



Г. Н. Грязин

ОСНОВЫ И СИСТЕМЫ ПРИКЛАДНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ



Электронный аналог печатного издания: Грязин Г. Н. Основы и системы прикладного телевидения : учеб. пособие для вузов / Г. Н. Грязин; Под ред. Н. К. М а л ь ц е в о й. — СПб. : Политехника, 2011. — 274 с. : ил.

УДК 621.397
ББК 32.94-5я7
Г92



ПОЛИТЕХНИКА
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Санкт-Петербург 2011

www.polytechnics.ru

*Рекомендовано УМО по образованию
в области приборостроения и оптоэлектроники
в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся
по направлению подготовки 200200 — Оптоэлектроника
и специальности 200203 — Оптико-электронные
приборы и системы*

Р е ц е н з е н т ы: кафедра телевидения и видеотехники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича (зав. кафедрой доктор техн. наук, профессор А. А. Гоголь); заслуженный деятель науки РФ, доктор техн. наук, профессор Э. Д. Панков

Грязин, Г. Н.

Г92 **Основы и системы прикладного телевидения: учеб. пособие для вузов / Г. Н. Грязин; Под ред. Н. К. М а л ь ц е в о й. — СПб. : Политехника, 2011. — 274 с. : ил.**

ISBN 978-5-7325-0992-2

В учебном пособии рассмотрены характеристики, параметры и принципы работы как телевизионных систем наблюдения визуального и автоматического типа различного назначения в целом, так и основных устройств, входящих в их состав. Изложены основы цветного и стереоскопического телевидения. Особое внимание уделено методам расчета режима функционирования систем, которые иллюстрируются примерами решения практических задач энергетического расчета реальных приборов и систем. В приложении приводится справочный материал к устройствам описываемых телевизионных систем.

Пособие предназначено для студентов и аспирантов технических специальностей оптического и оптико-электронного профиля, также может быть полезно научным сотрудникам и инженерам, занимающимся проблемами разработки телевизионной аппаратуры.

УДК 621.397

ББК 32.94-5я7

© Издательство «Политехника»,

ISBN 978-5-7325-0992-2

2011

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Предисловие автора	5
Введение	6
Г л а в а 1. ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ	13
1.1. Психофизиологические параметры зрительной информации	–
1.2. Расчет контрастной чувствительности зрения в реальных условиях телевизионного наблюдения	21
1.3. Пространственно-частотная, частотно-контрастная и переходная характеристики телевизионной системы	24
1.4. Градационная характеристика телевизионной системы	29
1.5. Разрешающая способность системы и выбор числа строк разложения	32
1.6. Количество градаций яркости воспроизводимого изображения	36
1.7. Выбор частоты смены кадров и яркости телевизионного изображения	38
1.8. Энергетическая и контрастная чувствительности телевизионной системы	40
Г л а в а 2. РАЗВЕРТКА ИЗОБРАЖЕНИЯ И ОБРАЗОВАНИЕ ВИДЕОСИГНАЛА	42
2.1. Законы и способы осуществления развертки изображения	–
2.2. Форма и частотный спектр видеосигнала	47
2.3. Координатные искажения изображения и явления «муара»	53
Г л а в а 3. ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ	55
3.1. Диссектор	–
3.2. Принцип накопления энергии в телевизионных фотопреобразователях	57
3.3. Видикон и его модификации	58
3.4. Твердотельные фотоэлектрические преобразователи	68
3.5. Сочлененные фотопреобразователи	84
Г л а в а 4. КИНЕСКОПЫ ЧЕРНО-БЕЛОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ	92
4.1. Фокусировка и отклонение электронного луча	–
4.2. Модуляционная и частотно-контрастная характеристики кинескопа	95
4.3. Характеристики экранов	96
4.4. Проекционные кинескопы	99
Г л а в а 5. УСИЛЕНИЕ И АНАЛОГОВАЯ ОБРАБОТКА ВИДЕОСИГНАЛА	101
5.1. Состав и требования к видеоусилительному тракту	–
5.2. Анализ исходных данных и эскизный расчет видеотракта	103
5.3. Восстановители постоянной составляющей сигнала	107
5.4. Корректоры амплитудной характеристики видеотракта	110
5.5. Апертурная коррекция и выделение контуров изображения	113
5.6. Понятие и расчет шумового сопротивления полевого транзистора	116
Г л а в а 6. ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ВИДЕОСИГНАЛА	118
6.1. Цифровое представление изображения	–
6.2. Принципы построения телевизионных систем с цифровой обработкой сигнала	121
6.3. Система с преобразованием стандарта разложения	124

