектуется 4-см видоискателем, а для ВВП и в студиях — 12-см. В камере могут устанавливаться 18-мм плюмбиконы или видиконы, а также применяемые только в ней 18-мм трубки пасекон, в 2 раза более чувствительные, чем плюмбиконы. Камера имеет разрешающую способность по горизонтали в центре экрана 500 твл и отношение сигнал-шум 50 дБ.

Телекамера HL-95 («Уникам») является одной из наиболее совершенных и легких портативных камер, построенных по модульному принципу, с возможностью широкого универсального применения. Камера имеет высокие показатели качества, основные из которых приведены в табл. 3.1. Следует отметить также высокую разрешающую способность не только в центре, но и в углах растра (600 твл), минимальную освещенность на объекте 15 лк (при дополнительном усилении 24 дБ и $\ddot{O}=1:1{,}6$), значительное число автоматических регулировок и возможность вывода на экран видоискателя

большого количества информации о состоянии работы камеры.

Предусмотрено несколько вариантов технологии использования камеры HL-95 («Уникам»). Ее можно применять как автономную телекамеру ВЖ (аналогично телекамерам HL-79A—D той же фирмы) с адаптером CA-95, обеспечивающим возможность записи на любой стандартный видеомагнитофон с лентой разной ширины: 6,35; 12,7; 19 и 25,4 мм, ведомый режим синхронизации и дистанционное управление. Второй вариант — это использование камеры HL-95 как видеокамеры. Характерной особенностью при этом является возможность стыковки с двумя типами кассетных видеомагнитофонов: на 12,7-мм ленте по формату L («Бетакам») и на 6,35-мм ленте по формату «Лайнплекс». Такая возможность использования видеомагнитофонов разных форматов и фирм, кроме универсальности, является характерным примером все более широкого кооперирования ведущих зарубежных фирм, создающих и выпускающих телевизионную аппаратуру. В третьем варианте использования камеры HL-95 (в качестве камеры ВВП с отдельным блоком управления TA-79E и прикрепляемым к камере триаксиальным адаптером TA-95) она может быть удалена от блока управления на 2000 м. Четвертый вариант аналогичен третьему, но предусматривает применение не триаксиального, а многожильного кабеля, блока управления MA-79 и адаптера MA-95. В этом случае камера может быть удалена от блока управления на 300 м.

Видеокамеры, представляющие собой моноблочный комплект, в котором конструктивно объединены малогабаритная телекамера, кассетный записывающий видеомагнитофон и источник автономного электропитания, являются вторым поколением аппаратуры ВЖ. Они начинают играть все большую роль в системе внестудийного ТВ вещания. Моноблочная видеокамера, с которой легко и удобно может работать один оператор, является полным и наиболее перспективным электронным эквивалентом 16-мм кинокамеры.

Основные преимущества и особенности видеокамер по сравнению с двублочными комплектами ВЖ (телекамера — видеомагнитофон): повышенная надежность, обеспеченная устранением межблочных кабелей и разъемных соединителей; сокращение числа схемных элементов, массы, габаритов, потребляемой мощности и сто-

имости; высокая мобильность и малое время подготовки к работе; обслуживание одним оператором.

Эти преимущества обусловили то обстоятельство, что все большее число ведущих зарубежных телевизионных фирм переходит к разработке и выпуску видеокамер. Разные модели видеокамер отличаются передающими трубками или твердотельными преобразователями свет — сигнал и форматом видеозаписи.

Для уменьшения габаритов и массы в видеокамерах применяют не только 18-, но и 13-мм передающие трубки. В связи с тем, что в видеокамерах запись осуществляется на 12,7- или 6,35-мм магнитных лентах по разным, часто не стандартизованным форматам с раздельной (компонентной) записью сигналов яркости и цветности, требуется перезапись видео- и звуковой информации на видеомагнитофоны со стандартизованными форматами С, В и U-matic-H. Создаются не только моноблочные видеокамеры, но и системы, в которые, кроме видеокамеры, входят пульты видеомонтажа, как правило, два студийных видеомагнитофона и др. Из-за различия существующих форматов записи и для расширения технологических возможностей использования видеокамер разработаны адаптеры, позволяющие применять входящую в нее телекамеру не только в составе моноблочной конструкции, но и автономно и иметь возможность присоединять ее к видеомагнитофонам с другими форматами записи. Адаптер прикрепляют к задней части телекамеры (вместо видеомагнитофона) и связывают кабелем с видеомагнитофоном с соответствующим типу адаптера форматом записи.

В современных видеокамерах используются в основном три несовместимых между собой формата записи: *L* («Бетакам»), *M* и «Лайнплекс» [27].

Во всех этих форматах принят компонентный способ записи ТВ сигнала с частотной модуляцией. Запись ведется параллельно в двух каналах: в одном — яркостный сигнал *Y*, в другом — два цветоразностных *R—Y* и *B—Y*. Для использования полной информационной емкости каналов сигналы необходимо уплотнять перед частотной модуляцией. С этой целью можно использовать методы частотного или временно́го уплотнения. При временно́м уплотнении отсутствуют комбинационные искажения, но его схемная реализация сложнее, чем при частотном.

Форматы L и M основаны на методе сжатия по времени. Разница между ними заключается в том, что при

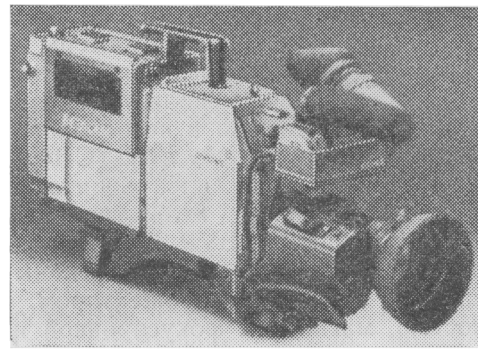


Рис. **3.10.** Видеокамера BVW-3 «Бетакам» фирмы «Сони»

использовании формата L временному уплотнению подвергаются только цветоразностные сигналы $R—Y$ и $B—Y$, а формата M — оба сигнала — яркости Y и цветности C $(R—Y, B—Y)$ — с чередованием цветоразностных сигналов по строкам. При временном уплотнении можно обеспечить достаточно высокое отношение сигнал-шум в обоих каналах и ширину полосы частот сигнала цветности не менее 1,2 МГц.

При использовании формата M применяется метод двойной частотно-модулированной записи цветоразностных сигналов с частотным уплотнением. Такой метод обеспечивает достаточно хорошее отношение сигнал-шум и ширину полосы частот сигнала цветности не менее 1МГц. Его недостатки связаны с использованием метода частотного уплотнения.

Видеокамера BVW-3 («Бетакам»), выпускаемая серийно (рис. 3.10), получила наиболее широкое применение. Производят ее в двух вариантах — с телекамерой BVP-3 и с более новой телекамерой BVP-30. Кроме того, эту видеокамеру выпускают по лицензии во Франции под названием TTV-13113 и TTV-13123/TTV-13124; в ней применен японский видеомагнитофон MA-1611 и французские телекамеры.

Необходимо отметить, что система «Бетакам» является наиболее отработанной по сравнению с другими системами видеокамер и имеет широкие технологические возможности [60, 99, 110]. В ее состав, кроме самой видеокамеры, входят: воспроизводящий студийный видеомагнитофон BVW-10 со встроенным цифровым корректором временных искажений, студийный видеомагнитофон BVW-40 для записи и воспроизведения со встроенной системой электронного монтажа, портатив-

ный воспроизводящий видеомагнитофон BVW-20 (массой 8,9 кг), адаптеры телекамеры CA-3, CA-30 и CA-300, адаптеры видеомагнитофона видеокамеры YA-1 (адаптеры обоих видов используются при работе телекамеры и видеомагнитофона в несостыкованном виде), а также многокассетная система BYC-10, включающая четыре воспроизводящих видеомагнитофона, накопитель на 40 кассет, дисплей и пульт управления.

В телекамере BVP-3, структурная схема которой приведена на рис. 3.11, применены передающие трубки сатикон с диодным прожектором, малой выходной емкостью, магнитной фокусировкой и электростатическим отклонением, а в телекамере BVP-30 — плюмбиконы с диодным прожектором, магнитной фокусировкой и электростатическим отклонением. Эти трубки имеют меньшую длину, лучшие электрические параметры, в них отсутствует сложная система динамической фокусировки и обеспечивается лучшая четкость по всему полю изображения.

Характерной особенностью видеокамеры TTV-13123 является возможность автоматической настройки входящей в нее телекамеры с помощью специальной системы

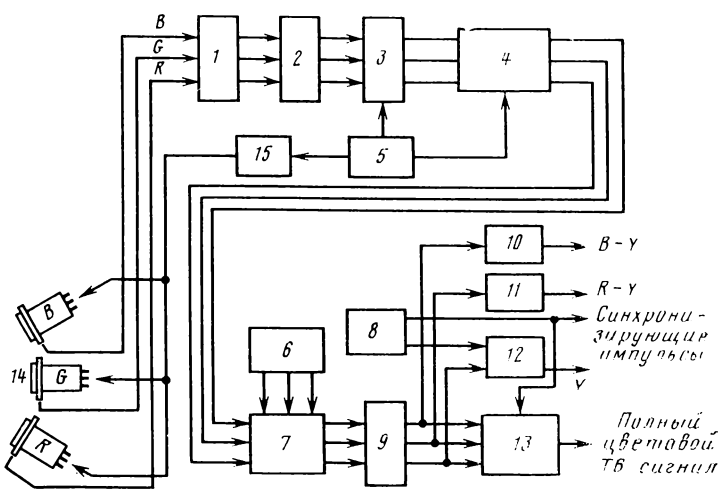


Рис. **3.11.** Структурная схема трехтрубочной телекамеры BVP-3:
1 — предварительные усилители; *2* — корректоры неравномерности; *3* — видеоусилители; *4* — блок коррекции и обработки сигналов; *5* — блок автоматического управления; *6* — генератор цветных полос; *7* — переключатель сигналов с камеры и с генератора цветных полос; *8* — синхрогенератор; *9* — матричный сумматор; *10, 11* — буферные усилители; *12* — сумматор; *13* — кодер; *14* — передающие трубки; *15* — отклоняющая система

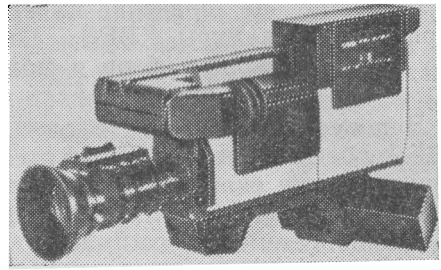


Рис. **3.12.** Видеокамера KBF-1 фирмы «Бош»

с микропроцессором. Для этого к задней части телекамеры вместо видеомагнитофона можно подключать адаптер и блок управления. Телекамера имеет вариообъектив с встроенным диапроектором, используемым для автоматической настройки. Автоматически корректируются геометрические искажения растра, совмещение цветоделенных изображений и неравномерности уровней черного и белого.

Чувствительность видеокамер, в которых применены 18-мм передающие трубки, такая же, что и у обычных телекамер ВЖ. Чувствительность видеокамер KBF-I и «Хокай-II», собранных на 13-мм передающих трубках, ниже почти в 2 раза.

Следует отметить, что видеокамеры ARC-10, HL-83 и B-100P L/S имеют бóльшую массу, что создает существенные неудобства для оператора.

Видеокамера KBF-1 (рис. 3.12) является самой легкой и малогабаритной трехтрубочной профессиональной видеокамерой. Ее общая масса с 12-кратным вариообъективом и серебряно-цинковой аккумуляторной батареей, обеспечивающей возможность работы в течение 70...90 мин, составляет 6,8 кг. Применение 6-кратного вариообъектива позволяет уменьшить массу до 6,35 кг, а если использовать батареи на 30 мин работы — еще на 0,5 кг, т. е. получить оптимальную общую массу камеры около 6 кг [63, 113] (большая масса камеры усложняет длительную работу с ней, а слишком малая — препятствует стабильной работе).

Уменьшение массы видеокамеры KBF-1 достигнуто применением трех миниатюрных 13-мм плюмбиконов, компактной кассеты CVC с 6,35-мм лентой на двуокиси хрома (масса кассеты 50 г), а также БИС и нового оптического стекла, удельная масса которого на 35% ниже применяемого в обычной оптике.

Существенное значение имеет также малая высота корпуса видеокамеры KBF-1. Оператор при работе с ней имеет хороший обзор и может лучше ориентироваться при видеосъемке.

Видеомагнитофонный блок BCF-1 видеокамеры KBF-1 обеспечивает продолжительность непрерывной записи 20 мин (как и для большинства других моделей видеокамер), что практически достаточно для ВЖ. В то же время полоса частот его сигнала яркости 3,5 МГц, что обусловлено свойствами видеомагнитофона и снижает общую разрешающую способность видеокамеры, так как телекамера имеет более высокую разрешающую способность. Отношение сигнал-шум для яркостного и цветоразностных сигналов (45 и 46 дБ соответственно) также определяется видеомагнитофоном и меньше, чем у телекамеры.

В видеокамере KBF-1 достигнуто приемлемое для ТВ вещания качество изображения при легкой и компактной кассете. Это удалось, благодаря оптимизации ширины видеодорожек, промежутков между ними и одинаковой плотности записи для сигнала яркости и цветоразностных сигналов.

Телекамера KCF-1, входящая в состав видеокамеры KBF-1, может быть отделена от нее и, если прикрепить к телекамере адаптер, может работать и с другими видеомагнитофонами.

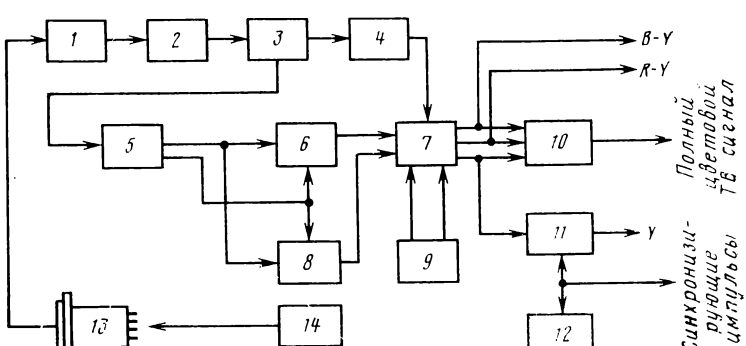


Рис. **3.13.** Структурная схема однотрубочной телекамеры BVP—I: *1* — предварительный усилитель; *2* — корректор неравномерности; *3* — селектор сигналов яркости и цветности; *4* — блок коррекции и обработки сигнала яркости; *5* — селектор сигнала цветности и индексного сигнала; *6* — декодер сигнала *B—Y*; *7* — переключатель сигналов с камеры и с генератора цветных полос; *8* — декодер сигнала *R—Y*; *9* — генератор цветных полос; *10* — кодер; *11* — сумматор; *12* — синхрогенератор; *13* — триникон; *14* — отклоняющая система

Кроме видеокамер, собранных на трех передающих трубках, многие фирмы выпускают более легкие и малогабаритные видеокамеры с однотрубочными телекамерами. Они в основном предназначены для бытового применения (см. § 2.5), так как имеют существенно меньшую разрешающую способность, чем видеокамеры с трехтрубочными телекамерами. Однако некоторые видеокамеры с однотрубочными телекамерами используют для ВЖ, особенно в странах, где принят более низкий, чем в СССР и Европе, стандарт разложения изображения (525 строк, 60 Гц), а также снижены требования к качеству изображения оперативных репортажей.

К ним относится в первую очередь видеокамера BVW-1, также входящая в систему «Бетакам». В ее телекамере BVP-1, структурная схема которой приведена на рис. 3.13, применен 18-мм широкополосный триникон со штриховыми светофильтрами R, G, B на переднем стекле трубки. Камера имеет разрешающую способность 400 твл, несколько меньшее отношение сигнал-шум, чем трехтрубочная BVP-3 или BVP-30 (53 дБ для ПАЛ и СЕКАМ), но значительно меньшие размеры, массу (2,6 кг без объектива вместо 4,3 кг) и потребляемую мощность (11 Вт вместо 20 Вт). Номинальная освещенность у них одинакова. Существенными преимуществами однотрубочной камеры по сравнению с трехтрубочной являются одинаковая разрешающая способность по всему растру, отсутствие призменной оптики и необходимости подбора систем отклонения, малое потребление энергии фокусирующе-отклоняющей системой (1,5 Вт) и возможность снизить до 60% число компонент, что повышает ее надежность. Видеомагнитофоны в видеокамерах BVP-3, BVP-30 и BVP-1 одинаковы.

Видеокамеры SR-1 и SR-10, предназначенные для ВЖ и для ВЖ и ВВП соответственно, являются первыми твердотельными видеокамерами для ТВ вещания. В них вместо вакуумных передающих трубок в каналах R, G, B применены три твердотельные ПЗС матрицы, обеспечивающие разрешающую способность по горизонтали 400 твл (что недостаточно для качества изображения, необходимого для ТВ вещания). Каждая матрица имеет трехслойную *n-p-n*-структуру. Телекамера SK-1, одинаковая в обеих видеокамерах, имеет массу 3,2 кг, потребление энергии 8 Вт. Видеомагнитофонные части видеокамер различны. В SR-1 запись в кассе-

те CVC производится на ленту шириной 6,35 мм с продолжительностью непрерывной записи только 8 мин, что меньше, чем в других видеокамерах и в большинстве случаев недостаточно для ВЖ. В SR-10 запись производится на кассету с 12,7-мм лентой и продолжительностью 20 мин [63, 75].

Телекамеры SP-3 и SP-3A трехматричные. В них применено оригинальное использование матриц ПЗС путем специального построения оптической системы [10, 93]. Две матрицы ПЗС с числом элементов 490 по вертикали и 384 по горизонтали с строчно-кадровым переносом зарядов используются в канале G, где необходимо обеспечить повышенную разрешающую способность. Применение двух матриц в этом канале позволяет снизить уровень шумов на несколько децибел. Эти матрицы сдвинуты по горизонтали относительно друг друга на половину элемента изображения (см. § 5.3). Третья матрица используется в каналах R и B в сочетании с прозрачно-желтым кодирующим светофильтром. В телекамере SP-3 разрешающая способность по горизонтали в яркостном канале может достигать 500 твл, а отношение сигнал-шум 55 дБ. В телекамере более поздней разработки SP-3A гарантируется разрешающая способность по горизонтали 450 твл, но более высокое отношение сигнал-шум (58 дБ). Благодаря применению открытых окон в фотоматрице камеры имеют высокую чувствительность — номинальная освещенность на объекте 1300 лк при $O = 1:4$. Преимуществами телекамер SP-3 и SP-3A по сравнению с телекамерами на передающих трубках являются отсутствие расплывания и смаза изображения на экране (даже если локальная освещенность превышает номинальную в 250 раз), точное (0,05% по всему растру) и стабильное совмещение растров, осуществляемое механически без подстройки (которая, кстати, и невозможна) при изменении температуры в рабочем диапазоне —20...—45°С. В то же время для камер на матрицах ПЗС характерны ложные низкочастотные составляющие в спектре дискретизированного сигнала. Они создают значительные помехи на изображении, правда, меньшие по величине и более высокочастотные при двух матрицах в канале G, чем при одной матрице. Масса телекамеры SP-3 с 4-см видоискателем 2,7 кг, SP-3A — 3,1 кг. Телекамера SP-3 может быть конструктивно объединена с кассетным видеомагнитофоном формата L в моноблочную видеокамеру

массой 7 кг. Телекамера SP-3A может быть объединена с видеомагнитофонами форматов L, M или другими.

Телекамеры BVP-5 (для системы НТСЦ) и BVP-5P (для системы ПАЛ) на трех матрицах ПЗС со строчно-кадровым переносом зарядов. Матрица телекамеры BVP-5 содержит 492 элемента по горизонтали и 510 по вертикали. Матрица телекамеры BVP-5P содержит 582 горизонтальных и 500 вертикальных элементов. Оба типа матриц имеют светочувствительную зону, соответствующую размерам мишени 18-мм плюмбикона. Телекамеры BVP-5 и BVP-5P вместе с кассетными видеомагнитофонами BVV-1A (для систем НТСЦ и ПАЛ-М) и BVV-1APS (для систем ПАЛ и СЕКАМ) составляют видеокамеру BVW-105/105P, значительно более легкую и более чувствительную, чем трехтрубочные видеокамеры BVW-3A и BVW-30 системы «Бетакам», но имеющую более низкую разрешающую способность и отношение сигнал-шум по сравнению с ними.

	BVP-5	BVP-5P
Освещенность объекта, лк		
номинальная (при $\ddot{O}=1:4$)	1000	1300
минимальная	15	20
Отношение сигнал-шум на выходе канала яркости, дБ	58	55
Установочная точность совмещения растров во всех зонах, %	0,05	0,05
Геометрические искажения растров по всему полю изображения, %, не более	—	1
Масса телекамеры (с 4-см видоискателем, без объектива), кг	3,2	3,2
Потребляемая телекамерой мощность, Вт	10,5	10,5
Температура окружающей среды, °С	—20...40	—20...40
Время готовности камеры к работе после включения питания, с	3,5	3,5
Масса видеомагнитофона, входящего в состав видеокамеры, кг	4,3	4,3
Потребляемая видеомагнитофоном мощность, Вт	11	11
Время непрерывной записи, мин	30	36

Телекамеры CCD-1 (рис. 3.14) и **CCD-1S** [82, 93] (США) производятся серийно. Они собраны на трех матрицах ПЗС с кадровым переносом зарядов. В камерах используются по одной матрице в каналах R, G, B. Каждая матрица содержит 403 горизонтальных и 512 вертикальных элементов и имеет светочувствительную зону размером 4,8×6,4 мм (соответствующую мишени 13-мм плюмбикона). Эти размеры выбраны по соображениям как технологии, так и обеспечения сов-

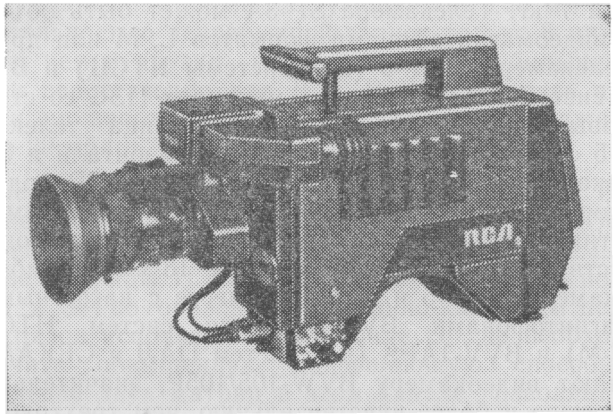


Рис. **3.14.** Телекамера CCD-1 фирмы RCA на матрицах ПЗС

местимости с существующими призменными блоками и объективами камер на передающих трубках.

Особенностью матриц камер CCD-1 и CCD-1S является очень тонкая (10 мкм) подложка (основа), получаемая путем травления. Эта подложка, через которую освещается матрица, почти прозрачна для длин волн синего цвета, что позволило резко увеличить недостаточную у матриц ПЗС прежних разработок чувствительность в канале В.

Освещенность объекта, лк	
номинальная (при $\ddot{O}=1:4$)	3800
минимальная	30
Отношение сигнал-шум на выходе канала яркости, дБ	62
Глубина модуляции на отметке 300 твл, %, не менее	60
Установочная точность совмещения растров (из-за хроматической аберрации объектива), %	
в круге диаметром 0,8 *H*	0,05
в остальной части растра	0,1
Масса камеры (без объектива), кг	6,1
Потребляемая мощность, Вт	24

Динамическая разрешающая способность у камер на ПЗС CCD-1 и CCD-1S значительно выше, чем у камер на передающих трубках, из-за отсутствия инерционности при переходе от поля к полю, а также и потому, что время накопления зарядов равно не длительности кадра, а может изменяться от длительности поля (1/60 с) до 1/98 с в камере CCD-1, а в камере CCD-1S, предназначенной для спортивных репортажей, даже до 1/500 с.

Возможность значительного сокращения времени экспозиции (почти на порядок), существенно снижающая расфокусировку изображения движущихся объектов, достигнута применением в оптической системе встроенного вращающегося обтюратора. В телекамерах на передающих трубках такое техническое решение из-за инерционности трубок вообще невозможно. Вызываемое вращающимся обтюратором некоторое снижение чувствительности камеры остается вполне приемлемым.

Общими преимуществами телекамер на твердотельных преобразователях свет — сигнал по сравнению с телекамерами на передающих трубках являются отсутствие прожигания светочувствительного слоя, инерционности и кометных хвостов за яркими движущимися объектами на изображении, нечувствительность к магнитным полям, отсутствие микрофонного эффекта и геометрических искажений, большая механическая прочность, а также удобство эксплуатации, так как, например, отпадает необходимость в ежедневном совмещении растров (в камерах без автоматического совмещения), которое в твердотельных камерах обеспечивается заранее при сборке.

В то же время, как будет рассмотрено в § 5.3, для камер на матрицах ПЗС характерны значительные специфические помехи из-за ложных низкочастотных составляющих в спектре дискретизированного сигнала. Кроме того, несмотря на большие работы, проводимые по созданию матриц ПЗС с большим числом элементов изображения, для получения разрешающей способности, необходимой в вещательном телевидении (например, создан макет телекамеры на ПЗС с 360 000 элементов для видеокамеры нового поколения — с записью на 8-мм магнитную ленту), в серийном производстве увеличение числа элементов изображения приводит к резкому увеличению брака. Здесь существует технологический предел, препятствующий произвольному увеличению числа элементов изображения матрицы за счет увеличения ее размеров [96]. Альтернативой может быть использование двух матриц в каждом цветном канале, как это сделано, например, в канале G камеры SP-3.

Телediакамеры и телекинокамеры (их также часто называют теледатчиками и телекинодатчиками) отличаются от других телекамер прежде всего объектом передачи, которым является фото- или кинопленка — позитивная или негативная, цветная или черно-белая.

Телediакамеры применяются почти исключительно для передачи диапозитивов на 35-мм пленке. Форматы применяемых в телевидении кинопленок отличаются разнообразием, которое обусловлено кинопроизводством. Используются следующие форматы: «Супер-8», 16- и 35-мм с оптической или магнитной фонограммой, 16-мм без фонограммы («немой»), «широкоэкранный», где съемка производится на 35-мм пленку с помощью анаморфотной оптики, сжимающей изображение вдвое по горизонтали, и, наконец, «широкий» 70-мм формат, который в телевещании используется очень редко, хотя и применяется в кинопрокате.

Для согласования широкоэкранного формата, где соотношение сторон равно 2,35 : 1, с форматом ТВ экрана (1,33 : 1) применяют различные способы, показанные на рис. 3.15. В простейшем варианте размеры растра камеры устанавливают такими, что телезритель видит почти весь кинокадр, но значительная часть (32%) площади телеэкрана не используется и четкость изображения снижается. Вариант с форматом 1,85 : 1 является компромиссным. При его применении площадь неиспользуемой «черной» части телеэкрана уменьшает-

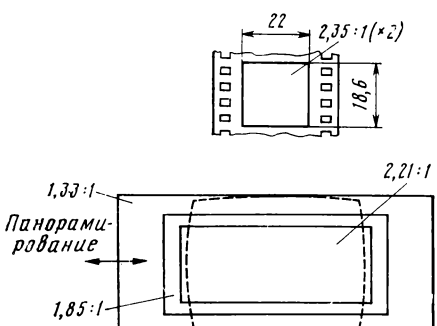


Рис. 3.15. Широкоэкранный кинокадр и телевизионный экран. Согласование форматов

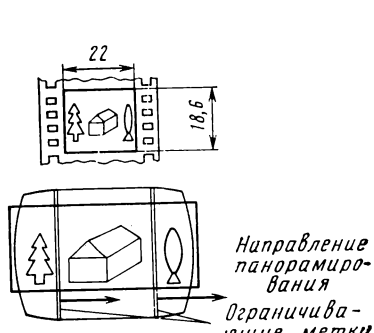


Рис. 3.16. Предварительная разметка широкоэкранного кинофильма на телеэкране

ся до 21%, но на краях кинокадра, где сюжетно важные детали обычно отсутствуют, теряется 11% его площади. Наилучшее использование площади телеэкрана и соответственно наибольшую четкость обеспечивает вариант с регулируемой центровкой (Panscan). Однако при этом для сохранения сюжетно важных деталей кинокадра требуется предварительная разметка кинофильма исходного формата 2,35 : 1 при его просмотре оператором (рис. 3.16). Положение ограничивающих меток запоминается в ЗУ и затем используется для управления центровкой растра телекинокамеры по горизонтали при демонстрации фильма. Изменять центровку можно скачком (на монтажных кадрах кинофильма) или плавно (при перемещении объектов в кадре).

Кинопленки разных типов после экспонирования и проявления могут отличаться по цвету и диапазону оптических плотностей даже при съемке одного и того же объекта. Ошибки цветопередачи в телекинокамерах исправляют специальными корректорами, различными для разных типов пленки.

Диапазон плотностей кинофильмов в среднем 0,3...2,2. Отклонение значения плотностей частей фильма от средних значений компенсируется изменением передаточной функции канала обработки сигналов изображения. Во многих случаях средние плотности и цветности отдельных частей кинофильма сильно различаются, но кинозритель почти не замечает этого различия, поскольку его зрение в условиях затемненного кинозала быстро адаптируется. Телезритель, просматривающий фильм в условиях освещенного помещения, воспринимает эти различия как дефекты, поэтому в телекинокамерах предусматривают их коррекцию с предварительной разметкой.

Существуют три основные разновидности телекинокамер (теледиакамер), отличающиеся типом преобразователя свет — сигнал [32, 33]. В них используются соответственно передающие трубки, фотоэлектронные умножители (ФЭУ) и линейные (однострочные) ПЗС.

Примерами вещательных камер на передающих трубках могут служить отечественная КТ-104Ц [16] и американская ТК-209 [114]. Благодаря накоплению световой энергии в трубках с фотопроводящей мишенью никакой синхронизации между процессами прерывистого продергивания пленки в проекторе и разверткой лучей трубок по вертикали не требуется.

Особенностями телекинокамер на передающих трубках являются легкость сопряжения их оптических систем с кинопроекторами для разноформатной пленки, простота оптико-механических систем и высокая чувствительность, позволяющая демонстрировать по телевидению прокатные кинофильмы, отличающиеся большой плотностью. Недостатками являются сложность обеспечения стабильного совмещения оптических изображений с растрами передающих трубок и необходимость точного сопряжения основных характеристик трех передающих трубок. Прикладные телекинокамеры выполнены почти исключительно на передающих трубках. Однотрубочную конструкцию с кодирующим светофильтром, часто применяемую в прикладном телевидении, иногда используют и в телевещании для демонстрации актуальных 8-мм киноматериалов [49, 78], исходная четкость которых сравнительно низкая.

Пониженные по сравнению с исходным объектом съемки четкость, контраст и цветовая насыщенность изображения на пленке могут быть скорректированы путем обработки сигналов в телекамере. Однако при этом для получения коррекции необходимо иметь достаточно высокие значения параметров преобразования свет — сигнал: отношение сигнал-шум, особенно на темных участках изображения, и глубину модуляции на верхних пространственных частотах. Кроме того, зернистая структура эмульсионного слоя пленки ограничивает возможности коррекции четкости и контраста на мелких деталях изображения.

Высокое качество преобразования свет — сигнал обеспечивают камеры, работающие по принципу «бегущего луча». В них используются высокочувствительные ФЭУ и специальные кинескопы с большой яркостью свечения (1000 кд/м^2), высокой разрешающей способностью (1000 твл) и достаточно широкой спектральной характеристикой излучения люминофора. Последнее особенно важно для обеспечения хорошей цветопередачи при использовании пленок, имеющих разные спектральные характеристики цветоделенных слоев эмульсии.

В телекинокамерах, работающих в режиме «Стоп-кадр» и в теледиакамерах с «бегущим лучом», отклоняющая система кинескопа осуществляет стандартную чересстрочную развертку, а объектив переноса обеспечивает проекцию сфокусированного растра на плоскость пленки. Прошедший сквозь пленку световой поток раз-

деляется дихроическими зеркалами на цветоделенные составляющие, которые преобразуются в электрические сигналы с помощью трех ФЭУ. Сигнальные токи этих ФЭУ достаточно велики (до 100 мкА), поэтому удается получить большие исходные отношения сигнал-шум (более 50 дБ). Кроме того, шумы ФЭУ обусловлены в основном дробовым эффектом, т. е. снижаются при уменьшении сигнального тока, а это способствует уменьшению их заметности на темных участках изображения. Инерционность (послесвечение) люминофора кинескопа приводит к снижению горизонтальной четкости, которое сравнительно легко корректируется с помощью RC-цепей. Существенными достоинствами камер с «бегущим лучом» являются отсутствие необходимости совмещать растры и безынерционная передача подвижных объектов. Благодаря высокому качеству изображения эти камеры часто используются при перезаписи киноматериалов на магнитную ленту и контроле негативов.

Основные недостатки телекинокамер этого типа заключаются в небольшом сроке службы кинескопа, сложности и высокой точности оптико-механических систем. В них применяют, как правило, непрерывную протяжку кинопленки, причем ее движение синхронизируется с разверткой кинескопа по вертикали. При работе по стандарту 625/50 каждый кинокадр преобразуется в два телевизионных поля, т. е. частота смены кинокадров составляет 25 Гц. Изменение частоты смены кадров от 24 до 25 Гц зрителями практически не замечается, так как движение объектов в кадре ускоряется только на 4%. При работе по стандарту 525/60 частота смены кинокадров составляет 24 Гц. Из двух последовательных кинокадров один преобразуется в два телевизионных поля, а другой — в три, поэтому условие синхронизации обеспечивается по формуле $(2+3)\cdot 24/2=60$. Движение пленки и развертка кинескопа согласуются различными способами. Во многих моделях камер с «бегущим лучом» ранее применялись обтюраторы, качающиеся зеркала или многогранные вращающиеся призмы, направляющие световой поток от кинескопа поочередно по полям через два отдельных объектива на один и тот же движущийся кинокадр, который за время одного поля успевает переместиться приблизительно на половину своей высоты. Однако при этом любые различия в характеристиках объективов или граней призмы приводят к яркостным мерцаниям, а ошибка взаимного положения объективов или усадка кинопленки, изменяющая

высоту кинокадра — к нарушению чересстрочной структуры телевизионного изображения, поэтому выпуск таких камер сейчас фактически прекращен.

В телекинокамере TTV-2530 фирмы «Томсон-ЦСФ» удвоение растра (рис. 3.17) достигается с помощью призмы с полупрозрачным зеркалом и одного объектива [98]. Вращающийся обтюратор поочередно по полям перекрывает ту или иную половину светового потока кинескопа, направляя его на разные участки фильмового канала. Скорости движения пленки и вертикальной развертки кинескопа равны и противоположны, поэтому растр на экране кинескопа имеет формат 8 : 3 вместо обычного 4 : 3. Недостатком здесь является потеря части световой энергии, достоинством — существенное снижение мерцаний. Компенсацию усадки пленки обеспечивают небольшим вертикальным смещением растра кинескопа, достигаемым добавлением импульсов кадровой частоты к напряжению центровки по вертикали.

В телекинокамере Mark-III [49] (см. рис. 1.8) используется метод «прыгающего растра», согласно которому кинокадр просвечивается дважды: сначала растром, расположенным в верхней части экрана кинескопа, затем растром, перемещающимся в его нижнюю часть. Для выравнивания параметров двух растров и компенсации неравномерностей служит специальная следящая система. В модификациях этой камеры, снабженных цифровым устройством кадровой памяти «Digiscan»,

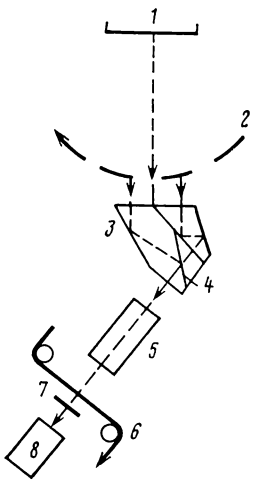


Рис. **3.17.** Упрощенная структурная схема оптического узла телекинокамеры TTV-2530:
1 — экран кинескопа; *2* — вращающийся обтюратор; *3* — призменный блок; *4* — полупрозрачное зеркало; *5* — объектив переноса; *6* — кинофильм; *7* — конденсорная линза; *8* — ФЭУ

используется однократная прогрессивная развертка каждого движущегося кинокадра, а сигналы стандартной чересстрочной системы получают, управляя адресами считывания памяти [34]. Здесь точно совпадают сигналы двух полей, что исключает появление мерцаний и нарушение строчной структуры. Дополнительным преимуществом является возможность протяжки кинопленки со скоростью, отличающейся от номинальной, так как запись и считывание могут происходить в различном темпе. Можно получать эффекты ускоренного, замедленного и обратного (при реверсе пленки) движения, а переход от одной скорости к другой требует только изменения частоты строчной развертки кинескопа.

Кадровые ЗУ и построчно-чересстрочное преобразование применены также во многих телекинокамерах на линейных ПЗС, например в FDL-60 (ФРГ) [105] и B3410 [100] и ADS1 (Великобритания). Вертикальная развертка в таких камерах обеспечивается только движением пленки, а горизонтальная — движением зарядов в линейном ПЗС. Стабильность совмещения цветоделенных составляющих изображения достигается путем прецизионного крепления ПЗС-преобразователей непосредственно к граням цветоделительной призмы.

Особенностью камеры ADS1 является наличие дополнительного (четвертого) ПЗС, работающего в инфракрасном диапазоне и воспринимающего только дефекты пленки: царапины, загрязнение и т. п. Сигнал этого ПЗС используется для управления компенсатором, который замещает сигналы от пораженных дефектами элементов изображения сигналами соседних элементов, существенно снижая заметность дефектов.

Для уменьшения заметности дефектов и загрязнений кинопленки в телекинокамерах применяют также продувку фильмового канала сжатым воздухом и «мокрую» конструкцию кадрового окна, заполняемого жидкостью, коэффициент преломления которой совпадает с коэффициентом преломления основы кинопленки.

Достоинствами применяемых в телекинокамерах линейных ПЗС-преобразователей являются прочность и долговечность; они имеют достаточно большое число элементов разложения (обычно 1024). К недостаткам относятся неодинаковая чувствительность различных элементов ПЗС, создающая на изображении паразитный узор в виде вертикальных полос, и неблагоприятное спектральное распределение шумов. Неоднородности

чувствительности и темнового тока ПЗС корректируются обычно путем предварительного измерения значений этих паразитных параметров, запоминания их в отдельном цифровом ЗУ и последующего управления усилением и смещением видеосигналов. При этом дополнительно компенсируются искажения, обусловленные неравномерностью освещения фильмового канала и неоднородностью пропускания оптической системы. По качеству изображения камеры на ПЗС незначительно уступают камерам с «бегущим лучом», но значительно превосходят их по стабильности и надежности.

Переход к цифровым системам управления, использующим адресно-временные коды, позволил обеспечить автоматический поиск нужных для монтажа программы участков кинофильма, программируемую цветокоррекцию отдельных его частей и перестройку всей системы обработки сигналов при переключении на другой механизм, где установлены другие преобразователи свет — сигнал. В частности, камеру ADS1 удалось разделить на два независимых блока (рис. 3.18): обработки и протяжки. К блоку обработки можно подключать несколько блоков протяжки с отдельными частями 35- или 16-мм кинофильма. Тем самым сокращается общий объем телекинопоста, обеспечивающего непрерывную демонстрацию полнометражного фильма.

В последние годы наметилась тенденция использования цифровых ЗУ большого объема для хранения сигналов неподвижных изображений. Сочетание таких ЗУ с линейным ПЗС использовано (рис. 3.19) в телediакамере TTV-2720 [91]. В ней вертикальная прогрессивная развертка диапозитива осуществляется с помощью качающегося зеркала, однако частота качания выбрана намного ниже частоты полей, поэтому оказалось возможным снизить мощность осветительной лампы и тактовую частоту ПЗС. Цветоделенные составляющие в ЗУ записываются последовательно по кадрам с помощью поочередно вводимых между диапозитивом и ПЗС цветных светофильтров, поэтому ошибки совмещения в камере отсутствуют. Имеется два кадровых ЗУ. Пока одно медленно заполняется информацией, получаемой от ПЗС при развертке диапозитива, из второго ЗУ в обычном темпе считываются стандартные сигналы R, G, B, полученные от предыдущего диапозитива. Переход от одного диапозитива к другому происходит путем микширования или переключения сигналов двух ЗУ. Затем ЗУ меняются ролями и начинается запись сле-

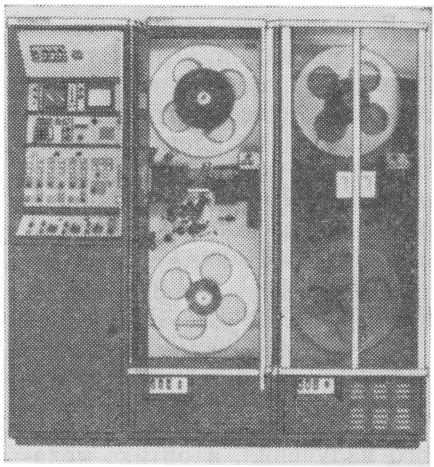
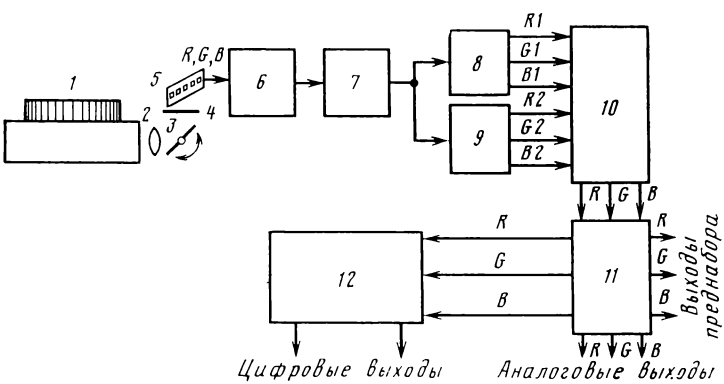


Рис. 3.18. Телекинокамера ADS1

Рис. 3.19. Функциональная схема телediакамеры TTV—2720:
1 — диапроектор; *2* — объектив; *3* — качающееся зеркало; *4* — цветные светофильтры; *5* — линейный ПЗС; *6* — блок обработки аналоговых сигналов (коррекция неравномерности, баланс белого и черного, гамма-коррекция); *7* — блок обработки цифровых сигналов (АЦП, коррекция четкости, контраста и цветокоррекция); *8, 9* — кадровые ЗУ; *10* — цифровой микшер; *11* — блок регулируемой цифровой обработки (коррекция четкости, контраста и цветокоррекция, ЦАП); *12* — преобразование параллельного кода в последовательный



дующего диапозитива. Наличие кадрового ЗУ позволяет получить ряд дополнительных эффектов: можно растягивать изображение, выбирать для демонстрации только его часть («электронное кадрирование»), сохранять изображение при удалении диапозитива из барабана и т. д.

На передающих трубках сейчас работают только прикладные телediакамеры. В телевещании широко применяют телediакамеры с «бегущим лучом». Во многих моделях телекинокамер предусмотрены режим демонстрации диапозитивов и механизм для их смены.

Особенно сложной технической проблемой является создание телекинокамер, работающих в системах теле-

видения высокой четкости. В настоящее время уже созданы несколько моделей телекинокамер ТВЧ. В частности, фирмой «Рэнк Синтел» выпущена камера Mark-III HD с «бегущим лучом» для демонстрации анаморфированных 35-мм фильмов по стандарту 1125/60 с форматом экрана 5,33 : 3. Разработана лазерная телекинокамера [79] для демонстрации 70-мм фильмокопий, в которой лучи лазеров трех цветов совмещаются дихроическими зеркалами в один белый луч, который отклоняется по горизонтали и вертикали с помощью качающегося зеркала и зеркального барабана. Применение лазеров вместо кинескопа в камере с «бегущим лучом» позволяет получить одновременно высокую яркость и малые размеры апертуры луча, однако цветопередача несколько ухудшается вследствие специфического спектрального состава лазерного излучения, а оптико-механическая система существенно усложняется; создана и модификация лазерной телекинокамеры для 35-мм фильмов.

3.5. БЫТОВЫЕ КАМЕРЫ

Общие сведения. Бытовые телекамеры применяются, как правило, совместно с портативными кассетными видеомагнитофонами для видеосъемки с видеозаписью и последующим воспроизведением на домашнем телевизоре. Реже бытовые телекамеры применяют для непосредственного наблюдения изображения на экране. Массовая портативная бытовая (любительская) цветная телекамера вместе с подключенным к ней домашним видеомагнитофоном и телевизором составляет видеокомплекс, заменяющий комплекс средств домашнего любительского кино. При этом отпадает необходимость использования кинокамеры и дорогих цветных кинопленок, требующих к тому же сложной и длительной фотохимической обработки. Кинопроектор и киноэкран заменяются телевизором, который используется и для просмотра обычных вещательных программ. Владелец видеокомплекса может самостоятельно создавать и воспроизводить в домашних условиях любительские видеофильмы, причем видеоленту, в отличие от кинопленки, можно использовать многократно.

Основными особенностями бытовых телекамер являются: малые масса и габариты; небольшая стоимость; надежность и стабильность работы; простота конструкции и эксплуатации; приемлемое качество изображения

и звука, большая длительность записи на одну кассету и работы от одной аккумуляторной батареи.

Качество изображения, обеспечиваемое бытовыми телекамерами, уступает качеству изображения, необходимому для ТВ вещания. В то же время разработчики стремятся улучшить основные параметры бытовых телекамер (четкость, чувствительность, отношение сигнал-шум, отсутствие заметных искажений растра, совмещение, правильная цветопередача).

Бытовые телекамеры, как правило, цветные. Бытовые телекамеры более высокого качества иногда называют полупрофессиональными, так как в некоторых странах для оперативных телерепортажей допускают их применение (несмотря на пониженное качество изображения и звука).

Бытовые телекамеры изготовляют как плечевыми, так и ручными. Чаще их делают ручными (т. е. не с плечевым штативом, а с рукояткой), похожими на любительскую 8-мм кинокамеру.

Чтобы бытовая камера работала стабильно и надежно, лучше использовать ее в режимах, далеких от экстремальных, а также применять автоматическое управление. Надежности добиваются также упрощением схемных решений, конструкции и применением стабильных схемных элементов.

В бытовых телекамерах применяют как передающие трубки, так и твердотельные преобразователи свет — сигнал. Бытовые телекамеры бывают обычно однотрубочными, реже — двухтрубочными с *растровым цветоделением* [44]. Телекамеры на твердотельных матрицах ПЗС или фотодиодных матрицах [10] обеспечивают большую надежность и стабильность работы при достаточно высоких параметрах.

Отечественная цветная телекамера «Электроника Ц-826» собрана на двух 13-мм видиконах ЛИ-465 с электростатическим отклонением и фокусировкой луча. Один из них используется в «зеленом» (яркостном) канале, а второй (с кодирующим светофильтром) — в «красном» и «синем» каналах.

Конструктивно камера состоит из трех блоков: камерной головки, электронного видоискателя и блока кодирования.

Номинальная освещенность объекта при $\ddot{O}=1:4$ и цветовой температуре источника 6500 К, лк . . . 1000

Отношение сигнал-шум, дБ	
в яркостном канале	40
в каналах R и B	30
Разрешающая способность по горизонтали, твл	350
Координатные искажения по всему растру, %	2,5
Диапазон частот канала звукового сопровождения, Гц	100...10000
Отношение сигнал-шум в канале звукового сопровождения, дБ	38
Масса, кг	
камерной головки	4
видоискателя	0,4
блока кодирования	2,5
Питание от сети переменного тока с напряжением, В	220

Телекамера «Электроника Ц-826» предназначена для работы совместно с видеомагнитофоном, имеющим входные параметры, соответствующие ГОСТ 24838—81 [19], для записи изображения и звука на магнитную ленту. Кодирование сигналов осуществляется по системе СЕКАМ. На выходе камеры имеются также и сигналы *R*, *G*, *B*. Для ее настройки и ремонта в блок кодирования встроен генератор испытательных сигналов (в виде цветных полос) и предусмотрена возможность подключения цветного ВКУ.

Работа с камерой не требует специальной подготовки. Управление в процессе видеосъемки сводится к установке необходимого значения диафрагмы и фокусировке объектива. Качество изображения контролируют по экрану электронного видоискателя, который можно поворачивать для удобства наблюдения. Чувствительность камеры достаточна для видеосъемки днем вне помещения без использования дополнительного освещения. В условиях недостаточной освещенности может быть применен любой фотокиноосветитель с галогенной лампой накаливания, при этом на объектив необходимо надеть светофильтр.

Отечественная бытовая цветная телекамера «Электроника ТК-01Ц» (рис. 3.20) более поздней разработки собрана на одном 18-мм видиконе ЛИ-487 со штриховым светофильтром и электростатическим отклонением луча (типа «дефлектрон»). В камере используются в основном многофункциональные БИС в миниатюрных корпусах, она предназначена для совместной работы с отечественными бытовыми кассетными видеомагнитофонами «Электроника» ВМ-12, ВМ-15, ВМ-17 и ВМ-18. В комплект камеры входят четырехкратный вариообъектив «Карат-Т-2» (с автоматической регулировкой диафрагмы), встроенный электретный микрофон и элек-

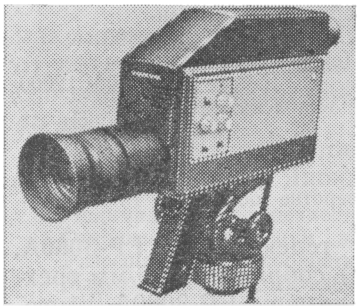


Рис. 3.20. Отечественная цветная телекамера «Электроника ТК-01Ц»

Рис. 3.21. Двухтрубочная цветная бытовая телекамера GC—4100E фирмы JVC

тронный видоискатель на кинескопе 4ЛК3Б с разрешающей способностью до 300 твл. На выходе камеры имеется полный цветовой ТВ сигнал СЕКАМ. Применена фазовая система кодирования сигналов цветности.

Номинальная освещенность объекта (при $O=1:4$), лк	1400
Разрешающая способность в канале яркости, твл	240
Отношение сигнал-шум в канале яркости, дБ, не менее	40
Кратность вариообъектива	4
Потребляемая мощность, Вт	10
Масса, кг	3,5
Габаритные размеры (с объективом), мм	270×90×360
Диапазон рабочих температур, °С	0...40

Двухтрубочные цветные телекамеры GC-4100E (рис. 3.21) **и GC-4400E** (Япония) одинаковы конструктивно, но отличаются типом примененных в них передающих трубок (камера GC-4100E собрана на двух 18-мм видиконах, а камера GC-4400E на двух 18-мм сатиконах). В обеих камерах трубки имеют электростатическую фокусировку и электромагнитное отклонение луча.

Номинальная освещенность объекта (при $O=1:4$), лк	2800
Стандартная освещенность объекта, рекомендуемая изготовителем при $O=1:2$, лк	700
Минимальная освещенность объекта, лк	100
Отношение сигнал-шум, дБ	45

Разрешающая способность по горизонтали в центре экрана, твл	400
Диапазон цветовых температур (с ручной регулировкой), К	2800...12000
Масса камеры (с объективом, видоискателем и рукояткой), кг	3,7
Потребляемая мощность, Вт	13
Кратность вариообъектива	6
Максимальное относительное отверстие объектива	1 : 1,8

Однотрубочные цветные телекамеры FP-3060A, FP-303H, GP-7 и GP-5 (Япония) собраны на 25-мм трехэлектродном видиконе (кроме камеры FP-3060A, имеющей 25-мм трехэлектродный сатикон). Камеры питаются от источников постоянного тока напряжения 12 В.

Телекамера FP-3060A конструировалась как электронный эквивалент 16-мм любительской кинокамеры, а телекамера GP-5 — как эквивалент 8-мм кинокамеры.

	FP-3060A	FP-303H	GP-7
Минимальная освещенность объекта, лк	200	250	100
Отношение сигнал-шум, дБ	46	43	40
Разрешающая способность по горизонтали, твл	270	270	250
Масса камеры, кг	—	3	2,2
Потребляемая мощность, Вт	15	12	—

Камера WV-3180/6X (Япония) на 18-мм трубке типа ньювикон позволяет получить хорошее изображение при низких уровнях освещенности.

Освещенность объекта, лк	
номинальная (при $O=1:4$)	1500
минимальная	10
Отношение сигнал-шум, дБ	46
Разрешающая способность по горизонтали, твл	300
Кратность вариообъектива	6

Телекамера WV-P30 на 18-мм сатиконе имеет массу только 1,5 кг и может работать при освещенности объекта 75 лк. Имеются автоматическая регулировка диафрагмы и возможность макросъемки (на очень близком расстоянии). В имеющей сходные характеристики телекамере WV-P50 предусмотрены дополнительно ультразвуковая автоматическая система фокусировки, а также возможность «наплывов», т. е. постепенное появление и исчезновение изображения и звука при нажатии кнопки.

Телекамеры FAC-1900 (ФРГ) на 18-мм триниконе и FAC-1700 на 18-мм видиконе с полосовым фильтром.

Особенностью камеры FAC-1900 является возможность макросъемки, т. е. съемки на очень близком расстоянии от объекта — 35...70 мм. Камера имеет разрешающую способность в центре 300 твл и отношение сигнал-шум 45 дБ.

Легкая цветная бытовая телекамера на 13-мм видиконе разработана в Японии.

Минимальная освещенность объекта, лк	90
Отношение сигнал-шум, дБ	45
Разрешающая способность по горизонтали, твл	250
Максимальное относительное отверстие вариообъектива	1 : 1,6
Диапазон изменения фокусных расстояний вариообъектива, мм	16...32
Масса, кг	1,1

Камера снабжена оптическим видоискателем с управляемыми логическими устройствами, индикаторами записи на видеомагнитофон, неверной установки диафрагмы и расхода энергии батареи питания. Предусмотрены трехступенчатое регулирование цветовой температуры и автоматическое регулирование диафрагмы.

Телекамера GX-S9S (Япония) на 18-мм сатиконе имеет многие возможности вещательных телекамер. В ней имеются автоматическая оптимизация тока луча трубки, гибкие регулировки баланса белого и диафрагмы, вариообъектив с двумя скоростями изменения фокусного расстояния, а также возможность макросъемки.

Камера WV-6000 на 18-мм широкополосном (6 МГц) сатиконе из бытовых однотрубочных телекамер имеет наилучшие параметры, блоки апертурной коррекции и внешней синхронизации, генератор цветных полос, генератор знаков, стереофонический микрофон.

Отношение сигнал-шум, дБ	50
Разрешающая способность по горизонтали, твл	420
Кратность вариообъектива	12
Масса, кг	2,7

Цветная телекамера GZ-S5U на широкополосном 13-мм сатиконе-косвиконе имеет систему автоматической фокусировки по изображению (достижение максимального размаха сигнала мелких деталей). Она отличается от обычно применяемых инфракрасной или ультрафиолетовой систем автофокусировки, требующих специальных излучателей, приемников и дополнительной энергии. Имеется возможность автомикширования наплывом, а при подключении знакогенератора накладывания титров во время записи или при монтаже.

Телекамера ТС-100 (Япония). В ней используется матрица ПЗС с 200 000 элементами изображения. Чувствительность камеры выше, чем у бытовых телекамер на передающих трубках. Телекамера ТС-100 воспроизводит цвет даже при освещенности 50 лк. Электронный видоискатель готов к работе через 1 с после включения. Масса камеры 2,3 кг.

Высокочувствительная однотрубочная телекамера CVC-75N (Япония) [87] имеет микропроцессор, встроенный в ручку камеры. Минимальная освещенность на объекте 10 лк достигнута благодаря использованию ньювикона с фильтром в виде цветных полос. На ручке камеры расположены кнопки управления камерой и дистанционного управления видеомагнитофоном.

Микропроцессор выполняет следующие функции:
прием и анализ команд с помощью матрицы 4×4 бита;
управление знакогенератором и подготовка данных (считывание/запись), а также управление блоком памяти;
формирование ИКМ-сигналов для дистанционного управления видеомагнитофоном;
ввод в видеосигнал из блока памяти сигналов дат и титров, формируемых знакогенератором и видеоблоком: до восьми страниц текста по 60 знаков (12 рядов, 5 колонок) с помощью 43 различных знаков (буквы, цифры, знаки препинания);
преобразование сигналов дистанционного управления видеомагнитофоном.

Система 8-мм видеозаписи «Кодавижн» и использующие ее две бытовые видеокамеры — «Камкордер-2200» и «Камкордер-2400» [53]. Как известно, системы 8-мм видеозаписи, которые пока не стандартизированы, становятся серьезными конкурентами системам видеозаписи на 12,7-мм и 6,35-мм видеоленту. В системе «Кодавижн» используется 8-мм видеокассета, размеры которой (95×62,5 мм) меньше, чем у обычной звуковой компакт-кассеты (100×63 мм), но толщина вдвое больше (15 мм). Видеокассета проста по конструкции. Могут использоваться магнитные ленты на полиэфирной основе с покрытием из частиц чистого железа или с металлическим напылением кобальто-никелевой смеси. При использовании ленты толщиной 10 мкм продолжительность непрерывной записи 75 мин для системы ПАЛ и 120 мин для системы НТСЦ.

Видеокамеры «Камкордер-2200» и «Камкордер-2400» имеют аккумулятор, рассчитанный на 60 мин непрерыв-

ной работы. В обеих моделях применен миниатюрный 8,5-мм ньювикон. Для записи и воспроизведения цветных изображений передающая трубка снабжена полосовыми светофильтрами. Имеются автоматическое управление диафрагмой, уровнем белого, переключатели режимов: «ожидание» (видеокамера готова к немедленной работе), быстрой перемотки видеоленты вперед и назад, контроль предыдущей записи, автоматическое выключение после видеозаписи заданного метража ленты и выбор характера освещения (искусственное или естественное).

В видеокамере «Камкодер-2400» имеется устройство инфракрасной автоматической фокусировки, возможность записи дополнительной информации (день, месяц, год съемки), автоматического получения и снятия затемнения с получением наплыва, переключения фонового освещения, переключения видеозаписи позитив/негатив, режима «стоп-кадр» и медленной смены кадров (без появления темных полос на экране).

Обе модели видеокамер снабжены черно-белыми электронными видоискателями, на которых для контроля можно повторно воспроизводить предыдущую видеозапись в течение последних 4 с.

Минимальная освещенность объекта, лк	20
Разрешающая способность по горизонтали, твл	240
Масса камеры (с аккумулятором на 60 мин непрерывной работы), кг	2,2
Потребляемая мощность, Вт	
при работе	7,3
в режиме «ожидание»	2
Максимальное относительное отверстие вариообъектива	1 : 1,2
Диапазон изменения фокусных расстояний вариообъектива, мм	7...42

Видеокамера CCD-V8 (Япония). В ней используется 8-мм видеозапись по собственному стандарту «Видео-8», применены видеоголовки и металлопорошковая лента, обеспечивающие повышенную плотность записи, уменьшены габариты и масса диска, двигателя и печатных плат, резко снижена потребляемая мощность. В качестве преобразователя свет — сигнал используется одна матрица ПЗС со строчно-кадровым переносом зарядов и числом элементов 491×500 (для стандарта НТСЦ) или 580×500 (для стандарта ПАЛ). В видеокамере используется 6-кратный вариообъектив. В кассетном видеомагнитофоне применена наклонно-строчная видеозапись двумя вращающимися головками. Могут быть

применены стандартные кассеты на 8-мм металлопорошковой магнитной ленте. Время записи и воспроизведения на одной кассете достигает 3 ч. Масса видеокамеры CCD-V8 с видеомагнитофоном, батареей питания, кассетой и вариообъективом равна 2,3 кг (без батареи и кассеты — 2 кг).

Видеокамера CCD-V8AF-E с инфракрасной системой автофокусировки и возможностью воспроизведения изображения на экране электронного видоискателя — дальнейшее усовершенствование видеокамеры CCD-V8. Автофокусировка возможна на расстоянии до 13 м. Камера снабжена электронным черно-белым видоискателем с размером экрана по диагонали 2,54 см.

Минимальная освещенность объекта, лк	22
Рекомендуемая изготовителем освещенность объекта, лк	300
Диапазон освещенностей объекта, лк	22...100 000
Масса камеры с батареями и кассетой, кг	2,63
Потребляемая мощность, Вт	7,7
Кратность вариообъектива	6
Максимальное относительное отверстие вариообъектива O	1 : 1,4
Диапазон изменения фокусных расстояний вариообъектива, мм	12...72
Фильтры для цветовых температур, К, при освещениях:	
солнечном	5800
искусственном	3200
Габаритные размеры камеры, мм	126×191×350

Видеокамера «Фудзикс-8» (Япония) с записью на 8-мм видеоленте выполнена на 17-мм матрице ПЗС (имеющей около 250 000 элементов изображения). Камера имеет 6-кратный вариообъектив, позволяет производить съемку при освещенности 20 лк и обеспечивает воспроизведение. Масса камеры 1,9 кг. Подзаряжаемая никель-кадмиевая батарея обеспечивает непрерывную работу в течение 60 мин.

Кроме бытовых видеокамер 8-мм формата выпускаются бытовые видеокамеры с компактными стандартными кассетами с лентой шириной 12,7 мм. Характерным примером такой камеры является «Бетамуви» (Япония) [106].

Минимальная освещенность объекта, лк	28
Масса видеокамеры (без батареи питания), кг	2,48
Кратность вариообъектива	6
Максимальное относительное отверстие вариообъектива O	1 : 1,2
Диапазон изменения фокусных расстояний вариообъектива, мм	9...54
Продолжительность записи на стандартной кассете L=830, ч	3

Камера имеет оптический видоискатель, на котором с помощью светодиодов индицируются недостаточная освещенность, разряд батарей, расход ленты, ошибка при лентопротягивании, режим записи, баланс белого и осаждение влаги на барабане с видеоголовками. Электретно-конденсаторный микрофон располагается вдоль объектива (при использовании монофонической звуковой системы).

3.6. КАМЕРЫ ПРИКЛАДНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Общие сведения. Прикладным принято называть телевидение, которое применяют в различных отраслях промышленности, науки и техники и на транспорте с целью повышения производительности и безопасности труда, облегчения его условий, расширения возможностей научных и других исследований, повышения эффективности обучения, автоматизации производственных процессов и т. п. В связи с тем, что впервые прикладное ТВ начали применять в промышленности, его иногда называют промышленным. Однако официально принятое название «прикладное» является более общим и правильным.

В отличие от вещательных ТВ систем, где сигналы изображения и звука передаются от передающей до приемной стороны по радио (кроме систем кабельного ТВ), в системах прикладного (невещательного) ТВ для передачи используются кабели, вследствие чего они являются замкнутыми [22].

По назначению и принципу использования системы прикладного ТВ подразделяется на визуальные (наблюдение, обучение, контроль, ТВ тренажеры) и системы ТВ автоматики, предназначенные для обнаружения объектов, измерения их параметров, идентификации, счета и классификации объектов.

В зависимости от назначения камеры прикладного ТВ должны полностью или частично удовлетворять следующим основным требованиям [8]:

высокая надежность работы, так как отказ или неисправность могут повлечь останов всего производственного процесса или системы автоматического регулирования;

небольшие масса и габариты, так как телекамеры часто приходится устанавливать в неудобных или труднодоступных местах и на небольших объектах;

работа в сложных условиях внешней среды (диапазон температур —60...+1400°С, давление до сотен атмосфер, относительная влажность до 98%), а также непосредственно в водной и взрывоопасной средах, под влиянием биологических факторов (плесень, насекомые и грызуны) и при большой запыленности воздуха, наличие специальных поворотных устройств с дистанционным управлением, обеспечивающих поворот камеры в горизонтальной и вертикальной плоскостях с помощью малогабаритных двигателей через редукторы;

возможность автоматической регулировки освещенности на преобразователе свет — сигнал в больших пределах изменения освещенности на объекте;

возможность дистанционного управления фокусировкой, диафрагмированием и сменой объективов (если в оптической головке используется не вариообъектив, а несколько объективов с постоянным фокусным расстоянием);

размещение узлов развертки передающих трубок часто не в камере, а вне ее;

наличие дежурного режима работы;

упрощение сигналов и схем синхронизации;

коррекция искажений сигналов при работе с длинным кабелем;

возможность коммутации сигналов с выходов нескольких камер на одно ВКУ;

применение автоматических регулировок усиления и режима работы передающих трубок;

применение подчеркивания контраста объектов с малыми перепадами яркости, а также превращения позитивного изображения в негативное;

применение медленных разверток, однострочных разверток, синусоидальных и спиральных разверток и электронного масштабирования;

применение не всегда совпадающего с вещательным стандарта разложения изображения (в некоторых системах прикладного ТВ — повышенного или пониженного числа строк и/или кадров).

Визуальные системы прикладного ТВ. Телекамеры прикладных ТВ установок (ПТУ), предназначенных для подводных исследований, помещают в прочный водонепроницаемый кожух, выдерживающий давление на большой глубине. В них устанавливают чувствительные преобразователи свет — сигнал. К кожуху крепятся осветительные приборы.

Телекамеры рентгенотелевизионных ПТУ должны иметь чувствительный преобразователь свет — сигнал в связи с малой яркостью и контрастностью рентгеновских изображений. В некоторых установках применяют также рентгеновские электронно-оптические преобразователи и усилители рентгеновских изображений. Предусматривается защита от рентгеновского излучения.

Телекамеры визуальных ПТУ, предназначенных для применения в телевизионных микроскопах и эндоскопах, могут быть как черно-белые, так и цветные, которые дают существенно больше информации для диагностики. Они должны легко стыковаться с микроскопом или эндоскопом с помощью переходных устройств или адаптеров. Для исследований глаза, а также при диагностике онкологических и сосудистых заболеваний особенно — пигментных изменений — камера должна работать в ИК области спектра. Телекамеры должны иметь как можно меньшие массу и габариты.

Телекамеры визуальных ПТУ, предназначенных для обследования труднодоступных мест (трубопроводов и др.), помещают в водонепроницаемый кожух небольших размеров, соединенный с другой аппаратурой гибким кабелем и имеющий специальные направляющие. Они должны иметь чувствительный преобразователь свет — сигнал и обычно дополнительный источник освещения, а также поворотное зеркало, позволяющее обследовать поверхность труб с близкого расстояния.

Особенностью визуальных систем «интеллектуальных» роботов, предназначенных в основном для сборочных работ, является миниатюрность телекамеры (иногда двух — для получения стереоскопического изображения). Кроме наблюдения, здесь обычно осуществляется и распознавание объектов. В транспортных телевизионных тренажерах с имитацией визуальной обстановки (авиационные, автомобильные и др.) используют телекамеры серийных ПТУ, которые можно перемещать и поворачивать в разных направлениях с целью создания необходимых визуальных эффектов опасных ситуаций при тренировке водителей транспортных средств [21].

Системы телевизионной автоматики. Они обеспечивают обнаружение объектов, измерение их параметров, идентификацию, счет и классификацию объектов; их все шире применяют в металлургии, машиностроении, биологии, медицине, астрономии, при космических исследованиях, в робототехнике (интеллектуальные «видящие» роботы) и др. Телекамеру, входящую в состав такой

системы, принято называть телевизионным датчиком. Телевизионный датчик может иметь в качестве преобразователя свет — сигнал передающие трубки с накоплением, трубки мгновенного действия (диссекторы), твердотельные матричные преобразователи, линейные твердотельные преобразователи.

При необходимости обеспечить одновременно визуальный контроль и измерения при малой освещенности используются передающие трубки с накоплением типа видикон или твердотельные матричные преобразователи. Телевизионный датчик должен работать в автоматическом режиме. У него должны быть малые геометрические искажения, высокие линейность отклоняющих токов, стабильность размеров и центровок растра, линейность и устойчивость работы усилительного тракта, широкий диапазон освещенностей. Перспективны высокоточные цифровые развертки, позволяющие осуществлять сканирование изображения по заданному закону.

Высокая контрастная чувствительность телевизионного датчика особенно важна в биологии и медицине, где реальные объекты имеют малый контраст. Это достигается улучшением характеристик преобразователей свет — сигнал, а также повышением отношения сигнал-шум в усилительном тракте. Возможными путями повышения этого отношения являются применение параметрического усиления, многоэлементной апертуры, а также увеличение времени накопления благодаря оптической компенсации перемещения объекта.

Точность измерения размеров и координат всего объекта можно повысить путем наблюдения его только в одной и той же части растра (например, в центре), а также применением методов граничных токов (исключающих влияние нелинейности разверток во времени) или оптической дискретизации (при использовании волоконно-оптического преобразователя или линейного твердотельного преобразователя).

Как известно, объем информации, содержащейся в одном кадре стандартной ТВ системы, составляет 2...3 млн. бит. Вводить всю эту информацию в ЭВМ нецелесообразно. Поэтому используют методы и устройства сжатия сообщения за счет межэлементных, межстрочных и межкадровых статистических связей. Повышение эффективности использования ЭВМ или специализированных систем обработки ТВ сигнала может быть достигнуто путем предварительного анализа, выделения и ввода в ЭВМ участков изображения, содержа-

щих наибольшую информацию об объекте. Этот метод применен, например, в телевизионном анализаторе структуры изображений (ТАСИ) и его дальнейших модификациях [31].

Рассмотрим принципы построения и особенности современных ПТУ и применяемых в них телекамер.

По структуре ПТУ разделяют на одноканальные и многоканальные. Одноканальные состоят из одной передающей камеры и одного или нескольких визуальных воспроизводящих устройств (ВКУ или телевизионных приемников). На рис. 3.22, *а* показана структурная схема простейшей ПТУ, состоящей из телекамеры *1* и ВКУ *2*, соединенных линией связи. В таких системах используют обычно построчную развертку и расстояние между камерой и ВКУ не превышает 150...200 м. Для уменьшения массы и габаритов телекамеры и повышения ее надежности в некоторых ПТУ (рис. 3.22, *б*) применяют отдельный блок канала *3*, в который выносят развертывающие устройства камеры, часть предварительного усилителя и другие элементы (рис. 3.22, *б*). В блоке канала могут находиться также узлы, обеспечивающие удаление камеры на большое расстояние и чересстрочное разложение изображения. Одноканальная однокамерная ПТУ (рис. 3.22, *в*) содержит несколько ВКУ *2*. Такие ПТУ используют при одновременной

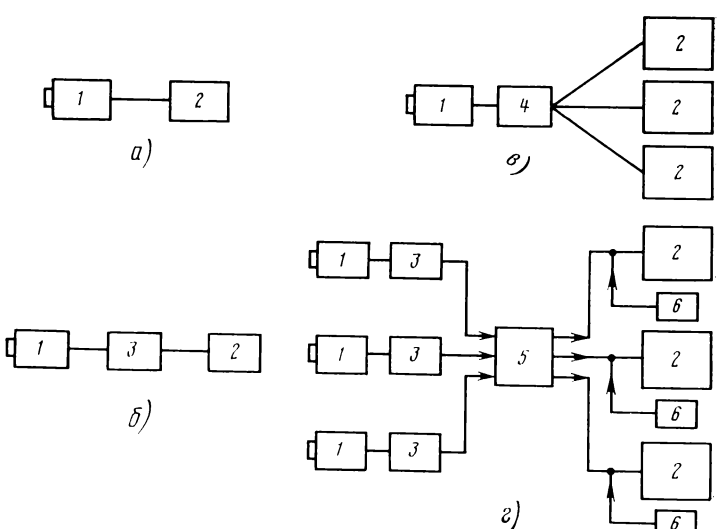


Рис. **3.22.** Структурные схемы ПТУ

работе нескольких операторов или диспетчеров, а также в большой аудитории (учебный процесс, хирургическая операция и др.). Каждое ВКУ подключают параллельно к усилителю-распределителю *4*. Возможно и последовательное и параллельное подключение ВКУ через специальный распределительный фильтр. В многоканальной (многокамерной) ПТУ (рис. 3.22, *г*) видеосигналы от трех (или более) телекамер *1* с блоками каналов *3* поступают на коммутатор *5*. С коммутатора видеосигналы непосредственно (или после преобразования в радиосигнал) подаются к ВКУ (или телевизорам) *2*. Нужную телекамеру выбирают на каждом пункте наблюдения с помощью коммутаторов *6*. Могут применяться и более сложные разветвленные структуры ПТУ.

Отечественная промышленность серийно выпускает различные модели ПТУ (с черно-белыми телекамерами) как универсальные, так и специализированные.

Установки ПТУ-44 — ПТУ-48, ПТУ-51, ПТУ-53 предназначены для визуального наблюдения за объектом. В них используются телекамеры КТП-63, КТП-63-1, КТП-64 и КТП-67-1 на 25-мм видиконе ЛИ-441 с электромагнитным отклонением и электростатической фокусировкой луча.

Разрешающая способность по горизонтали растра, твл	
в центре	500
в углах	450
Геометрические искажения растра, %	3
Нелинейные искажения растра, %	4
Масса камер, кг	
КТП-63 и КТП-64	7...8
КТП-67-1	2,7
Потребляемая мощность, В·А	7...15

Установки ПТУ-44 (однокамерная), ПТУ-52 (четырехкамерная) и ПТУ-53 (восьмикамерная) предназначены для работы в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями (в закрытых отапливаемых или охлаждаемых и вентилируемых производственных и других помещениях) без воздействия солнечной радиации, атмосферных осадков, песка и пыли. Установки ПТУ-45 (однокамерная), ПТУ-46—ПТУ-48 (четырехкамерные) и ПТУ-51 (восьмикамерные) предназначены для работы на открытом воздухе. Все модели перечисленных ПТУ имеют дистанционное наведение всех или части входящих в их состав телекамер. Длина коаксиального кабеля до 500 м.

Для установки и наведения телекамер КТП-63 и КТП-64 вручную (на 360° по горизонтали и на ±45° по вертикали) используется устройство наведения УН-18 массой 3,5 кг, а для дистанционного наведения — УН-16 массой 10,2 кг.

При выборе ПТУ для визуального наблюдения за объектами необходимо предварительно рассчитать место ее установки, освещенность на преобразователе свет — сигнал и для движущихся объектов предельно допустимую скорость движения объектов, выбрать объектив.

Выбор объектива и определение места установки телекамеры производятся по формуле $a=AFH/Sh$, где a, A — линейные размеры изображения на экране ВКУ и наблюдаемого объекта, мм; F — фокусное расстояние объектива, мм; S — расстояние от передней линзы объектива до объекта, мм; H — высота растра ВКУ, мм; h — высота растра в видиконе (или высота светочувствительной части матрицы ПЗС), мм.

В плоскости, перпендикулярной оси камеры, при четкости изображения движущегося объекта 300 твл предельно допустимая скорость движения объекта, м/с, $V=3L/F\cdot 10^{-3}$, где L — расстояние от камеры до объекта наблюдения, см; F — фокусное расстояние объектива, см.

Освещенность объекта наблюдения, лк, $E_{об}\approx \approx 4E_м/\rho\tau(\ddot{O})^2$, где $E_м$ — освещенность мишени передающей трубки (или светочувствительной части матрицы ПЗС), лк; ρ — коэффициент отражения объекта наблюдения; τ — коэффициент светопропускания объектива; $\ddot{O}$ — относительное отверстие объектива.

Установка ПТУ-54. В конструкции ПТУ-54 предусмотрена возможность дистанционного наблюдения за объектами и технологическими процессами (в том числе и опасными для обслуживающего персонала) на большом удалении (до 1000 м при передаче сигналов по телефонной паре, до 5000 м — по коаксиальному кабелю и до 10 000 м — по коаксиальному кабелю с дополнительным усилением). В ней используется телекамера КТП-63 на видиконе ЛИ-441, устанавливаемая на открытом воздухе. Искажения сигнала изображения, вносимые коаксиальным кабелем, корректируются усилителем-корректором, расположенным в пульте управления и частично в телекамере. При передаче сигнала по телефонному кабелю он преобразовывается в симмет-

ричный, а затем в асимметричный. Управление включением и выключением камеры, фокусировкой, масштабированием, наведением в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а также включением и выключением обогрева защитного стекла кожуха камеры осуществляются с пульта управления. Масса камеры до 8 кг.

Прикладная телевизионная установка ПТУ-59 предназначена для дистанционного наблюдения с вышек и мачт. Для передачи используют коаксиальный кабель длиной до 3000 м. Используется телекамера КТП-63-1 на видиконе ЛИ-441. Камера снабжена дистанционно управляемой оптической приставкой с вариообъективом «Метеор-С», имеющим диапазон изменения фокусных расстояний 22...88 мм и пределы фокусировки от 3 м до бесконечности. Масса камеры не более 8 кг.

Прикладные телевизионные установки ПТУ-40 и ПТУ-149 предназначены для дистанционного наблюдения за объектами и производственными процессами во взрывоопасных помещениях и зонах. В обеих ПТУ применяются телекамеры КТП-58 на 25-мм видиконе ЛИ-426 с электромагнитным отклонением и электростатической фокусировкой луча. Отличие между установками заключается в том, что ПТУ-40 — однокамерная, а ПТУ-49 — многокамерная (можно одновременно использовать до десяти телекамер). Электрические параметры у них те же, что и у рассмотренных выше ПТУ на видиконе ЛИ-441. В условиях взрывоопасной среды размещаются телекамеры КТП-58 на устройствах наведения УН-11 или УН-12. Устройство УН-11 обеспечивает дистанционное наведение на наблюдаемый объект в пределах $\pm 160°$ по горизонтали и $\pm 30°$ по вертикали. Устройство УН-12 предназначено для наведения камеры вручную в горизонтальной плоскости в пределах 360° и в вертикальной плоскости $\pm 30°$. Масса телекамеры КТП-58 с устройством наведения УН-11 составляет 55 кг, с УН-12—30 кг. Остальные блоки ПТУ-40 и ПТУ-49 размещаются вне взрывоопасной среды на расстоянии 300...1000 м.

Прикладные телевизионные установки ПТУ-60 и ПТУ-61, предназначенные для дистанционного наблюдения за объектами и производственными процессами, а также для использования в учебных и научных целях, отличаются от всех рассмотренных выше малыми массой и габаритами из-за использования в их телекамере КТП-82 18-мм видикона ЛИ-475 с электромагнитным отклонением и электростатической фокусировкой луча.

Обе установки однокамерные. Сигнал передается от телекамеры к приемной стороне по коаксиальному кабелю длиной до 1000 м. В ПТУ-61 он воспроизводится на ВКУ, а в ПТУ-60 преобразуется в пульте управления в высокочастотный для воспроизведения на телевизионном приемнике, на вход которого он подается на несущей частоте одного из трех первых каналов ТВ вещания.

Разрешающая способность по горизонтали, твл	
в центре	450
в углах	400
Геометрические искажения растра, %	2
Нелинейные искажения растра, %	4
Масса камеры, кг	1,6
Потребляемая мощность, В·А	6,5

Отечественные черно-белые ПТУ-75 и ПТУ-77, а также цветная ПТУ «Лотос», разработанные в последнее время, имеют лучшие параметры и большие технологические возможности, чем ПТУ, созданные ранее; ПТУ-75 представляет собой замкнутую многокамерную (до 28 камер) систему, в состав которой могут входить телекамеры КТП-83 или КТП-85.

	КТП-83	КТП-85
Минимальная освещенность объекта, лк	50	0,25
Разрешающая способность по горизонтали (в центре), твл	500	450
Масса камеры, кг	6,5	10,4
Диапазон рабочих температур, °С	—40...+45	—40...+45

Цветная прикладная ТВ установка «Лотос» содержит телекамеру КТП-86, устройство наведения, блоки канала и управления. Телекамера двухтрубочная, в канале яркости используется 25-мм видикон, в канале цветности 25-мм косвикон. На выходе телекамеры «Лотос» получают полный цветовой ТВ сигнал СЕКАМ, который может быть подан на телевизор или видеомагнитофон.

Номинальная освещенность объекта, лк	600
Диапазон допустимых освещенностей объекта, лк	100...12 000
Разрешающая способность по горизонтали в канале яркости, твл	
в центре	450
в углах	400
Отношение сигнал-шум в канале яркости, дБ	40
Масса камеры, кг	7
Диапазон рабочих температур, °С	1...35
Длина линии связи, м	500

Система автоматической настройки и дистанционного управления, разработанная на основе микропроцессорных БИС, обеспечивает безоператорный режим работы и возможность настройки аппаратуры оператором в процессе эксплуатации за 3...5 мин.

«Спектр-10ВСК» — отечественная цветная передающая ТВ камера повышенной чувствительности для прикладного телевидения — предназначена для работы при обычных уровнях освещенности без дополнительной подсветки и может применяться в различных отраслях народного хозяйства, в медицине, для учебных целей и в замкнутых ТВ системах. Снижение освещенности передаваемой сцены достигнуто путем применения в телекамерах трех передающих трубок, обладающих высокой чувствительностью. Простая и дешевая оптическая система камеры, основанная на параллельном расположении передающих трубок, цветоделительном блоке на дихроических зеркалах и применении серийного вариообъектива «Метеор-5», обеспечила компактность камеры.

Номинальная освещенность объекта (при $O=1:4$), лк	20
Разрешающая способность по горизонтали, твл	
в центре	450
в углах	300
Масса, кг:	
камеры	7,5
блока управления	8
Потребляемая мощность, В·А	60

Прикладная телевизионная установка «Матрица», предназначенная для дистанционного наблюдения на экране телевизора черно-белого изображения различных объектов, а также для использования в учебных и научных целях, отличается от рассмотренных выше ПТУ тем, что в ней вместо передающей трубки используется матрица ПЗС с числом элементов 288×256. Это — однокамерная ПТУ с балансной передачей сигналов изображения по симметричной двухпроводной (телефонной) линии связи на расстояние до 1000 м. На приемной стороне установки кроме обычного выхода видеосигнала имеется высокочастотный радиосигнал одного из трех первых каналов ТВ вещания для воспроизведения на экране телевизора.

В ПТУ «Матрица» используется телекамера КТП-79 на устройстве наведения УН-28 (рис. 3.23). Разложение изображения на 288 строк обеспечивает возмож-

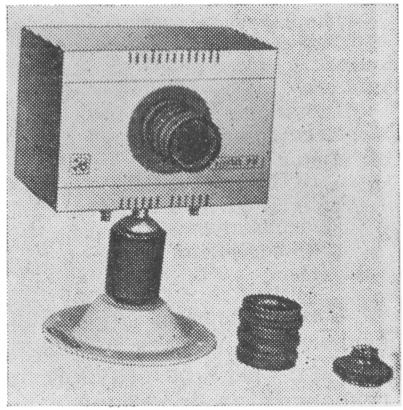


Рис. 3.23. Телекамера КТП-79 на устройстве наведения УН-28

ность приема ТВ сигнала на стандартном телевизоре, т. к. число строк матрицы ПЗС вдвое меньше числа активных строк в растре телевизора (625—50 = 288 × 2 — 1). Включение ПТУ, регулировка яркости и контрастности — дистанционные с пульта управления, фокусировка и установка диафрагмы объектива — вручную.

Разрешающая способность по горизонтали и вертикали, твл	150
Число различимых градаций яркости	6
Геометрические и нелинейные искажения растра	практически незаметны
Угол поворота камеры, град	360
Угол наклона камеры, град	±45
Масса, кг:	
телекамеры	0,9
устройства наведения	0,5
Потребляемая камерой мощность, В·А	18

ПТУ «Сварка» является примером серийной отечественной ПТУ, предназначенной для визуального наблюдения и контроля объектов в особо тяжелых условиях. Она обеспечивает наблюдение объектов с большим перепадом яркости в условиях высоких уровней индустриальных помех и высокой окружающей температуры. Использование ПТУ «Сварка» повышает качество сварочных работ, увеличивает производительность труда и улучшает условия труда оператора. В установке применены телекамеры КТП-60 с дистанционными диафрагмированием и фокусировкой или КТП-65 без дистанционного диафрагмирования. Защитный кожух с водяным охлаждением обеспечивает работоспособность камеры КТП-65 при температуре окружающего воздуха до 300°С. В телекамерах установлен 13-мм видикон ЛИ-437 с электромагнитным отклонением и электростатической фокусировкой.

Номинальная освещенность объекта, лк	400
Разрешающая способность по горизонтали, твл	
в центре	450
в углах	350
Геометрические искажения растра, %	3
Нелинейные искажения растра, %	±8
Масса камеры, кг:	
КТП-60 (без кожуха)	2
КТП-65 (без кожуха)	1,4
Продолжительность непрерывной работы (с последующим перерывом 1 ч), ч	23

Однокамерные ПТУ-50, «Дефектоскоп» и «Интроскоп» выпускаются серийно отечественной промышленностью; ПТУ-50 служит для воспроизведения рентгеновских изображений с выходных экранов рентгеновских электронно-оптических преобразователей и усилителей рентгеновских изображений (в этом случае в телекамере КТП-73 устанавливается видикон ЛИ-421) или для наблюдения объектов в видимой и ближней инфракрасной областях спектра (в последнем случае применяется видикон ЛИ-438). Камера КТП-73 рассчитана на установку 25-мм видиконов с электромагнитными отклонением и фокусировкой. Масса камеры не более 3 кг.

Однокамерные ПТУ «Дефектоскоп» и «Интроскоп» предназначены для неразрушающего контроля сварных швов, литья и изделий из различных материалов при совместной работе с рентгеновскими аппаратами. Установки однокамерные, но отличаются типом используемой в телекамере передающей трубки. Обе установки позволяют воспроизводить черно-белое изображение контролируемых изделий на экране ВКУ, а также регистрировать обнаруженные дефекты на фотопленку.

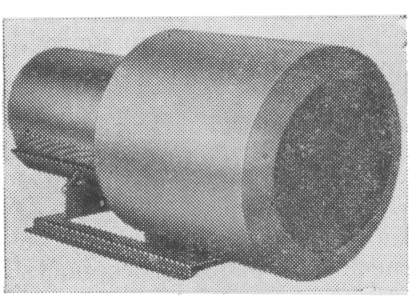


Рис. **3.24.** Телекамера КТП-68, используемая в ПТУ «Дефектоскоп»

В ПТУ «Дефектоскоп» применяется телекамера КТП-68 (рис. 3.24), в которой устанавливается рентгеновидикон ЛИ-447, ЛИ-423 или ЛИ-417. Установки могут работать с промышленными рентгеновскими аппаратами, обеспечивающими мощность дозы рентгеновского излучения около 7 Р/мин за контролируемым изделием. Телекаме-

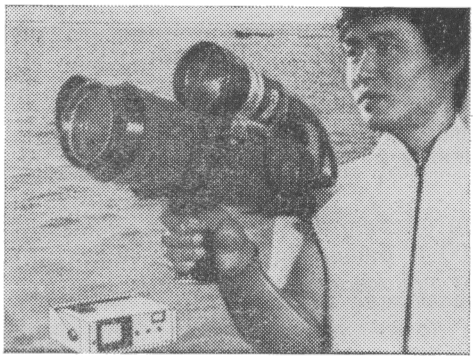


Рис. 3.25. Цветная телекамера системы подводного телевидения МС-108Е фирмы «Q—I Инкорпорейтед»

ра КТП-68 преобразует теневое рентгеновское изображение наблюдаемых объектов, возникающее под действием рентгеновских лучей и проецируемое на мишень рентгеновидикона, в электрические сигналы. В телекамере КТП-68 колба рентгеновидикона закрыта кожухом, защищающим трубку от электрических полей и механических воздействий. Масса КТП-68 — не более 6 кг, КТП-68-1 — не более 4,2 кг, КТП-68-2 — не более 2,6 кг.

В ПТУ «Интроскоп» применена телекамера КТП-62, в которой используется высокочувствительная передающая трубка изокон ЛИ-801. Рентгеновский контроль с применением ПТУ «Интроскоп» может быть легко механизирован и автоматизирован, что позволяет встраивать ПТУ в поточные линии. «Интроскоп» может быть также использован для визуального наблюдения за различными процессами при низких уровнях освещенности.

Минимальная освещенность на фотокатоде изокона, лк 5×10^{-4}
Разрешающая способность по горизонтали в центре, твл 200
Масса камеры, кг 16

Компактная цветная телекамера системы подводного телевидения МС-108Е (рис. 3.25) имеет твердотельный преобразователь свет — сигнал.

В систему входят также блок управления и цветное ВКУ. Дополнительно к камере могут придаваться видоискатель, видеомагнитофон и подводный телефон.

Разрешающая способность по горизонтали, твл . 260
Отношение сигнал-шум, дБ 46
Диапазон освещенностей объекта (с автоматическим регулированием чувствительности), лк . . . . 100...100 000

Масса камеры, кг	
в воздухе	4
в воде	0,6
Потребляемая мощность от источника постоянного тока, Вт	3,6
Максимальная глубина погружения камеры, м	200
Потребляемая галогенной лампой освещения мощность, В·А	300

В установках для обследования магистральных трубопроводов ТКС-7000 и разветвленных трубопроводов ТКС-8000 применяют эту же камеру.

	ТКС-7000	ТКС-8000
Угол наклона оптической головки камеры, град	90	—
Диаметр исследуемой трубы, мм	300	150
Масса камеры, кг	6	2

Наибольшая глубина погружения 6000 м достигнута для телекамер L-70 (ФРГ), в которой используется 25-мм передающая трубка типа эбикон, и СМ-8 (Великобритания), в которой могут устанавливаться передающие трубки ньювикон, видикон или кремникон.

На рис. 3.26 показана телекамера, закрепленная на шлеме парашютиста и используемая совместно с фотокамерой.

Для промышленной дефектоскопии и медицинской диагностики онкологических заболеваний и нарушений в сосудистой системе во Франции разработаны инфракрасные телевизионные камеры (которые иногда назы-

Рис. 3.26. Телекамера, используемая парашютистом

вают тепловизионными) на передающих трубках пирикон. Эти камеры совместимы со стандартными ВКУ, видеомагнитофонами и другим ТВ оборудованием [80]. В камерах используются пириконы ТН-9855 и ТН-9851.

	ТН-9855	ТН-9851
Спектральный диапазон, мкм	2,5...25	8...14
Разрешающая способность по горизонтали, твл	238	270
Диаметр, мм		
трубки	29	31,5
мишени	17	17

Цветной телевизионный эндоскоп (США) имеет миниатюрную головку с телекамерой на ПЗС-матрице из 488×358 элементов. Она закрепляется на конце жгута. вводимого во внутреннюю полость. В жгуте собраны соединительные провода для подачи напряжения питания к камере и вывода сигналов, а также волоконно-оптический жгут для освещения внутренней полости. Для получения цветного изображения на внешний конец световодного жгута последовательно подаются красный, зеленый и синий световые потоки от осветительного устройства со светофильтрами. Продолжительность включения каждого источника 1/180 с при длительности кадра 1/30 с.

Камера TSC-118—2 (США) — одна из самых миниатюрных цветных прикладных телекамер. Ее масса 0,5 кг. Три модуля, выполненные на гибридных схемах, и ПЗС-формирователь видеосигналов помещены в алюминиевый корпус. Модульная конструкция обеспечивает прочность и простоту эксплуатации. Камера выдерживает удары в 100 g по любой оси. Используется объектив с фиксированным фокусным расстоянием. Камера может использоваться под водой и в системах обнаружения объектов.

Автоматическая ПТУ «Измеритель-1» — камера, серийно выпускаемая отечественной промышленностью, позволяет автоматизировать процесс бесконтактного измерения и контроля геометрических параметров объектов высоты, максимального горизонтального размера и площади), счет объектов, находящихся в поле зрения телекамеры, и вывод значений параметров для обработки результатов измерения на ЭВМ. Установка разработана на микросхемах повышенной степени интеграции.

В качестве датчика видеосигнала используется телекамера КТП-67 на 25-мм видиконе ЛИ-441, входящая в состав ПТУ-43.

Разрешающая способность по горизонтали, твл
в центре 500
в углах 450
Размер объекта относительно линейного размера поля зрения камеры, %, не менее 1
Контрастность объекта относительно перепада яркости от уровня черного до уровня белого, %, не менее . . . 30

Размер объекта по вертикали измеряется по числу строк, максимальный горизонтальный размер объекта — по максимальной длительности импульса пересекающих объект строк, площади — по суммарной длительности импульсов пересекающих объект строк. Количество объектов определяется числом первых хорд вдоль строки, принадлежащих изображению каждого из объектов. В автоматическом режиме обеспечивается последовательное выделение объектов в поле зрения телекамеры и измерение их геометрических параметров. Предусмотрено также измерение длины и высоты «окна», в которое вписывается измеряемый объект.

Телевизионный анализатор структуры изображений (ТАСИ) предназначен для исследования и анализа различных объектов в медицине, биологии, металлургии, металлографии и в других областях науки и техники [31]. На основе ТАСИ создана одна из его модификаций — комплекс аппаратуры диагностики рака (КАДР), структурная схема которого приведена на рис. 3.27. Световой микроскоп МБИ-6 снабжен специальным автоматически перемещаемым в двух взаимно перпендикулярных направлениях предметным столиком. В качестве ТВ датчика используется телекамера на 25-мм видиконе серийной ПТУ-29. С выхода датчика видеосигнал

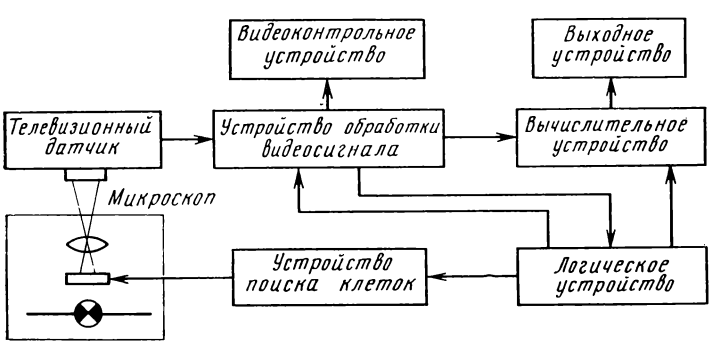


Рис. 3.27. Структурная схема комплекса аппаратуры диагностики рака (КАДР)

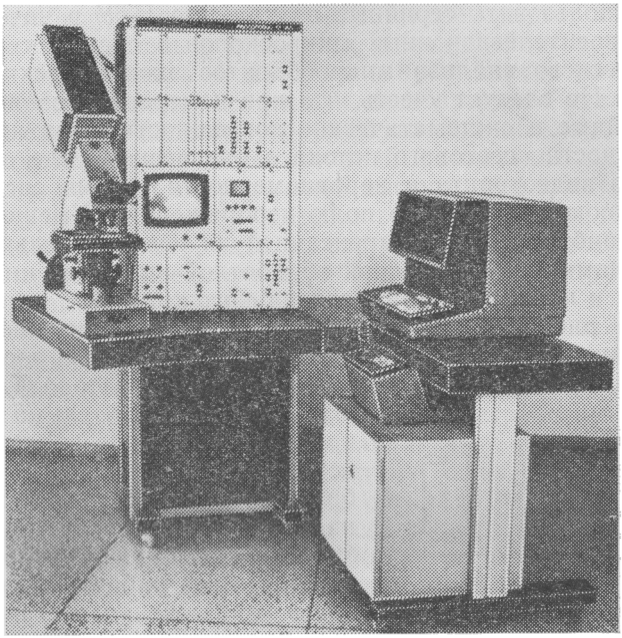


Рис. 3.28. Видеотерминал ВТ-4001, состоящий из телевизионного микроскопа, устройств обработки видеосигнала и мини-ЭВМ

поступает на устройство обработки, где осуществляются амплитудно-временна́я селекция сигнала, измерение информативных параметров и преобразование результатов измерений в цифровую форму. Полученные данные поступают в вычислительное устройство, в котором накапливается и обрабатывается поступающая информация по заранее определенным алгоритмам. Модификация ТАСИ-2 служит для анализа микрообъектов в медицине, микробиологии и ботанике; ТАСИ-3 — для автоматизации исследования глаза; видеотерминал ВТ-4001 (рис. 3.28) — для автоматического распознавания цитологических препаратов при массовом онкопрофилактическом обследовании населения; телевизионный количественный структурный анализатор (ТЕКСТАН) — для анализа топологии различных поверхностей, в частности, металлографических шлифов; многоцелевой комплекс аппаратуры «Растр» для ввода информации в любую универсальную ЭВМ через интерфейс связи.

Использовать серийные визуальные ПТУ в качестве датчиков телевизионных микроскопов в системах автоматического анализа микрообъектов экономически выгодно. Но следует учесть, что при измерении возникают случайные и систематические погрешности из-за неравномерности светового потока в оптическом узле, из-за шумов видеотракта и неравномерности уровня сигнала передающей трубки по полю изображения. Уменьшить эти ошибки можно компенсацией их вспомогательными сигналами, статистической обработкой выходной информации и калибровкой измерительного тракта.

На рис. 3.29 приведена схема совмещения плоскости мишени передающей трубки *6* с плоскостью изображения в телевизионном микроскопе анализатора ТАСИ [2]. Светорасщепитель *5* микроскопа МБИ-6 позволяет одновременно проецировать изображение на бинокулярную насадку и на плоскость изображения фотографического канала, где рабочая поверхность изображения составляет 24×36 мм. В этой плоскости помещается рабочая поверхность мишени 25-мм видикона размером 9×12 мм. То обстоятельство, что на долю этой поверхности приходится только 12% поверхности поля зрения оптического канала микроскопа, может быть использовано для уменьшения влияния неравномерности освещения плоскости изображения. Объектив *3* устанавливают относительно препарата

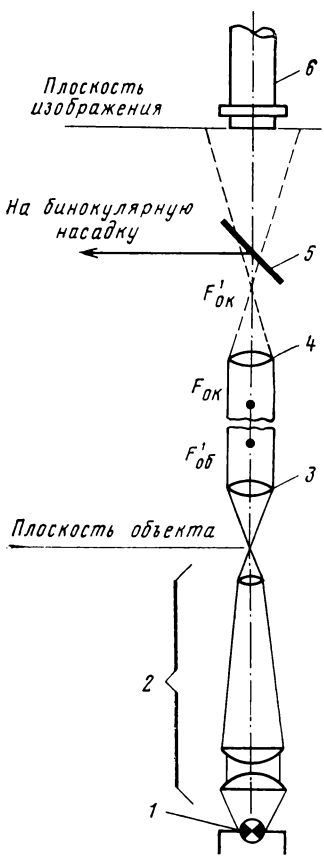


Рис. 3.29. Оптическая схема совмещения плоскости мишени передающей трубки с плоскостью изображения в ТВ микроскопе анализатора ТАСИ:
1 — источник света (осветитель); *2* — конденсорная система; *3* — объектив; *4* — окуляр; *5* — светорасщепитель; *6* — передающая трубка

так, чтобы увеличенное первичное перевернутое изображение появлялось в плоскости, находящейся перед фокусом $F_{ок}$ окуляра *4*, который в этом случае работает как проекционная система и дает вторично увеличенное и еще раз перевернутое изображение объекта.

Относящиеся к телевизионной автоматике системы ввода и обработки зрительной информации для «интеллектуальных» роботов широко применяются в робототехнике. Например, одна из систем позволяет осуществлять перемещение звеньев робота на основе визуальной информации и координировать работу двух и более идентичных по структуре роботов для сборочных работ. В систему входят две миниатюрных телекамеры, осуществляющие наблюдение и распознавание объектов.

В другой системе миниатюрное устройство ввода зрительной информации, устанавливаемое на схвате робота, позволяет получить систему «глаз — рука», способную обнаруживать и брать случайно расположенные детали. Телекамера системы содержит матрицу светочувствительных элементов (32×32) и 13-мм объектив, размещаемые в алюминиевом кожухе.

Еще в одном роботе применена зрительная система с двумя телекамерами, с помощью которых получается стереоизображение объектов. Камеры содержат матрицы с 256×256 элементами и обеспечивают 32 градации яркости. Система производит распознавание и классификацию деталей.

В последние годы наиболее интенсивно создаются «интеллектуальные» роботы, предназначенные для сборки электронной аппаратуры. Так, например, робот RBHS-600 (США), имеющий телекамеру на ПЗС, размещает и идентифицирует печатные платы на 50% быстрее, чем оператор, а затем сортирует платы по качеству на хорошие, бракованные и пригодные к восстановлению.

3.7. КАМЕРЫ СИСТЕМ ТЕЛЕВИДЕНИЯ ВЫСОКОЙ ЧЕТКОСТИ

Телекамеры, предназначенные для использования в системах телевидения высокой четкости (ТВЧ), имеют особенности по сравнению с телекамерами, работающими в обычных системах цветного телевидения с разложением изображения на 625 или 525 строк. Единый стандарт ТВЧ еще не принят. Существуют в настоящее время три основных предложения стандартов ТВЧ:

СССР, группы западноевропейских стран, а также Японии, США, Канады (табл. 3.3).

Таблица 3.3.

Основные параметры стандартов ТВЧ и действующего стандарта МККР

Параметр	МККР	Япония, США, Канада	Страны Западной Европы	СССР
Число строк/полей (кадров)	625/50	1125/60	1249*(50)	1375/50
Число активных строк	575	1035	1152	1280
Кратность развертки	2 : 1	2 : 1	1 : 1	2 : 1
Полоса частот сигнала яркости, МГц	5,75	30	60	30
Частота строк, Гц	15625	33750	60024*	34375
Частота дискретизации сигнала яркости, МГц	13,5	74,25	144	74,25
Число отсчетов сигнала яркости в активной части строки	702	1920	1920	1920
Длительность строчного интервала гашения, мкс	12	3,77	2,89*	3,2
Формат кадра	4 : 3	16 : 9	16 : 9	16 : 9

* Подлежит уточнению

В стандарте, предложенном фирмой «Бош» [107], число строк разложения изображения выбрано равным 1249, т. е. нечетным. При частоте полей 50 Гц возникает опасность неприятного эффекта мерцания изображения, субъективно еще более заметная на большом экране. Полоса частот сигнала яркости выбрана равной 22 МГц, чтобы в канале формирования и обработки видеосигнала не ограничивалась разрешающая способность (для ТВЧ полоса частот должна быть шире 20 МГц). Рекомендованное расстояние от экрана до зрителя равно трем высотам экрана (имеются предложения о четырех- или шестикратном расстояниях).

Для камеры этого стандарта разработан объектив с постоянным фокусным расстоянием, конструктивной базой для которого послужил объектив профессиональной фотоаппаратуры. Предусмотрена возможность работы камеры и с вариообъективом. В камере устанавливаются три 25-мм сатикона. В камерном канале произво-

дится горизонтальная апертурная коррекция. Длительность строки уменьшена вдвое по сравнению с обычными телекамерами, т. е. равна 32 мкс, что потребовало ужесточить требования к быстродействию отклоняющей системы, а также к механической и электрической стабильности конструкции. Разработаны электронные устройства, позволившие уменьшить и длительность обратного хода луча.

Встроенная в телекамеру микро-ЭВМ автоматически корректирует совмещение растров, для чего используется испытательное изображение. Синий и красный лучи подстраиваются под зеленый луч. Для коррекции совмещения на изображении выбирают 16 опорных точек по горизонтали, по вертикали — 20. Между опорными точками путь луча интерполируется. Аналогичная микро-ЭВМ автоматически корректирует геометрические искажения изображения растра и устраняет аддитивные и мультипликативные помехи. Применение автоматической коррекции потребовало расширения полосы частот отклоняющей системы (включая катушки) до 300 кГц. Это, в свою очередь, потребовало значительно уменьшить шумовые помехи в системе отклонения, которые могут вызвать заметные паразитные низкочастотные колебания сигнала.

Одновременно с разработкой телекамеры проведены исследования субъективных свойств зрения. Установлено, что практически реализованная глубина резко изображаемого пространства (при соответствующей технологии подготовки программ) не усложняет работу с камерой ТВЧ по сравнению с обычной. Исследовано насколько диафрагмирование объектива камеры ТВЧ должно отличаться от обычной телекамеры при условии, что в обоих случаях глубина резко изображаемого пространства одинакова. Поскольку диафрагмирование всегда вызывает изменение тока сигнала, то для сохранения одинаковой глубины резкости освещение сценической площадки для камеры ТВЧ должно быть больше, чем для обычной телекамеры. Диафрагма объектива камеры ТВЧ должна быть закрыта примерно на два деления шкалы больше, чем для обычной камеры. Увеличение диафрагмы компенсируется четырехкратным увеличением освещенности объекта.

При выборе чувствительности камеры ТВЧ и связанного с ним относительного уровня помех установлено, что сигнальный ток передающей трубки канала G, соответствующий изображению белого поля, должен со-

ставлять 300 нА. Это позволило уменьшить на 3 дБ относительный уровень помех в канале яркости для наиболее критичного случая, когда помеха становится заметной на передаваемом изображении. При этом чувствительность камеры соответствовала номинальной освещенности на объекте 2000 лк при относительном отверстии объектива $\ddot{O}=1:4$, коэффициенте отражения 70% и цветовой температуре источника $T=3200$ К. Отношение сигнал-шум в канале яркости без взвешивающего фильтра (с выключенным апертурным корректором) было равно 42,5 дБ, а с фильтром 55,7 дБ. При ширине полосы частот сигнала яркости 20 МГц камера ТВЧ по сравнению с обычной студийной цветной телекамерой КСК-40 фирмы «Бош» требует большей освещенности объекта на 54%. При этом отношение сигнал-шум у нее ниже на 3,5 дБ. При оценке отношения сигнал-шум с учетом субъективного восприятия шума разница в этом параметре для обеих камер не превышает 1 дБ, для обеих камер превышение относительного уровня шума над порогом заметности 1 дБ, т. е. камера ТВЧ позволяет получить четкое изображение (без помех) при стандартных освещенностях объекта.

Для камеры ТВЧ разработан градационный предкорректор (гамма-корректор), назначением которого является искусственное создание определенной нелинейности видеосигнала. Обычно для этой цели используются диодные цепи. В широкополосной телекамере их использовать нельзя из-за мешающего влияния паразитных емкостей, которые с увеличением частоты сигнала образуют линейные частотно-зависимые шунтирующие цепи, в результате чего предкорректор превращается в частотный фильтр. В предкорректоре в качестве нелинейного элемента применен плоскостный полевой транзистор, в котором ток стока нелинейно зависит от напряжения между затвором и истоком. В предкорректоре эта зависимость превращается в зависимость напряжения между затвором и истоком от тока на входе транзистора. Такой каскад имеет очень широкую полосу частот — до 100 МГц.

В системе ТВЧ фирмы «Сони» (совместно с NHK) используются телекамеры двух типов [66]. Они построены по традиционной трехтрубочной схеме. Применяются укороченные передающие трубки сатикон с электромагнитной фокусировкой и электростатическим отклонением луча.

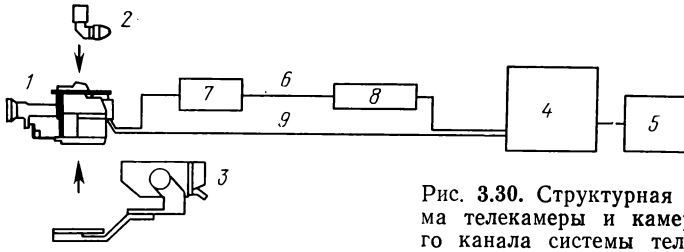


Рис. **3.30.** Структурная схема телекамеры и камерного канала системы телевидения высокой четкости фирм «Сони» и NHK

1 — камерная головка; *2*—4-см видоискатель; *3* — 18-см видоискатель; *4* — устройство обработки видеосигналов и управления; *5* — устройство коррекции видеосигналов; *6* — волоконно-оптический кабель; *7* — передатчик волоконно-оптической линии связи; *8* — приемник волоконно-оптической линии связи; *9* — многожильный кабель

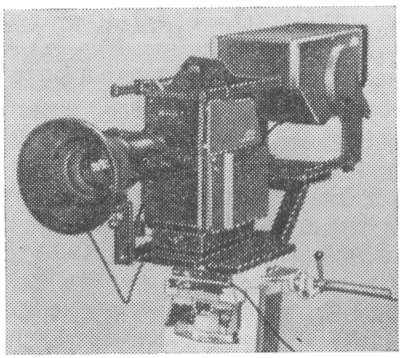


Рис. **3.31.** Телекамера HDC-100 системы ТВЧ фирм «Сони» и NHK с 18-см видоискателем

На рис. 3.30 приведена структурная схема камеры на 25-мм трубках. Она состоит из камерной головки HDC-100 со сменными видоискателями на 4-см и 18-см (рис. 3.31) кинескопах, устройства обработки видеосигналов и управления HDCU-100, конструктивно разделенного на четыре блока, и устройства коррекции видеосигналов HDIE-100, конструктивно разделенного на два блока. Камерная головка соединена с устройствами обработки видеосигналов и управления кабелем длиной до 100 м или волоконно-оптическим кабелем длиной до 500 м через блоки передатчика HDFT-100 и приемника HDFR-100.

Номинальная освещенность объекта (при $\ddot{O}=1:4$), лк 3500
Разрешающая способность по горизонтали в центре, твл 1200
Установочная точность совмещения растров, %
в круге диаметром $0{,}8H$ 0,025
в круге диаметром L 0,05
в остальной части растра 0,1
Масса камерной головки (с объективом), кг
с 25-мм трубками 13

с 18-мм трубками	8,5
Потребляемая мощность (без видоискателя), В·А	50
Диапазон рабочих температур, °С	5...40
Габаритные размеры камерной головки (без объектива), мм	160×354×280

К телекамере HDC-100 придают набор объективов: шесть объективов с постоянными фокусными расстояниями (11,5; 15; 20; 28; 35 и 56 мм), массой от 1,8 до 3 кг и максимальным относительным отверстием $\ddot{O}=1:1{,}6$, а также вариообъектив фирмы «Никон» с диапазоном изменения фокусных расстояний 12...84 мм, максимальным относительным отверстием $\ddot{O}=1:1{,}6$ и массой 4 кг.

Девять западноевропейских стран участвуют в разработке камеры ТВЧ по программе «Эврика-95».

Глава 4.

ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

4.1. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ

Оптические системы телевизионных камер представляют собой совокупность оптико-механических узлов, с помощью которых на светочувствительную поверхность преобразователей свет — сигнал проецируется изображение передаваемого объекта. Наиболее важные параметры телекамер, определяющие качество изображения (чувствительность, разрешающая способность, точность цветопередачи и др.), а также многие технические возможности камер зависят от характеристик оптической системы. Поэтому устройство оптических систем достаточно сложно. Конструктивно все узлы оптической системы объединяют в оптико-механический блок (ОМБ). В состав ОМБ современных камер цветного телевидения входят несколько сложных по конструкции и технологии изготовления узлов. Кроме объектива оптическая система может содержать: цветоделительный блок, приводные и корригирующие светофильтры, узел подсветки мишеней передающих трубок, встроенный диапроектор, систему механических приводов, обеспечивающих дистанционную регулировку параметров оптической системы, и др.

Оптические системы бытовых или прикладных телекамер могут быть более простыми. Например, оптиче-

ские системы черно-белых телекамер или однотрубочных цветных телекамер, использующих передающую трубку с кодированием цветовой информации в ее мишени [44], довольно просты: объектив и светофильтры. Исключение составляют оптические системы телекамер прикладного назначения, например работающих в системах диагностики или применяемых для макросъемки.

Объектив проецирует изображение объекта на *заднюю фокальную плоскость*. Расстояние от этой плоскости до вершины поверхности последней линзы объектива является *задним вершинным фокусным расстоянием*, а до плоскости торца объектива (посадочного торца) называется *задним рабочим отрезком объектива*. Длина хода светового луча через все узлы ОМБ (цветоделительные и вспомогательные призмы, светофильтры и т. д.) до фоточувствительного слоя передающей трубки не должна превышать величину заднего рабочего отрезка объектива. Если по каким-либо причинам при конструировании ОМБ длина хода светового луча оказывается больше этого отрезка, то в состав оптической системы вводят дополнительный объектив (объектив переноса), изменяющий задний рабочий отрезок съемочного объектива. На рис. 4.1 приведены упрощенные схемы двух вариантов построения ОМБ.

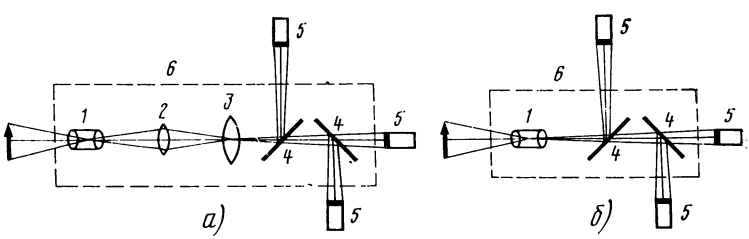


Рис. **4.1.** Упрощенные схемы оптических систем:
1 — объектив; *2* — коллектив; *3* — объектив переноса; *4* — цветоделительные поверхности; *5* — преобразователи свет—сигнал; *6* — ОМБ: *а* — с переносом изображения; *б* — без переноса изображения

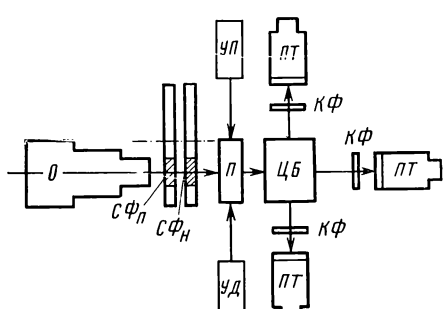


Рис. **4.2.** Структурная схема ОМБ камеры КТ-132

Оптические системы с объективами переноса применялись в телекамерах в 60-х годах, поскольку в это время еще использовались киносъемочные объективы с малым задним рабочим отрезком. В настоящее время в телекамерах применяют телевизионные объективы с измененным задним отрезком. Цветоделительная система размещается в заднем рабочем отрезке объектива. Современная оптическая система имеет меньшие габариты и массу и обеспечивает более высокие четкость и контрастность изображения, малые аберрационные искажения и светорассеяние и большой коэффициент пропускания за счет уменьшения поглощения света в стекле и вредного отражения от поверхностей. Для разделения световых потоков в ОМБ чаще применяют цветоделительные призмы, но иногда и дихроические зеркала.

Принцип построения ОМБ современной телекамеры на передающих трубках может быть показан на примере рис. 4.2. Световой поток, отраженный от поверхностей объектов передаваемой сцены, проходит через объектив *О*, сменные светофильтры приводные (цветные) $СФ_п$ и нейтральные, $СФ_н$, закрепленные на механических дисках. Приводные предназначены для коррекции цветовой температуры источника освещения передаваемой сцены, т. е. приведения спектральных характеристик источника освещения к спектральным характеристикам источника опорного белого света, на который рассчитывалась данная камера (см. § 6.4). Плотность нейтральных светофильтров зависит от освещенности передаваемой сцены для обеспечения номинального уровня освещенности на мишенях передающих трубок. Светофильтры выбирают путем поворота дисков на необходимый угол вручную или дистанционно. Далее световой поток проходит через вспомогательные призмы П и цветоделительный призменный блок ЦБ, представляющий собой единую конструкцию из нескольких призм, на гранях которых нанесены дихроические покрытия, с изменяющимися по спектру коэффициентами отражения или пропускания. На выходах цветоделительного блока образуются три световых потока: красный, зеленый и синий, которые, пройдя через соответствующие корригирующие (корректирующие спектральную характеристику пропускания каждого канала) светофильтры КФ, образуют изображения красного, зеленого и синего цвета в плоскости светочувствительного слоя передающей трубки ПТ соответствующего канала телекамеры. В оптическую систему камеры также вхо-

дит узел диапроектора УД, предназначенный для проецирования изображения испытательной таблицы на светочувствительные слои трубок. Основной световой поток от объектива при работе диапроектора перекрывается специальной заглушкой, а световой поток от диапроектора проходит через дополнительный и цветоделительный призменные блоки.

Узел диапроектора состоит из источника света с рефлектором и конденсором и четырехлинзового проекционного объектива. Узел подсветки УП состоит из источника света, светофильтра и круглой диафрагмы с малым диаметром отверстия, а также проектирующей линзы, которая переносит изображение круглой диафрагмы в плоскость мишеней передающих трубок. Световой пучок узла подсветки вводится в цветоделительный призменный блок через вспомогательную призму. Подсветка необходима для снижения инерционности передающих трубок.

Для расширения технических возможностей студийной камеры и облегчения ее эксплуатации применяют вариообъектив. В теледиа- и телекинокамерах не нужно применять вариообъективы, а также некоторые другие узлы и блоки, входящие в оптическую систему телекамеры. Например, приводные светофильтры там не нужны, поскольку спектральная характеристика источника света не изменяется в процессе передачи. В теледиакамерах используют один объектив с постоянным фокусным расстоянием. В телекинокамерах иногда приходится применять сменные объективы для разных форматов фильма.