6.4. Полупроводниковые устройства памяти	125
6.5. Быстродействующие преобразователи напряжения — код . . .	126
Глава 7. РАЗВЕРТЫВАЮЩИЕ И СИНХРОНИЗИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА . .	129
7.1. Генераторы кадровой развертки	—
7.2. Генераторы строчной развертки	134
7.3. Синхронизирующие устройства	139
Глава 8. ОСНОВЫ ЦВЕТНОГО И СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ	147
8.1. Цветовое зрение и смешение цветов	—
8.2. Формирование сигналов в передающих камерах цветного теле- видения	152
8.3. Принципы построения передающих камер цветного телевидения	155
8.4. Устройства для воспроизведения цветных изображений	159
8.5. Основы стереоскопического телевидения	165
8.6. Телевизионный стереоскопический дальномер	170
Глава 9. ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ	172
9.1. Телевизионные системы промышленного назначения	—
9.2. Системы подводного телевидения	184
9.3. Малокадровые, фототелевизионные и спектрозональные системы	191
9.4. Телевизионные системы наблюдения за быстродвижущимися объектами и быстропротекающими процессами	198
Глава 10. РАСЧЕТ РЕЖИМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИС- ТЕМЫ	216
10.1. Методология расчета	—
10.2. Расчет энергетической и контрастной чувствительностей теле- визионной системы визуального типа	218
10.3. Расчет энергетической и контрастной чувствительностей авто- матической телевизионной системы	230
10.4. Энергетический расчет системы при наблюдении в атмосфере	237
10.5. Энергетический расчет импульсной телевизионной системы . . .	247
10.6. Энергетический расчет системы подводного наблюдения	254
10.7. Энергетический расчет систем с инфракрасной подсветкой объекта	262
Приложение 1. Параметры матричных ПЗС российских фирм	266
Приложение 2. Параметры кинескопов черно-белого изображения . . .	267
Приложение 3. Параметры, спектральные характеристики и кривые ВЭПП импульсных ламп	268
Список литературы	270
Предметный указатель	273

ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ

1.1. ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЗРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

В большинстве телевизионных систем предусматривается зрительное получение информации. Это касается не только чисто визуальных систем, но и телевизионных автоматов, в которых визуальный канал имеет вспомогательное значение, играя роль видеискателя.

Зрительное восприятие изображений объектов на различных устройствах отображения информации (кинескопах, индикаторных панелях и др.) можно разделить на три стадии: обнаружение, различение и опознавание [25].

Обнаружение — это стадия зрительного восприятия, на которой наблюдатель выделяет объект из фона, но не может еще судить о его форме и признаках, для обнаружения необходимо выделять в изображении только очертания объекта или его крупные детали.

Различение — это стадия зрительного восприятия, на которой наблюдатель способен раздельно воспринимать два объекта, а также выделять отдельные детали объектов.

Опознавание — это стадия зрительного восприятия, на которой наблюдатель выделяет существенные признаки объекта и относит его к определенному классу. Опознавание требует воспроизведение системой большинства мелких деталей. На практике при решении различных задач проектирования обычно ограничиваются двумя понятиями: обнаружения и опознавания.

Зрительное восприятие изображения зависит от ряда независимых информационных показателей: угловых размеров изображения объекта или его деталей, уровня адаптирующей яркости, контраста между изображениями объекта и фона, времени восприятия изображения (подвижности объекта) и его зашумленности. С другой стороны, на процессы обнаружения и опознавания объекта наблюдения непосредственно влияют характеристики зрительного анализатора оператора и, в первую очередь, *контрастная чувствительность зрения*.

Рассмотрим кратко каждый из информационных показателей изображения.