Пример построения ОМБ телекинокамеры с преобразователями свет — сигнал на однострочных ПЗС показан на рис. 4.3. Световой поток от источника света *1* проходит через линзу *2* и дихроическое зеркало *3*. Дихроическое зеркало *3* отражает инфракрасную составляющую потока, излучаемого источником света *1*, и пропускает видимый световой поток. Поэтому отраженный от первого дихроического зеркала инфракрасный поток попадает на зеркало *4*, далее проходит через оптическое устройство *5*, представляющее собой узкополосный фильтр, вырезающий часть инфракрасного потока. Узкополосная составляющая инфракрасного излучения отражается от зеркала *6* и дихроического зеркала *7*, которое также, как зеркало *3*, пропускает излучение видимой части спектра и отражает излучение инфракрасной области спектра. Таким образом, через линзу *8* прохо-

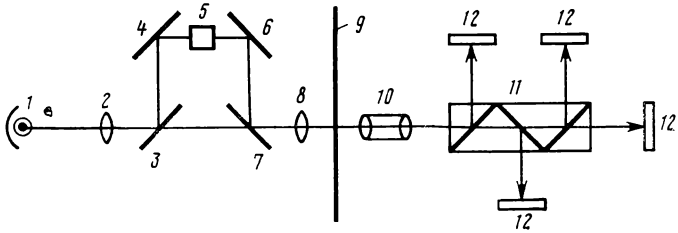


Рис. 4.3. Упрощенная схема ОМБ телекинокамеры

дит суммарный световой поток видимого и узкополосного инфракрасного излучения. Этот поток попадает в фильмовой канал и проходит через фильм *9*. Отфильтровывание большей части инфракрасного излучения снижает возможность перегрева и механической деформации кинопленки при кинопроекции. Световой поток, несущий информацию об изображении на пленке, проходит через объектив *10*, формирующий соответствующее изображение в плоскости светочувствительного слоя однострочных преобразователей свет — сигнал. Предварительно световой поток проходит через цветоделительную систему *11*, с выходов которой световые потоки синего, инфракрасного, красного и зеленого излучений подаются на соответствующие преобразователи *12* синего, инфракрасного, красного и зеленого каналов. Сигнал, формируемый на выходе преобразователя инфракрасного канала, несет информацию о механических повреждениях кинопленки. С помощью замешивания данного сигнала соответствующей полярности в каналы обработки видеосигналов *R*, *G*, *B* достигается визуальная незаметность дефектов кинопленки.

4.2. ОБЪЕКТИВЫ

Технические параметры и эксплуатационные возможности телевизионных камер во многом определяются характеристиками объективов. Увеличение чувствительности камер достигают применением светосильных объективов, у которых величина относительного отверстия превышает 1 : 1,5. В цветном телевидении на чувствительность камеры могут оказывать влияние спектральные характеристики коэффициента светопропускания объектива. Четкость воспроизводимого изображения во многом определяется частотно-контрастными харак-

теристиками объектива. Качество изображения также зависит от равномерности распределения освещенности на фоточувствительном слое передающей трубки, сохранения постоянного положения плоскости изображения для всего диапазона изменения фокусных расстояний, степени коррекции хроматической аберрации и т. д.

С точки зрения эксплуатации телевизионных камер большое значение имеет широкоугольность объектива (современные широкоугольные объективы должны иметь углы полей зрения 80° и более), возможность работы телекамеры на близком расстоянии (менее 1 м) и осуществления макросъемки (работа на расстоянии около 0,1 м), возможность плавного изменения фокусного расстояния (масштабирование изображения), а также уменьшение габаритов и массы объектива [14].

Одновременное обеспечение многих характеристик не всегда возможно. Например, высокие требования, предъявляемые к светосиле и широкоугольности объективов, вызывают необходимость дополнительного усложнения коррекции их аберрационных искажений, требование сохранения постоянства величины относительного отверстия объектива при изменении фокусного расстояния противоречит стремлению уменьшить габариты объектива. Все это создает трудности при разработке объективов. Тем не менее к середине 70-х годов удалось создать модели объективов с переменным фокусным расстоянием, с различными пределами его изменения (разной кратности), что расширило технические возможности телевизионных камер.

Объективы с переменным фокусным расстоянием можно условно разделить на две группы: вариообъективы и трансфокаторы. Вариообъективы представляют собой оптическую систему, корригированную в отношении всех аберраций как единое целое, трансфокаторы представляют собой систему «насадка — объектив», скорригированные почти для всех аберраций независимо друг от друга. Для расширения диапазона изменений фокусного расстояния вариообъективов к ним часто придаются насадки и экстендеры (удлинители). Насадки устанавливают перед объективом. Они изменяют поле зрения или фокусное расстояние при сохранении относительного отверстия объектива. Экстендеры устанавливают за объективом или встраивают в объектив. Они смещают диапазон изменения фокусных расстояний в сторону увеличения. Экстендеры уменьшают относитель-

ное отверстие объектива пропорционально своей кратности. Кратность насадок обычно 0,7...1,7, экстендеров 1,4...2,8.

Качество изображения, создаваемого объективом в фокальной плоскости, определяется рядом основных светотехнических параметров объектива, таких как разрешающая способность, частотно-контрастная характеристика (ЧКХ), величина относительного отверстия, геометрические искажения (дисторсия), светорассеяние и коэффициент пропускания.

Разрешающую способность объектива характеризуют числом различаемых на изображении пар черных и белых штрихов. В телевизионной оптике более показательным является параметр, определяющий степень контрастности штрихов на изображении. Контрастность изображения штрихов на испытательной таблице $K = (C_б - C_ч)/(C_б + C_ч)$, где $C_б$, $C_ч$ — светлоты белых и черных штрихов. Контрастность в плоскости изображения объектива K', определяемая по аналогичной формуле отношением освещенностей белых $E_б$ и черных $E_ч$ штрихов, будет меньше контрастности K из-за наличия аберрационных искажений (монохроматических и хроматических) и ряда факторов, связанных с технологией изготовления и сборки объективов.

Отношение $T(N) = K'/K$ будет зависеть от числа пар штрихов на единицу длины (N, линии/мм). Эту зависимость называют ЧКХ объектива, а величину N — пространственной частотой. Для оценки ЧКХ часто используют численное значение $T(N)$ для конкретной пространственной частоты. Для объективов, применяемых в ТВ системах с числом строк разложения 625, пространственная частота, на которой производятся измерения, составляет 20...30 линий/мм, для систем ТВЧ с числом строк 1125 и более — 45...50 линий/мм. Значение $T(N)$ на выбранной пространственной частоте, которое иногда называют *коэффициентом передачи модуляции* (КПМ), измеряют в центре поля изображения и на его краях в двух взаимно-перпендикулярных сечениях светового пучка (меридиональном и сагиттальном). Для высококачественных объективов оно лежит в пределах 0,85...0,9 в центре и 0,6...0,7 на краях.

Геометрические искажения изображения в фокальной плоскости объектива определяют в основном по значениям дисторсии. Дисторсия приводит к искажению подобия между предметом и его изображением. Изо-

бражение прямоугольных предметов может иметь подушкообразную или бочкообразную форму, аналогично геометрическим искажениям растров передающих трубок и кинескопов; для типового объектива дисторсия составляет $\pm 2\%$.

В телекамерах в процессе электронной коррекции геометрических искажений растра компенсируются геометрические искажения, вносимые объективом. Если коррекцию геометрических искажений не проводят как в телекамерах, использующих в качестве преобразователей свет — сигнал ПЗС, не вносящих геометрических искажений, возможность электронной коррекции искажений объектива отсутствует. Поэтому объективы для камер на приборах с зарядовой связью должны иметь дисторсию не более 0,5%.

Светорассеяние в объективе определяется наличием нежелательных отражений от поверхностей, торцов и фасок линз объектива, а также неоднородностью оптических стекол, погрешностью чистоты обработки их поверхностей, дефектами просветления и т. д.

Для высококачественных объективов коэффициент светорассеяния, измеренный в центральной зоне поля изображения при наибольшем относительном отверстии вариообъектива для разных фокусных расстояний, как правило, не превышает 2...3%.

Коэффициент пропускания объектива должен быть постоянным по всему полю оптического изображения. Освещенность на краях поля, особенно при малых фокусных расстояниях, в действительности меньше, чем в центре на 30...40%. Эту неравномерность компенсируют электронными методами. Для типового объектива коэффициент пропускания равен 0,8. Для синей области спектра он может быть меньше в 1,5...2 раза в зависимости от применяемой марки стекла, наличия и типа просветляющего покрытия линз объектива и их количества. Обеспечение требуемых параметров и сохранение их при изменении фокусного расстояния приводит к необходимости усложнения оптической системы вариообъектива. В состав оптической системы входит не менее четырех компонентов подвижных и неподвижных линз. Рассмотрим, например, построение вариообъектива ОЦТ 10×14 [51]. Компоненты 1—4 четырехкомпонентного объектива (рис. 4.4) при масштабировании неподвижны, а компоненты *2* и *3* перемещаются вдоль оптической оси по сложному закону, обеспечивая деся-

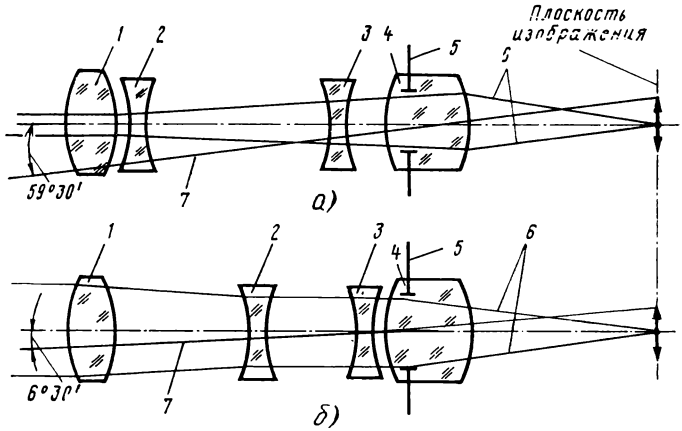


Рис. 4.4. Схема расположения компонентов вариообъектива *1—4* — компоненты вариообъектива; *5* — диафрагма; *6*, *7* — осевой и главный лучи; *а* — при минимальном; *б* — максимальном фокусных расстояниях

тикратное изменение фокусных расстояний при сохранении стабильного положения плоскости изображения. Компонент *1* служит для дистанционной фокусировки объектива на конечное расстояние. Его конструкция сложна (пять линз), что вызвано необходимостью исправления дисторсии и астигматизма при больших углах поля зрения (на малых фокусных расстояниях). Углы поля зрения изменяются от 59°30′ при минимальном фокусном расстоянии до 6°30′ при максимальном. Довольно большое поле зрения при минимальном фокусном расстоянии достигается тем, что отрицательный компонент *2* расположен очень близко к положительному *1* и образует с ним сложный отрицательный компонент, дающий возможность расширить поле зрения (рис. 4.4, *а*). При больших фокусных расстояниях отрицательные компоненты *2* и *3* отодвигаются далеко от первого (рис. 4.4, *б*). Условия работы второго и третьего компонентов все время меняются, поэтому основная тяжесть в исправлении аберраций падает на последний, четвертый, внутри которого расположена материальная апертурная диафрагма *5*, которая служит для изменения светосилы объектива в процессе работы.

Компонент *4* сложен по своему составу, он состоит из девяти линз, что вызвано необходимостью коррекции всех остаточных аберраций. Конструкция этого объектива позволяет сохранить значение относительного отверстия во всем диапазоне кратности, которое изменяется незначительно от 1 : 1,8 до 1 : 2. Параметры ЧКХ объек-

тива при изменении фокусных расстояний также изменяются в допустимых пределах.

Измерения ЧКХ проводились для значений относительного отверстия 1 : 1,8 и пространственной частоты 20 линий/мм при освещении монохромным источником света ($\lambda = 0{,}546$ нм).

Определяемая функцией $T(N)$ ЧКХ практически не изменяется при изменении фокусного расстояния и в центре поля изображения примерно равна 0,65...0,67. Для краев изображения она несколько ниже, 0,4...0,6.

Для «Вариогоир 24» значение функции $T(N)$ на частоте 30 линий/мм при относительном отверстии 1 : 1,85 в центре поля изображения лежит в пределах 0,8...0,9; на краях поля 0,4...0,8; в режиме макросъемки при относительном отверстии 1 : 1,85, работе на дистанции 0,104 м оно составляет 0,92 в центре поля и 0,37 на краях.

Эксплуатационные характеристики вариообъективов, выпускаемых разными фирмами, характеризуются кратностью изменения фокусных расстояний и другими оптическими и техническими параметрами и массогабаритными характеристиками. Параметры некоторых моделей вариообъективов для вещательных и бытовых телекамер приведены в табл. 4.1. Как видно из данных,

Таблица **4.1.**

Основные параметры вариообъективов для вещательных и бытовых телекамер

Модель	Кратность	Диапазон изменения фокусного расстояния, мм	Относительное отверстие	Углы поля зрения, град.	Минимальная дистанция до объекта, м	Масса, кг
Для 25-мм передающих трубок						
P44×13,5EP (Япония)	44	13,5...600	1 : 1,8...2,86	61,3...1,5	2,5	21,4
ОЦТ35×13 (СССР)	35	13...460	1 : 1,7...5,1	63,2...2	1	25
PV30×15BMS (Япония)	30	15...470	1 : 1,7...2,4	56,1...2	2,5	22,5
PV18×12IMS (Япония)	18	12...216	1 : 1,6...2,0	67,4...4,2	0,6	19,5
Вариогоир 26 (СССР)	10	13...130	1:1,8...2,0	61 ...6,5	0,8	8
PV10×12B2 (Япония)	10	12...120	1:2,0...2,8	67,4...7,6	0,45	2,7
ОЦТ10×14 (СССР)	10	14...142	1:1,8...2,0	59,5...6,5	1	3

Окончание табл. 4.1

1	2	3	4	5	6	7
Для 18-мм передающих трубок						
J40×9,5BIE (Япония)	40	9,5...380	1 : 1,2...2,0	49,7...1,3	2,5	30
J20×8,5BIE (Япония)	20	8,5...170	1 : 1,6...2,1	54,8...3	0,6	8
J18×8BIE (Япония)	18	8...144	1 : 1,2...1,4	57,6...3,5	0,6	27
J18×9B3 (Япония)	18	9...182	1 : 1,7	52,1...3,1	0,9	1,7
A17×8,5EPM (Япония)	17	8,5...145	1 : 1,5...2	65,8...4,3	0,7	10,6
A17×9EPM (Япония)	17	9...155	1 : 1,7...2,3	42,9...4,1	0,9	2,3
J16×8,5BIE (Япония)	15	8,5...126	1 : 1,2	54,1...3	0,6	9,5
Вариогоир 24 (СССР)	10	10...100	1 : 1,8...2	—	1	2,5
TV—10×10 (ФРГ)	10	10...100	1 : 1,8	57,6...6,3	1	2,3
Для 13-мм передающих трубок						
15×7 (Франция)	15	7...105	1 : 1,4	60,1...4,4	—	—
PH15×7B (Япония)	15	7...105	1 : 1,4	49,1...3,5	1	1,5
TV14×6,5 (ФРГ)	14	6,5...91	1 : 1,4	63,8...5,1	—	—
S14×7 (Япония)	14	7...98	1 : 1,4	60,1...4,7	0,8	1,3
PH13×6,6B (Япония)	13	6,6...86	1 : 1,4	51,7...4,3	0,8	1,45

приведенных в таблице, для телекамер на 18- и 25-мм передающих трубках выпускаются объективы разной кратности, для телекамер на 13-мм трубках — примерно одинаковой. Это объясняется тем, что в ТВ вещании, где камеры работают в разных режимах съемки, применяют в основном камеры на трубках 18 и 25 мм. Студийные камеры работают с объективом кратности 10...20, масса их может быть довольно велика, но это не вызывает трудностей, так как камеру устанавливают на штативе.

Во внестудийном вещании, организуемом с помощью техники ПТС, находят свое применение камеры с объективами кратностью 25...45. Масса этих объективов велика, зато хорошие оптические параметры сохраняются во всем диапазоне изменений фокусного расстояния.

Камера может также работать со штатива. При организации ТВ передач с помощью легких портативных носимых камер необходимо применять вариообъективы с кратностью 10...20, но масса таких объективов должна быть мала.

Поскольку на 13-мм передающих трубках выпускаются портативные камеры для ВЖ и бытового назначения, такие вариообъективы имеют кратность около 15 и малую массу. Светотехнические параметры таких объективов несколько ниже, чем у объективов той же кратности, но большей массы.

Большинство телекамер могут работать с объективами разной кратности. Такие взаимозаменяемые объективы, входящие в комплект поставки одной камеры, называют *линейкой объективов*. Они близки по светотехническим параметрам, имеют одинаковый рабочий отрезок и идентичные посадочные размеры. В данной таблице к такой линейке относятся объективы J16×8,5BIE, J20×8,5BIE, J40×9,5BIE.

Часто снижение габаритов и массы объектива достигают ценой уменьшения светосилы объектива на минимальных фокусных расстояниях, снижения его широкоугольности, увеличения минимально возможной дистанции съемки. Это наглядно видно из сравнения объективов J18×8BIE и J18×9B3.

Кроме типов объектов, перечисленных в таблице, в некоторых телекамерах как для вещательного (телекинс), так и для прикладного телевидения применяют объективы с постоянным фокусным расстоянием, а также специальные широкоугольные объективы (например, «Фудзинон») с углами поля зрения до 90°, а также различные насадки, расширяющие возможности серийно выпускаемых объективов.

Для облегчения возможности применения телекамер для съемок кинофильмов, где с ними работают кинооператоры, разработаны телекамеры со сменными объективами и постоянным фокусным расстоянием, эквивалентными по параметрам (углы зрения по горизонтали, глубина резкости изображаемого пространства и т. д.) аналогичным кинематографическим объективам.

4.3. ЦВЕТОДЕЛИТЕЛЬНЫЕ БЛОКИ

Характеристики спектральной чувствительности цветоделительного блока в основном определяют возможности цветопередачи телевизионных камер. В зависимо-

сти от выбора способа построения тракта формирования и обработки видеосигнала камеры световой поток в цветоделительном блоке делится на две, три или четыре составляющие, отличающиеся друг от друга спектральными характеристиками. Наиболее распространены трехканальные цветоделительные блоки RGB, RYB, RWB.

В портативных, в частности бытовых, телекамерах находят применение двухканальные цветоделительные блоки Y, R+B, делящие световой поток на яркостную составляющую и поток, состоящий из смеси компонент синего и красного.

Спектральные характеристики светопропускания цветоделительного блока выбирают в соответствии со спектральными характеристиками чувствительности камеры, с учетом спектральных характеристик объектива и преобразователей свет — сигнал. Они несколько отличаются по форме от кривых спектральной чувствительности телекамер, особенно при применении в камере передающей трубки плюмбикон (рис. 4.5). Кривые спектральной чувствительности камеры RGB нанесены на этом же рисунке штриховой линией. Для синего канала левая ветвь кривой должна проходить выше спектральной характеристики чувствительности канала B, чтобы компенсировать ослабление синих спектральных составляющих светового потока в объективе камеры и в передающей трубке плюмбикон. По этой же причине максимум кривой сдвинут в сторону коротких волн. В зеленом, а особенно в красном, канале максимумы кривых светопропускания сдвинуты в сторону более длинных волн, а правые ветви лежат выше.

Цветоделение происходит при прохождении светового потока через многослойные интерференционные

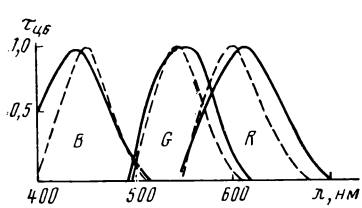


Рис. 4.5. Типовые спектральные характеристики светопропускания цветоделительного блока камеры RGB

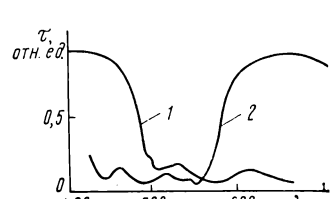


Рис. 4.6. Спектральные характеристики светопропускания дихроических зеркал:
1 — синеотражающего; *2* — краснотражающего

(дихроические) покрытия, нанесенные на поверхность плоскопараллельных пластин (дихроических зеркал) или на грани цветоделительных призм. Способ разделения светового потока с помощью дихроических покрытий эффективен, так как коэффициенты отражения (или пропускания) многослойных дихроических покрытий весьма велики 0,95...0,97. Покрытия представляют собой несколько слоев тончайших пленок (0,1...10 мкм), которые могут быть металлическими, полупроводниковыми и диэлектрическими. Их наносят на стеклянную поверхность химическим способом или напылением в вакууме (физическим способом). Наиболее распространенной конструкцией цветоделителя является многослойное покрытие из чередующихся слоев с низкими и высокими показателями переломления, оптическая толщина которых составляет 1/4 длины волны. Коэффициент отражения этого покрытия должен быть максимальным. Спектральные характеристики светопропускания, показанные на рис. 4.6, получены для случая нормального падения света на отражающую поверхность. При увеличении угла падения увеличивается эффективная толщина покрытия и характеристика сдвигается в коротковолновую область [43]. Поэтому при конструировании цветоделительного блока и ОМБ необходимо так компоновать оптические узлы и располагать поверхности с дихроическими покрытиями, чтобы угол падения осевого луча был меньше (не более 20°), а разница между углами падения для крайних точек поля не превышала 4...6°.

Спектральные характеристики светоотражения цветоделительных покрытий выбирают с учетом обеспечения необходимых характеристик спектральной чувствительности телекамеры. Однако, как видно из рис. 4.6, с помощью дихроических фильтров формируется только одна из ветвей характеристик каналов R или B. Также следует отметить, что для многослойного покрытия характеристики имеют вторичные максимумы, которые при изготовлении не удается свести до минимума. Значения коэффициента отражения для вторичного максимума составляют до 5% максимального значения коэффициента. Кроме того, ввиду сложности технологии нанесения покрытий существует разброс спектральных характеристик. Поэтому в цветоделительном блоке применяют специальные корригирующие светофильтры, с помощью которых окончательно формируют необходимые характеристики цветоделительного блока.

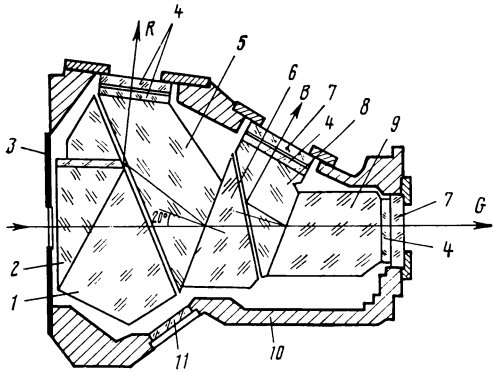


Рис. **4.7.** Схема расположения деталей призменного **блока**

Конструкцию[1] типичного трехканального блока цветоделения можно пояснить на примере блока камеры КТ-132 (рис. 4.7). Цветоделительный блок представляет собой соединение трех призменных сборок — трех пар призм: *1,2*; *5,6*; *8,9*. Между сборками имеются воздушные промежутки шириной 5...20 мкм, определяемые толщиной черной рамки, напыленной в вакууме на грани одной из призм сборки. Черная рамка служит одновременно и диафрагмой, ограничивающей распространение внутри призменного блока посторонних засветок и бликов. Призменные сборки заключены в корпусе *10*, на фланце которого со стороны объектива установлена диафрагма *3*, ограничивающая возможность прохождения посторонней засветки внутрь призменного блока. Световой поток проходит через призмы *2*, *1*, *5* до грани призмы *6*, на которой нанесено многослойное дихроическое покрытие, отражающее красные составляющие спектра.

Красные составляющие светового потока попадают на зеркальную грань призмы *5* и, отражаясь от нее, проходят на выход красных составляющих светового потока R. Далее световой поток проходит через призму *8* и попадает на дихроическое покрытие, нанесенное на грани призмы *9*, которое отражает синие составляющие светового потока. Эти составляющие отражаются от зеркальной грани призмы *8* и проходят на выход B. Оставшаяся часть светового потока, соответствующая расширенной зеленой спектральной кривой светопропу-

[1] Встречаются конструкции цветоделительных блоков, отличающиеся от описанной последовательностью и ориентацией цветоделительных каналов.

скания, проходит через призму *9* на выход G. Угол падения осевого луча светового потока на плоскости с дихроическим покрытием составляет 20°. Углы падения лучей, соответствующих крайним точкам поля изображения, изменяются в пределах 18...23°. Таким образом, характеристики спектральной чувствительности крайних световых потоков заметно не изменяются.

На выходе каждого канала на грань призмы наклеен корригирующий светофильтр, состоящий из двух цветных стекол 4, или из одного цветного стекла и прозрачной компенсирующей пластины 7, назначение которой — уравнять между собой длину светового хода лучей каждого канала ОМБ.

На выходах блока цветоделения получаем потоки, спектральные характеристики которых соответствуют кривым, приведенным на рис. 4.5. Вспомогательные призмы *1*, *2* служат для заведения в цветоделительный блок световых потоков от диапроектора и узла подсветки мишеней передающих трубок. Световой поток поступает через специальное отверстие с защитной пластиной *11*, попадает на полупрозрачную зеркальную поверхность, напыленную на грань призмы *1*, и отражается в сторону выходов цветоделительного блока. Далее световой поток от диапроектора и узла подсветки проходит также, как и основной.

В бытовых видеокамерах наряду с применением призменных цветоделительных блоков иногда применяют дихроические зеркала на плоскопараллельных пластинах.

Глава 5.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СВЕТ—СИГНАЛ

5.1. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СВЕТ—СИГНАЛ

В телевидении вообще, а в цветном в особенности преобразователь свет — сигнал фактически определяет параметры и качество исходного ТВ изображения. От типа преобразователя зависит принцип построения передающей камеры, способ формирования сигнала, наличие тех или иных вспомогательных узлов.

Преобразователи свет — сигнал можно разделить на вакуумные и твердотельные. В свою очередь, вакуумные

преобразователи по виду используемого в них фотоэффекта можно разделить на две группы: с внешним и с внутренним фотоэффектом. К преобразователям с внешним фотоэффектом относят передающие трубки с фотоэмиссионным (иконоскоп, ортикон) и вторично-эмиссионным (супериконоскоп, суперортикон, суперизокон) накопителями. Эти трубки использовали на ранней стадии развития телевидения. К таким преобразователям также относят фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), который в сочетании с кинескопом «бегущего луча» применяют в телекинокамерах наряду с твердотельными преобразователями свет — сигнал.

К этой же группе относят электронно-оптические преобразователи (ЭОП), которые совместно с передающими трубками используются в ТВ камерах для увеличения чувствительности. Передающие трубки с внутренним фотоэффектом (видиконы, плюмбиконы, сатиконы, ньювиконы и др.) применяются в большинстве телевизионных камер.

5.2. ПЕРЕДАЮЩИЕ ТРУБКИ С ВНУТРЕННИМ ФОТОЭФФЕКТОМ

Первой из них была разработана малогабаритная передающая трубка видикон, в которой применена фотопроводящая мишень, изготовленная из стибнита (трехсернистой сурьмы Sb_2S_3), обладающего повышенной инерционностью. Применение фоточувствительного слоя, представляющего собой *pin*-структуру на основе пористой пленки моноокиси свинца, позволило создать передающую трубку плюмбикон (иногда называют леддикон, глетикон), которая обладает малыми инерционностью, темновым током и линейной характеристикой преобразования свет — сигнал.

Появление плюмбиконов вызвало своеобразный переворот в технике камеростроения. Их стали применять как в студийных, так и во внестудийных камерах, предназначенных для вещательного телевидения, что позволило значительно уменьшить габариты и массу этих камер, существенно повысить качество телевизионного изображения.

В настоящее время в вещательных телекамерах используются передающие трубки типа плюмбикон и сатикон, в телекамерах прикладного и бытового назначения — плюмбиконы, видиконы, ньювиконы, кремниконы и др.

Для однотрубочных камер цветного телевидения на базе видиконов и ньювиконов разработаны специальные передающие трубки [39, 44]. Видикон с цветокодирующим светофильтром, расположенным вблизи мишени, называют косвикон, а ньювикон с аналогичной конструкцией мишени — ньюкосвикон. Видикон с встроенным цветокодирующим светофильтром и гребенчатой конструкцией специального индексного электрода сигнальной пластины называют триниконом. На смену косвиконам и триниконам в последнее время стали приходить передающие трубки с аналогичной конструкцией мишени, но в которых «видиконный» фоточувствительный слой заменен на «сатиконный». Они получили соответственно название косвикон-сатикон и триникон-сатикон.

Ограниченное применение нашли трубки с внутренним пространственным разделением цветоделенных составляющих и тремя отдельными выводами от трех участков сигнальной пластины. Их стали называть трехэлектродными сатиконами.

В прикладных телекамерах применяют особые виды видиконов — пировидиконы, рентгеновидиконы, а иногда и трубки без накопления зарядов — диссекторы, отличающиеся широким динамическим диапазоном и высокой разрешающей способностью.

Конструкции видикона, плюмбикона, кадмикона, сатикона и других трубок примерно одинаковы. Принцип их действия, образование потенциального рельефа и получение сигнального тока подробно описаны в [69].

На рис. 5.1 показано устройство типовой передающей трубки с фотопроводящей мишенью, магнитной фокусировкой и магнитным отклонением (трубка типа ММ). Объектив *1* проецирует оптически сфокусированное изображение передаваемого объекта на фотопроводящий слой *2*, нанесенный на сигнальную пластину *3*,

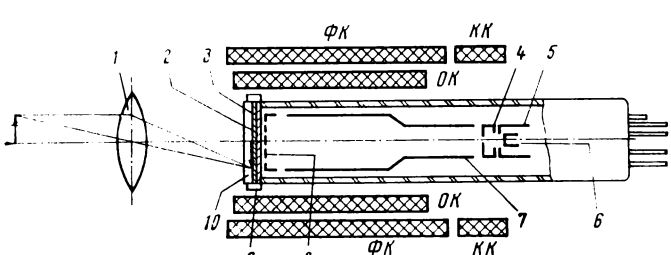


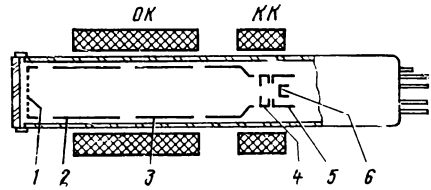
Рис. 5.1. Передающая трубка типа ММ

которая напылена на планшайбу *10*. Сигнальная пластина электрически соединена с кольцевым выводом *9*. Электронно-оптическая система передающей трубки состоит из катода *6*, модулятора *5*, первого анода *4*, второго анода *7* и выравнивающей сетки *8*. Электронный пучок (луч) фокусируется катушкой ФК, а отклоняется горизонтальными и вертикальными катушками ОК. Имеются горизонтальные и вертикальные корректирующие катушки КК, назначение которых сводится в основном к компенсации погрешностей, вносимых магнитной и электронно-оптической системами. Модулятор *5* предназначен для регулировки тока электронного пучка, а первый и второй аноды — для его формирования. Магнитное поле катушки ФК фокусирует электронный пучок в плоскости мишени. Перед мишенью установлена выравнивающая сетка. Между мишенью и сеткой создается однородное тормозящее поле, которое обеспечивает нормальное падение электронного пучка по всей сканируемой площади фоточувствительного слоя (растра), что позволяет сохранить фокусировку луча и равномерность сигнала по полю изображения.

При определенных внешних механических воздействиях выравнивающая сетка начинает колебаться. Эти колебания вызывают изменения емкости между сигнальной пластиной и сеткой, что приводит к возникновению микрофонного эффекта. Микрофонный эффект может быть существенно снижен путем уменьшения напряжения на сетке, однако это приведет к уменьшению глубины модуляции. Уменьшение емкости путем увеличения расстояния между сеткой и сигнальной пластиной также приводит к снижению глубины модуляции и ухудшению геометрии растра. Наиболее эффективной мерой уменьшения микрофонного эффекта является снижение акустической чувствительности сетки. Для этого ее изготовляют из более жесткого материала, что позволяет почти в 2 раза увеличить резонансную частоту и значительно сократить время затухания механических колебаний.

На рис. 5.2 показана конструкция передающей трубки с электростатической фокусировкой и магнитным отклонением (трубка типа SM). Как и в описанной выше трубке с магнитной фокусировкой, электронно-оптическая система состоит из катода *6* с косвенным накалом, модулятора *5*, первого анода *4*, второго анода *2* и выравнивающей сетки *1*, причем второй анод выполнен в виде двух цилиндров, между которыми уста-

Рис. 5.2. Передающая трубка типа SM



новлен дополнительный фокусирующий электрод *3*, на который подается напряжение меньшее, чем напряжение на втором аноде. Эта система электродов образует электронно-оптическую линзу. Электронный пучок отклоняется горизонтальными и вертикальными катушками ОК, а корректируется корректирующими катушками КК. Поскольку трубка с электростатической фокусировкой не требует специальной фокусирующей катушки, значительно снижается общая мощность, потребляемая камерой. Следует заметить, что в трубках SM и SS глубина модуляции несколько меньше, чем в трубках ММ.

Наряду с передающими трубками ММ и SM применяют трубки со статической фокусировкой и статическим отклонением (трубки SS), в которых фокусирующие и отклоняющие электроды напыляются на внутреннюю поверхность стеклянной колбы. Конфигурацию электродов получают путем прожигания нанесенного металлического слоя. Такие трубки не требуют фокусирующих и отклоняющих катушек, экономичны, имеют малую массу. Например, сатикон типа SS с торцевым токосъемником, диаметром 13 мм имеет массу 9 г, а вместе с экраном 16 г.

В передающих трубках, использующих для создания сигнала внутренний фотоэффект, собственные шумы малы, и поэтому доминирующую роль играют не они, а шумы предварительного усилителя. Отношение сигнал-шум будет возрастать пропорционально увеличению тока сигнала трубки. На отношение сигнал-шум существенно влияет емкость «выравнивающая сетка-сигнальная пластина» и «контактное кольцо трубки — элементы внешней конструкции экрана ФОС». Для уменьшения этой емкости в последних модификациях передающих трубок приняты конструктивные меры: площадь сигнальной пластины уменьшена до величины, незначительно превышающей площадь сканируемого растра, а контактное кольцо заменено на штыревой токосъем-

ник, расположенный на планшайбе (рис. 5.3). Указанные изменения позволили почти в 2 раза уменьшить суммарную выходную емкость и тем самым увеличить отношение сигнал-шум примерно на 3 дБ. Формирование сигнала в предварительном усилителе подробно рассмотрено в § 5.4.

Основные характеристики передающих трубок определяются материалом фоточувствительного слоя и конструкцией передающих трубок. Чувствительность — это отношение среднего значения тока, снимаемого с сигнальной пластины, $I_{\text{сигн}}$, к световому потоку F, равномерно освещающему площадь растра A передающей трубки (т. е. $F=AE$); $S=I_{\text{сигн}}/AE$, мкА/лм, где E — освещенность мишени. При этом предполагается, что ток сигнала заведомо меньше тока луча $I_{\text{л}}$.

Если учесть, что световой поток связан с потоком излучения $P(\lambda)$ как [24]:

$$F = 680 \int_{380}^{780} P(\lambda)\, V(\lambda)\, d\lambda,$$

где $V(\lambda)$ — световая эффективность, то чувствительность, мА/Вт, к излучению для каждой длины волны $S_{\text{и}}(\lambda)=0{,}68V(\lambda)S$. Спектральная чувствительность (рис. 5.4) плюмбикона *1* в области красного мала, поэтому проводится специальный отбор трубок, имеющих большую чувствительность *2* в красной области спектра, но тем не менее плюмбикон применяют во многих камерах, так как он имеет преимущества перед другими трубками в инерционности. Инерционность в передающих трубках характеризует запаздывание изменения уровня сигнала относительно изменяющегося значения освещенности и измеряется значением остаточного сигнала $U_{\text{ост}}$, выраженного в процентах от номинального сигнала в зависимости от времени (рис. 5.5).

Наименьшей инерционностью обладает плюмбикон, но даже для него значение остаточного сигнала через

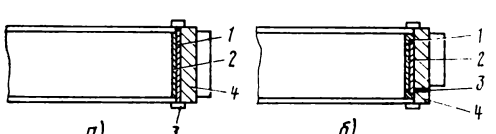


Рис. 5.3. Конструкция узла мишени
1 — сигнальная пластина; *2* — фотопроводящая мишень; *3* — сигнальный вывод; *4* — планшайба; *а* — с кольцевым токосъемником, *б* — с торцевым токосъемником

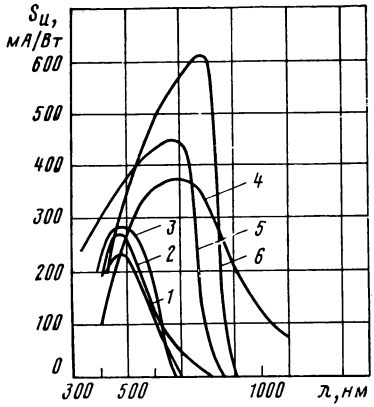


Рис. 5.4. Характеристики спектральной чувствительности различных передающих трубок:
1 — плюмбикона; *2* — плюмбикона с увеличенной чувствительностью в области красного; *3* — видикона; *4* — кремникона; *5* — кадмикона; *6* — ньювикона

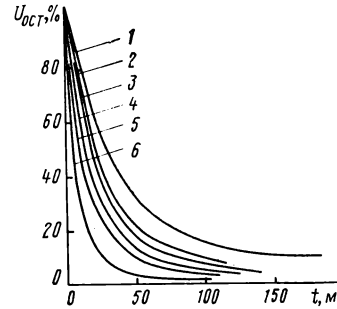


Рис. 5.5. Характеристики инерционности различных передающих трубок (ток сигнала 100 нА, ток луча 200 мА)
1 — видикона; *2* — кадмикона; *3* — ньювикона; *4* — кремникона; *5* — сатикона; *6* — плюмбикона

40 мс (длительность кадра) составляет 5...7%, что заметно на изображении. Для трубок других типов это значение еще больше. Поэтому приходится применять специальные меры для снижения инерционности как при конструировании трубок, так и при разработке ТВ камер.

Существенно меньшая инерционность плюмбиконов обусловлена применением в них фотодиодной мишени.

Инерционность уменьшают увеличением толщины фоточувствительного слоя, однако это приводит к снижению разрешающей способности трубок. Увеличение освещенности мишени приводит к уменьшению фотоэлектрической составляющей инерционности. Эта особенность была использована при конструировании плюмбиконов. Через специальный встроенный световод (рис. 5.6) на мишень подают световое смещение. Источником света служит миниатюрная лампа, расположенная в панеле. Лампу, как правило, подключают параллельно цепи накала трубки. Световое смещение в трехтрубочных камерах в разных каналах должно быть разным — в «синей» и «красной» трубках больше, а в «зеленой» — меньше. Точное значение светового смещения устанавливают, исходя из выравнивания и минимиза-

ции инерционностей в каждом из каналов R, G, B. Для трубок малого диаметра установка световодов внутри колбы затруднительна и поэтому световое смещение подают через цветоделительный блок (см. § 4.1).

Глубина модуляции характеризует разрешающую способность передающих трубок. Конечный размер сечения электронного луча (апертура луча трубки) ограничивает возможность воспроизведения мелких деталей изображения. Глубину модуляции (коэффициент передачи модуляции) измеряют как отношение размаха сигнала от штрихов (черных и белых полос) испытательной таблицы, соответствующего определенной частоте, к максимальному размаху сигнала.

Глубина модуляции зависит от материала и толщины фоточувствительного слоя, от конструкции электронного прожектора передающей трубки, от способов фокусировки и отклонения электронного луча. Кривые, характеризующие глубину модуляции для трубок типа ММ с разными материалами фоточувствительных слоев, приведены на рис. 5.7. Глубина модуляции для трубок типов MS, MM, SM различается незначительно, трубки типа SS имеют худшую разрешающую способность (рис. 5.8). Отклонение электронного пучка (луча) вблизи поверхности фоточувствительного слоя Δ_{xy} вызывается воздействием потенциального рельефа мишени $E_{\text{п}}$ (рис. 5.9). Значение Δ_{xy} измеряют в телевизионных элементах (твэ). Размер элемента $a = H/Z_{\text{акт}}$, где H — высота растра, $Z_{\text{акт}}$ — число активных строк кадра. Потенциальный рельеф формируется падающим световым потоком, промодулированным оптическим изображением, и зависит от напряжения на сигнальной пластине.

Наибольшее влияние потенциальный рельеф оказывает на электронный луч на краях растра. При сканировании последней строки растра пучок попадает в зону действия поля положительно заряженной некоммутиру-

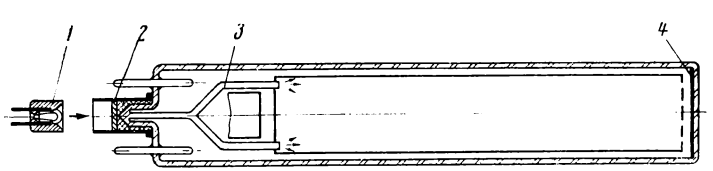


Рис. 5.6. Внутренний световод для подсветки мишени:
1 — источник света; *2* — светофильтр; *3* — световод; *4* — мишень

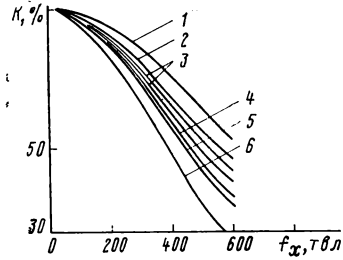


Рис. 5.7. Зависимость коэффициента передачи модуляции от частоты штрихов для трубок различных типов:
1 — видикон; *2* — сатикон; *3* — плюмбикон с диодным прожектором; *4* — ньювикон; *5* — кадмикон; *6* — кремникон

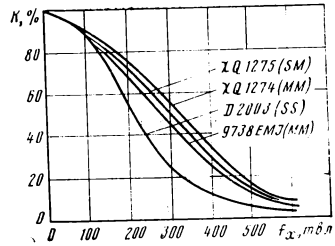


Рис. 5.8. Зависимость коэффициента передачи модуляции от частоты штрихов для трубок разной конструкции

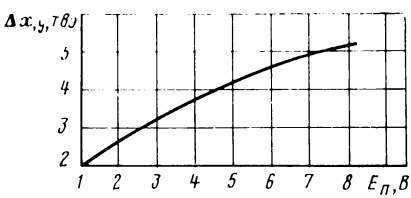


Рис. 5.9. Отклонение электронного пучка под воздействием потенциального рельефа: $E_п$ — глубина потенциального рельефа

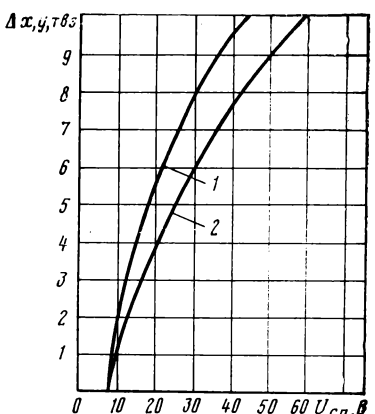


Рис. 5.10. Отклонение электронного пучка на краях растра:
1 — верхний край; *2* — нижний край; $U_{с.п}$ — напряжение на сигнальной пластине

емой части фотопроводящего слоя и соответственно отклоняется, что приводит к геометрическим искажениям растра. Наличие на краю растра изображения светлого объекта усугубляет этот эффект. Увеличение потенциала сигнальной пластины приводит к еще большему отклонению электронного пучка на границе растра [23]. На рис. 5.10 приведена зависимость отклонения Δ_{xy} пучка на краю растра видикона от напряжения на сигнальной пластине $U_{с.п}$. Электронный пучок отклоняется от номинального положения, определяемого разверткой не только на краях растра, но и на границах лю-

бой разности потенциалов (например, если в изображении имеется черно-белый перепад) потенциального рельефа. При работе телекамеры на трех передающих трубках потенциальные рельефы, создаваемые световыми потоками, на мишени каждой трубки будут разными, следовательно, их воздействие на электронные пучки каждой трубки будет разным, а это, в свою очередь, приведет к различным отклонениям. Этот эффект вызывает неточности совмещения трех растров (динамическое рассовмещение растров).

5.3. ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Твердотельные (полупроводниковые) преобразователи свет — сигнал, линейные и матричные, в настоящее время интенсивно разрабатывают и усовершенствуют в СССР и за рубежом и начинают широко применять как в черно-белых, так и в цветных телекамерах различного назначения вместо вакуумных передающих трубок [48, 52].

Линейные твердотельные преобразователи свет — сигнал представляют собой светочувствительный регистр сдвига, формирующий одномерное изображение, в котором накапливаются, а затем переносятся заряды (электронное сканирование). Число элементов в линейных преобразователях может быть значительным (более тысячи). Применяют их обычно в тех случаях, когда по второй оси (в перпендикулярном направлении) происходит механическое сканирование — в кинопроекторах, при считывании движущейся перфоленты, на борту самолета или другого перемещающегося устройства и т. д.

Значительно более сложные матричные твердотельные преобразователи свет — сигнал обеспечивают электронное сканирование по обеим осям. Они представляют собой двумерную матрицу светочувствительных элементов, в которых также накапливаются и переносятся заряды.

Основными преимуществами твердотельных преобразователей свет — сигнал являются малые габариты и масса, высокие стабильность, надежность и срок службы, малые геометрические искажения и инерционность, отсутствие опасности прожигания мишени и необходимости высоковольтного питания, меньшая чувствительность к ударам и вибрациям и др. Из-за геометрического подобия матриц совмещение растров достигается лег-

че в твердотельных трехматричных цветных телекамерах, чем в трехтрубочных. Однако для них требуется высококачественная оптика с малыми аберрациями, так как возникшие искажения не могут быть скорректированы схемным путем, как в телекамерах на передающих трубках. Твердотельным преобразователям присущи специфические помехи. Имеются существенные трудности создания крупноформатных матриц для обеспечения хорошего качества изображения (незначительный процент выхода бездефектных матриц, что экономически пока невыгодно). Поэтому твердотельные преобразователи применяют сейчас в основном в прикладном и бытовом ТВ, а для вещания — только в составе телекинокамер и некоторых камер ВЖ.

Матричные твердотельные преобразователи свет — сигнал (рис. 5.11) или, как их иногда называют, матричные формирователи сигналов изображения можно подразделить на четыре типа [40].

Приборы с кадровым переносом зарядов (рис. 5.11, *а*)

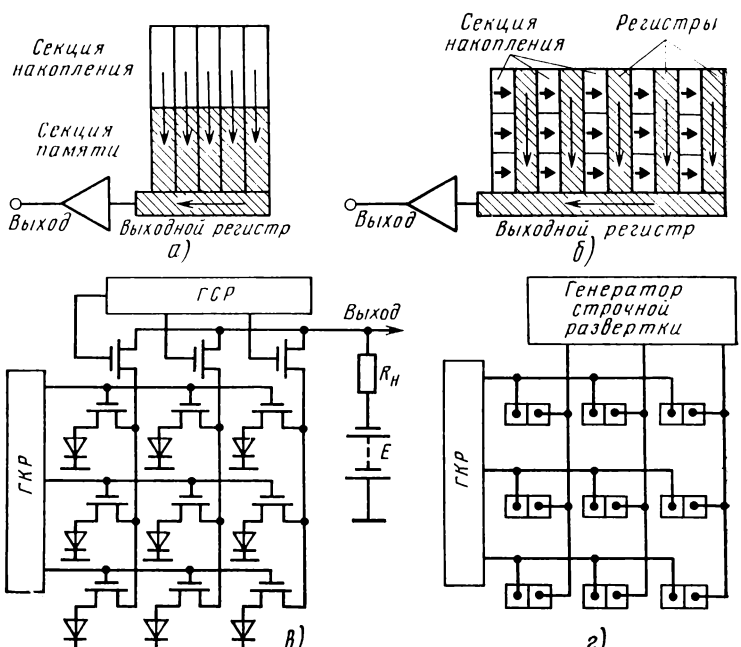


Рис. 5.11. Основные типы матричных твердотельных преобразователей свет—сигнал

состоят из секций накопления и хранения и выходного регистра. При подаче напряжений в определенных фазах под электродами в светочувствительной секции накапливаются заряды, пропорциональные падающему световому потоку. В течение длительности полевого гасящего импульса при подаче импульсов переноса все накопленные заряды быстро сдвигаются из секции накопления в экранированную от света секцию памяти, откуда построчно выводятся в выходной регистр во время действия строчного гасящего импульса, а затем последовательно считываются за время активной части строки. В ПЗС с кадровым переносом зарядов может применяться двух-, трех- или четырехфазная система электродов. Благодаря чересстрочной организации считывания удается удвоить число строк на изображении по сравнению с числом элементов по вертикали. Наиболее удобны для чересстрочной развертки двух- и четырехфазные системы электродов, которые широко используются.

В ПЗС со строчно-кадровым переносом зарядов (рис. 5.11, *б*) светочувствительные ячейки секции накопления примыкают в каждом столбце к вертикальному регистру сдвига, закрытому непрозрачным экраном. Заряды, накопленные в светочувствительных ячейках, при подаче отпирающего напряжения на фотозатвор в течение части полевого интервала гашения быстро сдвигаются (четные строки в первом поле, нечетные — во втором) в вертикальные регистры и затем во время обратного хода строчной развертки периодически перемещаются вдоль вертикального регистра на один такт, попадая в горизонтальный регистр, который работает так же, как и в ПЗС с кадровым переносом зарядов.

Преимуществами матриц со строчно-кадровым переносом (СКП) зарядов (рис. 5.11, *б*) по сравнению с матрицами с кадровым переносом (КП) (рис. 5.11, *а*) являются отсутствие секции памяти, более высокая разрешающая способность по вертикали, более точная чересстрочность развертки, а также более простое устройство стока избыточных зарядов. В то же время, конструкция ПЗС с СКП, как правило, сложнее, чем ПЗС с КП, а светочувствительная поверхность у них меньше, так как вертикальные регистры, находящиеся в поле изображения, экранируются для предотвращения попадания света. По этой же причине в ПЗС с КП удается разместить по горизонтали в 1,5...2 раза большее число элементов, чем в ПЗС с СКП.

Фотодиодные матрицы и матрицы приборов с инжекцией заряда (рис. 5.11, *г*) являются преобразователями свет — сигнал с координатной адресацией, которая осуществляется генераторами строчной и кадровой разверток. Обычно в качестве генераторов разверток используют регистры сдвига. Недостатком приборов с координатной адресацией по сравнению с ПЗС является большая неравномерность чувствительности по полю изображения.

В фотодиодных матрицах для адресации к тому или иному фотодиоду используются МОП-ключи (металл — оксид — полупроводниковые), а сигнал снимается с общей нагрузки $R_н$ (рис. 5.11, *в*). В приборах с инжекцией заряда каждая светочувствительная ячейка состоит из двух накопительных МОП-конденсаторов, между которыми возможен перенос накопленных зарядов. При одновременном снятии потенциалов с обоих конденсаторов накопленные заряды инжектируются в подложку. Полезный сигнал можно выделить с помощью измерения тока, протекающего после инжекции, или регистрацией изменения напряжения, создаваемого при переносе зарядов между двумя накопительными МОП-конденсаторами в каждой светочувствительной ячейке. Во втором случае адресация к светочувствительным ячейкам от генератора строчной развертки производится через МОП-ключи, а сигнал снимается с общей нагрузки, так же, как и в фотодиодных матрицах [48].

В последние годы созданы так называемые гибридные матрицы. К ним относятся, например, фотодиодные матрицы и приборы с инжекцией зарядов, в которых кадровая развертка производится регистром сдвига на интегральных МОП-транзисторах, а строчная развертка и считывание накопленных зарядов с помощью регистра сдвига на ПЗС, что позволяет значительно увеличить уровень выходного сигнала и отношение сигнала как к флуктуационной, так и к фиксированной помехам. В то же время в матрицах ПЗС и приборах с инжекцией зарядов в качестве светочувствительных элементов начинают применять p-n^+-фотодиоды. Кроме того, разработаны матрицы с отделенным фоточувствительным слоем (двухэтажные матрицы), матрицы ПЗС, сочлененные с электронно-оптическим преобразователем яркости (для повышения чувствительности) или с полупроводниковым холодильником (для предотвращения снижения качества изображения при повышении температуры) [30, 38].

Все типы твердотельных преобразователей свет — сигнал быстро совершенствуются как по конструкции, так и по числу элементов. В настоящее время достигнуто число элементов, обеспечивающее разрешающую способность близкую, к необходимой для ТВ вещания. Применяемые в вещательных, а также в большинстве бытовых и прикладных телекамер твердотельные матрицы называют крупноформатными. Размер светочувствительной области в них обычно выбирается близким к значениям 4,8×6,4; 6,6×8,8 или 9,6×12,8 мм, т. е. соответствующим светочувствительной поверхности 13-, 18- или 25-мм передающих трубок, что дает возможность использовать стандартные ТВ вариообъективы.

Число элементов по вертикали в крупноформатных матрицах, предназначенных для систем ТВ с вещательными стандартами разложения изображения, выбирают равным (с учетом чересстрочного разложения) или немного бóльшим активного числа строк, т. е. не меньшим 484 для 525-строчного стандарта и 576 для 625-строчного.

Число элементов по горизонтали выбирают с таким расчетом, чтобы при стандартной длительности активной части строки тактовая частота горизонтального регистра была кратна частоте цветовой поднесущей. Например, в матрицах ПЗС СКП с числом элементов 580×475 (первое число — по вертикали, второе — по горизонтали) фирмы «Шарп» и 576×462 фирмы «Томсон-ЦСФ» тактовая частота горизонтального регистра может быть выбрана равной удвоенному значению верхней поднесущей частоты СЕКАМ, т. е. $f_т = 8{,}8125$ МГц. В этом случае несколько крайних элементов матрицы, экранированных от света, считывают во время обратного хода строчной развертки для получения опорного уровня черного.

Матрицы ПЗС обычно обеспечивают более высокое качество изображения, чем фотодиодные и с инжекцией зарядов, из-за более высокого отношения сигнал-шум (значительно меньшей выходной емкости и отсутствия помех от тактовых импульсов), но имеют меньший процент выхода годных приборов, который резко уменьшается при увеличении их площади в соответствии с эмпирическим соотношением, определяющим число годных приборов, %, [95]: $n = 100/(1+0{,}25SA^4)$, где S — площадь матрицы, см^2; A — число дефектов на 1 см^2.

Число дефектов A, в свою очередь, зависит от площади, занимаемой тонким слоем окисла под электро-

дами ПЗС и затворами МОП-транзисторов. Эта площадь в фотодиодных матрицах и приборах с инжекцией зарядов в 2...4 раза меньше, чем у матриц ПЗС. Этим и объясняется более высокий процент выхода годных из них. При заданном оптическом формате изображения максимальное число элементов разложения может быть получено в матрицах ПЗС КП. Например, в матрицах, предназначенных для космических исследований, оно достигает значений 800×800 и 1024×1024. Однако пока еще эти единичные матрицы имеют слишком большую для полупроводниковых приборов площадь (2...4 см^2), что приводит к очень низкому проценту выхода годных изделий (сотые доли процента) и неприемлемо для крупносерийного производства. Поэтому в последнее время электронная промышленность ужесточением технологических норм на минимальные топологические размеры с 3...4 до 1,4...1,5 мкм переходит на изготовление преобразователей свет — сигнал сравнительно небольших размеров с площадью кристалла около 0,5...1 см^2, при этом выход годных изделий достигает от нескольких единиц до десятков процентов.

На рис. 5.12 приведены характеристики спектральной чувствительности некоторых матричных преобразователей свет — сигнал и для сравнения спектральная характеристика 18-мм сатикона [40]. Из характеристик видно, что фотодиодные матрицы имеют более высокую чувствительность в синей области спектра, чем обычные матрицы ПЗС с поликремниевыми электродами (кривые *5* и *6*). Это объясняется тем, что толщину электродов при-

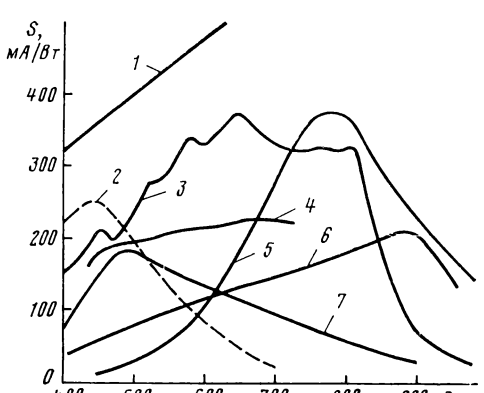


Рис. 5.12. Характеристики спектральной чувствительности твердотельных преобразователей свет—сигнал и сатикона:
1 — теоретическая, соответствующая 100%-ной квантовой эффективности; *2* — сатикона ВС4391В фирмы RCA; *3* — матрицы ПЗС КП с прозрачным вторым слоем фирмы «Тосиба» (512×340 элементов); *4* — фотодиодной матрицы фирмы «Мацусита» (492×404); *5* — матрицы ПЗС КП. фирмы RCA (512×320) с обычными поликремниевыми электродами; *6* — матрицы ПЗС СКП с фотодиодами фирмы NEC (490×384); *7* — фотодиодной матрицы фирмы «Хитати» (485×384)

ходится выбирать сравнительно большой (0,5 мкм в крупноформатных матрицах) для обеспечения хорошей проводимости, а это приводит к сильному поглощению в электродах коротковолновой части видимого излучения. Кроме того, в ПЗС с многослойными электродами происходит интерференция света, приводящая к изрезанности их спектральных характеристик. Спектральная чувствительность новых матриц (кривые *3*, *4*, *7*) заметно повышена в коротковолновой части спектра, стала сравнима со спектральной чувствительностью сатикона в этой части спектра и заметно превосходит ее в длинноволновой части. В то же время повышенная чувствительность цветных ТВ камер в ближней инфракрасной области спектра нежелательна из-за искажения цветопередачи. Для снижения чувствительности в этой области иногда применяют многослойные структуры.

Матрицы ПЗС с обычными поликремниевыми электродами, освещаемые со стороны этих электродов, применяют в прикладных черно-белых телекамерах, в том числе в высокочувствительных камерах при сочленении матриц с электронно-оптическими преобразователями через волоконно-оптическую вставку, а также в малокадровом ТВ при принудительном охлаждении матриц. Охлаждаемая матрица позволяет увеличить время накопления до нескольких секунд при нормальной температуре окружающей среды или сохранить исходное качество изображения при повышенной температуре.

Современные твердотельные преобразователи светсигнал для повышения чувствительности в синей области спектра освещаются со стороны утонченной до 8...10 мкм подложки, что позволяет исключить поглощение света в поликремниевых электродах, или в них делаются специальные окна в системе электродов при освещении матрицы с их стороны.

Переход к освещению (рис. 5.13) со стороны утонченной подложки [10] позволяет резко увеличить чувст-

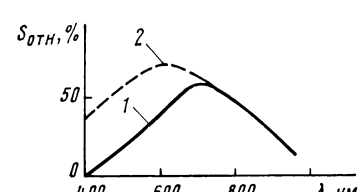


Рис. **5.13.** Характеристики спектральной чувствительности матрицы ПЗС КП фирмы RCA при освещении с фронтальной стороны и со стороны утонченной подложки (штриховая кривая)

вительность в синей области видимого излучения, что особенно важно для цветных ТВ камер.

При освещении матрицы ПЗС КП со стороны утонченной подложки, получают наибольшую спектральную чувствительность в видимой области спектра по сравнению с другими матрицами. Такие матрицы пока еще сложны в изготовлении.

Разрабатываются простые в изготовлении матричные преобразователи свет — сигнал, освещаемые со стороны поликремниевой (или какой-то другой) системы электродов, в которой образованы окна, обычно занимающие 20...50% площади светочувствительной поверхности.

В матрицах ПЗС СКП освещение возможно только со стороны электродов. Поэтому основной путь повышения чувствительности в синей области спектра — образование в системе электродов окон, в районе которых в приповерхностном слое полупроводниковой подложки формируются светочувствительные *n-p-n*-фотодиоды, или же эти окна покрывают очень тонким (10...50 нм) прозрачным слоем поликремния. Площадь окон — 25...40% площади освещаемой поверхности матрицы, а почти вся остальная часть этой поверхности полностью экранируется от света, так как отводится для вертикальных регистров сдвига. По этой причине ее интегральная чувствительность снижается по сравнению с матрицами ПЗС КП. Для преодоления этого недостатка на оптический вход матрицы ПЗС СКП с числом элементов 490×768 встраивают линзовый растр, формируемый путем нанесения на поверхность двух слоев разных смол толщиной 13...14 мкм. В верхнем слое фотолитографией сетки канавок и последующим термоплавлением смолы образуется мозаика микролинз (толщиной 7 мкм), расположенных над *n-p-n*-фотодиодами. Линзы позволяют сконцентрировать примерно 80% падающего светового потока на фоточувствительные зоны в виде *n-p-n*-фотодиодов, которые занимают только 35% облучаемой поверхности матрицы. Применение линзового растра позволило увеличить чувствительность матрицы более чем вдвое, а также почти полностью исключить помехи на изображении в виде муара [94].

В фотодиодных матрицах чувствительность в синей части видимого спектра повышают также за счет образования окон, под которыми в приповерхностном слое полупроводниковой подложки размещают фотодиоды. Трехслойная *n-p-n*-структура, особенно с уменьшенной

толщиной *p*-области под фотодиодами, оказалась эффективным средством борьбы с растеканием зарядов при локальных пересветках и стала все чаще применяться как в фотодиодных матрицах, так и в матрицах ПЗС [38].

В последние годы продолжают совершенствоваться двухэтажные преобразователи свет — сигнал на основе фотодиодных матриц и матриц ПЗС, но с отделенным верхним фоточувствительным слоем (таким же, как у сатикона, безмозаичного кремникона или ньювикона), что позволяет увеличить активную светочувствительную поверхность этих приборов до 80...100%. Однако здесь возникают такие недостатки, как инерционность и возможность прожигания фотопроводящих слоев при пересветках.

Конструктивно твердотельные преобразователи свет — сигнал выполняют со встроенными цветокодирующими светофильтрами (для одноматричных цветных текамер) и без них (для трехматричных цветных телекамер и черно-белых телекамер). Встроенный вертикальный полосковый цветокодирующий светофильтр с удвоенным числом зеленых ячеек применен, например, в односекционной матрице ПЗС КП фирмы «Кодак» с числом элементов 242×740 (с учетом чересстрочности разложения эквивалентное число элементов по вертикали автоматически удваивается и составляет 484). Эта матрица предназначена для цветной телекинопроекции с негативной кинопленки. Экспозиция производится во время обратного, а считывание зарядов и протяжка кинопленки во время прямого хода кадровой развертки.

В серийных профессиональных трехматричных телекамерах CCD-1 и CCD-1S применены матрицы ПЗС КП, освещаемые со стороны утонченной до 8...10 мкм подложки, что позволило увеличить чувствительность в канале синего изображения. Квантовая эффективность новых матриц в видимом световом диапазоне превышает 60%. Поэтому они обеспечивают примерно одинаковую чувствительность для трех каналов R, G, B. Каждая матрица содержит 403 элемента по горизонтали и 512 (или 618) по вертикали и имеет светочувствительную зону размером 4,8×6,4 мм (как у 13-мм плюмбикона). Эффективные размеры одного элемента 16 мкм по горизонтали и 10 мкм по вертикали. Матрицы выполнены по технологии скрытых каналов для вертикального и горизонтального переносов зарядов. В сек-

ции накопления предусмотрены стоки для избыточных зарядов, возникающих при локальных пересветках (превышающих нормальную освещенность в 10 000 раз). Утонченная подложка, представляющая собой очень тонкую пленку, наклеена на стеклянную пластину, что обеспечивает необходимую жесткость конструкции [96].

Растры трех матриц ПЗС совмещают механически в процессе изготовления камеры; используются манипуляторы, способные совершать перемещения с шагом менее 1 мкм. Эти манипуляторы располагают элементы в строго определенном порядке и фиксируют их высокостабильным цементирующим клеем. Манипуляторы отводятся от обрабатываемых изделий только после отвердения конструкции. Дальнейшая юстировка не требуется, да она и невозможна. Для проверки точности расположения элементов и совмещения растров применяют методы измерений с использованием ЭВМ. Эти методы позволяют контролировать совмещение растров с точностью 0,1 мкм. Одновременно определяются временная и температурная стабильности матриц и телекамеры, а также их ударо- и вибропрочность. Точность совмещения растров в центре 0,05% сохраняется неизменной во всем диапазоне рабочих температур и в течение всего срока службы камеры.

Наряду с большими преимуществами телекамер на твердотельных преобразователях свет — сигнал по сравнению с камерами на передающих трубках, их основной недостаток — ограниченное число элементов по горизонтали — приводит не только к более низкой, чем требуется для ТВ вещания, разрешающей способности, но является также причиной появления муаров на изображении. При одинаковом числе элементов уровень муаров существенно выше при использовании матрицы ПЗС СКП по сравнению с матрицами ПЗС КП, так как для первых размер апертуры светочувствительных элементов по горизонтали примерно вдвое меньше, чем для вторых. Основной путь решения этой проблемы — увеличение числа элементов по горизонтали, но без увеличения площади кристалла. В настоящее время достигнуто увеличение числа элементов по горизонтали до 500...768 при малой площади кристалла [38]. Интенсивные работы в этом направлении продолжаются, и можно ожидать появления в ближайшее время новых цветных телекамер на твердотельных преобразователях свет — сигнал, полностью удовлетворяющих требовани-

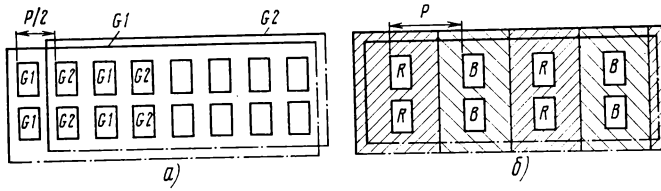


Рис. 5.14. Матрицы ПЗС СКП телекамер SP—3 и SP—3A (фирма NEC)

ям ТВ вещания по разрешающей способности и по почти полному отсутствию муаров.

Другим методом снижения муаров при одновременном повышении разрешающей способности по горизонтали в случае ограниченного числа элементов матрицы является применение в цветных телекамерах (рис. 5.14) двух матриц в зеленом канале. В таких камерах используют по три матрицы ПЗС СКП с числом элементов 490×384 в каждой. Устанавливают обычную трехгранную цветоделительную призму. Световой поток расщепляется на составляющие G, G и $R+B$ с тем, чтобы в зеленых каналах применить сразу две матрицы и за счет их пространственного сдвига по горизонтали на половину шага $P/2$ элементов (рис. 5.14, *а*) увеличить примерно вдвое (до 450 твл) разрешающую способность и значительно уменьшить заметность муаров [93]. В пурпурном канале ($R+B$) установлена третья матрица ПЗС СКП (рис. 5.14, *б*) с полосовым светофильтром, предназначенным для разделения сигналов R и B. Недостаток этого метода — применение одной матрицы для каналов R и B, снижение разрешающей способности по горизонтали для цветоразностных сигналов и ухудшение результирующего качества изображения при ТВ вещании и одновременной работе нескольких камер, например, в случае микширования и применения рирпроекции. Для устранения этого недостатка исследуется возможность применения шестигранных или четырехгранных призм, разделяющих световой поток на шесть (G, G, R, R, B, B) или четыре (G, G, R, B) составляющих и пространственного сдвига матриц. В телекамерах, предназначенных для систем ТВЧ, предполагается использовать пространственный сдвиг матриц не только по горизонтали, но и по вертикали [81].

5.4. ФОРМИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Первичное формирование видеосигналов в телекамерах происходит в предварительных видеоусилителях, входы которых подключают непосредственно к преобразователям свет — сигнал.

В камерах на передающих трубках важнейшими факторами формирования сигналов являются высокое выходное сопротивление трубок $R_{тр}$ (примерно 10 МОм), сравнительно большая выходная емкость $C_{тр}$ (примерно 10 пФ) и малый сигнальный ток $I_{сигн}$ (примерно 100 нА). Можно легко вычислить, что в рабочем диапазоне частот (от $f_{мин} \approx 10$ Гц до $f_{макс} \approx 5$ МГц) полное выходное сопротивление трубки изменяется более чем в 1000 раз, $I_{сигн}$ изменяется при этом в 2...3 раза (из-за апертурных искажений). С увеличением частоты сигнальная ЭДС $E_{сигн}$, в отличие от $I_{сигн}$, уменьшается на три — четыре порядка, поэтому предусилители в камерах на передающих трубках выполняют по схеме преобразователя ток — напряжение (рис. 5.15, *а*). При такой схеме, увеличивая коэффициент усиления K при фиксированном сопротивлении обратной связи R, теоретически можно было бы полностью устранить неравномерность АЧХ, вызываемую влиянием суммарной емкости $C = C_{тр} + C_{вх}$ ($C_{вх}$ — входная емкость первого каскада усилителя). Однако практически возможность повышения K ограничена. Кроме равномерности АЧХ, предусилитель должен при определенном напряжении сигнала минимизировать шум, основным источником которого обычно является тепловой шум полевого транзистора в первом каскаде, характеризуемый своей ЭДС $E_ш$. Спектральная плотность шума полевого транзистора в диапазоне частот видеосигнала изменяется незначительно и ее можно считать постоянной.

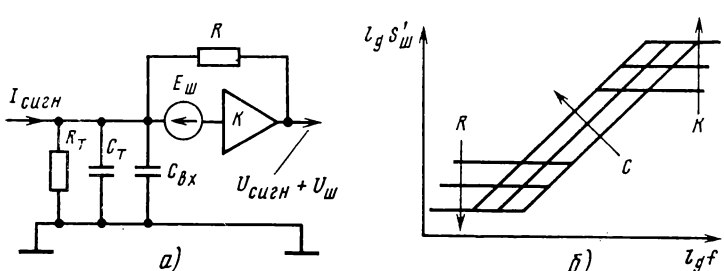


Рис. 5.15. Предварительный видеоусилитель:
а — эквивалентная схема; *б* — нормированная спектральная плотность шума

На выходе усилителя присутствует сумма сигнала и шума $U_{\text{сигн}}+U_{\text{ш}}$. При достаточно больших значениях K напряжение сигнала $U_{\text{сигн}}=I_{\text{сигн}}R$ и практически не зависит от других параметров.

Чтобы определить зависимость $U_{\text{ш}}$ от параметров усилителя, необходимо выяснить вид характеристики спектральной плотности шума $S_{\text{ш}}(f)$, а затем проинтегрировать ее квадрат в рабочем диапазоне частот. Поскольку на качество изображения влияет не абсолютный, а относительный уровень шума, интерес представляет зависимость от параметров нормированной спектральной плотности шума $S'_{\text{ш}}(f)=S_{\text{ш}}(f)/(E_{\text{ш}}U_{\text{ном}})$, где $U_{\text{ном}}=I_{\text{ном}}R$ — номинальный размах сигнала на низких частотах.

На рис. 5.15, *б* показано семейство зависимостей $S'_{\text{ш}}(f)$ для различных значений R, C и K. Для любого фиксированного значения сочетания R, C и K весь диапазон частот можно разбить на три участка: $f<(1/2\pi RC)$ — $S'_{\text{ш}}$ практически постоянна и тем меньше, чем больше R; $(1/2\pi RC<f<(K/2\pi RC)$ — $S'_{\text{ш}}$ растет с частотой и тем меньше, чем меньше C; $f>(K/2\pi RC)$ — $S'_{\text{ш}}$ теоретически постоянна и растет с увеличением K, однако этот участок обычно находится вне рабочего диапазона частот, и на нем начинает уменьшаться значение К вследствие ограниченности полосы частот усилителя.

Из рисунка видно, что при фиксированной емкости C снижения шума можно добиться увеличением R. Этот технический прием получил название «простой противошумовой коррекции». Однако после достижения значения $R<1/2\pi Cf_{\text{макс}}$ дальнейшее улучшение резко замедляется и при $R>3/2\pi Cf_{\text{макс}}$ практически прекращается; кроме того, для сохранения равномерности АЧХ увеличение R должно сопровождаться увеличением K, что приводит к возрастанию влияния паразитных емкостей и ухудшению устойчивости усилителя в целом. При $C\approx 16$ пФ и $f_{\text{макс}}\approx 7$ МГц типичные (близкие к оптимальным) значения параметров: $R=1$ МОм, $K=600$.

На результирующее отношение сигнал-шум влияет выбор типа транзистора. Обычно используют транзисторы с *p-n*-переходом, для которых характерно $C_{\text{вх}}/g=$ $=\text{const}$, где g — крутизна транзистора. Эквивалентное шумовое сопротивление этих транзисторов обратно пропорционально крутизне, что позволяет определить ре-

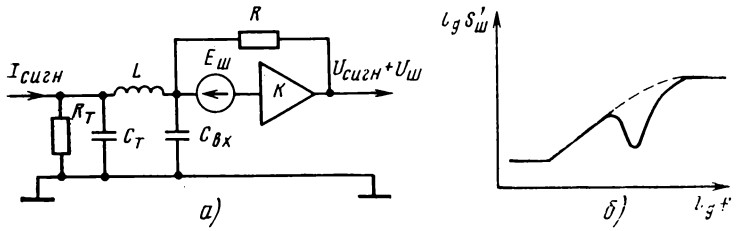


Рис. 5.16. Предварительный видеоусилитель с сложной противошумовой коррекцией:
а — эквивалентная схема; *б* — нормированная спектральная плотность шума

зультирующие отношение сигнал-шум в децибелах;

$$20\lg(U_{ном}/U_ш) = 10\lg I^2_{ном}/4kTf_{макс}\left(\frac{1}{R} + \frac{4\pi^2 f^2_{макс} C^2}{3g}\right),$$

где k — постоянная Больцмана, T — абсолютная температура усилителя.

Фактически отношение сигнал-шум получается на 1...2 дБ хуже, чем расчетное, из-за неучтенного в этой формуле влияния шумов второго каскада усилителя.

Анализируя приведенную формулу, можно показать, что увеличение крутизны транзистора (для достижения которого иногда применяют параллельное включение нескольких транзисторов) улучшает отношение сигнал-шум до тех пор, пока $C_{вх}$ не превысит $C_{тр}$. Дальнейшее увеличение крутизны вследствие пропорционального увеличения $C_{вх}$ приводит к незначительному ухудшению отношения сигнал-шум. Таким образом, при существующей технологии производства транзисторов оптимальными являются значения $C_{вх} \approx C_{тр}$.

Заметное улучшение отношения сигнал-шум дает применение предусилителя со сложной противошумовой коррекцией [9]. Это достигается путем включения во входную цепь усилителя катушки противошумовой коррекции, обеспечивающей резонансный подъем сигнала на частотах приблизительно $0{,}6...0{,}8\,f_{макс}$ (рис. 5.16). Низкое входное сопротивление усилителя шунтирует контур $C_{тр}LC_{вх}$, поэтому АЧХ остается почти равномерной. В то же время на частотах, близких к резонансной, глубина отрицательной обратной связи резко возрастает, что приводит к снижению спектральной плотности шума на выходе. Хотя общее улучшение отношения сигнал-шум обычно не превышает 3 дБ, уровень высокочастотных составляющих шума снижается на 6...10 дБ, а поскольку именно эти составляющие сильно

влияют на сигналы цветности и апертурной коррекции, видеоусилитель со сложной противошумовой коррекцией получил широкое распространение.

Простой расчет показывает, что для типичных значений $C_{тр}=C_{вх}=8$ пФ индуктивность должна быть примерно 100 мкГ при собственной паразитной емкости катушки около 8 пФ. Такая катушка может быть изготовлена без особых трудностей. Разработка новейших моделей трубок уменьшенного диаметра (18 мм и менее), снабженных сигнальным выводом на лицевой стороне планшайбы, — *трубок с уменьшенной выходной емкостью* привела к тому, что требования к конструкции катушки индуктивности стали фактически невыполнимыми. При $C_{тр}=C_{вх}=3$ пФ индуктивность должна быть примерно 400 мкГ при собственной паразитной емкости не более 2 пФ. Поэтому в камерах последних моделей вновь используется простая противошумовая коррекция, обеспечивающая в полосе 5 МГц при треугольном спектре шума отношение сигнал-шум около 50 дБ. В камерах для ТВЧ полоса частот видеосигнала увеличена до 30 МГц и применяют трубки несколько большего диаметра, обладающие большей выходной емкостью. Поэтому в таких камерах успешно применяют катушки сложной противошумовой коррекции, индуктивность которых в несколько раз меньше, чем в обычных камерах.

Равномерность АЧХ предусилителей сильно влияет на качество изображения. Особенно важно обеспечить минимальную разницу в переходных реакциях усилителей каналов R, W, B в области средних и больших времен (т. е. идентичность АЧХ трех усилителей на средних и низких частотах). На изображении это проявляется в виде хорошо заметных тянущихся продолжений справа от яркостных границ. Чтобы скомпенсировать разброс паразитных емкостей токосъемников и резисторов обратной связи, в предусилители вводят корректирующие RC-цепи с регулируемыми параметрами. Обычно предусматриваются раздельные регулировки для низких, средних и высоких частот.

Оконечным каскадом как однострочных, так и матричных твердотельных преобразователей свет — сигнал обычно служит истоковый повторитель, выполненный на той же подложке, что и преобразователь. Напряжение сигнала на выходе повторителя 1...2 В, а полное выходное сопротивление сравнительно низкое. Используемые

в телекино- и теледиакамерах с бегущим лучом фотоумножители также развивают сравнительно большие сигналы при сравнительно низком сопротивлении. Поэтому шумы последующих каскадов не имеют значения и сигналы считываются с помощью обычных видеоусилителей, от которых требуется только равномерность АЧХ.

Глава 6.

ОБРАБОТКА ВИДЕОСИГНАЛОВ

6.1. СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ

Система обработки видеосигналов выполняет следующие функции:

коррекцию (компенсацию) изменений сигналов, вызываемых неидеальностью характеристик оптических и электронно-оптических блоков камеры;

регулирование параметров сигналов для компенсации нестабильности электронных узлов, изменения условий освещения и несоответствия контраста, насыщенности и четкости передаваемого изображения желаемым характеристикам воспроизводимого изображения;

переформирование сигналов для согласования параметров выходных сигналов с требованиями последующих звеньев телевизионной системы (вещательной или прикладной),

В соответствии с указанными функциями система осуществляет преобразования, которые по визуальному восприятию можно подразделить на коррекцию контраста, цветокоррекцию и коррекцию четкости. Это деление несколько условно, так как некоторые преобразователи выполняются параллельно; многие операции перемежаются, например контраст корректируют частично до цветокоррекции, а частично после нее; коррекция четкости обычно сочетается с дополнительной обработкой — шумоподавлением и т. д.

Особым видом обработки является кодирование по системам СЕКАМ, ПАЛ или НТСЦ, которое изменяет форму сигналов и практически не изменяет визуальное восприятие изображения.

Параметры многих узлов и блоков системы регулируют при подготовке камеры к работе, некоторыми из

них управляют оперативно (в процессе передачи). Поэтому систему строят так, чтобы взаимное влияние регулировок было минимально.

Оптимальная с точки зрения качества результирующего изображения и удобства эксплуатации структура системы оказывается сложной, существует ряд равноценных вариантов ее построения.

Опишем упрощенную функциональную схему системы, которая поясняет сущность основных преобразований, однако, естественно, не отражает различий методов и результатов обработки видеосигналов в камерах разных моделей. Схема на рис. 6.1 типична для систем обработки видеосигналов трехтрубочных вещательных телекамер.

Сигнальные токи трех передающих трубок *1* красного R, псевдояркостного W и синего B каналов усиливаются предварительными усилителями *2*, и полученные видеосигналы *R*, *W*, *B* поступают на входы идентичных сумматоров *3*, куда подают раздельно для трех каналов напряжения регулирования уровней черного, выходные напряжения корректоров светорассеяния и сигналы коррекции неравномерности уровней черного для обеспечения баланса черного (баланс — ситуация, когда три цветоделенных сигнала одновременно достигают какого-либо уровня).

Уровни (черного, серого, белого) принято отсчитывать от уровня гашения этого же видеосигнала. В при-

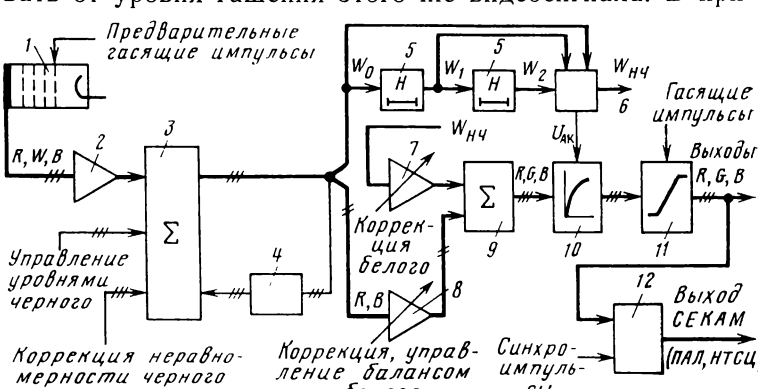


Рис. **6.1.** Упрощенная схема системы обработки видеосигналов трехтрубочной камеры:
1 — передающие трубки; *2* — предварительные видеоусилители; *3* — сумматоры; *4* — корректоры светорассеяния; *5* — блок задержки на строку; *6* — апертурный корректор; *7*, *8* — регулируемые усилители; *9* — матричный сумматор; *10* — гамма-корректоры; *11* — ограничители; *12* — кодер

менении к телекамерам понятие гашения необходимо уточнить. В интервалах обратных ходов полевой и строчной разверток токи лучей передающих трубок запираются путем подачи на модуляторы этих трубок специальных предварительных гасящих импульсов, длительность которых менее значений, предусмотренных стандартом. Обычно строчное гашение трубок длится 6...8 мкс, а полевое $8...10H$, где $H=64$ мкс — длительность строки. Гашение же выходных сигналов камеры в соответствии со стандартом длится 12 мкс и $25H$. Таким образом, предварительное гашение создает необходимые для последующих обработок опорные уровни и в то же время не влияет на временные параметры окончательного (с более широким интервалом) гашения. Уровни окончательного гашения обычно совпадают с уровнями предварительного гашения и опорным (как правило, нулевым) потенциалом.

При закрытой крышке объектива камеры общий сдвиг и нарушение баланса уровней черного вызываются нестабильностью подсветки, используемой для уменьшения инерционности передающих трубок, температурной нестабильностью электронных узлов и в некоторой степени нестабильностью темновых токов трубок. Смещают уровни черного в желаемую сторону (регулировка баланса черного) вручную или путем автоматического регулирования трех подаваемых на сумматоры *3* управляющих напряжений (см. гл. 7).

Основным источником неравномерности уровней черного, достигающей 5%, является неравномерность подсветки. Типичная картина неравномерности освещенности на мишени трубки имеет вид размытого эллипса, поэтому для ее коррекции используют смесь четырех сигналов параболической и пилообразной формы с частотой строк и полей, позволяющую получить распределение яркости той же формы, но обратного знака. Эти сигналы, однако, не позволяют компенсировать резкие локальные неравномерности вблизи краев растра, возникающие вследствие утечки зарядов из участков мишеней, не подвергающихся сканированию электронными пучками. Для коррекции этих краевых неравномерностей в некоторых камерах формируют дополнительные корректирующие сигналы, в небольшом числе моделей для этой цели используют дополнительную шумоподобную краевую развертку электронных пучков. В новейших камерах корректирующие сигналы произ-

вольной формы вырабатываются адаптивными системами авторегулирования на основе микропроцессоров.

При передаче реальных изображений уровни черного могут изменяться из-за светорассеяния в оптической системе, для компенсации которого служат корректоры светорассеяния *4* (типичное значение уровня диффузного светорассеяния 2...5%.) Каждый корректор интегрирует сигнал соответствующего канала в течение нескольких последовательных кадров. При этом получается напряжение, пропорциональное общему световому потоку данного канала оптической системы. Оно вычитается из входного сигнала, компенсируя подъем уровня черного, обусловленный наличием диффузного светорассеяния в данном канале. При таком способе диапазон корректируемых интенсивностей световых сигналов оказывается ограничен диапазоном поступающих на вход корректора видеосигналов. Использование системы автоматической регулировки тока луча (см. § 5.2 и 7.4), расширяющей диапазон видеосигнала, заметно повышает эффективность коррекции светорассеяния. Очевидно, корректор не может компенсировать локальное светорассеяние (ореол), для подавления которого используются чисто оптические средства (противоореольные планшайбы передающих трубок и т. п.).

В результате регулировки и коррекции на выходах сумматоров *3* формируются три сигнала R, W, B, значения которых равны нулю на черных участках изображения, независимо от их положения на мишенях передающих трубок и от яркостей других участков. Эти сигналы подвергаются дальнейшей обработке.

Сигнал W поступает на два последовательно включенных блока задержки *5*; при этом формируются сигналы трех последовательных строк одного поля W_0, W_1 и W_2. Эти сигналы поступают на входы апертурного корректора *6*, где они преобразуются в узкополосный сигнал $W_{\text{нч}}$ и в сигнал апертурной коррекции $U_{\text{а.к.}}$ Сигналы $W_{\text{нч}}$, R и B поступают на регулируемые усилители *7* и *8*, коэффициент усиления которых зависит от напряжений на их управляющих входах. На управляющие входы трех регулируемых усилителей от системы управления подают корректирующие сигналы, что позволяет компенсировать вносимые оптикой мультипликативные искажения в виде затемнения изображения на периферии мишеней трубок (на 20...40%). Способы получения сигналов коррекции неравномерности

белого аналогичны тем, которые применяют для коррекции неравномерности черного. На управляющие входы усилителей *8* подаются также напряжения управления балансом белого. Регулировка усиления сигналов R и B позволяет обеспечить равенство уровней белого всех трех сигналов при различных цветовых температурах освещения.

Во многих моделях вещательных телекамер для оперативной подстройки цветопередачи с пульта дистанционного управления используют дополнительную регулировку усиления сигналов R и B (или R, W, B) в небольших (20...30%) пределах. Для обеспечения работы камеры в условиях пониженной освещенности часто применяют ступенчатую регулировку усиления сигналов R, W, B на 6, 9, 12, 18 или 24 дБ. При этом важно сохранить баланс, т. е. соотношение усилений трех сигналов, поэтому для ступенчатой регулировки обычно используют коммутируемые аттенюаторы из точных резисторов, включенные до регулируемых усилителей.

Сигналы R, W, B, равные нулю на черных и единице на белых участках изображения, поступают на входы сумматора *9* (матричного цветокорректора), в котором при сохранении баланса из каждого сигнала вычитаются два других. Параметры этого узла (коэффициенты матрицы цветокоррекции), наряду с характеристиками цветоделительного блока оптической системы, в основном определяют цветопередачу камеры (см. § 6.4). В сумматоре 9 сигналы R, W, B преобразуются в сигналы R, G, B, достаточно близкие к *сигналам основных цветов приемника* (см. § 2.3). Пространственное совмещение сигналов обеспечивается смещением исходного растра трубки W вверх на две строки кадра (на одну строку поля) и влево на время задержки сигнала в апертурном корректоре *6*.

Затем сигналы R, G, B поступают на входы трех идентичных гамма-корректоров *10*, амплитудные характеристики которых близки к степенной функции $R_{вых} \approx \approx R_{вх}^{\gamma}$, $G_{вых} \approx G_{вх}^{\gamma}$, $B_{вых} \approx B_{вх}^{\gamma}$.

Стандарты рекомендуют для гамма-корректоров номинальное значение $\gamma = 0{,}45$ с тем, чтобы амплитудные характеристики камеры были приблизительно обратны характеристикам черно-белого ($\gamma = 2{,}3$) и цветного ($\gamma = 2{,}8$) кинескопов, однако, поскольку амплитудные характеристики сильно влияют на передачу контраста и цветопередачу, их часто делают регулируемыми; для

этого применяют технические решения, подробнее рассмотренные в § 6.2.

В апертурном корректоре *6* сигналы W_0, W_1 и W_2 преобразуются в сигнал $U_{а.к}$, содержащий информацию о мелких деталях изображения. На входах или выходах гамма-корректоров к сигналам *R*, *G*, *B* добавляется сигнал $U_{а.к}$. Таким образом, мелкие детали результирующего изображения оказываются практически черно-белыми, что вполне согласуется со свойствами зрения [42]. С другой стороны, формирование сигнала мелких деталей только из одного псевдояркостного канала W приводит к специфическим искажениям, свойственным многим современным камерам и визуально воспринимаемым как потеря яркостной четкости на деталях определенных цветов — в частности, красных и синих на черном фоне. Дело в том, что на этих деталях (в отличие от, например, белых или зеленых) исходный сигнал *W* не содержит необходимой информации и из него нельзя сформировать сигнал мелких деталей. В камерах новейших моделей эти искажения заметно снижены путем использования для формирования сигнала $U_{а.к}$ нелинейной смеси сигналов *R*, *W*, *B*. Структура апертурных корректоров будет подробно рассмотрена в § 6.3.

С выходов гамма-корректоров сигналы *R*, *G*, *B* поступают на входы трех идентичных ограничителей *11*, срабатывающих по номинальным уровням белого (100%) и черного (0%). Они служат для защиты последующих звеньев ТВ системы от перегрузки и гашения (рис. 6.2).

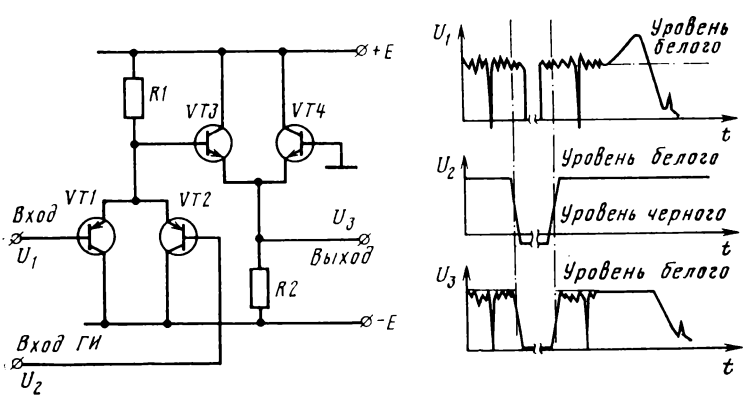


Рис. 6.2. Управляемый ограничитель и эпюры напряжений на его входах и выходе

На управляющие входы трех ограничителей белого подаются гасящие импульсы (ГИ), параметры которых (длительность, форма фронта и среза и т. п.) соответствуют стандарту [17]. В интервалах гашения верхний уровень ограничения под действием этих импульсов опускается ниже нижнего уровня и выходной сигнал оказывается равен номинальному уровню черного независимо от уровня входного сигнала. Тем самым обеспечивается очистка интервалов гашения от остатков исходных видеосигналов и паразитных сигналов, а также от вспомогательных сигналов, вводимых в эти интервалы разными блоками камеры.

В некоторых моделях студийно-внестудийных камер для получения «художественных» эффектов применяют дистанционное управление уровнями фиксации промежуточных или выходных сигналов R, G, B, что позволяет смещать уровень черного в любом из трех сигналов по отношению к уровню гашения и создавать желаемый эффект «подкрашивания» изображения. Иногда этими регулировками пользуются для оперативной подстройки цветопередачи, например для компенсации искажений, вызываемых светорассеянием при попадании в кадр яркого объекта.

Полностью сформированные сигналы R, G, B поступают на выходы камеры и на входы кодера *12* (СЕКАМ, ПАЛ или НТСЦ). В кодере они преобразуются в сигнал яркости Y и цветоразностные сигналы $R—Y$ и $B—Y$, которые, в свою очередь, модулируют цветовую поднесущую, образуя сигнал цветности C. Затем сигналы Y и C суммируются с синхросигналом S, образуя полный сигнал системы СЕКАМ (ПАЛ, НТСЦ).

В некоторых камерах кодеры (в основном по системам ПАЛ и НТСЦ) выполняют дополнительные операции по обработке сигналов, в частности по цветокоррекции и коррекции контраста. Эти операции производятся с полными сигналами или раздельно для сигналов Y и C. Недостатком при этом является то, что сигналы R, G, B остаются необработанными и, следовательно, не могут использоваться в качестве выходных. Подробно вопросы кодирования будут рассмотрены в § 6.5.

Обобщая изложенное, можно сказать, что в системе обработки видеосигналов передача контраста определяется совместной работой входных сумматоров, гамма-корректоров и ограничителей; цветопередача — действием регулируемых усилителей, гамма-корректоров и коэффициентами матричного сумматора; передача мелких деталей — действием апертурного корректора.

Системы обработки прикладных и бытовых телекамер могут отличаться отсутствием блоков задержки на

строку, матричного сумматора, корректоров светорассеяния и неравномерности. Системы обработки однотрубочных камер и камер с одноматричным твердотельным преобразователем свет — сигнал отличает наличие дополнительных блоков, предназначенных для выделения цветоделенных составляющих из исходного видеосигнала [44].

В камерах прикладного телевидения часто имеются специфические для конкретных приложений узлы и подсистемы обработки. Например, рентгенотелевизионные установки снабжают дополнительными корректорами контраста и блоками раскрашивания в условные цвета, присваивающими заданные комбинации сигналов R, G, B различным градациям интенсивности рентгеновского излучения, что существенно облегчает визуальное восприятие отдельных деталей объекта.

Структура систем обработки камер черно-белого телевидения сходна со структурой одного (псевдояркостного) канала камер цветного телевидения. Естественно, в этом случае отсутствуют матричный сумматор и узлы, обеспечивающие баланс уровней черного и белого.

Некоторые модели вещательных телекамер (в основном камер внестудийного видеопроизводства) снабжены дополнительными блоками формирования силуэтного сигнала для электронной рирпроекции (система chromakey — «цветовой ключ»). При этом на входы дополнительных блоков ответвляются сбалансированные сигналы R, W, B с выходов регулируемых усилителей. Преимуществом здесь является существенное упрощение блоков формирования силуэтного сигнала, поскольку используемые сигналы R, W, B взаимно независимы и прямо пропорциональны освещенности объекта, в отличие от выходных сигналов R, G, B, подвергшихся полной обработке.

Системы обработки видеосигналов телекино- и телediакамер отличаются в основном усложненным блоком цветокоррекции, содержащим логарифмические и экспоненциальные усилители (см. § 6.4). Камеры с «бегущим лучом», кроме обычного (апертурного) корректора, имеют корректоры послесвечения, предназначенные для компенсации потери четкости по горизонтали, вызываемой послесвечением люминофора просвечивающего кинескопа. В новейших моделях телекино- и телediакамер используются однострочные ПЗС-преобразователи свет — сигнал и цифровые блоки памяти на 2—4 по-

ля изображения, обеспечивающие чересстрочное считывание информации при построчной записи, хранение информации в режиме «стоп-кадр», компенсацию выпадений (дефектов) кинопленки и некоторые другие функции.

В настоящее время ведутся интенсивные разработки полностью цифровых систем обработки сигналов для телекамер, однако существующие варианты таких систем, хотя и превосходят аналоговые по стабильности и надежности, заметно уступают им по массогабаритным характеристикам и потребляемой мощности. Трудности при этом возникают из-за необходимости использовать не менее чем 10-разрядное кодирование с относительно высокой частотой дискретизации (примерно 15 МГц).

6.2. КОРРЕКЦИЯ КОНТРАСТА

Необходимость коррекции контраста возникает из-за нелинейности амплитудных характеристик кинескопов воспроизводящих устройств и из-за несоответствия контраста объекта желаемому (реализуемому) контрасту воспроизводимого изображения (см. § 2.2).

Первая из указанных причин определяет вид номинальных амплитудных характеристик гамма-корректоров — они приблизительно обратны характеристикам кинескопов. Практически эти характеристики преобразования сигналов с показателем $\gamma = 0{,}45 \pm 0{,}05$ реализуют либо путем кусочно-линейной аппроксимации с использованием нескольких диодно-резистивных цепей с различными напряжениями смещения, либо путем использования плавной нелинейности характеристики единственного диода или транзистора. Требуемую высокую степень идентичности характеристик трех гамма-корректоров (около 0,5%) обеспечивают подстройкой показателя γ в каждом канале (R, G и B) путем суммирования в определенном соотношении корректированного сигнала ($\gamma \approx 0{,}35$) с исходным ($\gamma = 1$). Особое внимание уделяется температурной компенсации и точной фиксации уровней черного на входах гамма-корректоров, поскольку этим уровням соответствуют максимумы крутизны характеристик корректоров.

Вторая из указанных причин определяет необходимость отклонения амплитудных характеристик трех каналов от номинальных. Простым и широко применяемым способом коррекции контраста является согласованная регулировка уровней черного трех сигналов R,

G, *B* на входах гамма-корректоров (регулировка общего уровня черного), обычно сопровождаемая регулировкой усиления этих сигналов с тем, чтобы уровень белого оставался неизменным. Этот способ применен, в частности, в отечественной камере КТ-132. Почти такой же результат, но без необходимости регулировки усиления сигналов *R*, *G*, *B* дает применение гамма-корректоров с регулируемым положением точек перелома амплитудной характеристики (рис. 6.3). Они используются в камере ТК-47 фирмы RCA (США) и отечественной камере КТР-308 [73].

Регулировка общего уровня черного позволяет хорошо передавать объекты с малым и средним контрастами, но при передаче высококонтрастных объектов (например, находящихся в тени на фоне других объектов, освещенных солнцем) она мало эффективна. Для улучшения передачи высококонтрастных объектов во многих камерах (особенно в камерах ВЖ) применяют *растяжку черного,* которая заключается во включении последовательно с основными гамма-корректорами дополнительных корректоров с характеристиками, показанными на рис. 6.4, *а*.

Дополнительные корректоры оператор включает только в случае необходимости; при этом контраст изменяется скачком, что приемлемо для репортажных передач, но нежелательно при создании художественных. Кроме того, увеличение крутизны сквозной характеристики приблизительно вдвое приводит к заметному усилению зашумленности темных участков изображения.

Плавное управление коррекцией контраста с возможностью как растяжки, так и компрессии темных участков изображения без изменения уровней черного и белого (рис. 6.4, *б*) обеспечивает *регулятор серого,* схема которого показана на рис. 6.5. Он применен, напри-

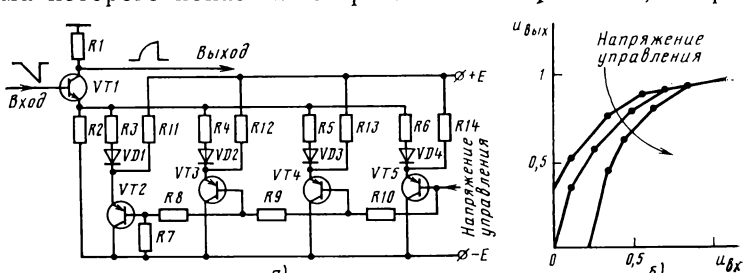


Рис. **6.3.** Регулируемый гамма-корректор:
а — принципиальная схема; *б* — амплитудные характеристики

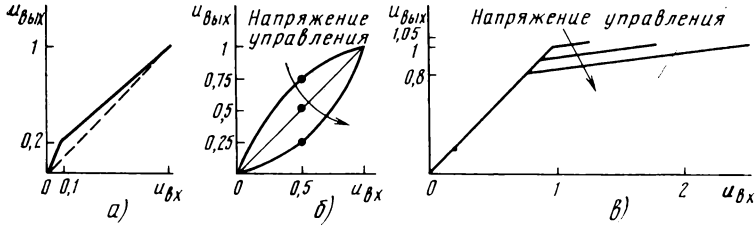


Рис. **6.4.** Характеристики регуляторов контраста:
а — растяжка черного; *б* — регулировка уровня серого; *в* — компрессия белого

мер, в отечественной камере КТР-320 и в камере Mark-IX, но способы включения регуляторов в видеотракты этих двух камер различны. В камере Mark-IX [117] регулируется полный сигнал системы ПАЛ, а в камере КТР-320 регулировка сигнала яркости Y сопровождается регулировкой усиления сигналов $R—Y$ и $B—Y$ (регулировкой насыщенности [6]). И в том и в другом случае соотношение яркостного и цветового контрастов в диапазоне регулирования остается приблизительно постоянным. Теоретически наилучшие результаты должно давать включение трех регуляторов последовательно с тремя гамма-корректорами, но практически оно сильно затруднено из-за жестких требований к согласованности изменения характеристик трех каналов.

Повышенный контраст объекта передачи может возникать при попадании в поле зрения камеры блестящих или очень светлых предметов (белые халаты, металлические предметы, блики на воде и т. п.). Если сигналы от этих предметов просто отсекаются защитными ограничителями белого, то изображение получается неестественным (лишенным светлых деталей). Киноизображения в таких случаях получаются более естественными вследствие значительной нелинейности градационной характеристики кинопленки вблизи уровня белого. В то же время, новейшие модели телекамер снабжены системами АРТЛ, обеспечивающими нормальное считывание

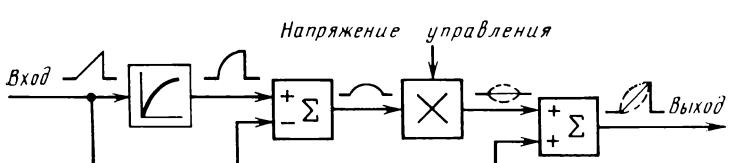


Рис. **6.5.** Структурная схема регулятора уровня серого

сигналов, уровни которых достигают 600...800%. Поэтому в эти камеры устанавливают узлы компрессии белого, характеристики которых близки к характеристикам кинопленки (рис. 6.4, *в*). *Компрессор белого* включают перед гамма-корректором, и он реализуется, как правило, с помощью диодно-резистивных цепей. Существуют две модификации компрессора — с фиксированной характеристикой (например, в японской видеокамере BVP-3) и с автоматическим управлением уровнем компрессии (например, в камерах фирмы Бош, ФРГ). Несмотря на сходство характеристик защитного ограничителя и компрессора, их действие проявляется различно. Дело в том, что вблизи уровня белого крутизна характеристики кинескопа максимальна и даже небольшие (на 5...10%) приращения сигнала на выходе компрессора приводят к заметным изменениям яркости изображения, в то время как на выходе ограничителя изменения сигнала яркости вообще отсутствуют. Использование компрессора любого типа существенно повышает общее качество изображения с избыточным контрастом, но при этом передача отдельных деталей, уровни видеосигналов которых близки к уровню срабатывания компрессора, может ухудшаться, поэтому часто предусматривают возможность его отключения.

В наиболее общей форме задача регулировки контраста решается при использовании корректора с почти произвольной формой амплитудной характеристики [74], подключаемого к камере любого типа между выходами сигналов R, G, B и соответствующими входами кодера. Использование регуляторов с цифровым управлением гарантирует высокую точность согласованного изменения характеристик трех каналов. Однако внедрению подобных корректоров препятствуют их большая сложность (а следовательно, и стоимость), сравнительно низкое быстродействие микропроцессорных систем управления, а также неопределенность критериев выбора оптимальных (для конкретных объектов) характеристик корректора.

Способы формирования напряжений управления и режимы работы камер, снабженных регуляторами контраста, будут рассмотрены в § 7.1 и 7.4.

6.3. КОРРЕКЦИЯ ЧЕТКОСТИ

Простым способом коррекции четкости изображения (апертурной коррекции) являются подчеркивание верхних горизонтальных частот путем пропускания видеосигнала через фильтр верхних частот (ФВЧ) и суммирование полученного сигнала с исходным в определенном соотношении. Это соотношение (степень апертурной кор-

рекции) определяет, насколько повышается относительный контраст мелких деталей результирующего изображения по сравнению с исходным контрастом, полученным на выходе преобразователя свет — сигнал. (Исходный уровень составляющих с частотой $f_x = 400$ твл обычно находится в пределах 20...50%.)

При заданной системе коррекции АЧХ применяемого ФВЧ в сочетании с ЧКХ оптической системы и характеристиками преобразователя свет — сигнал определяют сквозную частотную характеристику камеры, оптимальная форма которой показана на рис. 2.3, *в*. Поэтому для получения оптимального сигнала коррекции требуется определенная форма АЧХ фильтра верхних частот; в рабочем диапазоне частот она хорошо аппроксимируется функцией

$$K(f) = \sin^2(\pi f / 2 f_{\text{макс}}), \qquad (6.1)$$

где $f_{\text{макс}}$ — частота максимального подъема АЧХ, обычно выбираемая в пределах 5...10 МГц (что соответствует горизонтальной частоте $f_{x\text{макс}} = 400...800$ твл).

В некоторых моделях камер используют два параллельно включенных ФВЧ с параметрами $f_{\text{макс1}} \approx 3$ МГц и $f_{\text{макс2}} \approx 7$ МГц. При этом подъем АЧХ на частоте $f_{\text{макс1}}$ обеспечивает заметное повышение крутизны фронта сигнала (коррекцию резкости) ценой значительного увеличения выбросов (оконтуривания) слева и справа от яркостной границы.

На практике применяют два варианта ФВЧ, из которых трансверсальный фильтр (рис. 6.6, *а*), обеспечивая строгую линейность ФЧХ, т. е. симметричность (слева и справа) подчеркивания яркостной границы, более критичен в настройке по сравнению с двухконтурным *RLC*-фильтром (рис. 6.6, *б*), ФЧХ которого на частотах выше

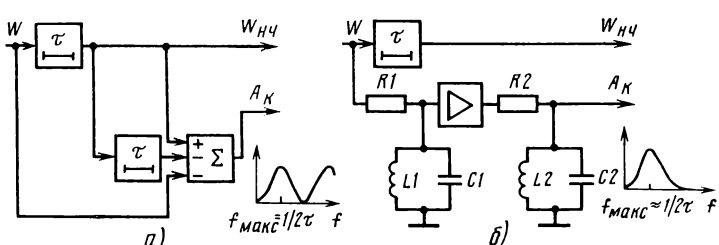


Рис. **6.6.** Структурные схемы горизонтальных апертурных корректоров:
а — с трансверсальным фильтром; *б* — с двухконтурным *RLC*-фильтром

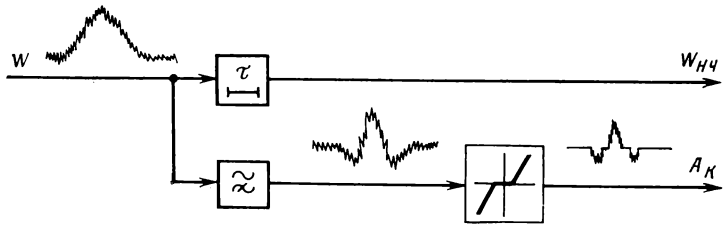


Рис. **6.7.** Структурная схема нелинейного апертурного корректора

$f_{макс}$ значительно отличается от линейной. В обоих случаях необходимо компенсировать задержку ФВЧ путем пропускания основного (низкочастотного) сигнала через линию задержки. Как трансверсальный, так и двухконтурный ФВЧ реализует операцию вычисления второй производной сигнала в ограниченной полосе частот. В бытовых и прикладных телекамерах для этой цели иногда используют простейшие двузвенные дифференцирующие *RC*-цепи, однако при этом резко возрастает усиление внеполосных шумов и помех.

Типичные значения степени апертурной коррекции 200...400%, при этом размах составляющих сигнала на частоте $f_{макс}$ возрастает в 2...4 раза. Соответственно возрастает уровень внутриполосных высокочастотных составляющих шума и общее ухудшение отношения сигнал-шум может достигать 8...10 дБ. От этого недостатка свободен нелинейный корректор (рис. 6.7), в котором сигнал $A_К$ дополнительно обрабатывается ограничителем по минимуму, не пропускающим сигналы размахом менее 2....5%. Такая мера исключает возрастание шумов на ровных участках изображения, где они наиболее заметны, но не снижает уровня шумов вблизи мелких деталей и на периодических структурах. Кроме того, из-за уменьшения размаха сигнала $A_К$ на выходе ограничителя падает четкость малоконтрастных деталей. Тем не менее общее улучшение качества изображения вследствие меньшей зашумленности ровных участков настолько явное, что в современных камерах применяют почти исключительно нелинейные корректоры.

Дальнейшее развитие идея шумоподавления получила в корректоре, схема которого показана на рис. 6.8. В нем сигнал основного канала пропускается через ФНЧ с плавно спадающей АЧХ. При этом отношение сигнал-шум в основном канале улучшается на 3...4 дБ, а снижение в результате фильтрации уровня полезных

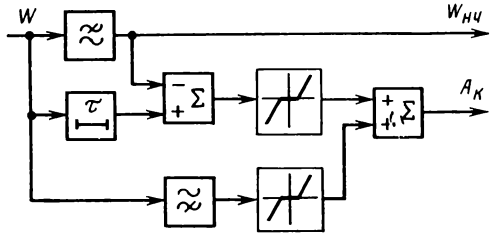


Рис. 6.8. Структурная схема нелинейного апертурного корректора с шумоподавлением

высокочастотных составляющих компенсируется увеличением степени апертурной коррекции. При переключении усиления камеры для повышения ее чувствительности отношение сигнал-шум на входе корректора изменяется, поэтому обычно переключают и пороговые уровни ограничителя, а в новых моделях камер и шумоподавительные ФНЧ с тем, чтобы во всех случаях обеспечить оптимальный компромисс между четкостью и зашумленностью изображения.

Наряду с коррекцией четкости по горизонтали необходимо корректировать ее и по вертикали. Фильтр верхних вертикальных частот реализуется только путем суммирования сигналов W_0, W_1 и W_2 с коэффициентами —0,25, 0,5 и —0,25 соответственно. Тем самым однозначно определена форма АЧХ вертикального ФВЧ и частота $f_{умакс} = 287{,}5$ твл. Для вертикальных частот АЧХ имеет вид

$$K(f_y) = \sin^2(\pi f_y / 2 f_{умакс}), \tag{6.2}$$

для горизонтальных она равномерна:

$$K(f_x) = 1, \tag{6.3}$$

а АЧХ по видеосигналу имеет гребенчатый вид:

$$K(f) = \cos^2(\pi f / f_{стр}), \tag{6.4}$$

где $f_{стр} = 15{,}625$ кГц — частота строк.

Имеется много различных возможностей для сочетания коррекции по вертикали и горизонтали [58]. Здесь конкурируют два варианта: «всенаправленный» и «раздельный». На рис. 6.9 показана типичная схема *«всенаправленного корректора»*, примененного, в частности, в камере TTV-1525 фирмы Томсон-ЦСФ (Франция). В нем путем пропускания сигнала W через последовательно включенные вертикальный и горизонтальный ФНЧ формируется *сигнал размытого изображения* $W_{НЧ}$. Сигнал $A_К$ получают путем вычитания сигнала $W_{НЧ}$ из ис-

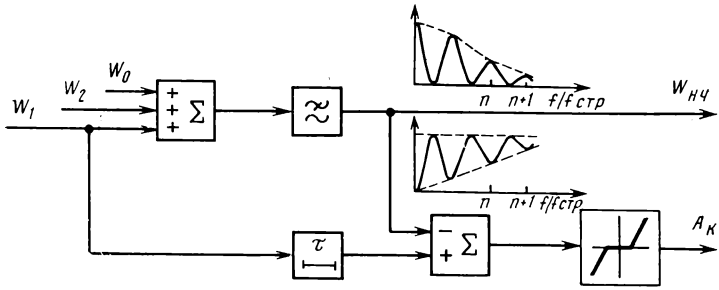


Рис. **6.9.** Структурная схема двумерного всенаправленного апертурного корректора

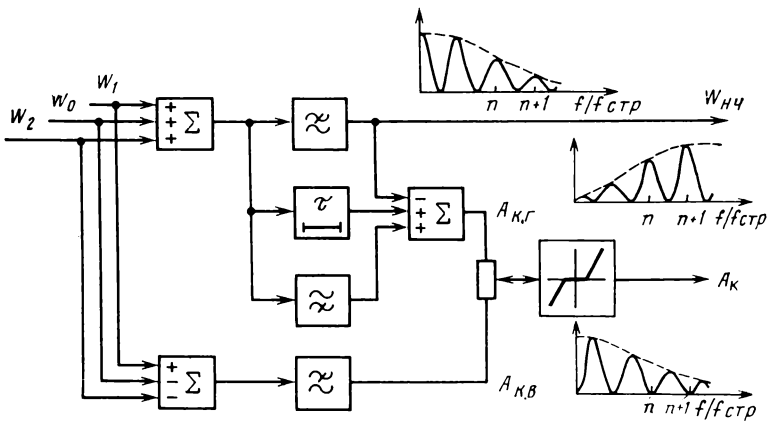


Рис. **6.10.** Структурная схема двумерного апертурного корректора с раздельным формированием сигналов

ходного сигнала W_1, пропущенного через согласующую линию задержки. Этот способ аналогичен применяемому в фото- и кинотехнике способу коррекции четкости путем «нерезкого маскирования». На рис. 6.10 показана схема корректора с раздельным формированием сигналов вертикальной $A_{к.в}$ и горизонтальной $A_{к.г}$ коррекции. Сигнал основного канала также подвергается двумерной фильтрации нижних частот, но, кроме того, в сигнале $A_{к.в}$ подавляются верхние горизонтальные, а в сигнале $A_{к.г}$ — верхние вертикальные частоты. Поэтому уровень шумов в суммарном сигнале $A_к$ существенно уменьшается ценой некоторого снижения четкости по диагонали. Дополнительным преимуществом является возможность раздельной регулировки степени коррек-

ции по вертикали и горизонтали, которая особенно желательна из-за различности значений $f_{x\,\text{макс}}$ и $f_{y\,\text{макс}}$. Корректоры с раздельным формированием сигналов применены в отечественных камерах КТ-132, КТ-178, КТ-190, КТ-308, КТ-320 и в камерах многих зарубежных фирм.

Большое влияние на качество результирующего изображения имеет способ суммирования сигнала $A_к$ с сигналами R, G, B (или что, по существу, то же самое, с сигналом Y). Наиболее распространено суммирование этих сигналов до обработки сигналов R, G, B гамма-корректорами, обеспечивающее независимость относительного контраста мелких деталей от средней яркости данного участка изображения. Однако при этом возникают специфические искажения в виде возрастания средней яркости периодических структур и падения относительного контраста мелких деталей [73]. Кроме того, поскольку крутизна амплитудной характеристики гамма-корректора на уровне черного приблизительно в 8 раз больше, чем на уровне белого, заметно усиливаются шумы на темных участках изображения.

Первый из указанных недостатков устраняют путем пропускания сигнала $A_к$ через модифицированный ограничитель по минимуму, крутизна характеристики которого зависит от полярности сигнала, например для темных деталей (отрицательных сигналов) она в 2 раза больше, чем для светлых деталей (положительных сигналов). В результате темные детали подчеркиваются сильнее светлых, что компенсирует общее «высветление» периодических структур. Этот способ применен в отечественной камере КТР-320 и камерах серии LDK фирмы «Филипс» (Нидерланды).

Для уменьшения заметности шумов на черном сигнал $A_к$ пропускают через умножитель, на второй вход которого подается сигнал яркости Y или сигнал $W_{нч}$. На выходе умножителя формируется сигнал $A_к$, размах которого уменьшается почти до нуля на темных участках изображения. Этот способ (level dependent details) применяют довольно широко, он обеспечивает хорошее качество изображения.

Существенное снижение заметности шумов обеспечивается при суммировании сигнала $A_к$ с сигналами R, G, B, подвергнутыми гамма-коррекции. При этом размах шумовых составляющих, поступающих вместе с сигналом $A_к$, не зависит от яркости данного участка

изображения, но относительный контраст мелких деталей на темных участках снижается из-за возрастания контраста крупных деталей. Тем не менее вследствие пониженной чувствительности зрения к четкости темных деталей общее качество изображения становится хорошим. Этот способ применен во многих камерах, в частности в отечественных КТ-132 и КТР-308.

В некоторых моделях камер сигнал $A_к$ вводят в сигналы G, R, B дважды — до и после гамма-коррекции, что позволяет дополнительно улучшить компромисс между четкостью и зашумленностью темных участков изображения.

6.4. ЦВЕТОКОРРЕКЦИЯ

Чтобы качество цветопередачи воспроизводимого изображения было хорошим, в телевизионной камере необходимо предусмотреть электронную цветокоррекцию, т. е. коррекцию и регулировку параметров видеосигналов.