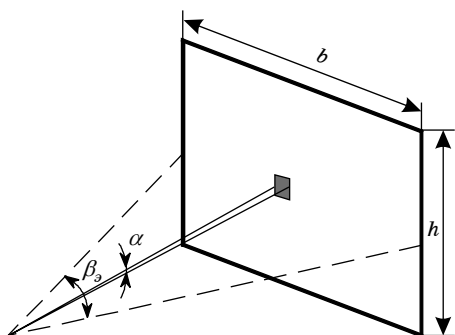


Рис. 1.1. К расчету углового размера изображения детали объекта

Угловые размеры. Угловой размер изображения объекта определяется как угол между лучами, направленными от глаз оператора к крайним точкам изображения (рис. 1.1). Угловой размер определяют по формуле

$$\alpha = 2 \arctg (S/2H),$$

где S — линейный размер изображения объекта; H — расстояние от глаз

оператора до плоскости наблюдения.

Расстояние H рекомендуется выбирать в пределах $H = (4 \div 5)h$, где h — высота растра на экране кинескопа. Для малых углов $\alpha = S/H$. При расчетах удобно пользоваться также соотношением $\alpha = \beta_3 \cdot S/b$, где β_3 — угол, под которым наблюдается растр на экране кинескопа; b — размер растра в направлении измерения размера детали S .

Очевидно, что для каждой стадии зрительного восприятия пороговые угловые размеры изображения будут разными. Абсолютный порог у большинства людей составляет $0,5''$ (тонкая черная линия на светлом фоне), что примерно в 120 раз меньше, чем пороговая величина, которую в большинстве расчетов принято считать равной $1'$. Остротой зрения (*разрешающей способностью глаза*) называют величину $\gamma = 1/\alpha_{\text{пор}}$, определяющую способность раздельного видения двух отдельных предметов. Острота зрения зависит от контраста изображения, расстояния между соседними светочувствительными элементами сетчатки глаза, от формы наблюдаемого предмета и места его расположения на сетчатке. Острота зрения выше для протяженных предметов и максимальна в центральной части сетчатки (примерно в угле зрения 7°).

Пороговое значение углового размера $\alpha_{\text{пор}}$ зависит от яркости фона $L_{\text{ф}}$. Эта зависимость при опознавании кольца Ландольта приведена ниже.

$L_{\text{ф}}, \text{кД/м}^2 \dots\dots$	0,1	1,0	10	100	1000
$\alpha_{\text{пор}}, \dots\dots\dots$	5,0	1,8	1,0	0,7	0,5

Яркость изображения. Диапазон яркостей, который может восприниматься глазом, весьма широк и составляет $10^{-7} - 10^{-5}$ кД/м². Однако рабочий диапазон яркостей намного меньше и зависит от уровня *адаптации*, т. е. средней яркости поля зрения, к которой

приспосабливается глаз. При низких уровнях адаптации интервал яркостей, различаемых одновременно, составляет примерно 10:1, а при высоких уровнях (дневной свет) — 1000:1. Переход от одного уровня адаптации к другому требует определенного времени. От уровня адаптации зависит острота зрения, причем оптимальным уровнем адаптации с этой точки зрения считают 500–700 кд/м², что намного превышает яркость экранов современных кинескопов.

Для оптимальных условий работы глаза важным является соотношение яркостей объектов, находящихся в поле зрения:

3:1 — между рабочим полем и близким его окружением;

10:1 — между рабочим полем и дальним его окружением;

20:1 — между источником света и ближайшим его окружением;

40:1 — между самым светлым и самым темным местом, попадающим в поле зрения.

Контраст изображения и контрастная чувствительность зрения. Любое изображение характеризуется яркостным контрастом. *Под контрастом многоградационного изображения в общем случае понимается величина, характеризующая различие в яркости отдельных его участков.* От контраста элементов воспроизводимого изображения зависит обнаружение как крупных, так и мелких деталей объекта, а следовательно и его восприятие наблюдателем [20]. Определим контраст как отношение яркостей двух участков изображения L_1 и L_2 к большему значению L_2 :

$$K = \frac{L_2 - L_1}{L_2}.$$

На практике обычными являются случаи, когда один из участков изображения служит фоном по отношению к другому, принимаемому за объект.