Искажения, возникающие из-за несоответствия форм спектральных характеристик камеры идеальным, приводят к ошибкам цветопередачи[1] для всех воспроизводимых цветов, кроме эталонного белого цвета (см. § 2.4). Уменьшить ошибки цветопередачи можно включением в видеотракт камеры линейной матрицы цветокоррекции, что приводит к изменению соотношений размахов трех сигналов R, G, B, образующихся в каналах видеотракта при передаче объекта определенного цвета. Сигналы на входе и на выходе этой матрицы взаимосвязаны:

$$\begin{aligned} R_{вых} &= a_{11}R_{вх} + a_{12}G_{вх} + a_{13}B_{вх}, \\ G_{вых} &= a_{21}R_{вх} + a_{22}G_{вх} + a_{23}B_{вх}, \\ B_{вых} &= a_{31}R_{вх} + a_{32}G_{вх} + a_{33}B_{вх}, \end{aligned} \qquad (6.5)$$

где a_{11}—a_{33} — коэффициенты матрицирования.

Оптимальные коэффициенты матрицирования обычно рассчитывают на ЭВМ методом итераций, критерием правильности расчета служит получение наименьших искажений цветности для определенного набора испытательных цветов. В качестве испытательных применя-

[1] Качество цветовоспроизведения может ухудшаться из-за несовершенства или нестабильности параметров камер, а также из-за изменений условий освещения передаваемой сцены. Ухудшение цветопередачи из-за этих причин здесь рассматриваться не будут.

ют эталонные цвета, рекомендованные МКО, и другие более насыщенные цвета, всего примерно 20...30 с нормированными спектральными характеристиками коэффициентов отражения.

При расчете коэффициентов матрицирования должны выполняться следующие условия:

равенство суммы коэффициентов каждого ряда матрицы единице для сохранения равенства между сигналами при передаче эталонного белого цвета;

абсолютные значения двух коэффициентов в одном ряду должны быть много меньше третьего (диагонального) коэффициента, который не должен превышать 1,5, в противном случае может существенно уменьшиться отношение сигнал-шум;

необходимо учитывать влияние сквозной передаточной характеристики тракта и способов построения канала обработки видеосигнала на точность воспроизводимой цветности;

допустимые искажения цветности испытательных цветов должны иметь разные весовые коэффициенты, определяемые экспериментально с учетом особенностей восприятия телевизионного изображения, поскольку чувствительность глаза неодинакова к изменениям разных цветностей [24].

Часто коэффициенты матрицы с учетом этих условий, нерегулируемые. Если необходимо регулировать ее параметры, то можно переписать (6.5):

$$\begin{aligned} R_{\text{вых}} &= R_{\text{вх}} + a_1 (R_{\text{вх}} - G_{\text{вх}}) + b_1 (R_{\text{вх}} - B_{\text{вх}}), \\ G_{\text{вых}} &= G_{\text{вх}} + a_2 (G_{\text{вх}} - R_{\text{вх}}) + b_2 (G_{\text{вх}} - B_{\text{вх}}), \\ B_{\text{вых}} &= B_{\text{вх}} + a_3 (B_{\text{вх}} - R_{\text{вх}}) + b_3 (B_{\text{вх}} - G_{\text{вх}}), \end{aligned} \qquad (6.6)$$

где a, b — коэффициенты матрицирования.

Регулируемая цветокорректирующая матрица (рис. 6.11) позволяет абсолютно точно передать цветности шести цветов, по которым настраивают камеру, так как с ее помощью можно изменять соотношение видеосигналов R, G, B для воспроизводимого цвета, изменяя коэффициенты a и b, причем при передаче видеосигналов ахроматических объектов ($R_{\text{вх}} = G_{\text{вх}} = B_{\text{вх}}$) сохраняется баланс белого цвета ($R_{\text{вых}} = G_{\text{вых}} = B_{\text{вых}}$).

Удовлетворительное качество цветопередачи телекамер прикладного и бытового назначения можно получить без применения корректирующих матриц. Для компенсации отсутствия отрицательных ветвей идеаль-

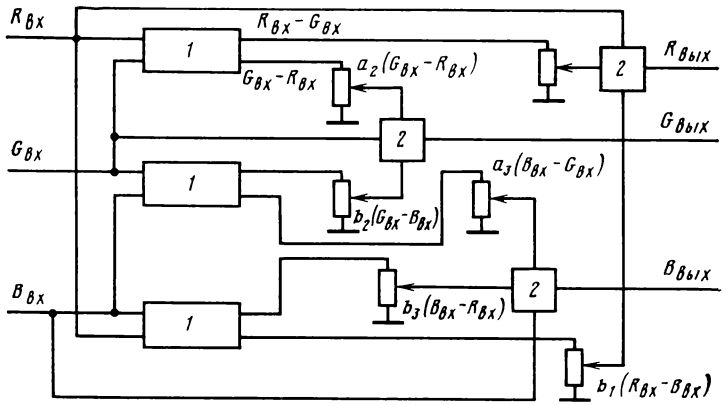


Рис. **6.11.** Структурная схема регулируемой цветокорректирующей матрицы:
1 — формирователи разностных сигналов; *2* — сумматоры

ных спектральных характеристик камеры формы кривых спектральной чувствительности выбирают более узкими, что несколько снижает чувствительность камер.

Колориметрический расчет камер проводят при определенном источнике света. Коэффициенты передачи предшествующих матрице каскадов усиления регулируют так, чтобы при передаче деталей объекта белого цвета обеспечить равенство трех видеосигналов на ее входе (баланс белого цвета). При изменении спектрального распределения излучения источника света баланс белого нарушается.

Для источников света с кварцево-галогенными лампами накаливания, применяемых в студиях, коррелированная цветовая температура 3200 К, для металлогалогенных ламп (6000±500) К. Для дневного освещения она изменяется в зависимости от погодных условий и времени суток в пределах от 4000 до 10 000...12 000 К. Кривые спектрального распределения некоторых источников света представлены на рис. 6.12.

Таким образом, если равенство видеосигналов R, G, B было достигнуто при освещении объекта передачи белого цвета источником света D_{65}, то по данным проведенных исследований [7] при уменьшении цветовой температуры до 3200 К сигнал R увеличивается в 1,6...1,8 раза, а сигнал B — уменьшается примерно в 2 раза. При увеличении цветовой температуры источника света до 12 000 К сигнал R несколько уменьшается

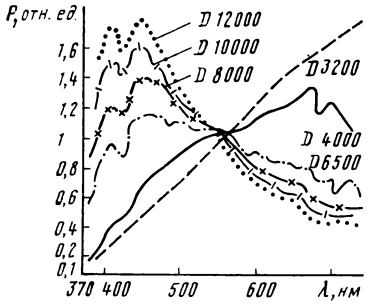


Рис. **6.12.** Спектральное распределение энергии излучения источников света

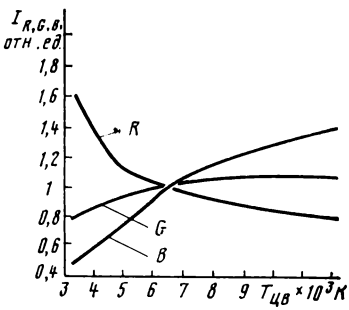


Рис. **6.13.** Относительные изменения видеосигналов R, G, B

(1...0,8), а сигнал B увеличивается почти в 1,5 раза. Сигнал G изменяется незначительно в пределах 0,8...1,1 во всем диапазоне изменения цветовых температур, как это представлено на кривых рис. 6.13, вычисленных для типовых спектральных характеристик ТВ камер.

Сохранение равенства видеосигналов R, G, B при передаче белого цвета и изменении цветовой температуры источника света можно обеспечить, используя в оптическом блоке камеры приводные светофильтры со специально подобранными спектральными характеристиками пропускания, которые приводят спектральное распределение излучения источника света к исходному, т. е. к тому, для которого рассчитывали цветопередачу камеры. При этом цветности всех объектов будут восприниматься камерой как цветности объектов, освещенные источником опорного белого, и, таким образом, их искажения не возникают, но снижается чувствительность камер, что не всегда можно допустить.

Обеспечить сохранение баланса белого можно изменением коэффициентов усиления в каналах R, G, B обратным относительным изменениям видеосигналов, представленных на рис. 6.13. В этом случае на экране приемного устройства все цвета, кроме опорного белого, будут воспроизводиться с искажениями цветности, которые будут зависеть от разности цветовых температур действующего и эталонного источников света и от спектрального распределения коэффициентов отражения объекта. Строго говоря, коэффициенты матрицирования при этом должны тоже изменяться. Практически, учи-

тывая, что изменения воспроизводимой цветности не очень велики, а плавно изменять коэффициенты матрицы во всем диапазоне цветовых температур трудно, в большинстве камер эту коррекцию не проводят. По данным исследований фирмы «Томсон-ЦСФ» (Франция) достаточная степень точности воспроизведения цветностей обеспечивается, если использовать в составе камеры две корректирующие матрицы, оптимизированные для цветовых температур источника света 3200 и 6000 К, как это сделано в камере TTV-1525. Переключают матрицы при цветовой температуре, равной примерно 4300 К, одновременно с изменением положения аттенюатора, регулирующего коэффициенты усиления в каналах R и B при изменении цветовой температуры освещения в диапазоне 2500...10 000 К. В блоке цветокорректора телекамеры КТ-132 имеются три переключаемые цветокорректирующие матрицы для цветовых температур 3200, 6500 и 9000 К. Их переключение происходит дистанционно и одновременно с изменением усиления сигналов R и B.

В телекинокамерах цветовая температура источника света остается практически постоянной и расчет цветокорректирующей матрицы ведут с учетом спектральной характеристики излучения проекционной лампы или просвечивающего кинескопа (в системе с «бегущим лучом») для набора испытательных цветов с известными спектральными характеристиками пропускания на пленке. Практически эти характеристики задаются плотностями трех слоев красителей пленки для каждого испытательного цвета и спектральными характеристиками самих красителей. С помощью этой матрицы достигают оптимальную цветопередачу изображения на пленке. Однако цветность деталей изображения на пленке может отличаться от цветности оригинала. Причинами искажений при этом являются побочные поглощения красителей фоточувствительных слоев цветной пленки и градационные ошибки плотностей каждого слоя красителей при съемке и печати фильмов.

В практике кино ошибки цветности изображения на пленке устраняют с помощью внешнего фотографического маскирования (изготовления цветных позитивных масок) или внутреннего маскирования (введения в светочувствительные слои окрашенных компонентов). Однако полностью устранить побочные поглощения красителей нельзя.

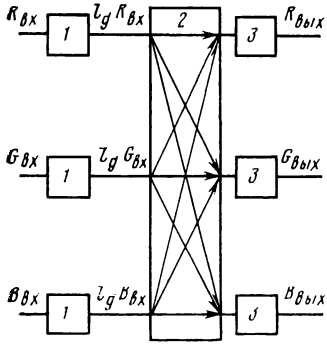


Рис. **6.14.** Логарифмический цветокорректор:

1 — логарифмирующий усилитель; *2* — матрица цветокоррекции; *3* — потенцирующий усилитель

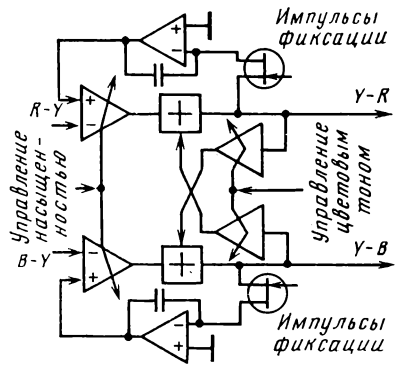


Рис. **6.15.** Функциональная схема регулятора насыщенности и цветового тона

В аппаратуре цветного телекино для частичной компенсации цветовых искажений, вызванных побочными поглощениями в кинопленке, можно подобрать характеристики спектральной чувствительности камеры путем их сужения и изменения положений максимумов. Но лучше применять электронную коррекцию искажений цветности изображения на пленке — *электронное маскирование.* Для этого используют логарифмический цветокорректор, структурная схема которого приведена на рис. 6.14. Сигнал, размах которого прямо пропорционален коэффициенту пропускания пленки, проходит через логарифмирующий усилитель *1.* Сигнал на выходе усилителя пропорционален плотности пленки. Три таких сигнала подаются на линейную матрицу *2*, где корректируются искажения цветности, вносимые красителями пленки. После проведения коррекции сигналы поступают на три потенцирующих каскада *3* и далее на выход цветокорректора. Коэффициенты матрицирования рассчитывают с учетом нелинейности градационной характеристики плотности пленки. Поскольку характеристики пленок различны, телекинокамера может иметь несколько переключаемых цветокорректоров, по числу применяемых типов пленки. Обычно оно составляет 4...8. В телекинокамере Mark-III фирмы «Рэнк Синтел» (Великобритания) предусмотрено семь отдельных корректирующих матриц для разных типов пленки.

В практике кинопоказа часто демонстрируют фильмы, плотность слоев красителей которых изменяется от сцены к сцене. Для корректировки таких погрешностей в телекинокамерах используют оперативные регулировки форм амплитудных характеристик, а также уровней черного и усиления каждого канала. Конструктивно регуляторы цветового баланса на уровнях белого, черного и серого выполняют каждый в виде трех потенциометров, управляемых общими ручками. При увеличении значения регулируемого параметра одного сигнала параметры двух других одновременно изменяют в сторону уменьшения, и наоборот. Значения регулируемых параметров подбирает оператор до тех пор, пока не будет получено изображение необходимого качества. Проводить такую коррекцию во время демонстрации фильма вручную весьма трудно. Для ее облегчения вводят, например, автоматическую регулировку уровня черного. Однако с развитием цифровой микропроцессорной техники возможность практического использования таких регулировок значительно возрастает.

В телекинодатчиках используют системы программного управления [49]. Эти системы позволяют провести все регулировки в процессе предварительного просмотра фильма и ввести результаты регулировок в ЗУ в виде программы управления, в соответствии с которой параметры будут изменяться автоматически во время демонстрации фильма. Такие системы позволяют воспроизвести с высоким качеством изображения практически любой киноматериал, корректировка которого вручную оказалась бы невозможной при быстрой смене сюжетов.

Точность цветовой электронной коррекции зависит от точности установки равенства сигналов при передаче белого цвета во всем диапазоне передаваемых яркостей. Если разности уровней трех сигналов превышают 0,5% уровня данного сигнала, то наблюдается заметное окрашивание детали изображения белого цвета. Если же при этом изображение содержит объекты телесного цвета, то наблюдается искажение воспроизводимой их цветности. Поэтому обычно в камерах предусматривается возможность подрегулировки баланса уровней сигналов. Она заключается в изменении уровней черного двух сигналов по отношению к третьему, а также возможности регулирования усиления и степени нелинейности передаточной характеристики каждого из трех каналов R,

G, B. Регуляторы представляют собой строенные потенциометры, расположенные на пультах управления ТВ камерами. При необходимости они служат для подстройки идентичности цветопередачи двух или более камер, работающих совместно, например камер разных моделей, что имеет место при работе репортажных носимых камер в составе ПТС. Однако при такой подстройке нарушается баланс белого, что приводит к искажениям цветопередачи ахроматических или малонасыщенных цветов.

Можно регулировать параметры полного цветового ТВ сигнала и влиять на качество цветопередачи без нарушения баланса белых цветов [6]. Для этого в тракте телекамер используют регуляторы цветового тона и насыщенности путем взаимного микширования цветоразностных сигналов (рис. 6.15).

Насыщенность регулируют путем одновременного изменения усиления цветоразностных сигналов, цветовой тон — путем подмешивания положительных или отрицательных сигналов $R—Y$ и $B—Y$ к сигналам $B—Y$ и $R—Y$ соответственно. Схема обеспечивает независимость регулировок цветового тона и насыщенности и не нарушает баланс белого.

Использование оперативных регулировок, влияющих на качество цветопередачи ТВ камеры, позволяет получить телевизионное изображение с высокой визуальной оценкой качества цветопередачи, а для двух или более камер, работающих совместно, свести к минимуму различия цветопередачи, которые имеют место при разбросе параметров спектральных и передаточных характеристик различных узлов ТВ камеры или при использовании камер различных моделей. Следует заметить, визуально качество цветопередачи должно оцениваться телеоператором или режиссером передачи, в противном случае может возникнуть вероятность изменения цветопередачи, приводящая к искажению творческих замыслов создателей передачи. При умелом использовании этих регулировок с помощью электронной цветокоррекции можно создать художественные эффекты, повышающие качество телевизионной передачи.

6.5. КОДИРОВАНИЕ ВИДЕОСИГНАЛОВ

Существуют три стандартные системы цветного телевидения — НТСЦ, ПАЛ и СЕКАМ. Они подробно описаны в [41]. Каждая система обладает достоинства-

ми и недостатками, однако все три системы основаны на общем принципе уплотнения спектра сигнала яркости сигналом цветовой поднесущей, модулированной цветоразностными сигналами, и обеспечивают приблизительно одинаковое качество изображения на экране телевизионного приемника. Основное различие систем заключается в способе модуляции цветовой поднесущей. В системе НТСЦ применена квадратурная модуляция поднесущей одновременно двумя цветоразностными сигналами. В системе ПАЛ поднесущая также квадратурно модулирована двумя цветоразностными сигналами, но полярность красного цветоразностного сигнала поочередно по строкам изменяется на противоположную, что позволяет существенно снизить ухудшение качества изображения под действием искажений в тракте передачи. Принятая в СССР, Франции и ряде других стран система СЕКАМ отличается частотной модуляцией поднесущей и чередованием красного и синего цветоразностных сигналов по строкам; применение частотной модуляции заметно повышает устойчивость полного сигнала этой системы к искажениям в тракте передачи.

Конструктивная сложность кодеров трех систем приблизительно одинакова, поэтому многие модели вещательных, прикладных и бытовых телекамер выпускают в двух-трех модификациях или с взаимозаменяемыми блоками, т. е. вместо кодера ПАЛ можно установить кодер СЕКАМ, и наоборот. В данном параграфе будем рассматривать только кодеры СЕКАМ.

В [17] система СЕКАМ описана по совокупности операций, обеспечивающих получение в кодере полного цветового ТВ сигнала. Однако некоторые из этих операций определены в общей форме, без указания характеристик и допусков. Не описаны отдельные операции, которые практически выполняются, например ограничение полосы частот сигнала яркости; не определены характеристики полосовой фильтрации сигнала цветности и режекции сигнала яркости; отсутствуют нормы на совмещение во времени сигналов яркости и цветности. Указанная в стандарте последовательность операций кодирования не является единственно возможной. Один и тот же сигнал может быть получен двумя-тремя различными способами. Например, во многих камерах применяют кодеры СЕКАМ с одним частотным модулятором, перед которым включен коммутатор, преобразующий два цветоразностных сигнала в поочередную по строкам последовательность; однако применяют также и кодеры с двумя отдельными частотными модуляторами, выходные сигналы которых коммутируются поочередно по строкам, образуя один сигнал цветовой поднесущей Более того, для повышения качества изображения и улучшения эксплуатационных характеристик, сигналы часто подвергают дополнительным обработкам при условии, что они не потребуют изменения стандартных декодеров СЕКАМ [59].

Типичная схема кодера СЕКАМ показана на рис. 6.16. Обрабатываются сигналы в кодере следующим образом. Входные сигналы R, G, B в матричных сумматорах *1*, *2*, *3* преобразуются в сигнал яркости Y ($Y=0{,}299R+0{,}587G+0{,}114B$) и два цветоразностных сигнала $D_R=-1{,}9$ $(R-Y)$ и $D_B=1{,}5$ $(B-Y)$. Сигнал яркости пропускается через нелинейный частотный режектор *4* и линию задержки *5*. Цветоразностные сигналы проходят через коммутатор *6*, управляемый поступающими извне импульсами цветовой синхронизации (ИЦС), а затем через последовательно включенные фильтр *7*, ограничивающий спектр сигнала перед модуляцией, цепь НЧ предыскажения *8*, защитный амплитудный ограничитель *9*, частотный модулятор *10*, частота покоя которого поочередно по строкам подстраивается к опорным частотам $f_{0R}=4{,}40625$ МГц и $f_{0B}=4{,}25$ МГц, цепь ВЧ предыскажения *11*, полосовой фильтр *12* и схему гашения *13*, управляемую импульсами гашения поднесущей (ИГП). На выходе схемы гашения имеется полностью сформированный сигнал цветности C. В состав сигнала, поступающего на вход модулятора *10*, с помощью матричных сумматоров замешивается модулирующий сигнал цветовой синхронизации, вырабатываемый генератором *14* под действием стробирующих импульсов цветовой синхронизации (СЦС). Сигнал синхронизации S формируется путем пропускания поступающих извне синхроимпульсов (СИ) через амплитудный ограничитель *15*, отсекающий выбросы и помехи, и фильтр *16*, обеспечивающий синусквадратичную форму и стандартную длительность фронтов сигнала. Сформированные сигналы Y, C и S соединяются в сумматоре *17*, образуя полный ТВ сигнал СЕКАМ.

Конкретные методы и устройства формирования сигнала СЕКАМ можно разделить на четыре группы, отно-

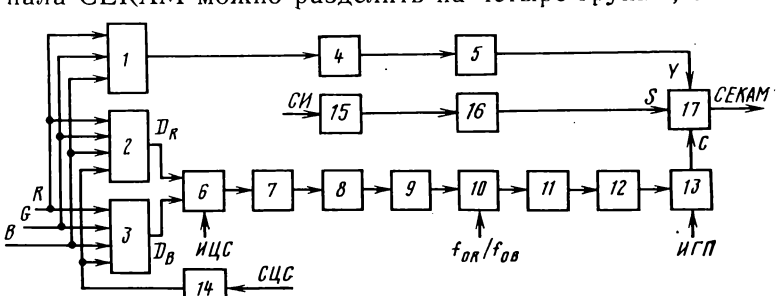


Рис. **6.16.** Структурная схема кодера СЕКАМ

сящиеся соответственно к формированию сигнала яркости, сигнала цветности, служебных сигналов и полного ТВ сигнала.

Сигнал яркости Y формируют путем матрицирования в кодере сигналов R, G, B, поступающих с выходов защитных ограничителей системы обработки видеосигналов (см. рис. 6.1). В некоторых моделях камер сигнал Y формируется в предшествующих узлах системы обработки и после дополнительных преобразований поступает на отдельный вход кодера. Обработка сигнала Y в кодере сводится к его задержке для совмещения во времени с узкополосным сигналом цветности C и частотной режекции для подавления перекрестной помехи «яркость-цветность», к которым иногда добавляется ограничение полосы частот и амплитудное ограничение.

Вследствие применения частотной модуляции поднесущей перекрестная помеха «яркость-цветность» имеет пороговый характер. Поэтому в кодерах СЕКАМ применяют нелинейную режекцию ВЧ составляющих сигнала яркости, при которой они ослабляются до уровня несколько ниже амплитуды сигнала цветности. Тем самым исключается появление в декодированном изображении так называемых «факелов» справа от порождающих их яркостных структур. Требуемая частотная характеристика режекции по форме должна соответствовать частотной характеристике ВЧ предыскажения сигнала цветности.

На рис. 6.17, *а* показана схема часто используемого режектора «с постоянным остатком сигнала». В нем имеется два канала: собственно режекторный и компенсирующий; выходы каналов подключены к сумматору. В режекторном канале включена резонансная RLC-цепь, формирующая необходимую частотную характеристику с затуханием в области цветовой поднесущей

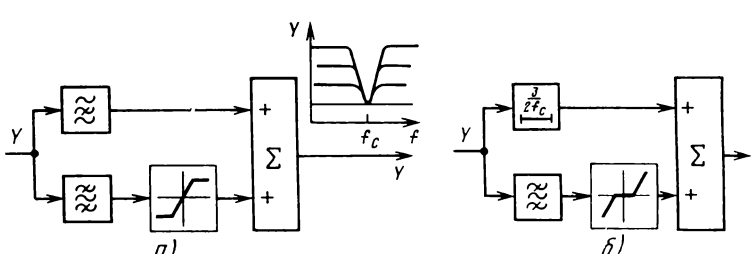


Рис. **6.17**. Структурные схемы нелинейного режектора: *а* — обычного типа; *б* — с фазовой компенсацией

(частота максимального затухания $f_c = 4{,}286$ МГц). В компенсирующем канале осуществляются резонансное усиление и ограничение амплитуды по максимуму. Для упрощения настройки иногда используют двойное включение одной RLC-цепи: ее шунтирующее действие обеспечивает резонансное затухание, а последовательный резонанс — усиление в компенсирующем канале. Пока сигнал не превышает порога ограничения, компенсирующий канал полностью устраняет режекцию. При превышении порога компенсация происходит не полностью и образуется амплитудно-частотная характеристика с постоянным остатком. Из-за фазовых искажений в цепи режекции возникают значительные искажения сигнала: K-фактор для стандартного испытательного 2Т-импульса превышает 3,5% [26].

Искажения существенно снижаются при введении в режектор фазовой компенсации, как это сделано в кодере отечественной камеры КТ-320. В нем также используются (рис. 6.17, *б*) канал задержки и канал режекции, содержащий резонансный усилитель и ограничитель по минимуму. При малых сигналах работает только канал задержки и сигнал передается без изменений. Когда сигнал превышает порог ограничения, происходит его режекция, которая благодаря подобию фазовых характеристик двух каналов почти не вызывает искажений сигнала: K-фактор не превышает 1%. В качестве цепи задержки (например, на 3/2 периода частоты 4,286 МГц, т. е. на 355 нс) здесь используется часть линии задержки, которая служит для компенсации задержки сигналов в канале цветности.

При формировании сигнала цветности цветоразностные сигналы, полученные матрицированием сигналов R, G, B, перед частотной модуляцией подвергают частотному предыскажению с последующим ограничением амплитуды, равносильным определенному стандартом ограничению девиации частоты поднесущей. Происходящее при этом ограничение пиков предыскаженных сигналов приводит при декодировании к появлению специфических искажений — цветных тянущихся продолжений справа от перехода между насыщенными цветами [26]. Применяют несколько способов уменьшения этих искажений.

На рис. 6.18 показаны обычная и усовершенствованная [5] схемы формирования цветоразностных сигналов. В обычной схеме в кодере имеется цепь предыскаже-

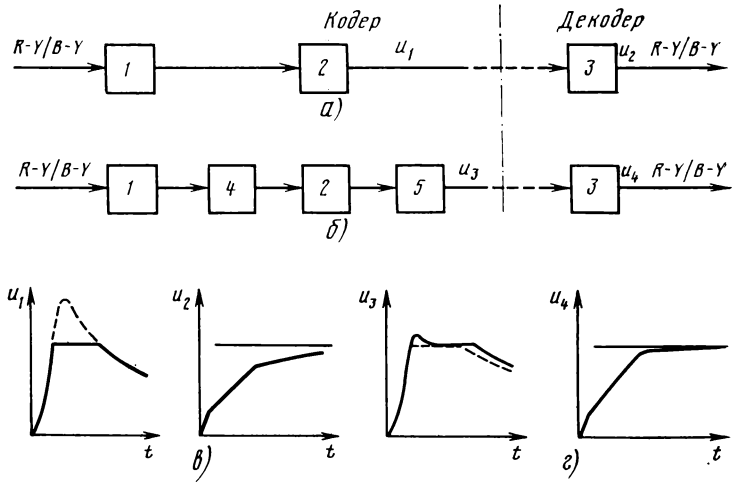


Рис. **6.18.** К формированию цветоразностных сигналов с коррекцией цветных тянущихся продолжений:
а — обычная схема; *б* — усовершенствованная схема; *в* — форма сигналов в обычной схеме; *г* — форма сигналов в усовершенствованной схеме

ния *1* и ограничитель *2*, а в декодере цепь коррекции *3*. В усовершенствованной схеме, примененной в камере КТ-320, добавлены цепь дополнительного предыскажения *5* (после ограничителя) и цепь ее коррекции *4* (перед ограничителем). Сигналы ниже порога ограничения здесь передаются без изменений. Для сигналов выше порога длительность пиков предыскажений увеличивается и тем самым частично компенсируется потеря энергии ВЧ составляющих сигнала. Благодаря этому величина тянущихся продолжений заметно снижается. Например, на зелено-пурпурном переходе цветных полос 100/0/75/0 в сигнале *R—Y* она уменьшается с 8 до 1%.

Для коррекции тянущихся продолжений в видеокамере BVP-3 применена цепь предыскажения с переменными параметрами, включенная между эмиттерами двух транзисторов дифференциального усилителя-ограничителя цветоразностных сигналов. При превышении любого из порогов один из двух транзисторов запирается и постоянная времени разряда конденсатора цепи предыскажения увеличивается втрое, что приводит к увеличению длительности пиков и компенсации потери энергии ВЧ составляющих при ограничении. Хотя компенсирующее действие этой схемы несколько слабее, чем у схемы рис. 6.18, *б*, ее достоинствами являются простота и стабильность.

Важнейшими характеристиками кодера СЕКАМ являются линейность и стабильность модуляционной ха-

рактеристики частотного модулятора. Для формирования сигнала цветности используют одномодуляторные и двухмодуляторные кодеры.

В двухмодуляторном кодере упрощается импульсная автоподстройка частоты покоя модуляторов, поскольку каждый из них настраивается только на одну опорную частоту. Напротив, в одномодуляторном варианте имеется возможность стабилизации не только частот покоя, но и девиаций частоты (т. е. наклона модуляционной характеристики) путем аддитивно-мультипликативной подстройки частот покоя к опорным частотам 4,25 и 4,40625 МГц. Такая подстройка может быть частотной [116], как в камере TTV-1525 фирмы «Томсон-ЦСФ», или фазовой [4], как в камере КТ-320. В новых моделях камер применяют в основном одномодуляторные кодеры с двумя отдельными блоками частотной автоподстройки на две опорные частоты.

Еще одна особенность формирования сигнала цветности связана с подавлением поднесущей на время передачи строчных синхроимпульсов. При этом на задней площадке строчного гасящего импульса поднесущая сохраняется, образуя «вспышку», предназначенную для защиты изображения от переходного процесса в декодере, который происходит в момент включения поднесущей. Кроме того, демодулированные «вспышки» используются для фиксации уровня в каналах цветоразностных сигналов декодера и для строчной цветовой синхронизации. Однако выполнение последних двух функций затруднено из-за искажений демодулированного сигнала в начале «вспышки», поэтому приходится использовать лишь малую ее часть непосредственно перед началом активной части строки.

Искажение «вспышки» вызывается тем, что при кодировании поднесущая гасится после введения ВЧ предыскажения, и поэтому в декодере появляются нежелательные выбросы демодулированного сигнала значительного размаха [26]. Существенно снизить амплитуду этих выбросов может двухкратное гашение поднесущей — до и после ВЧ предыскажения, поскольку при этом контур ВЧ предыскажения участвует в переходном процессе включения поднесущей в начале вспышки [68]. В результате увеличивается размах сигнала цветности в начале «вспышки», что можно ослабить, используя «плавное» гашение с увеличенной длительностью фронта импульсов гашения поднесущей. Хотя двойное гашение изменяет привычную форму осциллограммы полного сигнала, никаких побочных вредных эффектов оно не вызывает. Тем не менее в большинстве камер используют более простое однократное гашение, в новых моделях «плавное» гашение с длительностью фронта до 1 мкс несколько снижает амплитуду указанных искажений, хотя и не устраняет их полностью.

Последовательная по строкам передача цветоразностных сигналов порождает специфические искажения цветовой составляющей изображения (см. § 2.3) в виде мерцаний с частотой 12,5 Гц и цветовых муаров на го-

ризонтальных и наклонных цветовых переходах и периодических структурах. Причина этих искажений состоит в нарушении условия неискаженной передачи сигналов вертикальных частот с помощью отсчетов — строк. Чтобы выполнить это условие, необходимо до перехода к чередующимся по строкам цветоразностным сигналам (т. е. до субдискретизации каждого сигнала в кодере СЕКАМ) предварительно отфильтровать (сгладить) соответствующую составляющую изображения по вертикали [55]. К сожалению, до настоящего времени такая предфильтрация в эксплуатируемой аппаратуре используется недостаточно. Только в последних разработках камер с частично цифровой обработкой сигналов начали применять простейшие предфильтры, реализованные по схеме рис. 6.19. Такой предфильтр усредняет соседние строки (предфильтрация по вертикали) двух цветоразностных сигналов с помощью одной линии задержки на строку. При реализации предфильтров необходимо учитывать вносимую ими задержку цветоразностных сигналов и вводить компенсирующие линии задержки в канал яркости.

К служебным относятся все составляющие сигнала СЕКАМ, расположенные в интервалах гашения: сигнал синхронизации, сигнал цветовой синхронизации, опорные и испытательные сигналы. Служебные сигналы в кодерах формируют по-разному.

Формирование синхросигналов обычно сводится к задержке, амплитудной селекции и фильтрации нижних частот поступающих извне синхроимпульсов. Сформированный синхросигнал либо суммируют с входными сигналами R, G, B в матричном сумматоре, образуя полный сигнал $Y+S$, либо вводят в полный сигнал СЕКАМ на выходе кодера, как в схеме рис. 6.16. Преимущество первого варианта — наличие черно-белого сигнала $Y+S$, пригодного для подачи на контрольные и просмотровые устройства; преимущество второго варианта — возможность защитного ограничения уровня черного после частотной режекции сигнала яркости. Оба варианта используются часто.

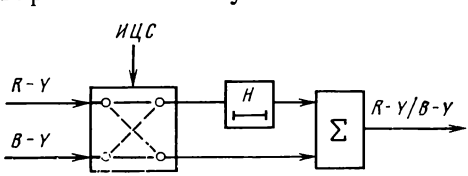


Рис. **6.19.** Структурная схема вертикального предфильтра цветоразностных сигналов

Сформировать модулирующие сигналы полевой цветовой синхронизации, существующие в течение девяти строк, не сложно. Имеющие форму трапеций они суммируются с сигналами $R—Y$ и $B—Y$ обычно до предыскажения и коммутации в последовательность D_R/D_B; чтобы форма сигналов не искажалась цепями предыскажения, их предварительно пропускают через цепь коррекции с обратной частотной характеристикой.

В связи с введением строчной цветовой синхронизации декодеров по «вспышкам» поднесущей, предполагается в дальнейшем исключить сигналы полевой (вертикальной) цветовой синхронизации из состава полного цветового ТВ сигнала. Однако следует учитывать, что по этим сигналам в настоящее время контролируют (и измеряют) предельные девиации поднесущей. Для сохранения возможности такого контроля может потребоваться введение специальных сигналов, например, в виде полосы «сверхнасыщенного» зеленого.

В состав полного сигнала должны входить сигналы испытательных строк [17], занимающие определенные места в полевых интервалах гашения. Формировать прецизионные сигналы испытательных строк довольно сложно, поэтому генераторы этих сигналов не входят в состав кодеров. Испытательные строки в состав полного ТВ сигнала вводят обычно с помощью внешнего блока, включаемого последовательно с кодером. Кодеры некоторых студийных камер обеспечивают ввод внешних сигналов испытательных строк в выходном усилителе — распределителе и снабжены для этого специальным входом. Во многих случаях вводимые в полевые интервалы гашения сигналы используются в комплексах аппаратуры ТВ вещания не только как испытательные, но и как опорные, предназначенные для автоматической регулировки и стабилизации параметров сквозного тракта. Необходимо отметить, что сигналы испытательных строк являются объектом международной стандартизации и практически одинаковы для систем НТСЦ, ПАЛ и СЕКАМ. Однако для оперативного контроля работы кодеров (и декодеров) СЕКАМ наиболее удобны не предусмотренные стандартом испытательные строки, содержащие стандартный полный ТВ сигнал цветных полос 100/0/75/0. Такой сигнал формируют в некоторых кодерах из сигналов основных цветов, вырабатываемых встроенным генератором цветных полос в течение одной-двух строк полевого интервала гашения. Для ввода этих сигналов используют матричные схемы, которые используются для получения цветоразностных сигналов и сигнала яркости. Достоинством данного способа является непрерывный контроль параметров сквозных каналов яркости и цветности от входа до выхода кодера. Контроль обеспечивается с помощью обычного или векторного секамоскопа («векамскопа»), работающего в режиме выделения строки. Ведется работа по стандартизации этого контрольного сигнала.

Полный сигнал СЕКАМ получают сложением сигналов яркости Y, цветности C и синхронизации S, которые в точке суммирования должны быть согласованы по

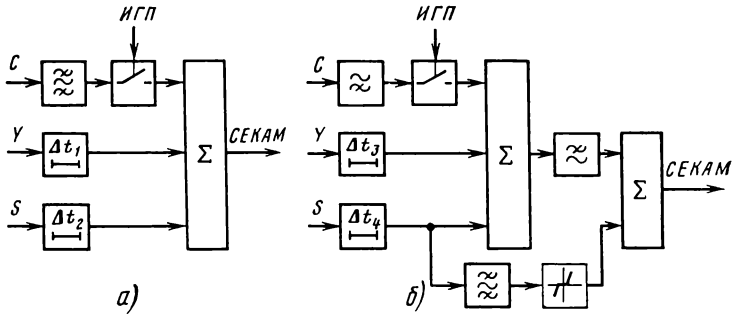


Рис. **6.20.** Структурные схемы формирователей полного ТВ сигнала СЕКАМ:
а — обычная (сигнал с выхода режектора); *б* — усовершенствованная (совмещенная с режектором)

амплитуде, временно́му положению и полосе частот. Однако требования к частотной характеристике полосовой фильтрации сигнала цветности и к внеполосным (выше 6 МГц) составляющим сигнала яркости не установлены, что дает возможность сравнительно свободно выбирать схемы формирования полного ТВ сигнала.

Обычно используют схему формирователя, показанную на рис. 6.20, *а*. Здесь задержки сигнала C в полосовом фильтре и модулирующего сигнала D_R/D_B в ФНЧ (не показанном на схеме) компенсируются задержкой сигналов Y и S (каждого в отдельности или суммы $Y+S$), а гашение сигнала C производится после полосовой фильтрации. Компенсирующая задержка сигнала Y здесь относительно велика, особенно при применении фазовой коррекции полосового фильтра, что приводит к увеличению габаритов кодера и ухудшению равномерности АЧХ канала яркости. В то же время верхние границы спектров сигналов Y и S, как и спектра фронта и среза подавления сигнала C, оказываются неопределенными и практически могут выходить за 6 МГц.

В усовершенствованном варианте схемы формирования полного сигнала (рис. 6.20, *б*) введен канальный ФНЧ с фазовым корректором, ограничивающий верхние частоты спектров всех составляющих полного ТВ сигнала предельным значением 6 МГц. Задержка фильтра (включая фазовый корректор) составляет 3/2 периода частоты 4,286 МГц (т. е. 355 нс), благодаря чему его одновременно используют как элемент задержки описанного выше режектора с фазовой компенсацией.

Нижнюю боковую полосу сигнала *С* ограничивает фильтр верхних частот, вносящий относительно небольшую задержку сигнала, благодаря чему уменьшается компенсирующая задержка в канале яркости. Схема рис. 6.20, *б*, примененная, в частности, в камере КТР-320, позволяет существенно снизить габариты кодера в целом и улучшить качество сигналов яркости и цветности.

Глава 7.

УПРАВЛЕНИЕ

7.1. УПРАВЛЕНИЕ НАСТРОЙКОЙ И В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕДАЧИ

Настройка телекамеры представляет собой последовательность операций, выполняемых до начала передачи и обеспечивающих приведение основных параметров камеры в соответствие с установленными допусками. Следует отметить, что в данном случае имеется в виду эксплуатация камеры, а не настройка ее при изготовлении, когда регулируются все параметры, блоки и системы. Необходимость настройки какого-либо конкретного параметра обусловлена допуском и наличием дестабилизирующих факторов, таких как механические и температурные воздействия, изменения питающих напряжений, старение элементов, замена блоков и элементов. В связи с тем, что от вещательных телекамер, особенно студийных, требуется очень высокое качество изображения, допуски на их параметры оказываются очень узкими, поэтому необходимость настройки возникает значительно чаще, чем для прикладных и бытовых телекамер. Периодичность настройки устанавливается конкретными инструкциями по эксплуатации; обычно камеру в студии настраивают несколько раз в неделю, а при внестудийных передачах — на месте передачи до ее начала. Камеры ВЖ и видеокамеры настраивают перед выездом на телецентре; на месте видеосъемки устанавливают только баланс видеосигналов, зависящий от цветовой температуры освещения.

Поскольку на параметры камер сильно влияет температура, настройку имеет смысл делать только после ее прогрева, когда температурный режим установился. Время прогрева зависит от конструкции и назначения

камеры, оно обычно находится в пределах от нескольких минут до 1...2 ч.

Параметры камеры можно подразделить на три группы:

стабилизированные и не нуждающиеся в периодической настройке (например, токи лучей трубок, коэффициенты корректоров светорассеяния, токи фокусирующих катушек);

нуждающиеся в регулярной (желательно автоматической) настройке (например, центровки растров, коэффициенты усиления цветоделенных каналов);

нуждающиеся в оперативном управлении (ручном или автоматическом) и зависящие от объекта передачи (например, относительное отверстие объектива, общий уровень черного).

По мере совершенствования конструкций и схемных решений перечень параметров, подлежащих периодической настройке, сокращается, однако вследствие повышения требований к качеству изображения он вновь расширяется. Фактически современные вещательные телекамеры обеспечивают хорошее качество изображения без предварительной настройки. Тем не менее для наивысшего качества изображения лучше камеру настроить.

Большинство моделей телекамер, кроме разработанных в последние годы, может настроить видеоинженер или техник с помощью потенциометров и других органов регулировки. Регулируемые параметры контролируют визуально по изображению на экране кинескопа или с помощью осциллоскопа. Продолжительность настройки и результирующее качество изображения при этом полностью зависят от квалификации человека. Ручная настройка всех параметров камеры весьма трудоемка и может занимать несколько часов.

Некоторое ускорение процесса настройки и улучшение ее точности дает использование узлов и блоков, обеспечивающих допусковый контроль регулируемых параметров (например, индикация баланса сигналов [72] или контроль девиаций частоты цветовой поднесущей [71]). Такую процедуру можно назвать полуавтоматической настройкой с ручным регулированием и автоматическим контролем.

Существенно повысить скорость и точность настройки можно только путем полной автоматизации. В последние годы было разработано много моделей камер с системами автоматической настройки, в том числе на

основе микропроцессоров. Общий принцип работы этих систем состоит в сравнении измеренного значения регулируемого параметра сигнала с эталонным, формировании уточненного значения цифрового управляющего сигнала, занесении его в ЗУ, передаче управляющего сигнала на исполнительное устройство (регулятор) и повторном сравнении изменившегося значения регулируемого параметра с эталонным. Процесс регулирования должен продолжаться до попадания значения параметра в пределы установленного допуска либо до изменения знака ошибки.

Системы автоматической настройки на основе микропроцессоров можно использовать в двух режимах:

программируемая автоматическая настройка, при которой нажатие кнопки «Пуск» вызывает полный цикл операций автоматической настройки всех параметров, причем положение органов ручной настройки не влияет на результат;

полуавтоматическая настройка с последующим ручным регулированием и визуальным контролем, при которой для перехода от настройки одного параметра к настройке другого требуется подача команды (нажатие кнопки), на каждом этапе возможна оптимизация параметров путем ручной подстройки, а при необходимости и изменение значений параметров в желаемую сторону.

В обоих режимах цепь управления замыкается через ЗУ микропроцессора, т. е. во всех случаях речь идет только об изменении значений цифрового управляющего сигнала.

В отличие от управления настройкой, осуществляемого перед передачей, когда ее продолжительность не является лимитирующим фактором и существуют сравнительно четкие критерии оптимальности (равенство размахов сигналов, совпадение временных положений фронтов сигналов и т. д.), управление в процессе передачи как ручное, так и автоматическое требует высокого быстродействия, чтобы возможные ухудшения качества изображения оставались практически незаметными вследствие кратковременности. Критерием оптимальности является с трудом формализуемый критерий качества результирующего изображения. Поэтому управление вещательными телекамерами в процессе передачи до недавнего времени оставалось ручным или полуавтоматическим. Затем постепенно наметился переход к автоматическому управлению такими параметрами, как относительное отверстие (диафрагма) объек-

тива, общий уровень черного, контраст изображения и др. Однако практическое применение автоматики здесь было ограничено вследствие упрощенности использованных технических решений, не соответствующих сложности решаемой задачи. Например, автоматическая регулировка диафрагмы по критерию поддержания максимального размаха сигнала яркости приводила к тому, что попадание в кадр даже небольших ярких объектов (бликов на блестящих предметах и т. п.) приводило к почти полному закрытию диафрагмы, заметно ухудшающему общее качество изображения.

При построении новых моделей камер пользуются усложненными критериями оптимальности, поэтому автоматические регулировки в процессе передачи стали применять чаще и с лучшими результатами, однако полный отказ от ручного управления на данном этапе еще вряд ли возможен. Целесообразность сохранения режима ручного управления обусловлена также и тем, что регулировка таких параметров, как яркость, контраст, четкость, общий цветовой тон и насыщенность, часто связана с решением творческих замыслов режиссера. При этом необходимо отклонить значения указанных параметров от номинальных (оптимальных), которые обеспечивает автоматическое управление.

7.2. ОБЪЕКТЫ И ОРГАНЫ УПРАВЛЕНИЯ

Объекты системы управления представляют собой электронные и оптико-механические узлы, принадлежащие к разным системам. Номенклатура объектов управления может существенно различаться.

В вещательных телекамерах имеются следующие типовые объекты управления:

в оптической системе — диафрагма, трансфокатор и кольцо фокусировки объектива, светофильтры и заглушки оптико-механического блока;

в системе преобразования свет — сигнал — передающие трубки с узлами развертки, у которых регулируются напряжение модулятора (ток луча), фокусировка и центровка луча, размах и линейность отклоняющего напряжения (или тока);

в системе обработки видеосигналов — сумматоры, регулируемые усилители, ступенчатые аттенюаторы и ограничители, с помощью которых регулируют уровни черного сигналов R, G, B, усиления сигналов R и B, общий уровень черного и общее усиление видеотракта

(чувствительность камеры), размахи сигналов коррекции неравномерности уровней черного и белого.

В некоторых типах камер имеются специфические объекты управления, например узел протяжки кинопленки в телекинокамере, узлы лентопротяжного механизма видеомагнитофона в видеокамере или устройства наведения и слежения в прикладной телекамере. Большинство этих узлов снабжено преобразователями (исполнительными устройствами), обеспечивающими использование поступающих команд и управляющих сигналов (цифровых или аналоговых). Можно привести несколько примеров такого преобразования.

Диафрагма объектива через муфту свободного хода имеет кинематическую связь со следящим электромеханическим приводом, состоящим из электродвигателя, редуктора, потенциометрического датчика положения и усилителя сигнала рассогласования. С помощью привода обеспечивается соответствие положения диафрагмы поступающему управляющему напряжению постоянного тока (сигналу «диафрагма»). Заглушку, перекрывающую световой поток при настройке баланса черного и снятии объектива, приводит в действие соленоид, который включается простым замыканием цепи его питания.

В схемы регулируемых усилителей системы обработки вводят специальные каскады (или элементы), обеспечивающие изменение усиления под действием подаваемого на них напряжения управления. В некоторых моделях камер вместо напряжения управления используют параллельный цифровой код.

Органами управления телекамеры, как правило, являются потенциометры и переключатели, конструктивно выполненные и расположенные с учетом требований эргономики, т. е. так, чтобы обеспечить удобство работы оператора или видеоинженера. Часто их снабжают световыми индикаторами, пояснительными надписями, шкалами, подсветкой и т. д.

Связь объектов и органов управления может быть организована разными способами — от очень простых непосредственных до очень сложных иерархических с системой приоритетов.

Примером простой связи является регулировка оператором кольца фокусировки объектива с помощью редукторов и гибкого вала, один конец которого связан с кольцом фокусировки, а второй — подключен к вращающейся рукоятке, установленной на боковой штанге

штатива. Примером сложной связи является управление диафрагмой с помощью потенциометра централизованного пульта многокамерной системы, когда управляющий сигнал многократно преобразуется, запоминается, суммируется с ранее установленными значениями и коммутируется, проходя ряд блоков и соединительных линий. В камерах различных типов органы управления располагают и подключают по-разному.

Прикладные и бытовые телекамеры. Для упрощения их конструкции органы управления часто непосредственно включают в цепь регулируемого сигнала и располагают на лицевых панелях соответствующих блоков или вблизи от них.

Камеры ВЖ и видеокамеры. Органы их управления располагают непосредственно на корпусе камеры с разных сторон, исходя из того, насколько часто используется орган перед передачей и в процессе видеосъемки. Например, в видеокамере BVW-3 регулятор трансфокатора расположен на кожухе приводов объектива под пальцами правой руки оператора, так как регулировать его приходится почти непрерывно; кнопка включения и выключения режима «Запись» видеомагнитофона и тумблеры включения систем автоматической центровки и автоматического баланса уровней черного и белого расположены на передней части камеры ниже объектива, так как их необходимо включать довольно часто, любой свободной рукой, не снимая камеру с плеча; переключатели режимов питания камеры и видеомагнитофона, которыми пользуются не так часто, расположены слева снизу и управляются левой рукой; тумблеры включения автоматической регулировки уровня звука, ручные регуляторы уровня звука и соответствующий индикатор, а также кнопки предустановки временного кода видеозаписи и соответствующие индикаторы расположены на боковой стенке видеомагнитофона, они доступны только, когда камера снята с плеча оператора.

Студийные и внестудийные камеры. Органы их управления обычно сосредоточивают в специальных блоках — пультах настройки и управления. Типичными являются следующее построение системы управления и распределение функций входящих в нее блоков.

В блоке камерного канала или вблизи него располагается основной пульт настройки и управления камеры, на лицевой панели которого имеются (раздельно для каналов R, G, B) органы регулировки токов лучей пере-

дающих трубок, центровок, размеров и линейностей разверток, коррекции светорассеяния, коррекции неравномерности уровней черного и белого, уровней черного, усиления (обычно только в каналах R и B), ступенчатый переключатель общего усиления, потенциометры (или переключатели) для регулировки цветовой температуры, цветового тона и насыщенности, показателя гамма-коррекции и степени апертурной коррекции, общего уровня черного (контраста) и диафрагмы объектива, переключатель светофильтров объектива, коммутаторы визуального и осциллоскопического контроля, а также различные индикаторы и органы управления служебной связью.

Те из перечисленных органов управления, которые используются в процессе передачи, дублированы на пульте (панели) дистанционного управления (ДУ), который можно удалять от камерного канала на расстояние не более 30...100 м. В многокамерных комплексах панели ДУ нескольких камер сосредоточивают в одном пульте, поэтому ширина панелей обычно значительно меньше их длины.

Иногда (например, в камере LDK-614) органы управления разделены между двумя панелями ДУ, одна из которых предназначена для управления цветом изображения (на ней располагают органы регулировки балансов черного, белого и иногда серого, цветового тона и насыщенности), а вторая — для управления яркостью и контрастом (на ней располагают органы управления диафрагмой, общим усилением, уровнем черного, контрастом и степенью апертурной коррекции). Это позволяет сосредоточить панели первого вида в одном пульте для управления цветопередачей всех камер комплекса), а второго вида — в другом пульте: при этом обеспечивается большее удобство работы, так как каждый из двух видеоинженеров регулирует меньшее число параметров, что в конечном счете способствует повышению качества изображения, особенно идентичности цветопередачи всех камер. В то же время остается возможность объединить две панели в обычный пульт ДУ.

Панели ДУ некоторых камер выпускают в двух-трех модификациях, с тем чтобы обеспечить оптимальное соответствие номенклатуры регулировок предполагаемому варианту использования камеры. Например, камера BVP-360P может комплектоваться панелями ДУ следующих трех типов:

«упрощенный студийный» — обеспечивает включение питания и испытательных режимов, регулировку балансов черного и белого (ручную и автоматическую), контраста, диафрагмы, резкости и общего уровня черного;

«внестудийный» — дополнительно к перечисленным функциям обеспечивает включение диапроектора, переключение светофильтров объектива, ступенчатую регулировку общего усиления и включение автоматических регулировок центровки, совмещения и цветового баланса, в том числе по внешней отражательной испытательной таблице;

«художественный» — дополнительно к функциям панелей первых двух типов обеспечивает управление цветовыми эффектами путем изменения (раздельно для каналов R, G, B) характеристик гамма-коррекции, коррекции светорассеяния, апертурной коррекции, центровок (только для каналов R и B), а также быстрый возврат к нормальному режиму настройки; кроме того, предусмотрено запоминание (для повторного использования) 64 вариантов настройки — «файл сюжетов».

Для повышения оперативности органы управления панели ДУ часто выполняют комбинированными, т. е. совмещающими несколько функций. Одна и та же ручка при продольном перемещении регулирует положение диафрагмы, при вращении — общий уровень черного, а нажатие на эту ручку вызывает включение световых меток индикации уровней яркости и автоматическое переключение коммутаторов технического преднабора для обеспечения визуального и осциллоскопического контроля сигналов данной камеры. Другая ручка позволяет при отклонении от центра изменять баланс сигналов (или цветовую насыщенность), направление отклонения задает цветовой тон, а вращение этой ручки иногда используют для регулировки яркости (контраста). В режимах автоматического управления эти же ручки не отключаются, а продолжают воздействовать на параметры изображения, изменяя опорные значения для систем автоматического регулирования.

В 70-х годах выпускались телекамеры (КТ-132, Mark-VIII и др.), в которых функции как ручного, так и автоматического управления обеспечивались применением многочисленных *мотор-потенциометров,* представляющих собой механическое сочленение малогабаритного электродвигателя с потенциометром. Достоинствами такой системы управления являются простота перехода от ручного управления (вращение потенциометра рукой) к автоматическому и практически неограниченный срок сохранения управляющей информации. Недостатками являются громоздкость и большая инерционность мотор-потенциометров, а также сравнительно большое потребление энергии. В последних моделях камер они вытеснены цифровыми системами управления.

В некоторых моделях для запоминания аналоговых управляющих сигналов используются конденсаторы с очень большим собственным сопротивлением. Информация при этом записывается с помощью аналоговых мультиплексоров, а считывается с помощью полевых транзисторов с изолированным затвором. Вследствие

очень малых токов утечки информация сохраняется в течение нескольких дней, независимо от того, включено питание камеры или нет. При отключении питания в цифровых системах управления информация сохраняется установкой специальных малогабаритных аккумуляторных батарей в камерной головке и в камерном канале вблизи от цифровых запоминающих устройств.

Для ускорения возврата значений управляющих сигналов к номинальным панели ДУ часто снабжают дополнительными выключателями, относящимися к одному или сразу к группе параметров.

В связи с тем, что одна и та же камера может работать как в студии, где в процессе передачи освещенность мало изменяется, так и во внестудийных условиях, где освещенность может изменяться быстро в широких пределах, на панелях ДУ устанавливают дополнительные потенциометры, регулирующие среднее значение и пределы регулировки диафрагмы. Для студийных условий предпочтительнее иметь небольшие пределы при высокой точности, а для внестудийных — наоборот.

Некоторые модели камер ВВП и ВЖ/ВВП имеют только один пульт управления — как правило, пульт ДУ, на котором располагают органы наиболее оперативных регулировок. Например, на пульте (рис. 7.1) отечественной телекамеры КТ-320 (и КТР-308) имеются переключатель общего усиления (0; 9 дБ), выключатели токов лучей передающих трубок, световых меток балансов и уровней сигналов, кнопки включения систем автоматической регулировки диафрагмы и контраста, потенциометры центровки растров (R и B), уровней черного (R и B), усиления (R, G, B), цветовой температуры, цветового тона и насыщенности, а также комбинированный регулятор диафрагмы и контраста, нажатие на кнопку которого вызывает, кроме того, включение световых меток «Штриховка» и выдачу команды «Технический преднабор».

При совместном использовании панели ДУ и основного пульта настройки и управления необходимо исключить ситуацию, когда управляющие сигналы противоречат друг другу. Для этого предусматривается их переключение, т. е. переключение управления с местного на дистанционное и наоборот, причем возможны три варианта:

приоритет принадлежит панели ДУ, т. е. включение дистанционного управления исключает местное;

приоритет принадлежит основному пульту, т. е. включение местного управления исключает дистанционное;

отсутствие приоритета, т. е. с любого места можно взять управление на себя.

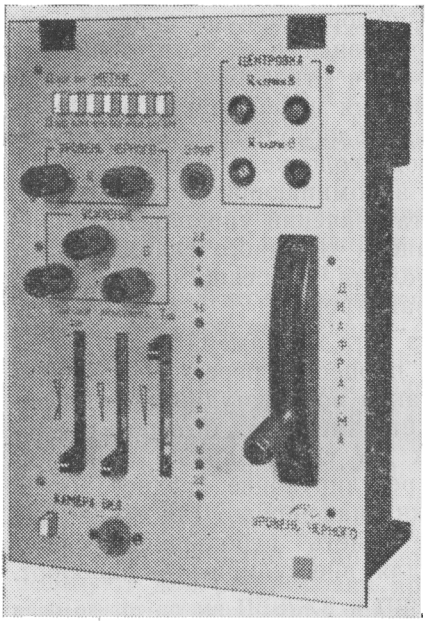


Рис. 7.1. Пульт дистанционного управления камеры КТ-Р-308

Наиболее часто используют второй вариант, поскольку он соответствует нормальной последовательности операций, т. е. настройка с помощью местного управления предшествует работе камеры с использованием панели ДУ.

Практически коммутация большого числа управляющих сигналов и команд с помощью реле или переключателей приводит к существенному усложнению и понижению надежности системы. Кроме того, для подключения панелей ДУ требуются многожильные кабели, длина которых ограничена, а масса и габариты относительно велики.

Существенно повысить гибкость и надежность системы управления позволяет применение небольшого числа цифровых (обычно не более трех) управляющих сигналов, каждый из которых передает большое число команд путем временно́го разделения. В этом случае используют относительно простые двухпроводные соединительные линии, длина которых может достигать сотен метров.

Формирование и использование цифровых управляющих сигналов можно пояснить на примере системы управления камеры TTV-1525 [102]. В простейшем варианте она охватывает четыре блока: камерные каналы, головку, пульты настройки и ДУ. Пульты соединены между собой и с камерным каналом двухпроводными линиями, передающими цифровой поток 10 кбит/с методом фазоимпульсной манипуляции на четыре фазы так, что тактовая частота составляет 40 кГц. Примененный вид модуляции при относительной простоте обеспечивает достаточную помехозащищенность, а также надежную битовую и цикловую синхронизации. Роль цикловых синхроимпульсов выполняют импульсы полей, поэтому управляющие сигналы изменяются синхронно с ТВ сигналами.

В пульте ДУ (рис. 7.2) аналоговые управляющие сигналы с движков потенциометров поступают на аналоговый мультиплек-

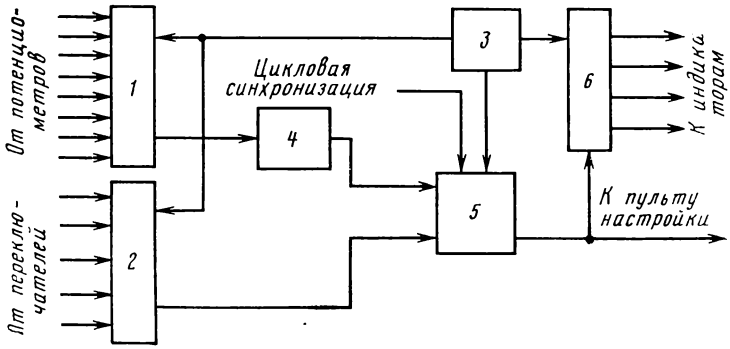


Рис. 7.2. Схема пульта дистанционного управления камеры TTV-1525

сор *1*, обеспечивающий их временное разделение. Логические команды от установленных на лицевой панели пульта переключателей уплотняются цифровым мультиплексором *2*. Оба мультиплексора управляются импульсами задающего (тактового) генератора *3* частотой 40 кГц. Аналоговые сигналы преобразуются в 8-разрядный параллельный код, т. е. квантуются на 256 уровней в аналого-цифровом преобразователе *4*. В преобразователе кодов *5* информация преобразуется в последовательный фазоимпульсный код и в таком виде передается на выход пульта ДУ и далее в пульт настройки.

Путем деления частоты 40 кГц на 4 получают частоту бит, которая затем преобразуется в частоту байт путем деления на 16. Цикловую частоту получают путем деления частоты байт на 64. Таким образом, период обновления информации (период циклов) равен приблизительно 0,1 с, что вполне приемлемо при ручном управлении, так как это меньше, чем время субъективного восприятия.

Из 16 бит каждого байта 8 используются для передачи квантованных значений одного из 64 аналоговых управляющих сигналов, один бит используется для передачи какой-либо команды ДУ, остальные семь являются служебными, их используют для управления взаимодействием двух пультов и адресации. При нулевом значении первого из этих семи бит направление передачи информации инвертируется. Это означает, что часть бит данного байта используется для передачи информации от камерного канала на индикаторы пульта. Принятая в пульте информация хранится в регистре *6*, с которого она поступает на индикаторы. Остальные биты используют для указания способа приема информации и ее адресата. Некоторые управляющие сигналы (например, сигнал, управляющий общим уровнем черного) можно получать суммированием сигналов местного и дистанционного управления, для других указывают приоритет (например, дистанционное управление имеет приоритет перед местным).

Пульт настройки (рис. 7.3) функционирует аналогично пульту ДУ с тем отличием, что его задающий генератор *3* может работать в ведомом режиме, подстраиваясь к цифровому сигналу, поступающему от пульта ДУ. Когда пульт ДУ отключен, этот гене-

ратор работает автономно на той же частоте 40 кГц. Кроме того, в пульте настройки имеется коммутатор *7*, пропускающий к камерному каналу информацию от обоих пультов, или от одного из них в зависимости от указанного приоритета.

В камерном канале часть получаемой информации поступает в ЗУ, а другая часть передается через систему уплотнения по триаксиальному кабелю в ЗУ камерной головки. При этих операциях и последующем цифро-аналоговом преобразовании тактовая частота равна 1 МГц, а частота бит 250 кГц.

Дальнейшим развитием принципа цифрового управления с запоминанием информации в местах ее использования является создание пультов настройки и управления нового типа с небольшим числом так называемых «цифровых потенциометров», на выводах которых непосредственно формируется цифровой код, изменяющийся при вращении ручки в пределах 0...255, и большим числом кнопок, задающих конкретное наименование (адрес) регулируемого параметра. Примером может служить пульт настройки и управления, расположенный на лицевой панели камерного канала CCU-360P телекамеры BVP-360P. Кроме обычных органов управления и индикаторов, предназначенных для включения питания и служебной связи, на нем расположены цифровые потенциометры — два с постоянными функциями (управление диафрагмой и общим уровнем черного) и три с функциями, задаваемыми кнопочным переключателем. При задании функции ее наименование и значение регу-

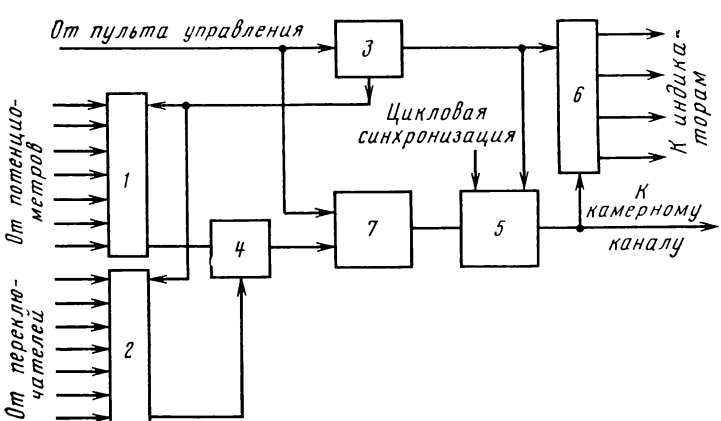


Рис. 7.3. Схема пульта настройки камеры TTV-1525:

1 — аналоговый мультиплексор; *2* — цифровой мультиплексор; *3* — задающий генератор; *4* — аналого-цифровой преобразователь; *5* — преобразователь кодов; *6* — регистр; *7* — коммутатор

лируемого параметра видны на жидкокристаллическом дисплее, например GAMMA CONTROL *R*-54 *G*-50 *B*-51.

Еще одним существенным преимуществом цифровых систем управления является возможность централизации управления настройкой в многокамерных комплексах (см. гл. 9), когда с одного или двух пультов можно настраивать десятки камер и обеспечить тем самым высокую идентичность параметров изображения [11].

7.3. АВТОМАТИЧЕСКАЯ НАСТРОЙКА

Как было указано выше, в автоматической настройке в первую очередь нуждаются те параметры камеры, которые наиболее подвержены влиянию дестабилизирующих факторов. Такими параметрами являются совмещение растров и цветовой баланс.

Совместить растры в первом приближении можно простой центровкой, т. е. перемещением красного и синего растров по отношению к зеленому. Центруют растры обычно (последовательно или одновременно) по вертикали и горизонтали путем изменения постоянных составляющих отклоняющих токов (или напряжений). Более точное совмещение по всему растру обеспечивается регулировкой размахов (амплитуд) и линейностей отклоняющих токов, т. е. размеров и равномерности растров. Наибольшую точность дает добавление к отклоняющим токам корректирующих сигналов сложной формы, т. е. изменение формы растров.

Цветовой баланс достигается при передаче черных объектов выравниванием уровней черного сигналов *R*, *G*, *B* между собой (баланс черного) и по всему полю изображения (коррекция черного), при передаче белых объектов — выравниванием уровней белого сигналов *R*, *G*, *B* (баланс белого) и каждого из них по всему полю изображения (коррекция белого), при передаче полутоновых объектов — выравниванием уровней серого путем регулировки показателей гамма-коррекции и коррекцией уровней черного путем регулировки корректоров светорассеяния.

Другие настраиваемые параметры, такие как токи лучей трубок фокусирующих и корректирующих катушек и иногда сигналы коррекции неравномерностей черного и белого, обычно являются настолько стабильными, что во многих камерах не предусмотрена их автоматическая настройка.

Принцип действия всех систем автоматической настройки иллюстрирует обобщенная структурная схема (рис. 7.4). Для настройки необходимо, чтобы на мишени передающих трубок проецировалось какое-либо испытательное изображение *1*. Изображение черного поля, необходимое для настройки баланса и коррекции черного, получают, перекрывая световой поток от объектива специальной заглушкой. Изображение испытательной таблицы можно получить либо с помощью объектива от внешней (обычно отражательной, реже просветной) таблицы, либо с помощью встроенного (или временно подключаемого к камере) диапроектора. Первый вариант позволяет корректировать погрешности, вносимые объективом, но второй является более удобным и оперативным. Следует отметить, что на практике применяют большое число различных таблиц как специальных, по которым можно проверять и настраивать только совмещение или только баланс, так и универсальных, по которым можно проверять ряд параметров и часть из них настраивать. Применение микропроцессорных систем привело к использованию особых универсальных таблиц (к сожалению, неунифицированных), представляющих собой комбинации штрихов, линий и прямоугольников разных градаций яркости с псевдослучайным расположением в поле изображения.

При подстройке совмещения в качестве испытательного можно использовать даже в процессе передачи любое изображение, содержащее достаточно большое число резких яркостных границ. Подстройку совмещения по передаваемому изображению принято называть динамической, в отличие от статической настройки по испытательной таблице. Для непрерывной автоматической подстройки совмещения в некоторых камерах (например, TTV-1515) применяют специальные оптические маркеры, проецируемые на мишени трубок за границами

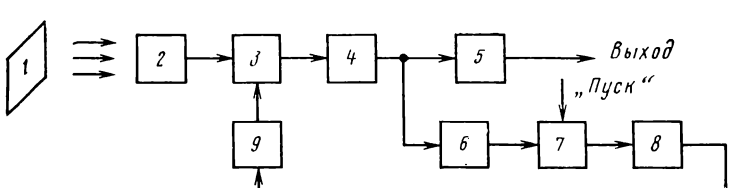


Рис. **7.4.** Обобщенная структурная схема системы автоматической настройки

видимой части растра, но в пределах развертываемого растра.

При настройке баланса белого вместо испытательной таблицы часто используют различные объекты белого цвета (лист бумаги, стена дома и т. д.). Камеру наводят на этот объект так, чтобы его изображение попало в пределы, ограниченные специальными метками, после чего нажимают кнопку «Автоматический баланс белого». Несмотря на очевидную простоту этого приема, он не гарантирует хорошую настройку баланса, так как белые объекты часто имеют какой-либо цветовой оттенок.

Информация об испытательном изображении через ряд блоков *2* камеры, предшествующих объекту управления *3*, преобразуется и через ряд последующих блоков *4*, *5* попадает на выход камеры в виде ТВ сигналов и на вход анализатора погрешностей *6* в виде сигналов цветоделенных составляющих.

Применяют анализаторы погрешности трех типов:

вырабатывающие информацию только о знаке погрешности, например «+» в случае превышения уровня опорного (зеленого) сигнала измеряемым (красным) сигналом и «—» в противоположном случае;

вырабатывающие информацию о знаке и величине погрешности, например разность уровней сигналов;

вырабатывающие информацию о значении Q положительной «критериальной» функции, например

$$Q = \int_0^V [U(t) - U_0(t)]^2 \, dt,$$

где Q — значение функции; $U_0(t)$ — опорный сигнал; $U(t)$ — анализируемый сигнал; V — длительность поля.

Преобразователь информации *7*, действующий по определенному алгоритму (в современных камерах это микропроцессор, работающий по заданной программе), формирует уточненные значения управляющих сигналов, которые поступают в ЗУ *8*, где их хранят до следующего изменения в виде напряжений на конденсаторах, положения мотор-потенциометров или кодовых комбинаций. Работа преобразователя начинается по команде «Пуск» и заканчивается после изменения знака погрешности в первом и втором вариантах или по достижении достаточно малого, в идеальном случае нулевого, значения Q (в третьем варианте) [36]. Поэтому использование функции Q иногда называют «нулевым методом». Достоинством «нулевого метода» является то,

что он пригоден для настройки различных параметров, в том числе одновременной настройки нескольких параметров с помощью одного анализатора.

Алгоритм работы преобразователя информации может быть как весьма простым, так и очень сложным. Примером простого алгоритма может служить применяемое во многих камерах формирование управляющего сигнала реверсивным счетчиком, на счетный вход которого поданы импульсы полей, а входы «+» и «—» соединены с соответствующими выходами анализатора погрешностей. При этом счетчик выполняет еще и функцию хранения информации, поэтому отдельное ЗУ не требуется. Тем не менее, поскольку в режиме хранения информации счетчики по сравнению со специализированными микросхемами, предназначенными только для запоминания данных, обладают большим потреблением энергии и меньшей помехоустойчивостью, в системах автонастройки применяют и отдельные ЗУ.

На рис. 7.5 показана упрощенная структурная схема системы автоматической настройки балансов белого и черного телекамеры ВЖ/ВВП модели MNC-100 [104]. На вход системы поступают видеосигналы *R*, *G*, *B*. Пройдя схему фиксации уровня *1*, они поступают на компараторы *2*, в которых уровни сигналов *R* и *B* сравниваются с уровнем сигнала, принятого за опорный. Коммутатор *3* поочередно подключает выходы компараторов ко входам реверсивного счетчика *4*, который наращивает или уменьшает значение записанного в нем цифрового кода в зависимости от знака ошибки. Цифро-аналоговый преобразователь *5* преобразует этот код в аналоговый управляющий сигнал, значения которого запоминаются в четырехканальной схеме выборки и хранения *6*. С четырех ее выходов снимают напряжения, управляющие соответственно уровнями черного и усилениями в каналах R и B. Когда достигается значение какого-либо из четырех управляющих сигналов, обеспечивающее баланс, оно заносится в отдельное ЗУ *7*. Переключение коммутатора *3* и адресацию ЗУ *7* обеспечивает адресный счетчик *8*,

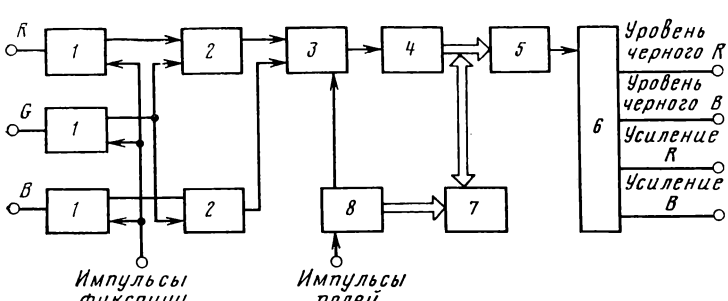


Рис. 7.5. Схема системы автоматической настройки балансов белого и черного камеры MNC-100

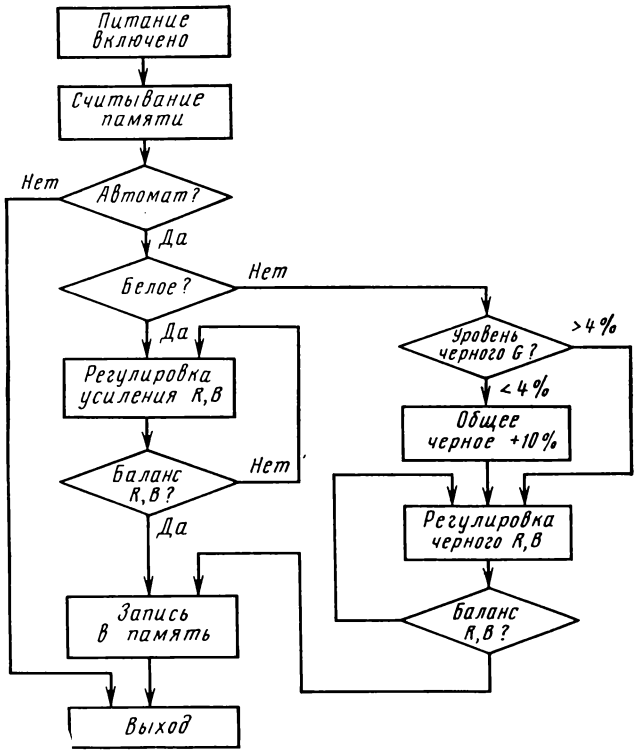


Рис. 7.6. Алгоритм автоматической настройки балансов белого и черного камеры MNC-100

тактируемый импульсами полей. Информация, записанная в ЗУ, сохраняется даже при выключении питания. При повторном включении питания эта информация считывается и записывается вновь в ОЗУ. Информация, записанная в ОЗУ, используется для получения аналоговых управляющих сигналов.

На рис. 7.6 показана схема относительно простого алгоритма автонастройки балансов черного и белого в камере MNC-100. Работа начинается с включения питания и считывания данных из неразрушающейся памяти. Если автонастройка не запрашивается, то управляющие сигналы определяются этими данными и камера считается настроенной. Если автонастройка запрашивается, то выясняют, какой баланс требуется корректировать (белого или черного). При настройке баланса белого усиление в каналах R и B регулируют до тех пор, пока не будет достигнут баланс. Результаты настройки записываются в память, после чего камера считается настроенной. При настройке баланса черного вначале проверяют уровень черного канала G. Если он не превышает 4% номинального уровня белого, то общий уровень черного (всех трех каналов) поднимается на 10%, чтобы избежать искажения регулируемых сигналов защитными ограничителями системы обработки видеосиг-

налов. Если он превышает 4%, то подъем общего уровня черного не требуется. Затем уровни черного в каналах R и B регулируются до тех пор, пока не будет достигнут баланс. Результаты настройки записываются в память, после чего камера считается настроенной.

Сложные алгоритмы преобразования информации, реализуемые, как правило, в виде программ для микропроцессоров, здесь не рассматриваются в связи с ограниченным объемом книги. Частично они изложены в [12, 37, 83].

Указанное на рис. 7.4 исполнительное устройство *9* преобразует изменение управляющего сигнала в изменение параметров объекта управления. Например, при настройке совмещения размах тока в отклоняющей катушке изменяется либо аналоговым перемножителем, либо с помощью аттенюатора, управляемого параллельным кодом.

Упомянутые в § 7.2 мотор-потенциометры одновременно выполняют функции преобразователя информации, запоминающего и исполнительного устройств. Поэтому система автоматической настройки на мотор-потенциометрах фактически состоит только из анализатора погрешностей.

Примером использования системы автоматической настройки на мотор-потенциометрах является камера КТ-132 [57]. В режиме настройки балансов черного и белого используют анализатор (компаратор уровней), один из входов которого постоянно подключен к опорному уровню, а второй поочередно к контрольным выходам сигналов R, G, B. Выход анализатора при этом синхронно подключается к соответствующим мотор-потенциометрам, регулирующим уровни черного и усиление сигналов R, G, B. В режиме статической настройки совмещения на мишени трубок проецируется изображение стандартной испытательной таблицы 0373. Анализируется рассогласование во времени сигналов R и B по отношению к сигналу, растр которого принят за опорный. По результатам анализа формируются сигналы, управляющие размерами и центровками растров в каналах R и B. Необходимым условием правильной работы системы статической настройки совмещения является предварительная настройка цветового баланса. В режиме динамической настройки совмещения регулируются только центровки растров R и B путем анализа временного положения фронтов видеосигналов, полученных от любых черно-белых объектов, если таковые содержатся в передаваемом изображении. При их отсутствии сохраняются ранее установленные значения управляющих сигналов. Недостатком здесь является использование в качестве исполнительных электромеханических устройств, что снижает быстродействие системы автоматического регулирования.

Примером использования системы автоматической настройки с микропроцессорами является камера TTV-1525C [84]. В ней вместо традиционных пилообраз-

ных и параболических сигналов, корректирующих геометрию и совмещение растров, используются сигналы сложной формы, формируемые по результатам анализа 182 зон (участков растра) специальной отражательной таблицы. Каждая зона корректируется отдельно. На первом этапе только измеряют погрешности. После этого микропроцессор обрабатывает относительные разности, формируя цифровые корректирующие сигналы, которые затем фильтруются линейным 8- или 12-разрядным интегратором и вводятся в цепи развертки. В результате настройки почти по всей площади растра обеспечивается точность совмещения 0,05%.

Неравномерности уровней черного и белого в этой камере корректируют аналогично. Коррекция черного осуществляется при перекрытии заглушкой светового потока объектива; для коррекции белого можно использовать любое достаточно яркое изображение, от которого можно получить сигналы достаточного размаха. Если условия измерений неудовлетворительны, то информация об этом выдается на алфавитно-цифровой дисплей, управляемый микропроцессором. Предусмотрено три режима настройки, различающихся быстродействием и точностью:

по результатам измерения 160 точек, расположенных по двум осям изображения (рис. 7.7, *а*); это самый быстрый, но наименее точный режим;

по результатам измерения тех же 160 точек и дополнительных точек по краям растра (рис. 7.7, *б*);

по результатам измерения большого числа точек по всему растру (рис. 7.7, *в*). Это наиболее длительный (требующий нескольких минут), но наиболее точный режим — корректируются неравномерности участков, площадь которых составляет 1/8000 площади растра.

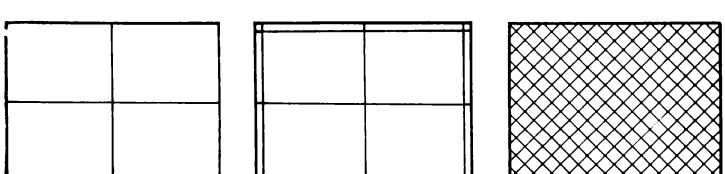


Рис. 7.7. Анализ равномерности уровней видеосигналов в камере TTV-1525C:
а — по осям; *б* — по осям и краям; *в* — по всей площади растра

Для минимизации массогабаритных характеристик и потребления энергии, что особенно важно для камер ВЖ, применяют конструктивное разделение систем автоматической настройки на две части. Одна часть содержит ЗУ, исполнительные устройства (ЦАП, схемы выборки и хранения и т. д.) и аккумулятор питания ЗУ и размещается в камерной головке. Другая более сложная часть содержит анализатор погрешностей и преобразователь информации (обычно на основе микропроцессора) и размещается в отдельном блоке, подключаемом короткими кабелями к камерной головке только на время настройки.

Примерами такого построения являются системы автонастройки камер TTV-1623 (рис. 7.8) и BCC-20. Блок BR-33, подключаемый к камере TTV-1623, обеспечивает автонастройку геометрии и совмещения растров, а также коррекцию неравномерности уровней черного и белого. Может использоваться как диапроектор, так и внешняя испытательная таблица. Потребляемая блоком BR-33 мощность составляет всего 3 Вт.

В камере BCC-20 фирмы «Ампекс» используются две микропроцессорные системы (рис. 7.9) — одна в камерной головке, вторая — в блоке автоматической настройки [11, 83]. Сигналы *R*, *G*, *B*, формируемые передающими трубками *1*, поступают в блок обработки *2*, куда поступают также сигналы коррекции неравномерности уровней из блока корректоров *4*. Характеристики гамма-корректоров, имеющихся в блоке *2*, могут изменяться под действием управляющих сигналов. Микропроцессор *5* управляет работой блока корректоров *4*, гамма-корректорами в блоке *2*, процессом декодирования управляющих сигналов в блоке *6*, а также записью в память поступающей извне информации. Блок *4* формирует, кроме того, сигналы коррекции геометрических искажений и рассовмеще-

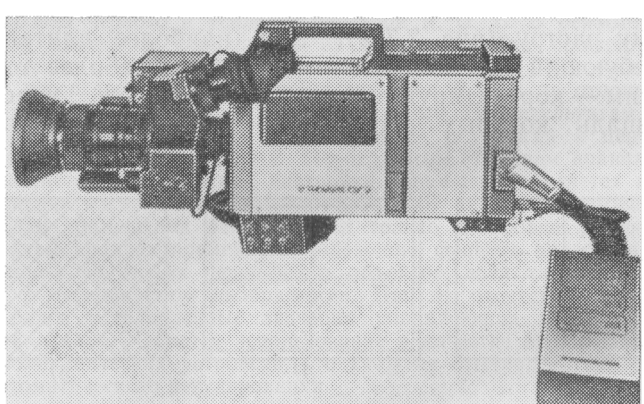


Рис. 7.8. Подключение блока автоподстройки к камере TTV-1623

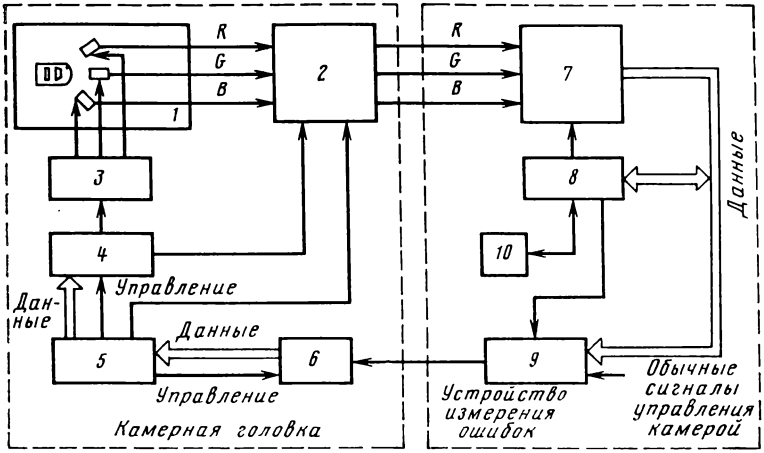


Рис. 7.9. Схема системы автоматической настройки камеры ВСС-20

ния растров. Они поступают на передающие трубки через соответствующие выходные каскады *3*.

Из блока *2* видеосигналы поступают по кабелям в блок измерения ошибок *7*, на выходе которого формируются цифровые данные об ошибках. Затем они кодируются в блоке *9* для последовательной передачи по кабелю в камерную головку. В этот же блок вводят обычные сигналы управления камерой (синхронизации, фокусировки, диафрагмирования и др.). Основной микропроцессор *8* выполняет следующие функции:

управляет отдельными узлами блока *7*, переключающими сигналы *R*, *G*, *B* и сигналы ошибок для передачи их по шине данных из блока *7* в блок *9*; *10* — пульт управления;

синхронизирует все операции в блоках *7* и *9* и задает последовательность точек измерения на растре;

управляет работой блока кодирования *9* и вырабатывает адреса точек коррекции на растре, которые затем направляются в камерную головку.

Переданные по кабелю данные декодируются в блоке *6* и подводятся к микропроцессору *5* камерной головки. К нему подключена основная цифровая память, где накапливаются данные управления всеми узлами камерной головки.

Автонастройка производится перед передачей. На трубки с помощью встроенного диапроектора проецируют испытательное изображение, состоящее из 14 полос черных и белых прямоугольников, подобное шахматному полю, но с отдельными рядами серого поля (по которым настраиваются гамма-корректоры). Это обеспечивает разделение всего растра на отдельные прямоугольные участки, в которых берутся отсчеты для измерения искажений. Активная часть кадра разделена на 182 зоны. В процессе коррекции от каждой зоны берется одно усредненное значение ошибки. Кроме того, в таблице содержатся по девять симметрично расположенных черных и белых прямоугольников, предназначенных для грубой настройки совмещения и девять несимметрично расположенных кружков.

Настройка основана на сравнении опорного изображения электронной испытательной таблицы и изображения, получаемого с помощью диапроектора. После грубой коррекции совмещения и геометрии растров с точностью 125 нс по горизонтали и одна строка по вертикали производится точная настройка по элементам шахматного поля с точностью 0,05% от высоты изображения во всех 182 зонах. Высокая точность совмещения обеспечивается использованием тактовой частоты аналого-цифрового преобразования 8 МГц, а также предварительной автоматической коррекцией светорассеяния, неравномерностей черного и белого, настройкой характеристик гамма-корректоров и автоматической настройкой ортогональности падения и фокусировки электронных лучей. Уменьшение вредного влияния шумов достигается многократным повторением операций анализа с усреднением результатов.

В автоматизированной студийной камере ТК-48 фирмы RCA предусмотрена ручная подстройка цифровых управляющих сигналов с помощью специального блока — так называемой «электронной отвертки», подключаемого к гнезду на камерной головке. После окончания подстройки «отвертка» отключается и камера работает в соответствии с данными, хранящимися в ЗУ.

Как было указано выше, при использовании цифровых управляющих сигналов возможна настройка большого числа камер с одного *пульта централизованной настройки*. Если число камер превышает 6—8, то обычно подключают второй идентичный пульт для резервирования и ускорения настройки, которая в этом случае может проводиться двумя видеоинженерами.

Доступ к конкретной настраиваемой камере, т. е. иерархическую коммутацию контролируемых видео- и управляющих сигналов, осуществляют отдельные блоки двух типов — переключатель камер и переключатель групп камер. Число проводников в кабелях, по которым передаются контрольные сигналы, может достигать 20—30. Цифровые управляющие сигналы передаются по двухпроводным линиям, число которых обычно не превышает трех. Расстояние между пультами централизованной настройки и переключателями, которыми они управляют, может достигать 100 м.

Важным достоинством централизованной настройки является возможность достижения идентичных характеристик камер. Любая из камер может быть принята за эталон. В частности, амплитудные характеристики канала этой камеры могут быть опорными как для подстройки характеристик каналов R и B эталонной камеры, так и для подстройки характеристик каналов R, G, B всех остальных камер.

В памяти цифровой системы может храниться управляющая информация для большого числа вариантов на-

стройки — система файлов настройки. Различные варианты настройки необходимы в следующих случаях:

при изменении настройки в соответствии с творческими (художественными) замыслами режиссера; при переходе к передаче других сюжетов (например, смена освещения); при изменении эталона; при смене объектива.

Использование системы файлов позволяет в процессе передачи выполнять операции, которые традиционно относились к настройке перед передачей. В частности, наличие файла сюжетов позволяет, не прерывая передачи, переходить от ярко освещенного поля стадиона к затененным участкам трибун. При этом обеспечивается требуемая перестройка управления диафрагмой объектива и коррекция контраста. При переходе от показа печатного текста к показу лица человека обеспечивается перестройка степени апертурной коррекции, при влиянии атмосферной дымки перестраивается общий уровень черного и т. д. Наличие файла объективов позволяет при трансфокации и диафрагмировании автоматически компенсировать изменение хроматических аберраций объектива. Кроме перечисленных применяются и другие файлы, например файл компенсации температурных изменений оптико-механического блока в камере SK-970 фирмы «Хитати».

Системы файлов имеются только у наиболее совершенных студийно-внестудийных камер, причем номенклатура файлов и число файлов каждого типа различны у разных моделей. Например, в камере TTV-1525C имеется только четыре файла сюжетов, а в BVP-360P с пультом централизованной настройки MSU-360P предусмотрено 8 файлов настройки, 64 файла сюжетов, 2 файла эталонов и 16 файлов объективов.

К сожалению, форматы цифровых управляющих сигналов у камер разных моделей не совпадают, что не позволяет использовать пульты централизованной настройки для множества камер, находящихся в эксплуатации. Таким образом, каждая фирма выпускает замкнутые многокамерные комплексы, состоящие из камер только этой фирмы, пультов централизованной настройки, пультов управления и переключателей управляющих и контрольных сигналов.

Следует отметить, что централизованная настройка не обязательно предполагает автоматическую настройку в полном объеме. Например, в системе централизован-

ной настройки камер серии SK фирмы «Хитати» предусмотрено 10 режимов: 1) полная автоматическая настройка; 2) автонастройка совмещения; 3) автонастройка цветового баланса; 4) автонастройка цветового баланса по внешнему эталону; 5) автонастройка усилений, размеров, центровок, линейности и перекосов растров в каналах R и B по внешней испытательной таблице; 6) быстрая автонастройка девяти параметров, наиболее сильно влияющих на качество изображения; 7) диагностика исправности камеры в части электропитания, синхронизации и прохождения видеосигналов через основные блоки; 8) автонастройка баланса белого; 9) автонастройка баланса черного; 10) ручная настройка.

7.4. АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Необходимость автоматического управления камерой обусловлена тем, что, во-первых, в процессе передачи часто приходится одновременно регулировать несколько параметров, что превышает физические возможности человека, и, во-вторых, изменения условий передачи происходят иногда так быстро, что человек не успевает правильно отреагировать. Кроме того, квалификация человека может оказаться недостаточной; особенно это относится к бытовым телекамерам. Прикладные телекамеры часто работают вообще без участия человека (например, в системах наблюдения), поэтому для них особенно важно наличие автоматического управления.

В процессе передачи, как правило, автоматически регулируются положение диафрагмы, общий уровень черного, контраст, токи лучей передающих трубок, фокусировка объектива, степень апертурной коррекции. В некоторых моделях камер регулируется только часть перечисленных параметров. Существуют такие типы и модели камер, в которых регулируются дополнительно и другие параметры, например в телекинокамерах в процессе демонстрации фильма автоматически подстраивается цветовой баланс, а в бытовых телекамерах автоподстройка баланса белого производится непрерывно во время видеосъемки путем анализа цветовой температуры освещения.

Схемы систем автоматического управления всеми перечисленными параметрами в принципе соответствуют обобщенной структурной схеме, показанной на рис. 7.5, с теми отличиями, что вследствие непрерывности работы функции анализатора погрешностей, преоб-

разователя информации и ЗУ, как правило, объединяют в одном узле, а вместо команды «Пуск» используют команду включения автоматического режима, который может продолжаться сколь угодно долго.

Возможны два варианта управления диафрагмой объектива — знаковое (релейное), при котором задается направление и иногда скорость движения привода диафрагмы (этот вариант широко применяется в бытовых и прикладных телекамерах), и позиционное, при котором задается требуемое положение диафрагмы, обеспечиваемое приводом с механической связью электродвигателя и отслеживающего потенциометра. В подавляющем большинстве вещательных телекамер применяют позиционное управление, так как оно позволяет применять и ручное управление, и дистанционную индикацию положения диафрагмы.

Автоматическая регулировка диафрагмы (АРД). При ней наибольшую сложность представляет анализ погрешности, а именно измерение «характеризующего» уровня белого. При передаче изображения белого листа бумаги или испытательной таблицы этот уровень совпадает с максимальным уровнем любого из трех сигналов R, G, B. При передаче цветных объектов с малой яркостью и большой насыщенностью оптимальным по субъективному восприятию (см. § 8.2) является измерение уровней сигнала неаддитивной яркостной смеси. Однако и в случае измерения сигнала $Y_{н.с}=\max(R, G, B)$* необходим анализ распределения уровней яркости по площади растра. Дело в том, что в центре растра обычно располагаются сюжетно важные детали, а на его краях освещенность может быть без особого ущерба для восприятия как резко повышенной (участки неба, светильники и т. п.), так и резко пониженной (тени, открытые двери домов на улице). Поэтому яркости периферийных участков обычно исключают из анализа. Для этого применяют два способа.

По первому способу анализируемый сигнал $Y_{н.с}$ умножается на импульсный сигнал прямоугольного выделяющего «окна». Этот способ отличается простотой и широко применяется, но имеет тот недостаток, что при панорамировании и трансфокации результат анализа скачкообразно изменяется, как только в пределы «окна» попадает объект с высокой яркостью, в результате

* В международных стандартах этот сигнал обозначают Y_{NAM}, где NAM—Non Additive Mixing.

чего диафрагма резко закрывается, создавая у зрителя неприятные ощущения в связи с быстрой сменой средней яркости изображения.

По второму способу сигнал $Y_{н.с}$ суммируется или перемножается с выделяющим сигналом, плавно спадающим от центра растра к его краям. В этом случае закрытие диафрагмы при панорамировании и трансфокации происходит плавнее и субъективное восприятие изображения улучшается.

Яркости очень мелких деталей, очевидно, не влияют на общую оценку изображения. Считается, что следует учитывать яркости деталей, площадь которых превышает 1...2% общей площади растра. В то же время, если в изображении имеется единственная яркая деталь небольшого размера на темном фоне, то оно воспринимается, как плохое. Поэтому желательно учитывать как пиковые яркости достаточно крупных деталей, так и среднюю яркость изображения. Неплохие результаты дает применение измерителей, в которых за «характеристический» уровень белого принимают полусумму пикового и среднего уровней. Такие измерители применяются во многих вещательных телекамерах.

Типичной является схема автоматической регулировки диафрагмы (рис. 7.10), примененная в камерах КТР-308 и КТ-320 (*1* — оптическая система, *2* — система преобразования свет-сигнал). В ней сигналы *R*, *W*, *B* с дополнительных выходов системы обработки видеосигналов *3* (до гамма-коррекции и защитного ограничения уровней) поступают на измеритель *4* уровня белого в строке. Этот измеритель содержит пиковый детектор сигнала $Y_{н.с}$ со сбросом в начале строки и формирует сигнал, пропорциональный максимальной яркости достаточно крупных деталей, имеющихся в данной строке растра. Затем этот сигнал в сумматоре *6* складывается с выделяющим сигналом, формируемым генератором *5*. Выделяющий сигнал постоянен в центральной части растра и спадает до уровня 50% на верхнем и нижнем краях. Это обеспечивает по-

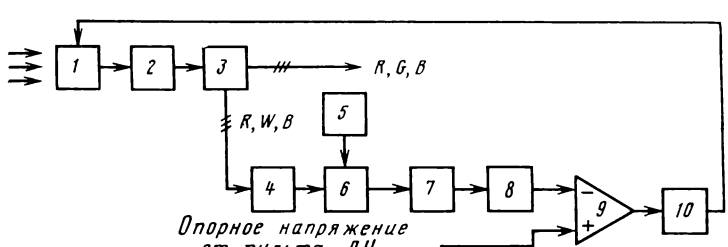


Рис. **7.10.** Схема автоматической регулировки диафрагмы в камерах КТР-308 и КТ-320

стоянство диафрагмы при горизонтальном панорамировании. Пиковый детектор *7* выделяет сигналы наиболее ярких строк кадра, однако постоянная его разряда (приблизительно 3 мс, т. е. 50 строк) такова, что темные участки также влияют на средний уровень, выделяемый фильтром нижних частот *8*. Полоса частот, выделяемых фильтром *8*, составляет приблизительно 10 Гц, поэтому внутрикадровые различия яркости он полностью подавляет, и в то же время его инерционность не слишком велика, поэтому система успевает реагировать на общее изменение яркости за доли секунды. В компараторе *9* измеренный «характеристический» уровень белого сравнивается с опорным уровнем, поступающим с пульта ДУ, что позволяет даже в автоматическом режиме подстраивать диафрагму в некоторых пределах. Через нелинейный ФНЧ *10* сигнал управления подается на привод диафрагмы, т. е. в оптическую систему камеры. Назначение нелинейного ФНЧ состоит, во-первых, в обеспечении сочетания устойчивости и быстродействия, так как его полоса частот резко снижается по мере уменьшения ошибки (приближения к установившемуся режиму), и, во-вторых, в обеспечении разных скоростей открытия и закрытия диафрагмы. При попадании в кадр ярких объектов диафрагма закрывается приблизительно втрое быстрее, чем она открывается при недостаточной освещенности. Это, во-первых, способствует сохранности передающих трубок и, во-вторых, улучшает субъективное восприятие изображения.

Кроме описанного выше режима автоматической регулировки диафрагмы, часто предусматривают режим полуавтоматической регулировки — так называемый режим «моментальной диафрагмы». Применяются два варианта. По первому варианту постоянно работают все блоки системы авторегулирования, кроме привода диафрагмы. При нажатии кнопки «моментальная диафрагма» на привод подается питание и автоматически устанавливается значение диафрагмы, оптимальное для данного сюжета. Затем кнопка отпускается и значение диафрагмы сохраняется до следующего нажатия. Второй вариант отличается тем, что при нажатии кнопки на экране видоискателя появляется световая метка «малого окна», занимающего примерно 1,5% площади растра. Оператор должен навести камеру так, чтобы совместить метку с объектом, который он принимает за эталонный, например стеной дома или белой одеждой. При отпускании кнопки метка пропадает и значение диафрагмы сохраняется до следующего нажатия или до включения режима автоматической регулировки. Применяют режим «моментальной диафрагмы», когда общая освещенность изменяется мало, но из-за движения ярких объектов в кадре автоматическая регулировка могла бы привести к нежелательным изменениям диафрагмы.

Автоматическая регулировка общего уровня черного (АРЧ) с целью его стабилизации

при передаче различных объектов предусматривается во многих камерах. Общий принцип этой регулировки сходен с принципом автоматической регулировки диафрагмы. Отличие состоит в использовании пиковых детекторов по минимуму, а не по максимуму, т. е. измеряется «характеристический» уровень черного в сигнале $B_{н.с}=\min(R, G, B)$. В некоторых моделях камер, например в КТР-308, вместо сигнала $B_{н.с}$ используют сигнал Y. Управляющий сигнал при этом подается либо на цепи фиксации уровней черного каналов R, G, B (или Y), либо на регулируемые гамма-корректоры (см. рис. 6.3).

Авторегулировку контраста (АРК) применяют в новых моделях камер дополнительно к авторегулировке общего уровня черного или вместо нее. Основные трудности при этом заключаются в измерении «характеристического» контраста изображения. Например, в камере Mark-IX используется простейший критерий, связанный с соотношением площадей светлых и темных участков,— средний уровень яркости изображения [117]. Примером использования более сложного критерия является система авторегулировки контраста камеры КТ-320 (рис. 7.11). Сигнал Y с дополнительного выхода системы обработки (после гамма-коррекции и регулировки уровня серого (см. рис. 6.5), но до защитного ограничения уровней) поступает на измеритель *4* уровня черного в строке. Затем этот сигнал в сумматоре *5* складывается с сигналом яркости, образуя сигнал, характеризующий локальный контраст данной строки изображения. В компараторе *6* он сравнивается с опорным напряжением, поступающим от пульта ДУ и задающим желаемый контраст изображения. Выходной сигнал компаратора через ФНЧ *7* с полосой пропускаемых частот приблизительно 10 Гц подается на управляющий

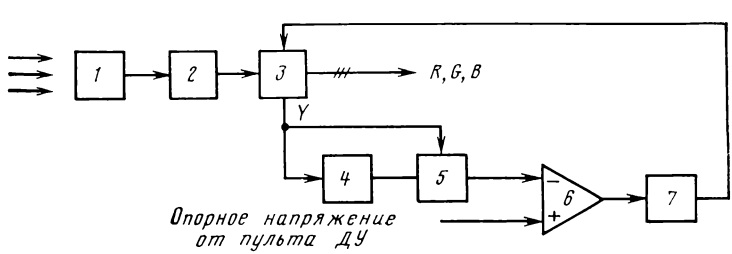


Рис. **7.11.** Схема автоматической регулировки контраста в камере КТ-320

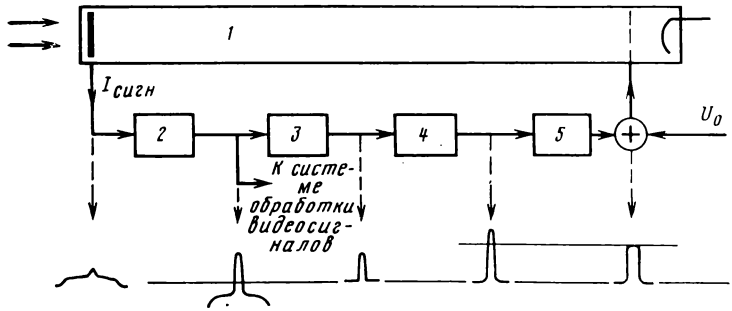


Рис. 7.12. Схема автоматической регулировки тока луча

вход регулятора серого, имеющегося в системе обработки видеосигналов *3*, *1* — оптическая система, *2* — система преобразования свет-сигнал. Регулировка происходит до получения определенной скважности импульсов на выходе компаратора *5*, что соответствует определенному соотношению площадей темных и светлых участков изображения, характеризующему субъективно оцениваемый контраст.

Автоматическую регулировку тока луча (АРТЛ) [1] (в зарубежной литературе применяют термины Automatic Beam Optimisation и Dynamic Beam Coutrol [90]) применяют для частичного подавления искажения ярких движущихся объектов (так называемого «хвоста кометы») во многих камерах, особенно в камерах на передающих трубках с диодным прожектором. Принцип этой регулировки заключается в увеличении тока луча на участках изображения с большой яркостью. Имеются две основные схемы АРТЛ — с измерением тока катода и обратной связью по возвратному току (разности между током луча и сигнальным током) и с измерением сигнального тока. Первый способ, являющийся более сложным, применялся с меньшим эффектом в камерах на трубках с триодным прожектором. Второй способ применяют в камерах на трубках с диодным прожектором. Он позволяет с малыми искажениями считывать сигналы от участков изображения с яркостью до 1000% от номинальной. На рис. 7.12 показана схема АРТЛ с измерением сигнального тока. Ток сигнальной пластины передающей трубки *1* усиливается в предварительном усилителе *2*, полученный сигнал поступает в систему обработки видеосигналов и на ограничитель *3*, пропускающий только сигналы, уровень ко-

торых превышает 140...160%, затем они усиливаются в усилителе *4* и ограничиваются по максимуму (800...900%) в ограничителе *5*. После суммирования с постоянным напряжением U_0 сигнал подается на управляющий электрод трубки. Когда сигналы не превышают порога ограничителя *3*, действует только напряжение U_0 и ток луча достаточен для считывания сигналов с уровнем до 200%. Нарастание сигнала выше порога ограничителя *3*, но ниже порога ограничителя *5* вызывает увеличение тока луча. В отличие от других систем автоматической регулировки система АРТЛ обеспечивает положительную обратную связь и поэтому особенно склонна к возбуждению, что требует тщательной регулировки и не позволяет добиться полной компенсации искажений.

На рис. 7.13, *а* показана регулировка трех трубок каналов R, G, B тремя независимыми системами АРТЛ. Для сокращения объема аппаратуры иногда применяют схему рис. 7.13, *б*, но при этом не компенсируются искажения ярких объектов красного и синего цветов. Схема рис. 7.13, *в* обладает достоинствами двух предыдущих, но допускает возрастание токов лучей всех трех трубок без необходимости (в ситуациях, когда достаточно увеличить ток одной или двух трубок). В последних моделях камер усилители и ограничители АРТЛ размещают

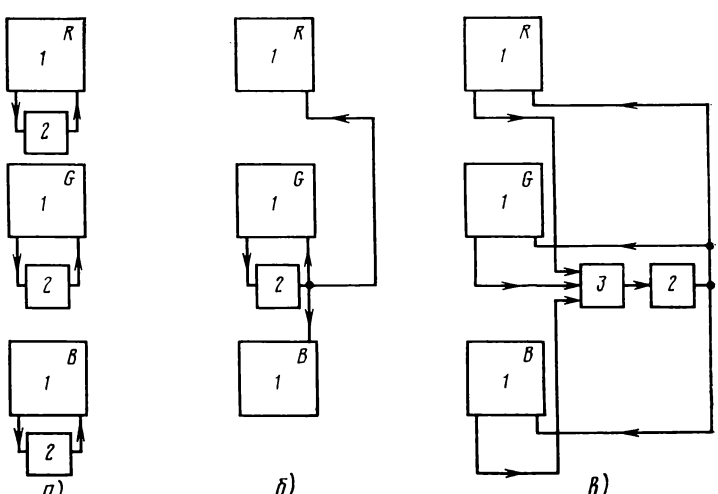


Рис. **7.13.** Варианты подключения системы АРТЛ
1 **— передающая трубка;** ***2*** **— система АРТЛ;** ***3*** **— детектор максимума**

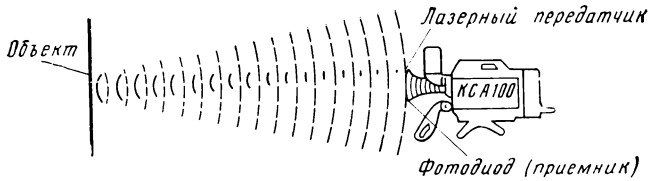


Рис. **7.14.** Схема автоматической фокусировки в телекамере КСА-100

в одной микросхеме, поэтому в них вновь используется схема рис. 7.13, *а*.

Автоматическая регулировка степени апертурной коррекции (АРАК) основана на стабилизации соотношения контрастов мелких и крупных деталей путем измерения (детектирования) размаха сигнала мелких деталей и подачи полученного напряжения на регулятор степени апертурной коррекции. Эта система особенно эффективна при резком изменении четкости исходного изображения, например при панорамировании с печатного текста на лицо человека или при трансфокации с общих планов на крупные.

Автоматическая регулировка фокусировки (АРФ) часто применяется в прикладных и бытовых, а иногда и в вещательных телекамерах. Существуют два способа АРФ. По одному из них на камерной головке устанавливают источник импульсного невидимого (обычно инфракрасного, реже ультрафиолетового) излучения и приемник этого излучения. Например, в камере КСА-110 фирмы «Бош» используется полупроводниковый лазер, излучающий в ИК диапазоне узконаправленный (10°) поток малой интенсивности (рис. 7.14). Отраженное от объекта излучение принимается фотодиодом, по времени запаздывания определяется расстояние до объекта и с помощью привода соответственно фокусируется объектив. Система действует на расстоянии до 30 м. Слабое лазерное излучение не опасно для глаз. Недостатком рассмотренного способа является ограниченность его применения объектами с малой глубиной. При наличии в кадре нескольких объектов, удаленных на разные расстояния, система оказывается неэффективной.

Второй способ АРФ отличается от описанной выше АРАК объектом управления и критерием оптимизации. Управляющий сигнал подается не на регулятор степени апертурной коррекции, а на привод фокусировки,

регулировкой получают максимальный размах сигнала мелких деталей. Этот способ также малоэффективен при передаче сюжетов с несколькими разнородными объектами. Следует отметить, что системы АРФ и АРАК могут работать дополняя друг друга.

Авторегулировка баланса белого (АРББ), принципиально отличающаяся непрерывностью действия от предварительной настройки баланса белого, рассмотренной в § 7.3, используется в некоторых моделях бытовых камер и телекинокамер. Существуют два способа такой регулировки. Первый основан на измерении цветовой температуры освещения по соотношению сигналов двух фотоприемников, снабженных красным и синим светофильтрами. Результат измерения используется для управления регулируемыми усилителями в каналах R и B. Этот способ применяют только в бытовых телекамерах. Второй способ заключается в изменении усиления в каналах R и B до тех пор, пока усредненные по полю изображения значения цветоразностных сигналов не станут равными нулю. Оба способа имеют тот недостаток, что из-за упрощенного критерия (получения в среднем ахроматических изображений) возможно сильное искажение цветопередачи насыщенных объектов.

Глава 8.

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

8.1. СИНХРОНИЗАЦИЯ

Общие сведения. При совместной работе телекамер с микшерно-коммутационной телевизионной аппаратурой требуется обеспечить синхронность и синфазность сигналов всех источников в точке коммутации. Эта задача традиционно решается путем подачи синхроимпульсов или команд управления от центрального синхрогенератора на все объединенные в комплекс устройства. Каждая камера в этом случае работает в режиме *внешней синхронизации,* а ее внутренние синхроимпульсы формируются из импульсов внешнего синхрогенератора или подстраиваются к ним. Напротив, при работе камеры в составе замкнутых комплексов «камера — видеомагнитофон» или «камера — видеомонитор» выход-

ной сигнал является опорным для других устройств, а камера функционирует автономно в режиме *внутренней синхронизации,* обеспечивая необходимую стабильность строчной частоты. Обычно допустимая относительная нестабильность находится в пределах $10^{-6}...10^{-4}$, поэтому в качестве задающих в камерах используют, как правило, термокомпенсированные или термостатированные кварцевые генераторы.

В камерах, предназначенных только для работы в многокамерных комплексах, режим внутренней синхронизации не требуется и не предусматривается. Имеются также такие модели прикладных и бытовых камер, которые не могут работать в режиме внешней синхронизации.

Внешняя синхронизация. Существует четыре основных варианта внешней синхронизации. По первому (простейшему) варианту в камеру от синхрогенератора поступают «ведущие» импульсы строчной (ИС) и полевой (ИП) частот, фронты которых несколько опережают начала строчных и полевых гасящих интервалов соответственно. Иногда к ним добавляются опережающие гасящие (ГИ) и синхронизирующие (СИ), а также импульсы цветовой синхронизации (ИЦС). Таким образом, число линий, соединяющих камеру с синхрогенератором, находится в пределах 2...5. Поступающие в камеру импульсы после формирования и небольшой задержки (примерно 1 мкс) используются для запуска генераторов разверток, управления ключами гашения и т. д. Так реализуется *прямая внешняя синхронизация,* при которой требуется много кабельных линий и довольно сложно согласовать задержки, чтобы обеспечить точную синфазность видеосигналов в точке коммутации. Тем не менее с учетом простоты и надежности прямая синхронизация широко используется, особенно в прикладных телекамерах. Для снижения числа соединительных линий до одной были разработаны системы *кодированной синхронизации:* СЦС-2 (СССР) Monosync (Великобритания) SBU-2 (Франция) и др. При использовании подобных систем в синхрогенераторе дополнительно устанавливают блок кодирования импульсов, а в камере — блок декодирования. Однако из-за сложности, сравнительно низкой помехоустойчивости и отсутствия международной стандартизации эти системы нашли лишь ограниченное применение.

Второй вариант отличается от первого тем, что импульсы внешнего синхрогенератора используются толь-

ко в качестве опорных для подстройки фазы импульсов внутреннего синхрогенератора камеры. При этом из сигнала управляемого генератора задающей частоты f_0 с помощью фазируемых счетчиков вырабатываются все необходимые импульсы — ИС, ИП, ГИ, СИ, ИЦС и др. Частота f_0 обычно выбирается в пределах от 31,25 кГц до 10 МГц. Режим *ведомой импульсной синхронизации* широко используют в студийных телекамерах и в камерах ВВП. Его основными преимуществами являются возможность автономной работы и плавная регулировка фазы выходных сигналов в широких пределах.

Третий из упомянутых вариантов режима отличается от второго тем, что опорные импульсы ИС, ИП и ИЦС выделяются с помощью амплитудных, частотных и временны́х селекторов из внешнего (ведущего) полного цветового ТВ сигнала, содержащего всю необходимую информацию в синхросигнале и сигнале цветовой синхронизации. Такую синхронизацию, *ведомую синхронизацию по видеосигналу* (genlock), широко применяют в камерах ВЖ и ВВП, особенно в ситуациях, когда необходимо оперативно изменять структуру всей многокамерной системы. Достоинством такого режима является то, что любой источник видеосигнала может быть как ведомым, так и ведущим; основные недостатки: сложность применяемых узлов и сравнительно низкая помехоустойчивость.

Четвертый вариант режима представляет собой развитие второго и третьего и отличается тем, что в нем задающим генератором и фазируемыми счетчиками можно управлять дистанционно — путем передачи управляющих сигналов и команд по телефонным или радиотелефонным линиям связи. Фазы сигналов опорного синхрогенератора и видеосигнала подстраиваемой камеры сравниваются в коммутационном центре, камера же может находиться практически на любом (и даже переменном) удалении от этой точки *Дистанционную синхронизацию* (telelock) применяют при установке камер ВЖ и ВВП на подвижных средствах (вертолетах, катерах и т. д.), но при этом к камере требуется дополнительно подключать радиотелефон и специальный декодер команд управления. Необходимо отметить, что возможность дистанционной синхронизации предусмотрена только в новых моделях, например в BVP-3, фирмы «Сони» (Япония). Кроме того, появление на телецентрах и в ПТС цифровых кадровых синхронизаторов, позволяющих принимать несинхронные сигналы, делает

режим дистанционной синхронизации малоупотребительным.

Синхронность работы отдельных блоков камеры при конструктивном разделении телекамеры на камерный канал и камерную головку обеспечивается, как правило, путем размещения в камерной головке упрощенного ведомого синхрогенератора, управляемого сигналами и командами, поступающими из камерного канала по отдельным каналам камерного кабеля, либо по триаксиальному кабелю через систему частотно-импульсного уплотнения. Достоинством такого способа является постоянство фазы видеосигналов на входах камерного канала при изменении длины соединительного кабеля. Иногда вместо передачи управляющих сигналов от канала к головке передают опережающие импульсы строчной частоты; в этом случае ведомый генератор располагают в камерном канале, но принцип действия системы не меняется.

При наличии в составе камеры блоков, обеспечивающих кодирование видеосигналов по одной из систем ПАЛ, СЕКАМ или НТСЦ, необходимо обеспечить синхронность частот строк и цветовых поднесущих. Для этого применяют два способа. Первый заключается в непосредственном использовании генератора цветовой поднесущей (обычно управляемого) в качестве задающего генератора системы синхронизации всей камерной системы. Этот способ применяют, если камера предназначена для работы только по одной системе (например,

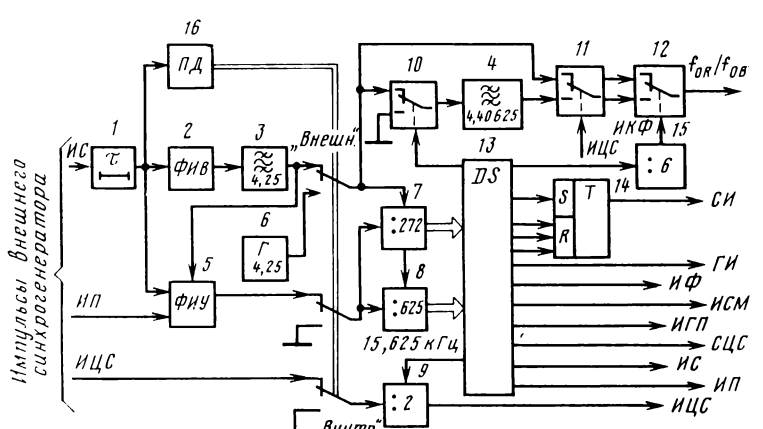


Рис. **8.1.** Подсистема формирования импульсов

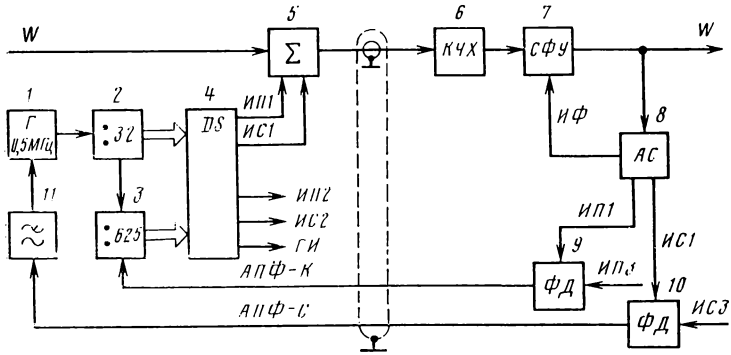


Рис. 8.2. Подсистема синхронизации камерной головки

по СЕКАМ). По второму способу частоту задающего генератора выбирают равной частоте цветовой поднесущей НТСЦ (или ПАЛ). Сигналы же опорных цветовых поднесущих, необходимых для работы взаимозаменяемых кодеров СЕКАМ, вырабатываются в самих кодерах из гармоник строчной частоты с помощью подстраиваемых генераторов или кварцевых фильтров.