В зависимости от соотношения яркостей объекта и фона удобно различать два вида контраста — *прямой* и *обратный* [25]. При прямом контрасте яркость изображения фона L_Φ больше яркости изображения объекта L_0 и тогда

$$K = \frac{L_\Phi - L_0}{L_\Phi},$$

при обратном контрасте

$$K = \frac{L_0 - L_\Phi}{L_0}.$$

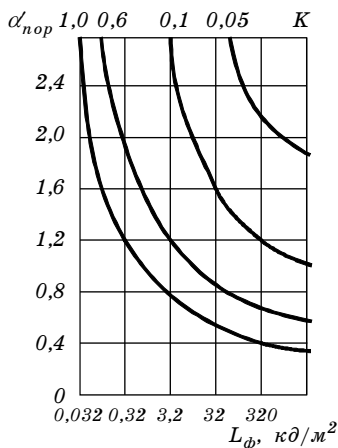


Рис. 1.2. Зависимость пороговых угловых размеров различаемых объектов $\alpha_{пор}$ от яркости фона L_ϕ при различных значениях контраста K

объекта меньше $1'$ его различимость может быть обеспечена только при контрастах, близких к 90–100 %. Опознавание объекта возможно при угловых размерах, бóльших указанных на рис. 1.2.

При наличии внешней засветки экрана контраст изображения снижается согласно формулам:

для прямого контраста

$$K' = \frac{K}{1 + L_3/L_\phi};$$

для обратного контраста

$$K' = \frac{K}{1 + L_3/L_0},$$

где $L_3 = \rho E_3/\pi$ — яркость экрана от внешней засветки, создающей освещенность E_3 (ρ — коэффициент отражения экрана).

Говоря о контрасте изображения, следует подчеркнуть, что эта величина является объективной, т. е. может быть замерена одним из инструментальных способов. Вместе с тем *различительная способность глаза определяется субъективным его восприятием, или иначе, ощущением относительного приращения яркости — яркостного контраста* (Вебер, 1860).

Впервые закон зрительного ощущения яркостей был экспериментально установлен Вебером и Фехнером. Этот закон вытекает из соотношения

Контраст может выражаться как в относительных единицах ($0 \leq K \leq 1$), так и в процентах. Обычно контраст до 20 % рассматривается как малый, до 50 % — как средний и свыше 50 % — как высокий. Оптимальным при длительном наблюдении считается контраст изображения 85–90 % и выше. Фактически при наблюдении изображений на экранах воспроизводящих устройств приходится иметь дело с контрастами, намного меньшими оптимального. При этом обнаружительная и различительная способности зрения зависят не только от углового размера изображения объекта и его яркости, но и от контраста. Из графиков, приведенных на рис. 1.2, следует, что при угловых размерах

$$\Delta A = \theta \frac{\Delta L}{L}, \quad (1.1)$$

где ΔA — приращение зрительного ощущения яркости в случае, когда одна из наблюдаемых соприкасающихся достаточно больших поверхностей (например, полукругов, см. рис. 1.12, а) имеет яркость L , а другая — яркость $L + \Delta L$; θ — коэффициент пропорциональности.

Очевидно, что для предельной, т. е. пороговой, различимости обеих поверхностей равенство (1.1) приобретает вид

$$\Delta A_{\text{пор}} = \theta \frac{\Delta L_{\text{пор}}}{L}. \quad (1.2)$$

Принимая во внимание малое значение порогового контраста, формулу (1.2) можно представить в дифференциальном виде

$$dA = \theta \frac{dL}{L}.$$

Если $\theta = \text{const}$, то

$$A = \theta \ln L + C_1, \quad (1.3)$$

где C_1 — постоянная интегрирования.

Функция $A = f(\ln L)$ называется *кривой зрительного ощущения яркостей*, которая в случае $\theta = \text{const}$ имеет вид прямой наклонной линии. Крутизна этой кривой равна θ и при условии $\Delta A_{\text{пор}} = 1$, как это следует из уравнения (1.2), $\theta = L/L_{\text{пор}}$.

Вебер и Фехнер показали, что отношение $L_{\text{пор}}/L$, называемое *пороговым контрастом* $K_{\text{пор}}$, в широком диапазоне яркостей действительно является постоянной величиной, примерно равной 1,7 % (рис. 1.3). Величину $L/L_{\text{пор}}$, обратную пороговому контрасту, называют *контрастной чувствительностью глаза*. Таким образом, закон Вебера—Фехнера может быть представлен в виде уравнения (1.3), из которого следует, что *зрительное ощущение яркости пропорционально логарифму самой яркости*.