Работу системы синхронизации можно пояснить на примере отечественной камеры КТР-308 [70]. Она может работать в режимах внутренней и внешней (импульсной) синхронизации.

Система синхронизации функционально делится на две подсистемы: формирования импульсов (рис. 8.1); синхронизации камерной головки (рис. 8.2).

В качестве задающей выбрана частота одной из опорных поднесущих системы СЕКАМ 4,25 МГц, так как она равна 272-й гармонике строчной частоты. Число 272 разлагается на два сомножителя: 16 и 17, поэтому можно сравнительно легко получить строчную частоту из задающей с помощью счетчиков (делителей) на 16 и 17. Режимы внешней и внутренней синхронизации переключаются автоматически с помощью пикового детектора *16*, проверяющего наличие внешних импульсов. В режиме внутренней синхронизации сигнал опорной частоты вырабатывается кварцевым генератором *6*. В режиме внешней синхронизации поступающие извне импульсы строк через узел регулируемой задержки *1* подаются на умножитель частоты, состоящий из формирователя *2* и пьезокерамического фильтра *3*, выделяющего сигналы частоты (4,25±0,002) МГц. Формирователь *2* подает на фильтр *3* импульсы строчной частоты длительностью около 100 нс. Эта длительность обеспечивает максимум энергии 272-й гармоники в спектре импульсного сигнала. Регулируемая задержка позволяет точно фазировать выходные сигналы камеры по отношению к импульсам синхрогенератора.

Сигнал опорной частоты поступает на счетчик *7*, формирующий сигнал строчной частоты. Часть промежуточных выходов этого счет-

чика выведена на дешифратор *13*. Двойная строчная частота, получаемая с промежуточного выхода, поступает на счетчик *8*, формирующий сигнал частоты полей. Его промежуточные выходы также выведены на дешифратор. В режиме внешней синхронизации сигналы обоих счетчиков устанавливают в определенную фазу внешними импульсами строк и полей. Эту функцию обеспечивает формирователь *5*. Дешифратор *13* вырабатывает импульсы ИС, ИП, ГИ, а также импульсы: фиксации (ИФ), срыва модулятора (ИСМ), гашения поднесущей (ИГП), строб сигнала цветовой синхронизации (СЦС). Синхроимпульсы (СИ) вырабатываются триггером *14*, получающим сигналы от дешифратора *13*. Сигнал начала импульса поступает на его *S*-вход, а сигналы его окончания — на три *R*-входа. Этим трем сигналам соответствуют моменты окончания строчных синхроимпульсов, полевых синхроимпульсов (начало врезки) и уравнивающих импульсов. Импульсы цветовой синхронизации (ИЦС) формируются счетчиком *9* из сигнала строчной частоты. В режиме внешней синхронизации он фазируется внешними импульсами. Импульсы ИСМ, ИГП, СЦС и ИЦС необходимы для работы кодера СЕКАМ. Ему необходим также сигнал чередующихся по строкам и коммутированных по фазе опорных цветовых поднесущих f_{0R}/f_{0B}. Сигнал частоты $f_{0R}=4{,}40625$ МГц формируется из сигнала $f_{0B}=4{,}25$ МГц методом радиоимпульсного умножения частоты. Для этого на коммутатор *10* подают сигнал частоты 4,25 МГц и импульсы двойной строчной частоты длительностью 4 мкс. Затем из выходного сигнала коммутатора *10* (радиоимпульсов) с помощью пьезокерамического фильтра *4* выделяется 282-я гармоника строчной частоты, являющаяся пятой верхней боковой гармоникой в спектре радиоимпульсов ($282=272+5\cdot2$), т. е. частота f_{0R}. Коммутаторы *11* и *12* обеспечивают соответственно переключение поднесущих по строкам и их фазы через каждые три строки и через поле в соответствии со стандартом системы СЕКАМ. Импульсы коммутации фазы (ИКФ) формируются счетчиком *15* из сигнала, вырабатываемого дешифратором *13*.

Подсистема синхронизации камерной головки (см. рис. 8.2) построена так, что все необходимые импульсы формируются из сигнала задающей частоты 0,5 МГц, вырабатываемого управляемым генератором *1*, с помощью счетчиков *2* и *3* и дешифратора *4*. Дешифратор вырабатывает следующие импульсы: ИС1, ИП1 — импульсы строк и полей, передаваемые в камерный канал в сумме с сигналом *W*; ИС2, ИП2 — импульсы строк и полей, используемые для запуска разверток камерной головки; ГИ — гасящие импульсы.

В камерном канале сигнал *W*+ИС1+ИП1 после формирования, коррекции АЧХ кабеля и фиксации уровня в блоках *5*, *6* и *7* попадает на селектор *8*, отделяющий импульсы ИС1 и ИП1 от сигнала *W*. Затем эти импульсы поступают на фазовые детекторы *9* и *10*, где сравниваются по временному положению с импульсами ИС3 и ИП3, вырабатываемыми в камерном канале. Фазовый детектор *10* формирует сигнал АПФ-С, представляющий собой напряжение управления для генератора *1* камерной головки. Фазовый детектор *9* формирует команду АПФ-К установки счетчика *3* камерной головки в определенное состояние. Сигнал АПФ-С и команда АПФ-К передаются в камерную головку по отдельным жилам соединительного кабеля, причем сигнал АПФ-С проходит через фильтр нижних частот *11*.

Подобная система синхронизации обладает хорошей помехоустойчивостью, которая обеспечивается, во-первых, экранировкой линии передачи сигнала *W*+ИС1+ИП1, во-вторых, ослаблением

высокочастотных помех в фильтре *11* и, в-третьих, ослаблением низкочастотных помех благодаря большому усилению петли обратной связи. Применение пьезокерамических фильтров позволяет сравнительно простыми средствами получить опорные частоты, фаза которых жестко связана с фазой внешних импульсов строк. С небольшими изменениями эта система синхронизации применена и в новой отечественной камере КТ-320.

8.2. КОНТРОЛЬ И ИНДИКАЦИЯ

Визуальный контроль. Назначение телекамеры определяет основной способ контроля ее работы — визуальный. Прежде всего, это контроль содержания передаваемого изображения, осуществляемый оператором по экрану видоискателя. Большинство современных камер снабжено съемным или встроенным электронным видоискателем, содержащим черно-белый (в новых моделях — цветной) кинескоп, а также электронные узлы, необходимые для усиления видеосигнала, синхронизации и развертки электронного луча. Питание видоискателя поступает от тех же стабилизированных напряжений, что и питание камерной головки; на его вход с выхода системы обработки видеосигналов подается сигнал яркости Y (иногда сигнал G). На вход цветного видоискателя обычно подается полный сигнал СЕКАМ (ПАЛ или НТСЦ).

Многие модели бытовых и некоторые модели прикладных телекамер имеют оптический видоискатель, на который ответвляется часть светового потока объектива. Достоинствами оптического видоискателя являются простота, дешевизна и отсутствие потребления энергии; недостатками — снижение чувствительности камеры и отсутствие сквозного контроля видеотракта. Прикладные телекамеры из-за специфических условий эксплуатации часто вообще не имеют видоискателя; визуальный контроль при этом производится по экрану видеомонитора, подключенного к камерному каналу.

Чтобы облегчить работу оператора и снабдить его необходимой информацией при панорамировании, трансфокации, диафрагмировании и наводке на резкость, на экран наносят специальные трафареты, указывающие границы центральной (сюжетно важной) части изображения, а в видоискатель вводят дополнительный корректор контуров (апертурный корректор), обеспечивающий подъем составляющих высоких горизонтальных пространственных частот на 200...300%.

Рядом с экраном в поле зрения оператора располагают световые индикаторы, указывающие режимы работы камеры, включение ее в программу («Эфир»), вызов служебной связи, запас ленты видеомагнитофона, превышение номинальных уровней звуковых сигналов и сигналов изображения и т. п. В некоторых моделях камер часть этой информации замешивают в видеосигнал, подаваемый на видоискатель, и воспроизводят на экране в виде световых меток. Очевидно, такой способ позволяет увеличить объем информации. Например, в камерах TTV-1515 и TTV-1525 длина прямоугольной световой метки в верхней части экрана указывает угол зрения (фокусное расстояние) объектива. В видеокамере KBF-1 аналогичная метка указывает расход ленты видеомагнитофона. Во многих моделях камер световые метки используют для индикации центрального участка изображения, по которому работают системы автоматической настройки баланса белого и «моментальной» установки диафрагмы (см. § 7.3 и 7.4). Оператору остается только навести объектив так, чтобы эти метки попадали на белые участки сюжетно важных объектов. Световые метки используются и при диагностике неисправностей — положение затемненного прямоугольника на экране указывает положение неисправного блока в мнемонической таблице.

В новейших моделях камер объем сообщаемой информации существенно увеличен путем применения электронных знакогенераторов и микропроцессоров. В виде надписей на экран видоискателя [61] выводят значения адресно-временно́го кода, диафрагмы, дополнительного усиления, номера светофильтров и т. д. При автоматической настройке камеры на экран выводят ее результаты в виде таблицы достигнутых значений параметров.

Для повышения заметности световых меток, наложенных на передаваемое изображение, используют схему инверсии (рис. 8.3). На вход подают видеосигнал положительной полярности, к которому добавлены импульсы белых меток размахом 60...80%. Если метки попадают на темные участки изображения, то транзистор VT1 закрыт и метки проходят на выход без изменений. Если суммарная яркость элемента изображения и наложенной на него метки превышает 110...120%, то транзистор VT1 отпирается и выходное напряжение становится близким к нулю, т. е. этот элемент изображения приобретает нулевую яркость. Таким образом, метки

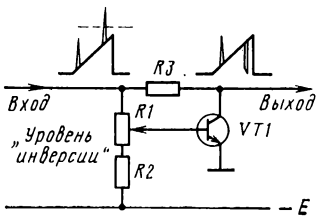


Рис. 8.3. Схема инверсии яркости световых меток

Рис. 8.4. Изображение меток «штриховка» на экране видоискателя

видны на любых участках изображения: на темных участках — белыми, а на светлых — черными.

Для оценки правильности установки диафрагмы, особенно во внестудийных условиях, во многих моделях камер используют метки «штриховка» («zebra») и два варианта их формирования.

По первому варианту метки в виде черных вертикальных полос с частотой около 1 МГц указывают участки изображения, яркость которых превышает 110...120%. Оператор должен открывать диафрагму до появления этих меток, а затем прикрыть ее приблизительно на 1/2 деления шкалы. Этот вариант часто применяют в камерах ВЖ. По второму варианту метки в виде тонких темных вертикальных линий обозначают участки, яркость которых находится в пределах 50...70%, что соответствует оптимальной цветопередаче лица европейца (рис. 8.4). Оператор должен отрегулировать диафрагму так, чтобы большая часть площади лица была покрыта метками. Этот способ позволяет правильно установить диафрагму объектива даже при попадании в кадр чрезмерно ярких объектов (окон в помещениях, светильников и т. д.). Он использован в отечественных камерах КТР-308 и КТ-320, а также в видеокамерах КВF-1 и BVP-3. В некоторых моделях камер реализованы оба варианта; оператор может выбирать метки, которые ему удобнее в конкретной ситуации.

Во многих моделях камер метки используют для индикации состояния системы автоматического баланса. При нажатии кнопки «Пуск» на экране появляется прямоугольная метка, которая исчезает по достижении

баланса. Если баланс не достигнут из-за избытка красного сигнала, то начинает мигать или превращается в штриховую левая линия прямоугольника; если имеется избыток синего сигнала, то соответственно изменяется правая линия. Располагая такой информацией, оператор может правильно выбрать цветной светофильтр, обеспечивающий баланс и оптимальную цветопередачу.

Для полуавтоматической настройки видеоинженером цветового баланса в камерах КТР-308 и КТ-320 используют метки, показанные на рис. 8.5. Горизонтальный штрих этих меток указывает участок изображения, по которому настраивают баланс. Вертикальные линии указывают, в каком из каналов (R или B) и в какую сторону нужно регулировать уровень черного или усиление. С помощью меток баланс настраивают с высокой точностью (примерно 1%) за несколько секунд [72].

Для точной установки диафрагмы, общего уровня черного и контраста в камерах КТР-308 и КТ-320 применяют метки уровня (рис. 8.6). Две вертикальные линии соответствуют номинальным уровням черного (0%) и белого (100%). Между ними располагают линии, соответствующие результатам измерения уровней черного (слева) и белого (справа). Измерения производят пиковыми детекторами накопительного типа со сбросом в начале каждой строки, поэтому имеется возможность оценить не только общий, но и локальный контрасты. В частности, эти метки позволяют отличать контраст важных деталей в центре кадра от контраста побочных деталей (например, теней или участков неба). Уровень черного измеряют по сигналу яркости Y, а уровень белого по сигналу неаддитивной смеси $Y_{н.с}=\max(R, G, B)$. Измерение по сигналу $Y_{н.с}$ позволяет правильно установить диафрагму при передаче изображений цветных объектов с высокой цветовой насыщенностью и низкой яркостью, например синих цветов на фоне темно-зеленой травы. Дело в том, что через тракт цветного телевидения можно передавать и воспроизводить сигналы R, G, B в пределах 0...100%. Если при регулировке диа-

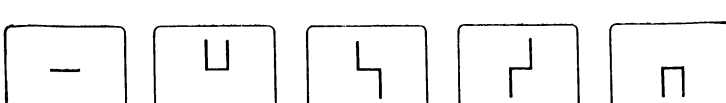


Рис. 8.5. Световые метки для настройки цветового баланса

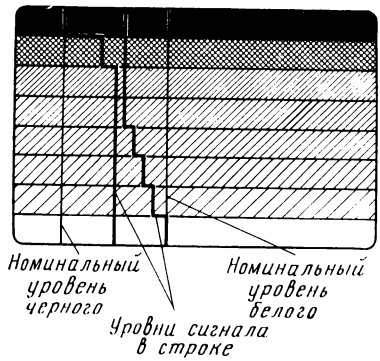


Рис. **8.6.** Изображение «серой шкалы» с наложенными метками уровня

фрагмы ориентироваться на яркость наиболее светлых деталей, т. е. на совместимое черно-белое изображение, получаемое по сигналу Y, то в приведенном примере для получения 100%-ной яркости потребовались бы значения сигнала $G \approx 150\%$ или сигнала $B = 1000\%$. Естественно, при такой диафрагме изображения травы и цветов передавались бы с большими искажениями. Противоречие между требованиями черно-белого и цветного телевидения проявляется довольно часто. В частности, цветные титры на цветном фоне могут стать почти невидимыми на черно-белом экране вследствие одинаковой яркости титров и фона. Поэтому всегда предусматривается подключение к камере либо черно-белого видоискателя, либо черно-белого видеомонитора.

Если функции управления камерой выполняют оператор и видеоинженер, то необходимо иметь двойное количество средств визуального контроля. Поэтому к камерному каналу студийно-внестудийной камеры обычно подключают черно-белый и/или цветной видеомонитор, на экране которого можно наблюдать то же изображение, что и на экране видоискателя. Однако, поскольку функции оператора и видеоинженера различны, различается и состав дополнительной информации, выводимой на экране. Например, оператору при этом не требуются сведения об уровнях сигналов, а инженеру не нужны сведения о фокусном расстоянии объектива.

При использовании режима автоматической регулировки диафрагмы для оценки ситуации инженеру необходимо знать текущее значение диафрагмы. Для этого на пульте управления располагают светодиодный линейный (в новых моделях — алфавитно-цифровой) индикатор. Число включенных светодиодов указывает деление шкалы диафрагмы; при приближении к краям динамического диапазона соответствующий светодиод начинает мигать, предупреждая инженера о необходимости вкпючения дополнительного усиления или нейтрального светофильтра.

Средства визуального контроля используют не только при управлении камерой в процессе передачи, но при ее настройке перед передачей. Для этого во всех вещательных телекамерах предусматривают просмотр на черно-белом экране исходных изображений каналов R, W, B, обработанных изображений каналов R, G, B, а также изображений, создаваемых разностными сигналами $R-G$ и $B-G$, а иногда и $B-R$. Визуальный контроль, в частности, существенно ускоряет и облегчает операции настройки при замене передающих трубок, где требуется регулировать размеры и центровку растров (раздельно для трех каналов), производить оптическую и электронную фокусировку, настраивать совмещение растров и баланс сигналов. Когда все три растра совмещены и размахи сигналов одинаковы, любой черно-белый объект в разностном изображении становится невидимым, так как ему соответствуют нулевые значения сигналов $R-G$, $B-G$ и $B-R$. Если поднять уровни черного на 40...60% и усилить разностные сигналы в 2...3 раза, то разница в сигналах, вызванная рассовмещением растров или нарушением баланса, проявляется в виде хорошо заметных белых и черных линий на сером фоне. Просмотр разностных изображений — наиболее быстрый и достаточно точный способ контроля совмещения, поэтому его широко применяют в телевещании.

При наличии в камерном канале блоков формирования силуэтного сигнала для цветовой рирпроекции обязательно предусматривается визуальный контроль (просмотр) этого сигнала. Без такого контроля настройка уровней срабатывания компараторов, формирующих силуэтный сигнал по принципу «цветового ключа», практически невозможна.

Особенностью системы контроля видеокамер, телекамер ВЖ и некоторых моделей камер ВЖ/ВВП является то, что в них используется только визуальный контроль, причем, кроме параметров телекамеры, контролируются также параметры подключенного к ней видеомагнитофона. Число выходов контрольных сигналов минимально, например, в отечественной камере видеожурналистики КТ-190 для контроля рассовмещения растров методом просмотра разностных изображений требуется отключить основной выход сигнала СЕКАМ, так как для передачи основного и контрольного сигналов используется один и тот же тракт системы уплотнения камерного кабеля.

Осциллографический контроль широко применяют наряду с визуальным при настройке телекамер и управлении ими в процессе передачи. Простейшим вариантом такого контроля является подключение щупа осциллоскопа поочередно к контрольным точкам, предусмотренным на лицевых панелях блоков и на печатных платах. Однако это отнимает много времени и не обеспечивает точности оценки и измерения дифференциальных параметров, в частности баланса сигналов. Поэтому в состав камерного канала вводят специальный блок, обеспечивающий осциллоскопический контроль. Иногда этот блок размещают, отдельно в виде приставки или пульта технического контроля [45], рассчитанного на обслуживание нескольких камер. В типичном варианте он содержит электронный коммутатор контролируемых сигналов, работающий синхронно с разверткой осциллоскопа. Часто эти блоки рассчитаны на определенный осциллоскоп и не могут работать с осциллоскопами другого типа.

Выходные уровни сигналов обычно контролируют путем коммутации их в один сигнал *R*/*G*/*B* или *Y*/*R*/*G*/*B* поочередно по строкам, полям или группам строк. Например, в камере КТ-132 сигналы *R*, *G*, *B* коммутируются через 8 строк. Для управления разверткой осциллоскопа на камерном канале, кроме выхода $Y_{\text{осц}}$, на который коммутируются контролируемые сигналы, предусматривается выход «$X_{\text{осц}}$», на который подается специальный сигнал. При этом применяют три способа.

По первому способу в камерном канале формируется ступенчатый сигнал, одна ступенька которого соответствует интервалу времени подключения одного видеосигнала, число ступенек равно числу сигналов, а период ступенчатого сигнала равен периоду коммутации всех контролируемых сигналов. В специальном телевизионном осциллоскопе поступающий ступенчатый сигнал суммируется с обычным пилообразным напряжением развертки, вырабатываемым в осциллографе. Несмотря на существенный недостаток (требуется специальный осциллоскоп), этот способ применяют в камерах многих фирм («Маркони», «Бош», «Томсон-ЦСФ» и др.).

По второму способу, примененному, в частности, в камере КТ-132, на вход синхронизации осциллоскопа от камерного канала подают импульсы с периодом, равным периоду коммутации сигналов. Достоинством здесь является отсутствие особых требований к осциллоскопу. Недостаток — относительно низкая стабильность син-

хронизации, из-за которой требуется тщательно регулировать длительность собственной развертки осциллоскопа.

По третьему способу осциллоскоп работает в режиме внешнего отклонения по горизонтали, т. е. на его вход *X* от камерного канала поступает полностью сформированное напряжение развертки. Например, в камере КТ-320 сигналы *Y*, *R*, *G*, *B* коммутируются через каждую строку с периодом 5 строк, причем в пятой строке передается калибровочное напряжение 0,7 В (100%). Если с помощью кнопочного переключателя, имеющегося в камерном канале, установить длительность прямого хода равной 4 строкам, то четыре осциллограммы располагаются на экране друг за другом слева направо и можно легко контролировать общее соотношение уровней. Во время обратного хода (пятой строки) луч осциллоскопа не гасится, как обычно, а обозначает калибровочный уровень 100%, общий для четырех сигналов. Если же нажатием кнопки на камерном канале установить период развертки, равный одной строке, то осциллограммы всех сигналов воспроизводятся с наложением, что позволяет точно оценить баланс.

Оценку уровней выходных сигналов камеры затрудняет наличие шумов и выбросов. Поэтому во входные цепи телевизионных осциллоскопов, а иногда и в пульты технического контроля включают ФНЧ с плавным спадом АЧХ, полосой пропускания около 1 МГц и практически безвыбросной переходной реакцией. Этот же ФНЧ позволяет выделять яркостную составляющую из полного цветового сигнала СЕКАМ (ПАЛ или НТСЦ). При оценке глубины модуляции, размаха сигнала цветности и других высокочастотных параметров этот ФНЧ, естественно, отключают.

При настройке камеры по универсальным испытательным таблицам, содержащим много различных элементов, видеосигнал приобретает такую сложную форму, что для осциллоскопического контроля и измерений его параметров, как правило, требуется специальный режим «выделения строки». Телевизионные осциллоскопы, имеющие такой режим, формируют импульс подсветки, подаваемый на видеомонитор, подключенный к камерному каналу. Поскольку длительность этого импульса совпадает с интервалом прямого хода развертки осциллоскопа, на экране видеомонитора подсветкой обозначается именно тот участок изображения, от которого получен измеряемый сигнал. Режим «выделения

строки» применяют при проверке и настройке оптической и электронной фокусировки, АЧХ предварительного видеоусилителя, коррекции тянущихся продолжений и т. п. Фактически здесь используется сочетание визуального и осциллоскопического контроля.

Контроль положения растров относительно центров мишеней трубок обеспечивается в камерах организацией специального режима развертки «Вписывание», в котором размахи отклоняющих токов (или напряжений) увеличиваются настолько, что на экране становятся видны края мишени: при правильной настройке окружность края мишени располагают симметрично по отношению к прямоугольному растру.

Ортогональность падения электронных лучей на плоскость мишени контролируют и настраивают путем организации другого специального режима, в котором к току фокусирующей катушки добавляют симметричные импульсы низкой частоты (12,5 или 25 Гц). Периодическое изменение фокусирующего поля приводит к вращению наблюдаемого изображения; при правильной настройке центр вращения совпадает с центром растра.

Контроль и измерение параметров растров можно проводить с помощью специальных приборов. Например, отечественный измеритель ИСР (измеритель совмещения растров) позволяет при передаче испытательной таблицы 0375 измерять в любом месте растра, обозначаемом импульсом подсветки, ошибки совмещения в диапазоне 0,025...0,7% с точностью 0,012% при малых ошибках и 0,05% при больших. Геометрические искажения измеряют путем наложения на изображение испытательной таблицы, создаваемое контролируемой камерой, эталонной сетки линий подсветки, формируемой ИРИ (измерителем растровых искажений). Искажения оценивают косвенно: путем измерения смещения эталонной сетки, которое требуется для совпадения ее линий с центрами окружностей испытательной таблицы. Практически эти относительно сложные приборы используют только при приемосдаточных испытаниях и замене передающих трубок. Для повседневного контроля совмещения растров обычно применяют описанный выше способ наблюдения разностных изображений. Геометрические же искажения, как правило, стабильны и могут проверяться сравнительно редко.

Испытательные сигналы. Для оперативной проверки и настройки видеотракта вещательных телекамер используют внутренние и внешние испытательные сигна-

лы. Чаще всего это пилообразный или ступенчатый сигнал частоты строк, вырабатываемый внутренним генератором и вводимый в предварительные видеоусилители. Линейное нарастание такого сигнала позволяет непосредственно наблюдать на экране осциллоскопа амплитудные характеристики компрессоров, гамма-корректоров и ограничителей.

Для оперативной диагностики прохождения сигналов по видеотракту (особенно автоматической) в некоторых моделях камер используют импульсы белого, вводимые в гасящие интервалы на входах предварительных видеоусилителей и контролируемые в разных точках до выхода камеры.

Подача в тракт камеры внешних испытательных сигналов (качающейся частоты, частотных пакетов, синус-квадратичного импульса и полосы, импульсов 50 Гц и др.) позволяет настраивать и проверять такие сложные узлы, как двумерный апертурный корректор, шумоподавитель, кодер и т. п. Например, в камере КТ-320 предусмотрено четыре способа ввода внешнего испытательного сигнала — на входы гамма-корректоров, регулируемых усилителей, блока задержки и канала яркости кодера СЕКАМ. Переключая точки ввода и вывода испытательных сигналов, а также отключая отдельные виды обработки, можно быстро оценить состояние видеотракта и настроить его параметры.

Для новых моделей студийно-внестудийных камер характерна тенденция к увеличению числа точек ввода и вывода испытательных сигналов. Например, в камере SK-100 фирмы «Хитати» сигнал трех разных уровней можно подавать на входы предварительных видеоусилителей, первого и второго обрабатывающих усилителей. Вывести же испытательный сигнал можно из шести точек тракта.

Кодеры контролируют по сигналам внешнего или внутреннего генератора цветных полос. Преимуществами варианта с внешним генератором являются упрощение кодера и высокая идентичность настройки всех кодеров многокамерного комплекса по одному эталонному сигналу. Однако создание малогабаритных и высокостабильных генераторов цветных полос фактически ликвидировало это преимущество. Поэтому во всех новых моделях камер используют исключительно вариант с внутренним генератором.

Контроль и измерение параметров кодирования обеспечивают специальные приборы: векторископы (для

систем ПАЛ и НТСЦ) и секамоскопы (для системы СЕКАМ). Секамоскопы обеспечивают измерение и/или допусковый контроль частот покоя и девиаций частоты цветовой поднесущей, параметров НЧ и ВЧ предыскажений, размахов отдельных составляющих полного сигнала СЕКАМ. Существует три основных типа секамоскопов:

обычный, представляющий собой сочетание прецизионного декодера СЕКАМ с телевизионным осциллоскопом и цифровым измерителем уровней (вольтметром);

векторный (векамскоп), отличающийся от обычного возможностью векторного представления уровней одновременно двух цветоразностных сигналов: $R—Y$ (по вертикальной оси) и $B—Y$ (по горизонтальной оси);

цифровой, отличающийся отсутствием осциллоскопической части, вследствие чего результаты измерения параметров (как правило, параметров сигнала цветных полос) видны только на цифровых индикаторах.

Некоторые модели секамоскопов имеют режим «выделения строки», что позволяет организовать непрерывный допусковый контроль параметров кодирования по сигналам цветных полос, вводимых в испытательные строки. С другой стороны, повышение стабильности кодеров новых моделей приводит к ситуации, когда требуется только периодический профилактический контроль этих параметров.

Преимущество векторного представления сигналов цветности — непосредственная оценка цветового тона и насыщенности — проявляется независимо от используемого способа кодирования. Поэтому в некоторых камерах, например КТ-320, предусмотрен вывод на экран осциллоскопа сигналов $R—Y$ и $B—Y$ в виде векторограммы, по которой можно легко контролировать действие регуляторов цветового тона и насыщенности. Для этого сигнал $R—Y$ подключают к выходу «$Y_{осц}$», а сигнал $B—Y$ к выходу «$X_{осц}$». Векторограммы позволяют также оценивать качество и идентичность цветопередачи, но при этом требуются цветные испытательные таблицы.

В заключение следует отметить, что, хотя характеристики системы контроля и индикации обычно не включают в число основных характеристик камеры, они очень сильно влияют на качество изображения в реальных условиях эксплуатации, обеспечивая правильные действия творческого и технического персонала.

Применяемые в телекамерах узлы и блоки обрабатывают сигналы, размах которых лежит в пределах 0,1...10 В. Соответственно выбирают и напряжения питания этих узлов. Для аналоговых узлов обычно используют два стабилизированных напряжения: ±12 В. В камерах ВЖ и видеокамерах для уменьшения потерь энергии используют пониженные напряжения: ±9, ±6 и даже ±4,5 В. Напряжение питания логических узлов (как правило, одно) 5 В, иногда 9 В. Для нормальной работы вещательных телекамер требуется довольно высокая точность стабилизации напряжений питания — допуски на относительные отклонения и пульсации этих напряжений примерно 10^{-3}. Следует отметить, что, несмотря на частичную унификацию вторичных стабилизированных напряжений питания, способы их получения отличаются большим разнообразием, обусловленным особенностями построения и назначения камер разных моделей.

Типичная система электропитания студийно-внестудийных камер (рис. 8.7) состоит из двух независимых подсистем питания — камерного канала и камерной головки. Первичный источник энергии — однофазная сеть переменного тока. Блок питания камерного канала содержит последовательно включенные силовой трансформатор, двухполупериодные выпрямители с RLC-фильтрами и линейные стабилизаторы с мощными проходными транзисторами, снабженными цепями защиты от перегрузки и короткого замыкания. В новых моделях камер стали применять более экономичные широтно-импульсные стабилизаторы и импульсные блоки питания, работающие синхронно с частотой строк (на гармонике или субгармонике строчной частоты), что позволяет несколько снизить визуальную заметность помех. В некоторых моделях применяют местную стабилизацию с распределением по камерному каналу промежуточных

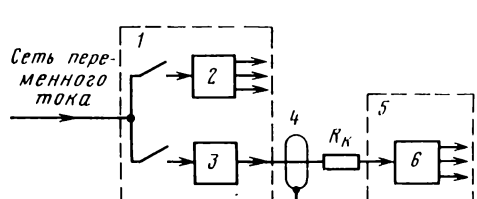


Рис. 8.7. Схема питания студийно - внестудийной камеры:
1 — камерный канал; *2* — блок питания камерного канала; *3* — блок питания камерной головки; *4* — камерный кабель; *5* — камерная головка; *6* — преобразователь напряжения

грубо стабилизированных или нестабилизированных напряжений, например ±18 В. При этом в каждой печатной плате устанавливают маломощные стабилизаторы, формирующие напряжения ±12 В. Преимуществами местной стабилизации являются хорошая развязка и возможность установки дополнительных блоков, недостатки — повышенная стоимость и сложность.

Основные трудности электропитания камерной головки заключаются в потере значительной части энергии в камерном кабеле, длина которого может достигать 1...2 км. Учитывая сравнительно большое потребление мощности в камерной головке (100...200 Вт) и значение сопротивления кабеля (обычно 10...50 Ом), приходится передавать по кабелю сравнительно высокое напряжение 100...250 В. Как правило, передают нестабилизированное напряжение постоянного тока; в некоторых моделях, например в камере КСК фирмы «Бош», сетевое напряжение переменного тока 220В/50 Гц.

При использовании триаксиального кабеля по центральной жиле передается не только напряжение питания, но и различные сигналы на радиочастотных несущих. Напряжение питания и эти сигналы разделены вилками LC-фильтров, состоящими из ФНЧ и ФВЧ и включенными на двух концах кабеля. Внутреннюю оплетку триаксиального кабеля используют при этом как шину нулевого потенциала, а внешнюю — для экранировки, что повышает степень электробезопасности.

При подготовке камеры к работе любое ее переключение под напряжением может создать угрозу для жизни обслуживающего персонала. Поэтому блок питания камерной головки снабжают цепями защиты, отключающими напряжение питания от кабеля не только при перегрузке и коротком замыкании, но и в режиме холостого хода, когда кабель отсоединен от головки. Срабатывание защиты сопровождается включением индикаторов, а в некоторых моделях и звуковых предупреждающих сигналов.

В камерной головке (обычно вблизи наружных поверхностей, чтобы улучшить теплообмен) устанавливают преобразователь напряжения, работающий, как правило, синхронно с частотой строк и вырабатывающий различные стабилизированные напряжения для питания электронных узлов, подогревателей катодов передающих трубок, электродвигателей приводов объектива и т. д. Типичным является построение этого преобразователя в виде последовательного соединения стабилиза-

тора — прерывателя широтно-импульсного типа, работающего на частоте около 50 кГц, и симметричного (парафазного) преобразователя с разделительным трансформатором, работающего синхронно с частотой строк. Выходные напряжения симметричного преобразователя пропорциональны напряжению на его входе, т. е. выходному напряжению широтно-импульсного стабилизатора. Напряжение управления стабилизатором формируют путем измерения и сравнения с эталонным одного из выходных напряжений. Таким образом, обратная связь охватывает преобразователь в целом, обеспечивая стабилизацию выходных напряжений при изменении напряжения на выходе кабеля в широких пределах. Повышенные рабочие частоты позволяют резко снизить массу и габариты трансформаторов и дросселей, но требуют тщательной экранировки для защиты от мощных помех.

Высокие напряжения (1 кВ и более), необходимые для работы передающих трубок и кинескопа видоискателя, вырабатываются обычно отдельными преобразователями, использующими импульсы обратного хода строчной развертки, аналогично тому, как это делается в телевизорах. При этом утилизируется энергия, накопленная в отклоняющих катушках и, кроме того, гарантируется защита электронно-лучевых приборов от прожигания в случае пропадания развертки.

Для продления срока службы передающих трубок во многих камерах имеется режим «Прогрев», в котором питание подается на все блоки, но трубки заперты и изображение отсутствует. Этот режим используют перед передачей и во время перерывов.

Электропитание камер ВВП может обеспечиваться не только по высоковольтной схеме (см. рис. 8.7), но и по низковольтной (рис. 8.8). Передача по многожильному кабелю низких стабилизированных напряжений возможна потому, что у такой камеры существенно меньше мощность, потребляемая камерной головкой, и требуе-

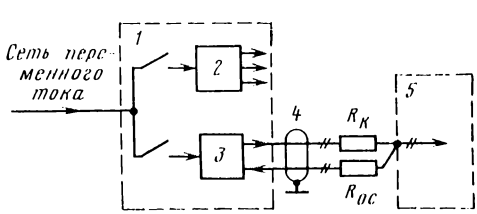


Рис. 8.8. Схема низковольтного питания камерной головки:
1 — камерный канал; *2* — блок питания камерного канала; *3* — блок питания камерной головки; *4* — камерный кабель; *5* — камерная головка

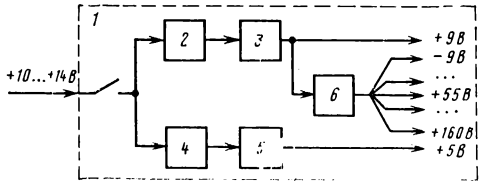


Рис. 8.9. Схема питания камеры видеожурналистики:
1 — камера; *2*, *4* — широтно-импульсные стабилизаторы; *3*, *5* — линейные стабилизаторы; *6* — преобразователь напряжения

мая длина камерного кабеля не так велика. Для автоматической компенсации потерь при изменении длины кабеля в этом варианте в блок питания непосредственно от потребителей энергии по отдельным жилам камерного кабеля передаются сигналы обратной связи. В частности, по схеме рис. 8.8 построены системы электропитания отечественных камер КТР-308 и КТ-320. Преимуществами низковольтных схем являются существенное уменьшение габаритов и массы камерной головки (так как не требуется преобразователь напряжения), упрощение цепей защиты и повышение безопасности персонала. Недостатками являются некоторое увеличение потерь энергии в кабеле и ограничение его максимальной длины.

Электропитание камер ВЖ и видеокамер осуществляется от источников постоянного тока с номинальным напряжением 12 В (рис. 8.9). Чаще всего используют никель-кадмиевые аккумуляторы, размещаемые либо в специальном поясе, одеваемом оператором, либо в видеомагнитофоне, к которому подключена камера. Напряжение этих аккумуляторов изменяется по мере разряда в пределах 14...10 В, поэтому камеры ВЖ снабжают экономичными широтно-импульсными стабилизаторами, компенсирующими большую нестабильность исходного напряжения. Для подавления пульсаций последовательно с первым иногда включают второй линейный стабилизатор, проходной транзистор которого работает с очень низким (около 0,5 В) коллекторным напряжением. Таким образом, получают положительные стабилизированные напряжения, например 9 и 5 В. От одного из них питается симметричный преобразователь, работающий синхронно с частотой строк и формирующий все остальные, необходимые для работы камеры, напряжения: например, —9, 55, 160 В и т. д.

Такое построение системы позволяет при необходимости питать камеры ВЖ от автомобильных аккумуляторов, выпрямителей, предназначенных для зарядки ни-

кель-кадмиевых аккумуляторов, и других нестабильных источников.

Ресурс аккумуляторов камер ВЖ и видеокамер обычно несколько превышает продолжительность записи одной кассеты на видеомагнитофоне (20...40 мин). С другой стороны, необходимая продолжительность работы оператора может быть значительно больше, например при видеосъемке отдельных, наиболее интересных фрагментов спортивных соревнований, длящихся несколько часов. Поэтому для камер ВЖ и видеокамер предусматривают несколько режимов питания. Например, для видеокамеры BVW-3S возможны следующие режимы:

«прогрев» — потребление энергии минимально, включены только подогреватели катодов трубок и кинескопа видоискателя, изображение отсутствует, но может появиться через 1 с;

«камера» — включены все блоки камеры, на экране видоискателя имеется изображение, видеомагнитофон отключен, потребление энергии умеренное;

«подготовка» — включены камера и электродвигатель блока головок видеомагнитофона;

«запись» — включены все блоки камеры и видеомагнитофона, потребление энергии максимальное.

8.4. ЗВУКОВОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ И СЛУЖЕБНАЯ СВЯЗЬ

Многие модели вещательных телекамер имеют один или два звуковых канала, основное назначение которых состоит в формировании сигналов так называемого международного звука с помощью узконаправленных или обычных микрофонов, установленных на камере и воспринимающих шум толпы, плеск волн и т. п. Эти сигналы способствуют созданию эффекта присутствия, особенно явного, когда звуковая картина при панорамировании изменяется одновременно с изображением. «Международным» такой сигнал называют потому, что на него может быть наложен комментарий на любом языке. Иногда звуковые тракты телекамер используют для формирования речевых сигналов (комментариев, интервью) с помощью ручных микрофонов, подключенных к камере сравнительно короткими кабелями.

Применяют в основном динамические микрофоны. В новейших моделях телекамер предусматривается подключение как динамических, так и угольных микрофонов с фантомным питанием (около 50 В).

При использовании многожильного камерного кабеля в камерной головке и в камерном канале, как правило, не применяют каких-либо активных элементов для передачи звуковых сигналов. Сигналы микрофонов по отдельной экранированной группе жил камерного кабеля поступают на выходные разъемные соединители камерного канала. При использовании триаксиального или волоконно-оптического кабеля сигналы передаются через систему частотного или временно́го разделения, динамический диапазон которой обычно недостаточен для высококачественной передачи микрофонных сигналов, изменяющихся в широких пределах. Поэтому в камерных головках, рассчитанных на подключение таких кабелей, или в адаптерах этих систем часто устанавливают блоки предварительной обработки звукового сигнала. Используются различные лимитеры, пикосрезатели, компрессоры с коэффициентом сжатия 16...20 дБ и системы квазимгновенной АРУ. Например, в камере КСМ-125 фирмы «Бош» имеется отключаемый компрессор и индикатор перегрузки, обеспечивается уровень выходного сигнала 6 дБ (1,55 В) при полосе частот 20...15 000 Гц, нелинейных искажениях не более 1% и отношении сигнал-шум не менее 50 дБ.

В звуковых трактах видеокамер также применяют блоки предварительной обработки, но для обеспечения наилучших условий их функционирования видеокамеры (обычно в видеомагнитофонной части) дополнительно снабжают измерителями или индикаторами уровней звуковых сигналов, ступенчатыми и/или плавными аттенюаторами. Как правило, видеокамеры имеют два звуковых канала, один из которых используют как основной, а второй — как резервный либо для записи режиссерских (операторских) комментариев.

Для уменьшения заметности искажений в тракте магнитной звукозаписи видеокамер применяют компандирование и частотное предыскажение; в некоторых моделях видеокамер для ослабления шумов в паузах применяют шумоподавители, в том числе по системе «Долби». Необходимо отметить, что из-за малой ширины звуковых дорожек, применения специальных магнитных лент и вследствие специфики работы лентопротяжного механизма видеомагнитофона искажения, вносимые звуковыми трактами видеокамер, заметно превышают искажения, вносимые профессиональными магнитофонами. Например, видеомагнитофоны серии BVV, используемые в видеокамерах «Бетакам» фирмы «Сони», при не-

равномерности ±3 дБ в полосе частот 50...15 000 Гц обеспечивают на частоте 1 кГц нелинейные искажения не более 2% и отношение сигнал-шум 50 дБ (при уровне сигнала, соответствующем нелинейным искажениям 3%). По этой причине на кассеты даже наилучших вещательных видеокамер записывают по возможности только речевые сигналы, менее чувствительные к искажениям.

В типичной схеме трактов звукового сопровождения и служебной связи студийно-внестудийной камеры (рис. 8.10) сигналы от двух микрофонов *1* и *2* передаются из камерной головки *3* в камерный канал *4* пассивными линиями, поэтому их номинальный уровень на выходах камерного канала обычно находится в пределах 55...65 дБ (примерно 1 мВ). При использовании триаксиального кабеля и системы частотного разделения, а в новых моделях камер — многожильного кабеля, в камерном канале устанавливают линейные усилители, номинальный уровень выходных сигналов которых составляет 0 (1,55 В) или 6 дБ. С выходов камерного канала сигналы «Звук 1» и «Звук 2» поступают на внешний звукомикшер, где они регулируются, обрабатываются и вводятся в результирующий сигнал звукового сопровождения ТВ передачи.

С контрольного выхода звукомикшера через соответствующий разъемный соединитель камерного канала сформированный сигнал звукового сопровождения по-

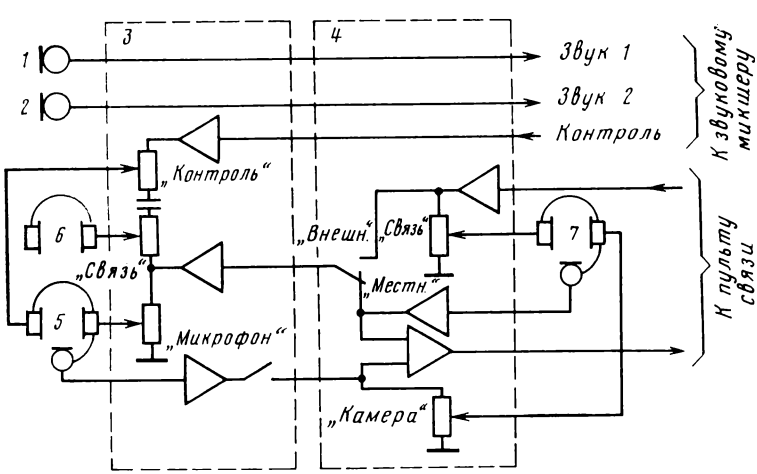


Рис. 8.10. Типичная схема звуковых трактов студийно-внестудийной камеры

дают по жилам камерного кабеля на камерную головку. Для лучшей координации своих действий с действиями других участников передачи оператор прослушивает этот контрольный сигнал с помощью головного телефона, подключаемого к камерной головке, и входящего в состав микротелефонной гарнитуры *5*. В некоторых моделях камер ВЖ и видеокамер вместо головных телефонов используют малогабаритные громкоговорители, расположенные под левой боковой крышкой на уровне уха оператора, работающего с камерой, находящейся на его правом плече.

Прослушивание оператором сигналов служебной связи обеспечивает другой головной телефон микротелефонной гарнитуры. Обычно контрольные сигналы прослушивают правым ухом, а сигналы связи — левым. В камерах ВЖ и ВВП применяют гарнитуры с одним (обычно левым) головным телефоном, чтобы не мешать удобному расположению камеры на правом плече оператора. В этом случае в единственном головном телефоне прослушивается смесь контрольного и связного сигналов.

К камерной головке можно дополнительно подключать головные телефоны *6*, предназначенные для ассистента оператора или комментатора. К камерному каналу можно подключать еще одну микротелефонную гарнитуру *7*, предназначенную для видеоинженера.

Как правило, с телекамерами используют низкоомные головные динамические телефоны. Выбор этих телефонов определяется сравнительно низкими напряжениями питания и необходимостью обеспечения достаточно большой громкости звучания и соответственной мощности (до 0,2 Вт), поскольку камера может работать как в тихой студии, так и на очень шумной улице. В микротелефонных гарнитурах применяют компактные и не требующие ветрозащиты динамические капсюльные микрофоны, обладающие низкой чувствительностью к звуковому давлению и достаточно большой чувствительностью к его градиенту. Тем самым обеспечивается надежная передача негромкой речи оператора в зашумленной обстановке. Гарнитуры и головные телефоны подключаются оперативно с помощью штекерных разъемных соединителей. Часто применяются гарнитуры, содержащие активные элементы, — микрофонные усилители и усилители мощности.

Во многих моделях камер предусматривается два режима служебной связи — местный и внешний; режи-

мы переключаются в камерном канале. В местном режиме обеспечивается двусторонняя связь технического персонала, обслуживающего камерный канал и камерную головку при настройке и ремонте. Во внешнем режиме обеспечивается многосторонняя связь оператора с творческим и техническим персоналом через внешний пульт служебной связи. Для ассистента оператора предусматривается либо двусторонняя связь (как и для оператора), либо только односторонний прием указаний режиссера. Многие модели камер имеют раздельные каналы связи для творческого и технического персонала.

Обмен сигналами служебной связи и подача контрольного сигнала от внешних устройств обычно происходят с номинальным уровнем 0 дБ (0,775 В), причем для каждого сигнала используют отдельную балансную двухпроводную линию. В некоторых моделях предусмотрена возможность передачи и приема сигналов связи по дифференциально-трансформаторной схеме для подключения к двухпроводной сети связи вместо обычной четырехпроводной. Для трактов служебной связи типичными являются следующие значения параметров: полоса частот 300...3000 Гц, нелинейные искажения не более 3%, отношение сигнал-шум 40 дБ.

Наиболее распространен показанный на рис. 8.10 дуплексный способ связи, согласно которому оператор постоянно находится в состоянии приема информации и может при желании включить свой микрофон и передавать речевые сообщения, не теряя возможности приема. Некоторые камеры обеспечивают только симплексную связь с потерей этой возможности, причем переключатель «прием — передача» располагается на камерной головке. Этот способ практически почти не уступает дуплексному, так как в процессе передачи оператор большую часть времени не говорит, а слушает. В небольшом числе камер применяется полудуплексный способ связи, когда автоматическим переключением «прием — передача» управляет *детектор речевой активности,* а оператор освобождается от обязанности управления связью, но при этом требуется тщательная регулировка порогового уровня детектора, чтобы избежать его ложных срабатываний под действием акустических помех и эхосигналов.

Электропитание усилителей системы служебной связи обеспечивается, как правило, от блока питания камерного канала с тем, чтобы связь не нарушалась при отключении питания камерной головки. При использо-

вании многожильного кабеля напряжение питания усилителей связи подается по отдельной жиле. При использовании триаксиального кабеля при отключении основного высоковольтного питания камерной головки либо сохраняют на кабеле небольшое напряжение, достаточное для питания усилителей связи (этот способ применен в камере TTV-1525), либо питание связи переключают на специальную малогабаритную аккумуляторную батарею, размещенную в камерной головке.

Звуковую сигнализацию вызова по сети связи в камерах применяют редко. Обычно используют световые индикаторы желтого цвета, расположенные в поле зрения оператора на видоискателе или задней стенке камеры. Мигание индикатора означает вызов, постоянное свечение означает, что связь установлена. Часто предусматривают раздельный вызов оператором нескольких адресатов из числа технического и творческого персонала, для чего на камерной головке располагают соответствующий переключатель. Во многих моделях камер, например в камере TK-46 фирмы RCA, индикаторы вызова по связи совмещены с красными индикаторами «Эфир», отличающимися большой яркостью и хорошо видными днем, даже на значительном расстоянии.

Звуковые тракты телекинокамер мало отличаются от соответствующих трактов звуковых кинопроекторов. Обычно в них предусматривают воспроизведение как нанесенных на кинопленку (совмещенных) оптических фонограмм (COMOPT), так и магнитных, совмещенных (COMMAG) или раздельных (SEPMAG), синхронизируемых по временному коду или другими способами. Например, телекинокамера TTV-2530 при воспроизведении фонограмм с 35- или 16-мм кинопленки обеспечивает на двух линейных выходах получение одного или двух сигналов с уровнями 6 или 12 дБ и следующими параметрами:

В режиме COMOPT

Детонация (взвешенное значение), %, не более	0,15
Полоса частот (при неравномерности АЧХ не более ±2 дБ), Гц, не менее, для:	
35-мм кинопленок	40...10 000
16-мм кинопленок	40...7000
Нелинейные искажения, %, не более	1
Отношение сигнал-шум, дБ, не менее	60

В режиме COMMAG

Нелинейные искажения, %, не более	0,5
Отношение сигнал-шум, дБ, не менее	54
Остальные параметры — как в режиме COMOPT	

При воспроизведении двух звуковых сигналов с отдельной магнитной фонограммы (режим SEPDUMAG) качественные показатели определяются параметрами подключенного к телекинокамере магнитофона (фильмофонографа). Для синхронизации магнитофона от телекинокамеры TTV-2530 могут подаваться либо *импульсы перфорации,* либо два вида импульсов частоты полей (50 Гц), сдвинутых на половину периода.

Телекинокамеры обычно имеют контрольные громкоговорители для прослушивания звукового сопровождения и сигналов служебной связи.

Глава 9.

ОДНОКАМЕРНЫЕ И МНОГОКАМЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

Общие сведения. В ТВ вещании и в прикладном телевидении число совместно используемых камер может быть различным — от одной до нескольких десятков. Структуры многокамерных и однокамерных комплексов весьма разнообразны. Простейшим однокамерным комплексом, применяемым в прикладном телевидении, является соединение камеры с просмотровым устройством. Примером наиболее сложного многокамерного комплекса является крупный телецентр, где используются разные камеры, сгруппированные в специализированные аппаратные [35]. В прикладном телевидении даже многокамерный комплекс может иметь простую структуру с непосредственной коммутацией сигналов камер в одном центральном блоке. Бытовые телекамеры обычно используют только совместно с портативным бытовым видеомагнитофоном, образуя сравнительно простой однокамерный комплекс. В последнее время появилась тенденция использования упрощенных (полупрофессиональных) телекамер для производства и записи программы с пониженным качеством изображения для учебных целей, организации видеоконференций и др. Структура этих (обычно многокамерных) комплексов близка к структуре комплексов ТВ вещания, но отличается меньшей сложностью.

Однокамерные комплексы. Простейшим однокамерным комплексом ТВ вещания является комплект видео-

журналистики (рис. 9.1), состоящий из камеры ВЖ *1*, видеомагнитофона *2*, соединенных многожильным кабелем *3* длиной до нескольких десятков метров, и источника электропитания, в качестве которого можно использовать либо устанавливаемую в камеру аккумуляторную батарею *4*, либо пояс с аккумуляторами *5*, либо сетевой блок питания *6*.

Технология его работы сводится к следующему. Сформированные с помощью камеры и микрофона сигналы изображения и звукового сопровождения записываются на переносный видеомагнитофон, после чего кассета или катушка с видеолентой тем или иным способом передаются на телецентр для редакционной обработки и монтажа полученного материала. Иногда сигнал звукового сопровождения записывается не на месте проведения репортажа, а на телецентре в процессе редакторской компоновки программы.

Видеомагнитофон находится на небольшом удалении от оператора, который управляет им с помощью органов управления, вынесенных на камеру.

Легкий и портативный комплект ВЖ можно разместить в любом транспортном средстве, например в кабине катера или вертолета. Оператор, ведущий съемку с помощью такого комплекта может работать во время движения легкого транспортного средства (мотоцикл, мотокар и др.).

Во всех приведенных примерах в комплект аппаратуры входит видеомагнитофон. В этом случае выходу программы в эфир предшествуют доставка сделанной записи на телецентр и последующая редакционная обра-

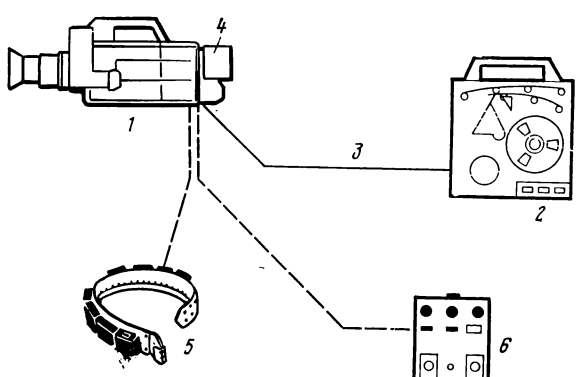


Рис. **9.1.** Типичный комплект видеожурналистики

ботка. Сократить интервал времени от момента съемки до выхода в эфир можно, сокращая время доставки информации на телецентр или монтажа программы. Время доставки информации на телецентр сокращается при прямой передаче сигналов изображения и звукового сопровождения по радиолинии непосредственно на телецентр.

Для трансляции репортажа разработаны миниатюрные радиолинии, работающие в микроволновой области частот, которые могут входить в комплект видеожурналистики. Однако радиус действия этой переносной радиолинии ограничен, поэтому она чаще используется для трансляции сигналов на промежуточную передвижную телевизионную станцию, откуда они ретранслируются на телецентр.

Например, репортажи о велогонках часто организуются с помощью комплекта ВЖ, в состав которого входит радиолиния. Оператор с ТВ камерой может располагаться на втором сидении мотоцикла спиной к водителю. Передатчик с антенной при этом находится между водителем и оператором. Радиосигнал от передатчика принимается приемной антенной, установленной на вертолете, который непрерывно следует за мотоциклом, и ретранслируется на телецентр.

Ускорить монтаж можно, применив технологию компоновки программ с помощью комплектов видеожурналистики непосредственно на месте событий. Для этого используют передвижные станции электронного монтажа, которые монтируют в специально оборудованном малогабаритном автомобиле, выезжающем на место событий. Станция обеспечивает проведение электронного монтажа программы по мере получения видеоинформации от нескольких операторов (журналистов), работающих совместно с данной станцией.

Созданную таким образом запись репортажной программы отвозят на телецентр или передают по радиолинии, входящей в состав станции. При этом дальнейший монтаж программы упрощается или практически может отсутствовать.

Таким образом, хотя комплекты ВЖ достаточно просты в обращении и могут быть легко доставлены на место проведения репортажа, оперативно получить законченную репортажную передачу, используя только такую аппаратуру не всегда удается.

Неудобство использования комплекта ВЖ заключается также в том, что оператор не может оценить качество полученного цветного изображения, так как записанное изображение просматривается только на

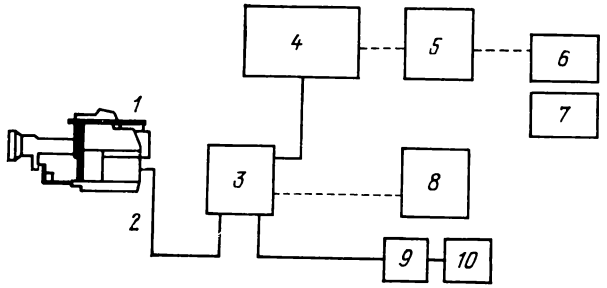


Рис. 9.2. Структурная схема однокамерного комплекса

черно-белом видоискателе камеры. Если при записи репортажа допущен брак, то это станет известно на телецентре только после просмотра привезенного материала. Высокое качество изображения как в студийных, так и во внестудийных условиях обеспечивают однокамерные комплексы, содержащие развитые средства контроля, настройки и управления. Комплекс на основе камеры ВЖ/ВВП LDK-614 фирмы «Филипс», структурная схема которого дана на рис. 9.2, состоит из камерной головки *1* и камерного канала *3*, соединенных триаксиальным кабелем *2*, цветного *4* и черно-белого *5* видеомониторов, вектороскопа *6* и осциллоскопа *7*. К камерному каналу подключены две панели дистанционного управления *9* и *10*, а также можно подключать пульт автоматической настройки *8*. Этот комплекс можно использовать в дикторских студиях и при создании фрагментов художественных передач с записью сигналов каждой камеры на отдельный видеомагнитофон как в студийных условиях, так и при внестудийном видеопроизводстве. Однако законченные программы с помощью этого комплекса не создаются.

Многокамерные комплексы. Несмотря на преимущества использования однокамерных комплексов при рассмотрении всей технологической цепочки формирования программы становятся очевидны те положительные качества, которыми обладают передвижные и стационарные двух-, трех- или четырехкамерные ТВ комплексы.

Передвижные репортажные телевизионные станции (ПРТС) обеспечивают оперативный сбор и быструю передачу информации, так как с их помощью можно быстро доставить аппаратуру и обслуживающий персонал на место проведения репортажа, практически в любом труднодоступном районе опера-

тивно развернуть аппаратуру, собрать информацию с нескольких камер, скомпоновать и смонтировать программы видеомикшером или видеомагнитофоном [45]. Так создают программы или законченные фрагменты программ, которые требуют минимальной редакционной обработки и последующего монтажа. При этом получают существенный выигрыш во времени.

Малые передвижные телевизионные станции предназначены для создания сравнительно длительных информационных передач и законченных фрагментов художественных передач во внестудийных условиях. В состав оборудования таких ПТС входят 2—3 камеры ВВП (или ВЖ/ВВП), 1—2 видеомагнитофона, видео- и звукомикшеры, а в последних моделях и монтажные системы. Видеомикшеры малых ПТС имеют 10 и более входов, 2—3 ступени микширования, комбинируют 3—4 плана изображения, их снабжают встроенными или отдельными блоками рирпроекции и знакогенераторами.

Большие передвижные телевизионные станции используются для трансляции и/или записи больших передач, требующих одновременной работы многих ТВ камер. Число студийно-внестудийных камер может изменяться от 3 до 7, к ним иногда добавляют модульные камеры со сменными головками; на дополнительные (внешние) входы видеомикшера можно подключать камеры ВЖ. Большие ПТС часто имеют 2—3 видеомагнитофона с монтажной системой, 1—2 синхронных магнитофона для звуковых вставок и озвучивания помещений, в которых ведется съемка, блоки сложных видео- и звуковых эффектов и приемопередатчики радиолиний связи. Блоки управления телекамерами и их контроля в таких ПТС обычно сосредоточивают в отдельном (техническом) отсеке, где работают два — три человека. В новых моделях ПТС применяют системы автоматизированной централизованной настройки камер.

Примером большой ПТС может служить отечественная станция «Магнолия-83». Она комплектуется четырьмя камерами КТ-132 или КТ-178 с возможностью подключения одной дополнительной камеры ВЖ/ВВП, 16-входовым 3-ступенчатым видеомикшером, 20-входовым звукомикшером, приемопередатчиком радиолинии диапазона 8 ГГц и другим оборудованием. Станция размещена в специально разработанном кузове на шасси

автомобиля. Масса 19 т, потребляемая мощность 26 кВ·А.

Совместная работа передвижных станций. При создании передачи с больших зрелищных мероприятий возникает необходимость совместной работы нескольких больших передвижных телевизионных и видеозаписывающих станций. В этом случае возможны разные варианты совместного использования звукового, служебного и вспомогательного оборудования и синхронизации работы всего видеооборудования. Все автономные синхрогенераторы станций могут работать в ведомом режиме, и, таким образом, совместная работа двух — трех автономных станций не затруднена [57].

Для примера рассмотрим, как организуют прямой репортаж с помощью двух репортажных станций, работающих в движении и базовой станции, в качестве которой может быть использована ПТС (рис. 9.3). Сигналы изображения, формируемые с помощью камер двух ПРТС, по радиолиниям передаются на большую ПТС, где формируются программы путем микширования этих сигналов с сигналами, создаваемыми собственными камерами ПТС. Сформированную программу передают на телецентр по радиолинии ПТС. Звуковое и комментаторское сопровождение обеспечиваются передвижной звуковой станцией (ПЗС), где оборудованы комментаторские кабины, в которых организуется просмотр изображения программы и предусмотрена служебная связь с режиссером ПТС. По обратному каналу связи с телецентра на ПТС, а оттуда на ПРТС подаются опорный

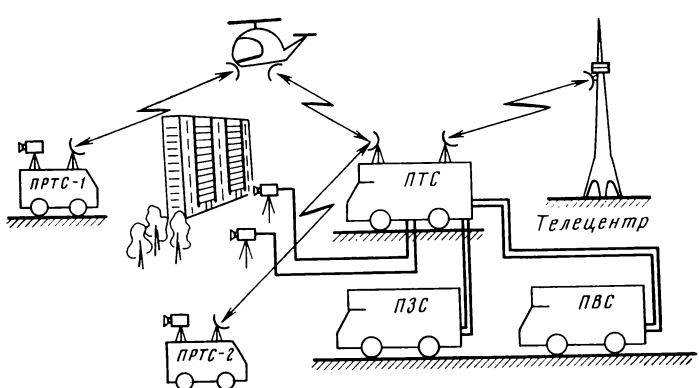


Рис. 9.3. Схема совместной работы передвижных станций при внестудийном телевещании

сигнал синхронизации и сигналы служебной связи. Вместо трансляции на телецентр сформированную программу можно записать на видеомагнитофоны ПВС, в этом случае опорный сигнал синхронизации будет вырабатываться большой ПТС и распределяться на все совместно работающие станции. При удалении ПРТС на различные расстояния от базовой станции, как это показано на рис. 9.3, где ПРТС-1 находится вне предела прямой видимости и связана с ПТС через ретранслятор, установленный на вертолете, возникает необходимость фазирования сигналов изображения, поступающих от различных источников. Если к тому же это расстояние изменяется во время работы или число совместных работающих станций больше, чем в приведенном примере, то система синхронизации работы всего комплекса становится более сложной.

Если применять синхронизаторы с кадровым цифровым запоминающим устройством, то работа комплекса упрощается.

Студийные аппаратные. В стационарных студийных условиях телекамеры одного типа [57] часто сосредоточивают в специализированных аппаратных. Телекино- и теледиакамеры размещают в **телекиноаппаратных** (ТКА). Размещенные в студиях камерные головки с помощью кабелей подключают к камерным каналам, размещенным в отдельных помещениях (технических аппаратных). Обычно на телецентре имеются как большие, так и малые студии. Техническая аппаратная со сравнительно большой студией образует аппаратно-студийный блок (АСБ) с тремя — пятью камерами, а с малой (дикторской) студией — аппаратно-программный блок (АПБ) с одной-двумя камерами. Различие между ними заключается не только в числе камер, в составе коммутационного оборудования, но и в технологии их использования. Аппаратно-студийные блоки используют при подготовке программ, а аппаратно-программные блоки — при их выпуске. Соответственно различаются и требования к камерам, используемым в этих блоках. Для АПБ пригодны камеры с меньшей кратностью объектива и с упрощенным управлением. Тем не менее исходя из соображений унификации в АПБ и АСБ часто применяют камеры одной модели.

Функции технического и творческого персонала. На рис. 9.4 показана структурная схема многокамерного комплекса, составленного из камер одной модели BVP-360P. Число камер может быть от двух до восьми.

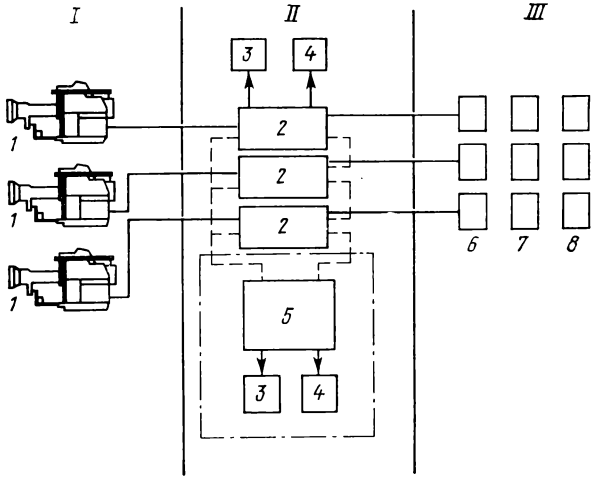


Рис. **9.4.** Структурная схема комплекса, состоящего из камер одной модели:

1 — камерные головки; *2* — камерные каналы; *3* — осциллоскоп; *4* — видеомониторы; *5* — пульт автоматизированной настройки; панели управления; *6* — «упрощенная студийная»; *7* — «внестудийная»; *8* — «художественная»

На рисунке показано разделение функций управления между операторами *I*, управляющими камерными головками, видеоинженером II, обеспечивающим их настройку, и видеотехником III, обеспечивающим дистанционное управление камерами в процессе передачи. Для каждого из них предусматриваются отдельные средства контроля.

Оператор по экрану видоискателя контролирует не только изображение своей камеры, но и комбинированные изображения, составленные в видеомикшере из сигналов этой и других камер в режимах плавного микширования, спецэффектов и электронной рирпроекции с наложением титров. Для этого на каждую камеру от видеомикшера подают контрольные видеосигналы.

Видеоинженер контролирует параметры всех камер с помощью видеомониторов и осциллоскопа, подключаемых через специальный коммутатор (пульт) технического контроля. Подключение всех камер на один и тот же цветной видеомонитор позволяет проверить идентичность цветопередачи.

Видеотехник непрерывно контролирует изображения всех камер по видеомониторам (черно-белому и цветному), подключаемым с помощью коммутатора технического преднабора. Коммутатором технического предна-

бора управляют с тех же панелей дистанционного управления камерами.

Режиссер управляет видеомикшером, контролируя изображения всех камер по черно-белым видеомониторам, а комбинированные и результирующее изображения — по цветным. Звукорежиссер управляет звукомикшером, в котором сигналы всех источников соединяются в один сигнал звукового сопровождения. Для координации действий всего персонала этот сигнал с контрольного выхода звукомикшера подают для прослушивания. Взаимодействие технического и творческого персонала обеспечивается системой служебной связи и световой индикацией.

При создании художественных передач в последнее время, наряду с большими камерами, установленными на штативы, стали широко применять переносные камерные головки, что позволяет получать любой ракурс передаваемой сцены и довести до зрителя динамику происходящих событий.

На рис. 9.5 показана структурная схема комплекса, состоящего из камер разных моделей, но одной серии (одной фирмы): студийных LDK-6 и портативной LDK-614. Принципы использования такого комплекса в общем мало отличаются от используемых при эксплуатации комплекса, показанного на рис. 9.4. Следует от-

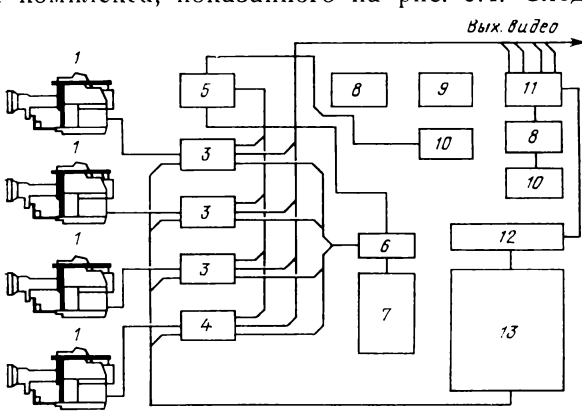


Рис. 9.5. Структурная схема комплекса, состоящего из камер двух моделей одной серии:

1 — камерные головки LDK-6; *2* — камерная головка LDK-614; *3* — камерные каналы LDK-6; *4* — камерный канал LDK-614; *5* — коммутатор технического контроля; *6* — панель управления коммутатором; *7* — пульт централизованной настройки; *8* — видеомониторы; *9* — векторископ; *10* — осциллоскоп; *11* — коммутатор технического преднабора; *12* — панель дистанционного управления коммутатором; *13* — панели дистанционного управления камерами

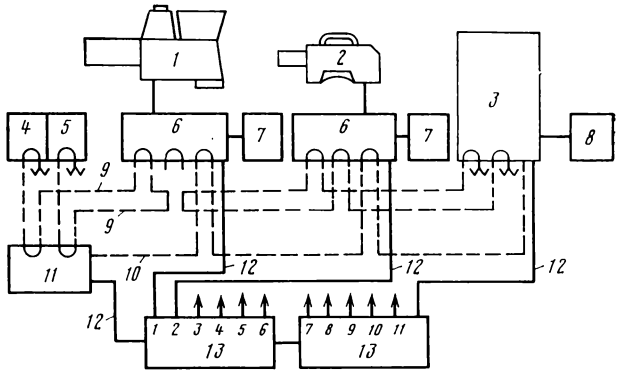


Рис. **9.6.** Структурная схема комплекса, состоящего из камер разных типов:
1 — камерная головка ТК-47В; *2* — камерная головка ТКР-47; *3* — телекинокамера ТК-290; *4* — видеомонитор; *5* — осциллоскоп; *6* — камерные каналы; *7* — пульты дистанционного управления; *8* — панель дистанционного управления; *9* — видеошины; *10* — шины данных; *11* — пульт централизованной настройки; *12* — линии управления; *13* — переключатели камер

метить, что объединение камер различных моделей оказалось в данном случае возможным только потому, что это было предусмотрено заранее при разработке серии камер.

При дальнейшей унификации управляющих и контрольных сигналов можно объединить в один комплекс не только камеры разных моделей, но и разных типов. На схеме рис. 9.6 показан пример такого объединения, где в комплекс входят студийная камера ТК-47В, портативная камера ТКР-47 и телекинокамера ТК-290 [111]. Использование централизованной настройки и двух шестиканальных переключателей камер позволяет объединять в комплексе до 12 камер любого типа. Особенностью здесь является использование не только шины данных, но и двух шин для передачи контрольных сигналов, что существенно упрощает монтаж комплекса, уменьшая общее число кабелей.

Студийные и передвижные комплексы построены в основном из унифицированных блоков по принципу коммутации, записи и обработки сигналов СЕКАМ (ПАЛ, НТСЦ). В последнее время появились комплексы с раздельным кодированием аналоговых и/или цифровых видеосигналов, что позволяет, в частности, сохранить полную четкость при создании комбинированных изображений.

К сожалению, возможности развития многокамерных автоматизированных комплексов сдерживаются отсутствием унификации управляющих и контрольных сигналов. В настоящее время ведутся работы по международной стандартизации этих сигналов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ КАМЕР

За полвека, прошедшего со времени создания первой электронно-лучевой передающей трубки, телевизионная камера стала весьма совершенным и универсальным устройством с высокими эксплуатационными характеристиками, с помощью которого решаются многие технические и творческие задачи как вещательного, так и прикладного и учебного телевидения. В настоящее время телекамеру успешно применяют для съемки видеофильмов в домашних условиях, т. е. она становится аппаратурой массового использования.

Параметры изображения, формируемого телекамерами, без существенного увеличения их массогабаритных характеристик будет улучшены при переходе к системе ТВЧ. Интенсивная разработка камер для ТВЧ уже начата. В первую очередь их будут применять в электронном кинопроизводстве и прикладном телевидении. Можно предполагать, что вначале они будут сосуществовать с телекамерами, работающими по обычному стандарту, затем полностью их вытеснят. При этом благодаря использованию цифровых преобразователей будет сохраняться возможность получения сигналов обычного стандарта для обеспечения приема сигналов как на новые телевизоры высокой четкости, так и на большое число ранее выпущенных обычных телевизоров. Следует отметить, что качество преобразованных сигналов, по-видимому, будет превосходить современный уровень, достигнутый в телекамерах обычного стандарта, в частности за счет снижения муаров и мерцаний.

В ближайшие годы, очевидно, сохранится деление вещательных телекамер на студийно-внестудийные камеры, камеры для ВЖ, телекино- и теледиакамеры.

Для вещательного телевидения по-прежнему будут использовать в основном трехтрубочные видеокамеры с постепенным переходом на твердотельные преобразователи свет — сигнал (преимущественно трехматричного типа). Что касается видеокамер, то кроме широко при-

меняемого формата видеозаписи L («Бетакам») появились усовершенствованные форматы — «Бетакам-СП» и MII. Форматы M и «Лайнплекс» нашли ограниченное применение. Перспективной для видеокамер представляется раздельная запись аналоговых составляющих (компонентов) на кассету с 8-мм магнитной лентой.

Парк прикладных бытовых телекамер и видеокамер уже сейчас намного превышает парк вещательных телекамер. Эта тенденция сохранится и в дальнейшем. Перспектива развития бытовых и прикладных телекамер заключается прежде всего в повышении их надежности, снижении массы, габаритов и энергопотребления. Несомненно, что бытовые видеокамеры на твердотельных преобразователях свет — сигнал вытеснят однотрубочные и двухтрубочные телекамеры. Так же, как и для вещательных видеокамер, перспективной для этой техники является запись на кассету с 8-мм магнитной лентой.

Для камер прикладного телевидения обозначились два направления развития. Во-первых, будет и дальше расширяться область их применения (в частности, при создании «видящих» роботов), будут осваиваться новые диапазоны длин волн и применяться особые виды разверток, малокадровые, многокадровые и многострочные системы. Во-вторых, будет расти парк прикладных телекамер, входящих в состав таких комплексов, где воспроизведение изображений обеспечивается обычными телевизорами. Сюда, относятся аппаратура учебного (полупрофессионального) телевидения и аппаратура для видеоконференций.

Весьма важным аспектом в создании новых моделей телекамер различного назначения является международная и национальная стандартизация в сочетании с унификацией отдельных узлов и блоков. В первую очередь нуждаются в стандартизации типы выходных сигналов телекамер, форматы видеозаписи для видеокамеры и форматы управляющих кодов, применяемых в многокамерных комплексах.

Со временем телекамера станет таким же привычным техническим средством, какими в производственной и бытовой деятельности человека сейчас являются телефон, дисплей, телевизор, магнитофон и видеомагнитофон. Соответственно расширится круг как специалистов, так и неспециалистов, которые должны более или менее детально знать принципы работы телекамеры и уметь ее эксплуатировать.

ПРИЛОЖЕНИЕ. ПАРАМЕТРЫ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПЕРЕДАЮЩИХ ТРУБОК С ФОТОПРОВОДЯЩЕЙ МИШЕНЬЮ

Трубки с фотопроводящей мишенью — видиконы, плюмбиконы, глетиконы и кадмиконы — основные типы трубок, применяемых в ТВ камерах.

Часто их объединяют под общим (неточным) названием «видиконы» с указанием конкретного материала мишени: на основе трехсернистой сурьмы (видикон), селенида кадмия (кадмикон), окиси свинца (глетикон).

Таблица

Модель (зарубежный аналог)	Типоразмер (диаметр), мм	Материал мишени	Фокусировка и отклонение[1]	Спектральная область и цветоделенный канал	Камера
ЛИ-418	38	Sb_2S_3	MM	Яркостный	
ЛИ-421-1	25	Sb_2S_3	MM	Красный, зеленый, синий	КТ-104Ц
				Видимый свет	КТП-73
ЛИ-423	115/25	Sb_2S_3	MM	Рентгеновское излучение	КТП-68-1
ЛИ-426-1	25	Sb_2S_3	SM	Видимый свет	КТП-58
ЛИ-432 (XQ-1020)	30	PbO	MM	Красный, зеленый, синий	КТ-132
ЛИ-437	13	Sb_2S_3	SM	Видимый свет	КТП-60, КТП-65
ЛИ-441	25	Sb_2S_3	SM	Видимый свет	КТП-63, КТП-64, КТП-67
ЛИ-442 (XQ-1025)	30	PbO	MM	Красный, зеленый, синий	КТ-132
ЛИ-454	18	Sb_2S_3	MM	Видимый свет	Прикладного ТВ
ЛИ-457 (XQ-1080)	25	PbO	MM	Красный, зеленый,	КТ-178
ЛИ-458 (XQ-1085)	25	PbO	MM	синий	
ЛИ-465	13	CdSe	SS	Зеленый	«Электроника Ц-826»
ЛИ-472	13	CdSe	SS	Красно-синий	
ЛИ-475	18	Sb_2S_3	SM	Видимый свет	КТП-82
ЛИ-484 (XQ-2070)	25	PbO	MM	Зеленый и синий	КТ-178
ЛИ-485К (XQ-2075R)	25	PbO	MM	Красный	

[1] Первая буква — фокусировка, вторая — отклонение: M — магнитная (ое); S — электростатическая (ое)

Основные параметры трубок, применяемых в отечественных телекамерах

Видикон ЛИ-418.

Габаритные размеры, мм:
- диаметр колбы 38,1
- длина 197

Масса, г, не более 130
Ток сигнала (при освещенности мишени 70 лк), мкА, не менее 0,4
Глубина модуляции на 400 твл, %, не менее:
- в центре 70
- в углах 50

Выходная емкость, пФ, не более 8
Инерционность (остаточный сигнал через 40 мс), %, не более 30
Номинальное напряжение, В, на электродах (выводах)
- Подогреватель (1, 8) 6,3
- Модулятор (2) . . . . . —10...—200
- Сетка (4) . . . . . 1200...1400
- Первый анод (5) 300
- Второй анод (6) . . . . . 950...1050
- Катод (7) 0
- Сигнальная пластина (кольцевой) . . . . 10...125

Видикон ЛИ-421-1

Габаритные размеры, мм:
- диаметр колбы 26,7
- длина 165

Масса, г, не более 60
Ток сигнала (при освещенности мишени 1 лк), мкА, не менее 0,1
Глубина модуляции на 400 твл (в центре), % не менее 35
Разрешающая способность по полю изображения, твл, не менее 600
Выходная емкость, пФ, не более 5
Инерционность (остаточный сигнал через 40 мс), %, не более 40
Номинальное напряжение, В, на электродах (выводах)
- Подогреватель (1, 8) 6,3
- Модулятор (2) . . . . . 0...—100
- Сетка (3) . . . . . 400...500
- Первый анод (5) 300
- Второй анод (6) 300
- Катод (7) 0
- Сигнальная пластина (кольцевой) . . . . 10...125

Рентгеновидикон ЛИ-423

Габаритные размеры, мм:
- диаметр рентгеновской части трубки . . . 115
- диаметр видиконной части трубки . . . 26,5
- длина 270

Масса, г, не более 300
Ток рентгеновской трубки, мА 3

Ток сигнала от границы свинец—воздух, мкА, не менее 0,15
Разрешающая способность (отдельных вольфрамовых проволок), мкм, не менее 60
Выходная емкость, пФ, не более 10
Инерционность (остаточный сигнал через 40 мс), %, не более 30
Номинальное напряжение, В, на электродах (выводах)
Подогреватель (1, 8) 6,3
Модулятор (2) . . . . . 0...—100
Первый анод (5) 600
Второй анод (6) 500
Катод (7) 0
Сигнальная пластина (отдельный) . . . 100...500
Анод рентгеновской трубки (колпачок) . . . 120 000

Видикон ЛИ-426-1

Габаритные размеры, мм:
диаметр колбы 26,7
длина 164
Масса, г, не более 80
Ток сигнала (при освещенности мишени 1 лк), мкА, не менее 0,1
Разрешающая способность, твл, не менее:
в центре 600
в углах 500
Выходная емкость, пФ, не более 5
Инерционность (остаточный сигнал через 40 мс), %, не более 40
Номинальное напряжение, В, на электродах (выводах)
Подогреватель (1, 13) 6,3
Катод (2) 0
Анод (3) 300
Фокусирующий электрод (4) . . . . . 50...65
Модулятор (6) . . . . . 0...—60
Сетка (10) 600
Сигнальная пластина (кольцевой) . . . . 10...95

Глетикон ЛИ-432

Габаритные размеры, мм:
диаметр колбы 30,45
длина 220
Масса, г, не более 100
Чувствительность, мкА/лм, не менее, для трубок:
ЛИ-432я 360
ЛИ-432к (с фильтром ОС-13 толщиной 5 мм) 100
ЛИ-432з (с фильтром ЖЗС-9 толщиной 3 мм) 140
ЛИ-432с (с фильтром СС-4 толщиной 2 мм) . 40
Номинальный ток сигнала, мкА для трубок:
ЛИ-432я 0,3
ЛИ-432к, ЛИ-432з, ЛИ-432с 0,15
Глубина модуляции в центре на 400 твл, %, не менее, для трубок:
ЛИ-432я, ЛИ-432з, ЛИ-432с 40

ЛИ-432к 35
Разрешающая способность в углах, твл, не менее . 550
Выходная емкость, пФ, не более 6
Инерционность (остаточный сигнал через 40 мс), %, не более, для трубок:
ЛИ-432я, ЛИ-432з 20
ЛИ-432к 25
ЛИ-432с 30
Номинальное напряжение, В, на электродах (выводах)
Подогреватель (1, 4) 6,3
Сетка (2) 675
Второй анод (3) 600
Катод (5) 0
Управляющий электрод модулятор (6) . . . —70...—125
Первый анод (7) 300
Ключ (8) . . . . . —
Сигнальная пластина (кольцевой) 45

Видикон ЛИ-437

Габаритные размеры, мм:
диаметр колбы 13,6
длина 102
Масса, г, не более 20
Ток сигнала (при освещенности мишени 5 лк), мкА, не менее 0,1
Разрешающая способность, твл, не менее:
в центре 450
в углах 400
Выходная емкость, пФ, не более 5
Инерционность (остаточный сигнал через 40 мс), %, не более 40
Номинальное напряжение, В, на электродах (выводах)
Подогреватель (1, 6) 6,3
Катод (2) 0
Анод (3) 300
Фокусирующий электрод (4) . . . . . 70...85
Модулятор (5) . . . . . —5...—80
Сетка (утолщенный вывод) (7) 600
Сигнальная пластина (кольцевой) . . . . 5...90

Видикон ЛИ-441

Габаритные размеры, мм:
диаметр колбы 26,7
длина 164
Масса, г, не более 80
Ток сигнала (при освещенности мишени 1 лк), мкА, не менее 0,1
Разрешающая способность, твл, не менее:
в центре 600
в углах 550
Выходная емкость, пФ, не более 5
Инерционность (остаточный сигнал через 40 мс), %, не более 45
Номинальное напряжение, В, на электродах (выводах)
Подогреватель (1, 13) 0,8

Катод (2) 0
Анод (3) 300
Фокусирующий электрод (4) . . . 55...65
Модулятор (6) . . . . . —5...—60
Сетка (10) 600
Ключ (укороченный штырек) (14) . —
Сигнальная пластина (кольцевой) . 10...90

Глетикон ЛИ-442

Габаритные размеры, мм:
диаметр колбы 30, 45
длина 220
Масса, г, не более 100
Чувствительность, мкА/лм, не менее для трубок:
ЛИ-1442я 450
ЛИ-442к (с фильтром) 150
Номинальный ток сигнала, мкА, для трубки ЛИ-442я 0,3
Глубина модуляции в центре на 400 твл, %, не менее 55
Разрешающая способность в углах, твл, не менее 600
Выходная емкость, пФ, не более 6
Инерционность (остаточный сигнал через 40 мс), %, не более, для трубки ЛИ-442я 24
Номинальное напряжение, В, на электродах (выводах)
Подогреватель (1, 4) 6,3
Сетка (2) 675
Второй анод (3) 600
Катод (5) 0
Модулятор (6) . . . . . —70...—125
Первый анод (7) 300
Ключ (8) . . . . . —
Сигнальная пластина (кольцевой) 45

Видикон ЛИ-454

Габаритные размеры, мм:
диаметр колбы 18
длина 107
Масса, г, не более 26
Ток сигнала, мкА, не менее 0,15
Глубина модуляции на 400 твл, %, не менее . . 25
Разрешающая способность, твл, не менее:
в центре 600
в углах 450
Выходная емкость, пФ, не более 3
Инерционность (остаточный сигнал через 40 мс), %, не более 35
Номинальное напряжение, В, на электродах (выводах)
Катод (1) 0
Сетка (2) . . . . . 400...500
Подогреватель (3, 4) 6,3
Модулятор (5) . . . . . —10...—100
Первый анод (6) 300
Второй анод (7) 300
Сигнальная пластина (кольцевой) . . . . 5...100

Глетикон с «антикометным» прожектором ЛИ-457

Габаритные размеры, мм:
- диаметр колбы 26,2
- длина 169

Масса, г, не более 70

Чувствительность, мкА/лм, не менее, для трубок:
- ЛИ-457я 360
- ЛИ-457к (с фильтром ОС-13 толщиной 5 мм) 75
- ЛИ-457з (с фильтром ЖЗС-9 толщиной 3 мм) 130
- ЛИ-457с (с фильтром СС-4 толщиной 2 мм) 40

Номинальный ток сигнала, мкА 0,2

Глубина модуляции в центре на 400 твл, %, не менее для трубок:
- ЛИ-457я, ЛИ-457з 40
- ЛИ-457к 35
- ЛИ-457с 45

Выходная емкость, пФ, не более 3

Инерционность (остаточный сигнал через 40 мс), %, не более для трубок:
- ЛИ-457я, ЛИ-457к 12
- ЛИ-457з, ЛИ-457с 18

Номинальное напряжение, В, на электродах (выводах)
- Подогреватель (1, 8) 6,3
- Модулятор (2) . . . . . —10...—100
- Сетка (3) 750
- Дополнительный электрод (4) 300
- Первый анод (5) 300
- Второй анод (6) 500
- Катод (7) 0
- Ключ (укороченный штырек) (9) . . . . . —
- Сигнальная пластина (кольцевой) 45

Глетикон с «антикометным» прожектором ЛИ-458

Габаритные размеры, мм:
- диаметр колбы 26,2
- длина 169

Масса, г, не более 70

Чувствительность, мкА/лм, не менее, для трубок:
- ЛИ-458я 400
- ЛИ-458к (с фильтром ОС-13 толщиной 5 мм) . 115

Номинальный ток сигнала, мкА, для трубок:
- ЛИ-458я 0,2
- ЛИ-458к 0,1

Глубина модуляции в центре на 400 твл, %, не менее, для трубок:
- ЛИ-458я **45**
- ЛИ-458к **40**

Выходная емкость, пФ, не более 3

Инерционность (остаточный сигнал через 40 мс), %, не более, для трубок:
- ЛИ-458я 14
- ЛИ-458к 18

Номинальное напряжение, В, на электродах (выводах)
- Подогреватель (1, 8) 6,3
- Модулятор (2) . . . . . —10...—100

Сетка (3)	750
Дополнительный электрод (4)	300
Первый анод (5)	300
Второй анод (6)	500
Катод (7)	0
Ключ (укороченный штырек) (9)	—
Сигнальная пластина (кольцевой)	45

Кадмикон ЛИ-465

Габаритные размеры, мм:	
диаметр колбы	13,6
диаметр контактного кольца	16
длина	102
Масса, г, не более	25
Чувствительность, мкА/лм, не менее	2600
Ток сигнала, мкА, не менее	0,08
Разрешающая способность, твл, не менее:	
в центре	450
в углах	400
Выходная емкость, пФ, не более	5
Инерционность (остаточный сигнал через 40 мс), %, не более	18
Номинальное напряжение, В, на электродах (выводах)	
Модулятор (ключ) (1)	—10...—90
Подогреватель (2, 11)	6,3
Отклоняющие пластины (3, 6, 9, 10):	270...330[1]
Первый анод (4)	300
Сетка (5)	600
Фокусирующий электрод (7)	600...80
Катод (8)	0
Сигнальная пластина (кольцевой)	10...60

[1] Постоянная составляющая . . 270...330
Переменная составляющая . . ±50

Кадмикон со штриховым кодирующим светофильтром ЛИ-472[1]

Габаритные размеры, мм:	
диаметр колбы	13,6
диаметр контактного кольца	16
длина	106
Масса, г, не более	27
Чувствительность в синем, мкА/лм, не менее	40
Ток сигнала, мкА, не менее	0,07

[1] Остальные параметры такие же, как у ЛИ-465.

Видикон ЛИ-475

Габаритные размеры, мм:	
диаметр колбы	18,0
длина	107
Масса, г, не более	30
Ток сигнала (при освещенности мишени 2 лк), мкА, не менее	0,08
Разрешающая способность, твл, не менее:	
в центре	550
в углах	450

Выходная емкость, пФ, не более 3
Инерционность (остаточный сигнал через 40 мс), %, не более 40
Номинальное напряжение, В, на электродах (выводах)
Катод (1) 0
Сетка (2) 550
Подогреватель (3, 4) 6,3
Модулятор (5) . . . . . 0...—75
Анод (6) 300
Фокусирующий электрод (7) . . . . . 35...55
Сигнальная пластина (кольцевой) . . . . 10...100

Глетикон с диодным прожектором ЛИ-484

Габаритные размеры, мм:
диаметр колбы 26,2
длина 168
Масса, г, не более 75
Чувствительность, мкА/лм, не менее для трубок:
ЛИ-484я 400
ЛИ-484с (с фильтром СС-4 толщиной 2 мм) 50
Номинальный ток сигнала, мкА, для трубок:
ЛИ-484я 0,2
ЛИ-484с 0,1
Глубина модуляции в центре на 400 твл, %, не менее, для трубок:
ЛИ-484я 55
Ли-484с 60
Разрешающая способность в углах, твл, не менее . 500
Выходная емкость, пФ, не более 5
Инерционность (остаточный сигнал через 40 мс при токе подсветки 0,003 мкА), %, не более, для трубок:
ЛИ-484я (при токе сигнала 0,04 мкА) . . . 10
ЛИ-484с (при токе сигнала 0,02 мкА) . . . 16
Номинальное напряжение, В, на электродах (выводах)
Подогреватель (1, 8) 6.3
Модулятор (2) 10
Сетка (3) 960
Первый анод (5) 300
Второй анод (6) 600
Катод (7) 0
Ключ (9) . . . . . —
Сигнальная пластина (кольцевой) 45

Глетикон с диодным прожектором и повышенной чувствительностью в красной области спектра ЛИ-485к [1]

Габаритные размеры, мм:
диаметр колбы 26,2
длина 168
Масса, г, не более 75
Чувствительность (с фильтром ОС-13 толщиной 5 мм), мкА/лм, не менее 105
Номинальный ток сигнала, мкА 0,1
Глубина модуляции в центре на 400 твл, %, не менее 45

[1] Остальные параметры такие же, как у ЛИ-484с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Азимов Е. И., Курков И. Н., Соголов М. А.** Автоматическая регулировка тока луча передающих ТВ трубок // Техника кино и телевидения. — 1982. — № 11. — С. 62—65.
2. **Альен И. К., Попов Ю. О.** Телевизионный микроскоп для устройства цитологической диагностики // Автоматизация цитологической диагностики опухолей. — Рига.: Зинатне. — 1976. — С. 39—44.
3. **Артюшин Л. Ф.** Основы воспроизведения цвета в фотографии, кино и полиграфии. М.: Искусство, 1970. — 548 с.
4. **А. с.** 1107343 (СССР). Частотный модулятор кодера СЕКАМ / А. Л. Штейнберг, Е. Ш. Баранов, М. И. Зражевская.
5. **А. с.** 1109957 (СССР). Устройство формирования цветоразностных сигналов в системе СЕКАМ / А. Л. Штейнберг, М. И. Зражевская, А. А. Кашкин.
6. **Баранов Е. Ш.** Регуляторы насыщенности и цветового тона для репортажной камеры // Техника телевидения и радиовещания. Сб. науч. трудов ВНИИТР. М.: 1981. — С. 21—27.
7. **Безшкуренко Л. Т., Кульянова В. И.** Влияние цветовой температуры дневного света на качество цветопередачи ТВ камер // Техника кино и телевидения. — 1983. — № 4. — С. 19—20.
8. **Богданов Г. М.** Прикладные телевизионные установки. Размещение и эксплуатация. — М.: Связь, 1979. — 280 с.
9. **Брауде Г. В.** Коррекция телевизионных и импульсных сигналов. Сб. статей. М.: Связь, 1967. — 245 с.
10. **Бушанский Ф. Р., Миленин Н. К.** Полностью полупроводниковые телевизионные камеры // Техника кино и телевидения, 1984. — № 8. — С. 60—66.
11. **Быков В. В., Терехова О. И., Хесин А. Я.** Применение микропроцессоров в передающих ТВ камерах // Техника кино и телевидения. — 1984. — № 4, С. 30—35.
12. **Бычков Б. Н., Тимофеев Б. С.** Алгоритмы автоматической настройки камер ЦТ // Техника кино и телевидения. — 1986. — № 11. — С. 18—27.
13. **Великожон А. Н., Курков И. Н., Штейнберг А. Л.** Репортажная передающая камера КТР—308 // Техника кино и телевидения. — 1982. — № 8. — С. 30—36.
14. **Волосов Д. С.** Фотографическая оптика. — М.: Искусство, 1978. — 670 с.
15. **Гершберг А. Е., Вишневский Г. И.** Многосигнальные видиконы. Л.: Энергоатомиздат, 1983. — 140 с.
16. **Гисич П. Н., Лунева З. П., Петропавловский В. А.** Аппаратура телекинопоста цветного телевидения // Вопросы радиоэлектроники. Серия «Техника телевидения». — 1971. — Вып. 2. — С. 128—143.
17. **ГОСТ** 7845—79. Система вещательного телевидения.
18. **ГОСТ** 21879—76. Телевидение вещательное. Термины и определения.
19. **ГОСТ** 24838—81. Аппаратура радиоэлектронная бытовая.

20. **Грацианская М. М., Кравченко В. С., Шерстнев Л. Г.** Оценка полутоновых искажений с помощью испытательных таблиц // Техника кино и телевидения. — 1974. — № 12. — С. 43—46.
21. **Гуглин И. Н.** Телевизионные игровые автоматы и тренажеры. — М.: Радио и связь, 1982. — 272 с.
22. **Гуревич С. Б.** Теория и расчет невещательных систем телевидения. — Л.: Энергия, 1970. — 236 с.
23. **Гуревич С. Б.** Эффективность и чувствительность телевизионных систем. — М.: — Л.: Энергия, 1964. — 344 с.
24. **Джадд Д., Вышецки Г.** Цвет в науке и технике. — М.: Мир, 1978. — 592 с.
25. **Игнатьев Н. К.** Дискретизация и ее приложения. — М.: Связь, 1980. — 264 с.
26. **Исследование** искажений сигнала СЕКАМ методом моделирования на ЦВМ / Е. З. Сорока, В. А. Хлебородов, А. Л. Штейнберг, Н. Ю. Волчков // Радио и телевидение ОИРТ. — 1977. — № 3. — С. 21—31.
27. **Колмаков С. Г., Клепов Н. М., Несмелова Т. П.** Форматы записи в современных кассетных комплексах видеожурналистики // Техника кино и телевидения.—1985.—№ 3. — С. 58—63.— № 4. — С. 64—67.
28. **Кривошеев М. И., Никаноров С. И., Хлебородов В. А.** Международный стандарт цифрового кодирования ТВ сигналов (часть 1) // Техника кино и телевидения. — 1982. — № 3. — С. 49—54.
29. **Кривошеев М. И.** Основы телевизионных измерений. — М.: Связь, 1976. — 536 с.
30. **Курков И. Н., Штейнберг А. Л.** Камера внестудийного видеопроизводства КТ-320 // Техника кино и телевидения. — 1987. — № 7. — С. 24—30.
31. **Либенсон М. Н., Хесин А. Я., Янсон Б. А.** Автоматизация распознавания телевизионных изображений.—М.: Энергия, 1975.— 160 с.
32. **Лунева З. П.** Направления развития и методы совершенствования телекинодатчиков // Техника кино и телевидения. — 1984. — № 2. — С. 24—27.
33. **Лунева З. П., Новаковский С. В.** Телекинодатчики цветного изображения: состояние и перспективы // Техника кино и телевидения. — 1984. — № 11. — С. 36—39.
34. **Лунева З. П., Сорока Е. З.** Новые методы телекинопередачи с использованием кадровой памяти // Техника кино и телевидения. — 1981. — № 4. — С. 38—51.
35. **Максаков Л. С., Маковеев В. Г.** Крупнейший в мире телецентр. — М.: Связь, 1974. — 87 с.
36. **Мейстер В. В., Розвал Ю. Б.** Система автоматической настройки камеры видеожурналистики // Техника кино и телевидения.— 1984. — № 9. — С. 24—29.
37. **Микропроцессорная** система для автоматической настройки камер ЦТ / Б. Н. Бычков, В. А. Дамбит, Н. А. Калинин и др. // Техника кино и телевидения. — 1984. — № 8. — С. 35—41.
38. **Миленин Н. К.** Современные матричные преобразователи свет—сигнал и камеры ЦТ на их основе // Техника кино и телевидения. — 1985. — № 12. — С. 56—61.
39. **Миленин Н. К.** Современные фотопроводящие телевизионные передающие трубки и их использование в камерах ЦТ // Техника кино и телевидения. — 1986. — № 8. — С. 66—73.
40. **Миленин Н. К.** Цветные ТВ камеры на твердотельных форми-

рователях сигналов изображения // Техника кино и телевидения. — 1983. — № 3. — С. 57—65.
41. **Новаковский С. В.** Стандартные системы цветного телевидения. — М. Связь, 1976. — 368 с.
42. **Новаковский С. В.** Цвет в цветном телевидении. М.: Радио и связь. — 1988. — 288 с.
43. **Новиков Н. В., Петропавловский В. А., Постникова Л. Н.** Автоматический корректор контраста в тракте цветной телекинопроекции // Техника кино и телевидения. — 1977. — С. 46—49.
44. **Однолько В. В., Ожигин А. Ф., Харитонов Ю. А.** Портативные камеры цветного телевидения. — М.: Радио и связь, 1984. — 104 с.
45. **Однолько В. В.** Новая камерная система вещательного телевидения // Техника кино и телевидения. — 1986. — № 3. — С. 4—11.
46. **Петропавловский В. А., Постникова Л. Н., Штейнберг А. Л.** Репортажная станция цветного ТВ // Техника кино и телевидения. — 1978. — № 7. — С. 63—67.
47. **Петропавловский В. А., Постникова Л. Н., Хесин А. Я.** Технические средства телевизионного репортажа. — М.: Радио и связь, 1983. — 128 с.
48. **Пресс Ф. П.** Формирователи видеосигнала на приборах с зарядовой связью. — М.: Радио и связь, 1981. — 136 с.
49. **Сальман М. А.** Современное телепроекционное оборудование. — Зарубежная радиоэлектроника, 1983, № 10, с. 75—84.
50. **Самойлов В. Ф., Хромой Б. П.** Телевидение. — М.: Связь, 1975, 400 с.
51. **Самсонова Л. И., Блюмина И. А.** Вариообъектив 10×14 для репортажной камеры цветного телевидения // Сб. научн. трудов ВНИИТР. Проблемы техники и экономики телевизионного вещания. — 1982. — С. 25—29.
52. **Секен К., Томпсет М.** Приборы с переносом заряда. — М.: Мир, 1978. — 327 с.
53. **Соколов Е. Н., Измайлов Ч. А.** Цветовое зрение. — МГУ, 1984. — 171 с.
54. **Сорока Е. З., Игнатьев Н. К.** Вертикально-временные искажения в системе СЕКАМ // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения. — 1972. — Вып. 2. — С. 13—24.
55. **Сорока Е. З., Юлиш А. Н.** Исследование методов улучшения чересстрочного ТВ воспроизведения // Техника кино и телевидения. — 1984. — № 3. — С. 43—47.
56. **Телевидение** / Под ред. В. Е. Джакония. М.: Радио и связь, — 1986. — 485 с.
57. **Техника** телевизионного вещания. Справочник / В. А. Красовский, Л. В. Омельченко, Г. В. Привознов, В. М. Палицкий. — Киев: Техніка, 1980. — 144 с.
58. **Техника** цветного телевидения / Под ред. С. В. Новаковского. — М.: Связь, 1976. — 496 с.
59. **Усовершенствованные** методы формирования сигнала СЕКАМ / Е. З. Сорока, В. Г. Маврицын, В. А. Хлебородов, А. Л. Штейнберг. — Радио и телевидение ОИРТ, 1985, № 4, с. 25—31.
60. **Хесин А. Я.** Видеосистема Betacam // Техника кино и телевидения. — 1984. — № 3. — С. 61—67.
61. **Хесин А. Я., Терехова О. И.** Современные портативные трехтрубочные телевизионные камеры // Техника кино и телевидения. — 1985. — № 1. — С. 58—65.

62. **Хесин А. Я., Хлебородов В. А.** Видеожурналистика — новое направление технологии телевизионного вещания // Техника кино и телевидения. — 1979. — № 10. — С. 57—65.
63. **Хесин А. Я., Хлебородов В. А.** Видеокамера — новое перспективное средство видеосъемки // Техника кино и телевидения. — 1983. — № 1. — С. 60—67.
64. **Хесин А. Я., Хлебородов В. А.** Специализированная телевизионная камера для видеокиносъемок // Техника кино и телевидения. — 1982. — № 10. — С. 63—67.
65. **Хесин А. Я., Хлебородов В. А.** Универсальные телевизионные камерные системы // Техника кино и телевидения. — 1980. — № 7. — С. 59—64.
66. **Хесин А. Я., Штейнберг А. Л.** Система телевидения высокой четкости // Техника кино и телевидения. — 1985. — № 9. — С. 64—66.
67. **Хлебородов В. А.** Анализ усовершенствованного электронного преобразователя строчного стандарта // Техника средств связи, серия «Техника телевидения». — 1969. — Вып. 2. — С. 123—130.
68. **Хохлов Б. Н., Сорока Е. З.** Фиксация уровня в цветоразностных сигналах // Вопросы радиоэлектроники, серия «Техника телевидения». — 1975. — Вып. 4. — С. 42—46.
69. **Телевидение** / Под ред. П. В. Шмакова. М.: Связь, 1979. — 432 с.
70. **Штейнберг А. Л., Асауленко Ю. Б.** Система синхронизации репортажной камеры. Техника телевидения и радиовещания (Сборник научных трудов) // Труды ВНИИТР. — 1981. — С. 11—15.
71. **Штейнберг А. Л., Зражевская М. И.** Блок контроля девиаций для кодера СЕКАМ / Техника кино и телевидения. — 1978. — № 12. — С. 13—18.
72. **Штейнберг А. Л., Зражевская М. И.** Индикатор цветового баланса // Труды ВНИИТР. — 1979. — Вып. 11(30). — С. 29—35.
73. **Штейнберг А. Л., Клящицкий М. Ю.** Тракт обработки сигнала яркости репортажной камеры. Техника телевидения и радиовещания (Сборник научных трудов) // Труды ВНИИТР. — 1981. — С. 16—20.
74. **Adaptive** Contrast Correction Using Real—Time Histogram Modification / M. Favreau, S. Soca, J. Bajon, M. Cattoen.// SMPTE Journal. — 1984. — V. 93. — N 5. — P. 488—501.
75. **All—solid-state** color TV camera / VTR combination to be marketed by Hitachi Denshi // JEE. — 1982. — V. 19. — N 185. — P. 22.
76. **An electronic** cinematography (EC) camera for single camera production. Report No. D—8011—A // CBS television network, Engineering and development department. Revised October. — 1979. — P. 1—17.
77. **Annual** NAB Exhibition Brims with technology for the eighties // BM/ES World Broadcast news. — 1980. — V. 2, N 10. — P. 15—24.
78. **Aschen R.** Les télécinemas en procédé Super—8 // Toute l'Électronique. — 1979. — N 443. — P. 57—62.
79. **A 70-mm** Film Laser Telecine for High Definition Television / T. Ishida, K. Hayashi, T. Taneda et al // SMPTE Journal. — 1983. — V. 92, N 6. — P. 629—635.
80. **Bergeman H.** Wärmebild—fernschkameras mit Pyricons // Elektronik. — 1981. — B. 30. — N 17. — S. 64—68.

81. **Buchwald W.** Halbleiter—Farbfernsehkamera mit erhohter auflösung // Rundfunktechnische Mitt. — 1984. — N 6. — S. 265—272.
82. **CCD—1.** The «ONE—FOR—ALL» Camera for ENG, EFP, Studio // RCA, Catalog CA.1480A, 1985.
83. **Criesshaber H.** Automatic Set—up System for the BCC—20 using digital video techniques // SMPTE Journal. — 1982. — V. 91. — N 8. — P. 709—716.
84. **Desmons G., Revellin G.** La chaîne de prise de vue couleur TTV—1525C // Radiodiffusion—Télévision. — 1983. — N 77. — P. 10—14.
85. **Doc. CCIR,** 11/229—E Allocation of tolerances for colour television. — 1973. — P. 1—3.
86. **Doc. CCIR,** 11/1022—E. Method for the subjective assessment of the quality of television pictures. — 1977. — P. 1—5.
87. **Farbvideokamera:** Mikroprozessor im Griff // Funkschau.—1983.— N 20. — S. 47—48.
88. **Flaherty J. A.** Television News Gathering // SMPTE Journal. — 1974. — V. 83. — N 8. — P. 645—648.
89. **Franken A.** Low output—capacitance Plumbicon tubes // Electronic components and applications. — 1981. — V. 3. — N 3. — P. 156—158.
90. **Franken A., Lohius W.** Highlight handling with the diode—gun Plumbicon tubes // Electronic components and applications. — 1980. — V. 3. — N 1. — P. 17—20.
91. **Grimaldi J. L., Michaud P., Chambaut J. F.** CCD Slide Scanner and Still Store: A step forward digital sources // In: Symposium Record. Broadcast sessions. 14-th Intern. Television Symposium, Montreux (Switzerland). — 1985. — June 6—12. — V. 1. — P. 213—226.
92. **Heightman A. N.** Gamma in Television // Sound and Vision Broadcasting. — 1971. — V. 12. — N 2. — P. 26—30.
93. **Ikeda S., Tanahashi T., Kono A.** NEC Improves Flexibility of Color ENG Cameras With CCD Image Sensors // JEE. — 1985. — V. 22. — N 219. — P. 28—32, 96.
94. **Ishihara V., Tanigaki K.** A High Photosensitivity IL—CCD Image Sensor with Monolitic Resin Lens Array // IEEE. — 1983 IEDM Technical Digest. — P. 497—500.
95. **Koch R.** Flächenhafte Halbleiter — Bildsensoren // Rundfunk— technische Mitteilungen. — 1983. — N 5. — S. 213—224.
96. **König S.** Neue Entwicklungen bei Halbleiter—Bildsensoren. // Fernseh und Kino Technik. — 1985. — N 1. — S. 6—10.
97. **La** chaîne de prise de vues en couleur TTV 1525 / M. Artigalas, J. Beaugrand, R. Cahen et al. // Révue Technique Thomson — CSF. — 1980. — V. 12. — N 3. — P. 647—744.
98. **Lestang A.** Le nouveau télécinema Thomson—CSF convertible 35/16 mm TTV 2530 // Révue Technique Thomson—CSF.—1979.— V. 11. — N 3. — P. 676—690.
99. **Lowten P. C.** Betacam: the next step in ENG cameras // Broadcast Communications. — 1982. — V. 5. — N 1. — P. 57—61.
100. **Matchell R.** The Marconi B3410 Line—array Telecine // Communication and Broadcasting. — 1982. — V. 7. — N 2. — P. 14—18.
101. **Mayer N.** Die Farbwiedergabeindex in Farbfernseh // Rundfunktechnische Mitteilungen. — 1972. — N 6. — P. 109—111.
102. **Michaud P., Delmas F. La** chaîne de prise de vues en couleurs TTV1525. IV. Le cable unique // Révue technique Thomson— CSF. — 1980. — V. 12. — N 3. — P. 699—732.

103. **Morier Ch.** The Thomson—CSF TTV 1525C // International Broadcast Engineer. — 1984. — V. 15. — N 193. — P. 30—34.
104. **Newly** developed portable camera MNC — 100 / Ikeda S., Ushiyama Y., Nagai K. et al // NEC Research and Development. — 1984. — N 72. — P. 78—87.
105. **Poetsch D.** FDL 60 — An Advanced Film Scanning System // SMPTE Journal. — 1984. — V. 93. — N 3. — P. 216—227.
106. **Recorderkamera:** Beta bläst zum Angriff // Funkschau. — 1983. — N 20. — S. 42—43.
107. **Reimers U.** Farbkamera für HDTV—Systeme // Fernseh und Kino Technik. — 1985. — N 3. — S. 136—140.
108. **Renes W.** The Philips LDK—6 // International Broadcast Engineer. — 1984. — V. 15. — N 193. — P. 16—17.
109. **Report** 642—2 (MOD I). Characteristics of television systems. In: Conclusions of the interim meeting of Study Group 11 (Brodcasting Service (Television)) // Geneva, 13—30 Sept. 1983, Part 1, Doc 11/239. CCIR. — 1983. — P. 1—7.
110. **See L.** Betacam format is both flexible and expandable // Broadcast Communications. — 1982. — V. 5. — N 3. — P. 43—48.
111. **Smith Ch. R.,** The TK—47B automatic camera // International Broadcast Engineer. — 1984. — V. 15. — N 193. — P. 19—22.
112. **Sony** Shows Image Tube and Companion Cameras // JEE. — 1984. — N 215. — P. 30.
113. **Tetzner K.** Mit Neuheiten zur NAB—Convention // Funkshau. — 1982. — N 8. — S. 108—109.
114. **The RCA** TK—290 auto telecine // SMPTE Journal. — 1983. — N. 8. — P. 882.
115. **Wyszecki G.** CIE Colorimetry Commitee working program on Color differences // Journ. Opt. Soc. of America. — 1974. — N 64.— P. 896—899.
116. **Пат. 2283611** (Франция) .Dispositif d'asservissement de la fréquence de répos d'une sous—porteuse de télévision en couleurs et codeurs correspondants pour le systéme Secam. / Pham Van Cang Luc.
117. **Пат.** 1524720 (Великобритания). Contrast correction arrangements / R. W. Fenton.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . 3

Глава 1.

Этапы развития телевизионных камер . 5

Глава 2.

Параметры и характеристики . . . 17

2.1. Общие сведения 17
2.2. Яркость и контрастность изображения . . . 19
2.3. Четкость, резкость и разрешающая способность . 27
2.4. Цветопередача 36
2.5. Искажения передаваемого изображения . . . 47
2.6. Шумы и помехи 54
2.7. Эксплуатационные характеристики 58

Глава 3.

Принципы построения и основные типы камер . . . 64
3.1. Классификация и типовая структура 64
3.2. Студийные камеры и камеры внестудийного видеопроизводства 68
3.3. Камеры видеожурналистики и видеокамеры . . . 82
3.4. Телекино- и теледиакамеры 106
3.5. Бытовые камеры 114
3.6. Камеры прикладного телевидения 123
3.7. Камеры систем телевидения высокой четкости . . 141

Глава 4.

Оптические системы . . . 146

4.1. Принципы построения . 146
4.2. Объективы 150
4.3. Цветоделительные блоки 157

Глава 5.

Преобразование свет—сигнал . 161

5.1. Преобразователи свет—сигнал 162
5.2. Передающие трубки с внутренним фотоэффектом . 162
5.3. Твердотельные преобразователи 170
5.4. Формирование сигналов изображения . . . 181

Глава 6.

Обработка видеосигналов . . . 185

6.1. Структура системы обработки . 185
6.2. Коррекция контраста . . . 193
6.3. Коррекция четкости 196

6.4. Цветокоррекция 202
6.5. Кодирование видеосигналов . 209

Глава 7.

Управление 219

7.1. Управление настройкой и в процессе передачи . 219
7.2. Объекты и органы управления 222
7.3. Автоматическая настройка 231
7.4. Автоматическое управление 242

Глава 8.

Вспомогательные системы . . . 250

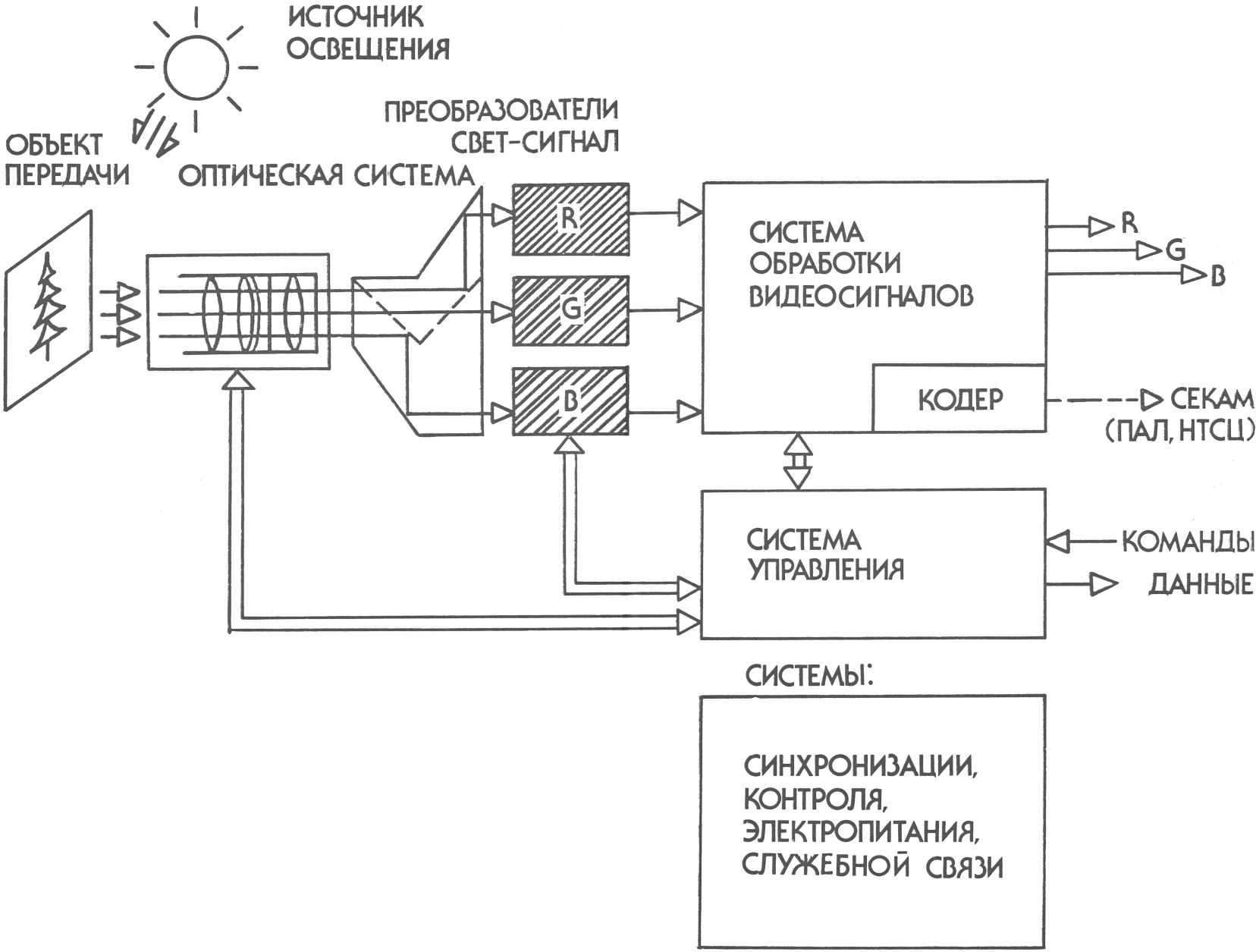
8.1. Синхронизация 250
8.2. Контроль и индикация 256
8.3. Электропитание 267
8.4. Звуковое сопровождение и служебная связь . 271

Глава 9.

Однокамерные и многокамерные комплексы 277

Заключение. Перспективы развития телевизионных камер . 287

Приложение. Параметры отечественных передающих трубок с фотопроводящей мишенью 297
Список литературы 305


ИСТОЧНИК
ОСВЕЩЕНИЯ
ОБЪЕКТ
ПЕРЕДАЧИ
ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ
СВЕТ-СИГНАЛ
R
G
B
СИСТЕМА
ОБРАБОТКИ
ВИДЕОСИГНАЛОВ
КОДЕР
R
G
B
СЕКАМ
(ПАЛ, НТСЦ)
СИСТЕМА
УПРАВЛЕНИЯ
КОМАНДЫ
ДАННЫЕ
СИСТЕМЫ:
СИНХРОНИЗАЦИИ,
КОНТРОЛЯ,
ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ,
СЛУЖЕБНОЙ СВЯЗИ