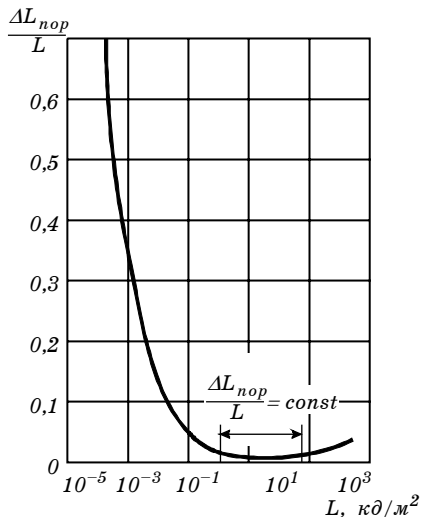


Рис. 1.3. Зависимость порогового контраста от яркости фона

В заключение отметим, что, поскольку пороговая величина зрительного ощущения $\Delta A_{\text{пор}}$ по своей сути является субъективной, т. е. не поддающейся прямому измерению, рационально в пределах постоянства порогового контраста принять $\Delta A_{\text{пор}} = 1$ и считать ее градацией зрительного восприятия яркости. Заметим, что $\Delta L_{\text{пор}}$ является объективной градацией яркости.

Временные характеристики зрительного восприятия. Временные характеристики зрительного восприятия изображений связаны с инерционными свойствами зрения и имеют большое значение при наблюдении за движущимися объектами или за объектами, предъявляемыми наблюдателю кратковременно. При таком характере наблюдения яркость изображения, воспринимаемая глазом, или иначе, *эффективная яркость* (термин введен А. В. Луизовым) оказывается зависящей от длительности раздражения сетчатки глаза. В результате при коротких раздражениях эффективная яркость $L_{\text{э}}$ оказывается существенно меньше действительной яркости L .

Предположим, что глаз наблюдателя фиксирован на определенной точке, располагающейся в пределах экрана, в которой на время τ однократно появляется интересующий наблюдателя объект. Если принять, что объект появляется перед наблюдателем в нулевой момент времени, то в интервале времени от $-\infty$ до 0 наблюдатель воспринимает только яркость фона, причем $L_{\text{э. ф}} = L_{\text{ф}}$. Эффективная яркость объекта $L_{\text{э. о}}$ в рассматриваемой точке пространства

$$L_{\text{э. о}} = \frac{L_{\text{о}}}{\vartheta} \int_0^{\tau} A_3(\tau - t) dt + \frac{L_{\text{ф}}}{\vartheta} \int_{-\infty}^0 A_3(\tau - t) dt,$$

а прямой *эффективный контраст* —

$$K = \frac{L_{\text{ф}} - L_{\text{э. о}}}{L_{\text{ф}}} = \frac{K}{\vartheta} \int_0^{\tau} A_3(\tau - t) dt,$$

где ϑ — время инерции зрения; $A_3(t)$ — функция затухания зрительного восприятия.

Экспериментально доказано [34], что время инерции в широком интервале яркостей (примерно от 10 до 10^3 кд/м²) равно 0,05 с, а функция затухания достаточно точно аппроксимируется зависимостью

$$A_3(t) = e^{-\frac{t}{\vartheta}}.$$

При этом эффективные значения яркости и контраста определяются по формулам:

$$L_{\text{э.о}} = L_0(1 - e^{-\tau/\theta}) + L_{\text{ф}}e^{-\tau/\theta}; \quad K_{\text{э}} = K(1 - e^{-\tau/\theta}).$$

Таким образом, при однократных раздражениях эффективный контраст, т. е. контраст, воспринимаемый наблюдателем, будет всегда меньше действительного контраста.

Благодаря инерции зрения при периодическом возбуждении глаза с частотой f , превышающей некоторое критическое значение $f_{\text{кр}}$, мелькающее изображение воспринимается как слитное. Это обстоятельство лежит в основе выбора частоты смены кадров в кино и телевидении. Для вычисления значения $f_{\text{кр}}$ часто используют эмпирическую формулу

$$f_{\text{кр}} = a \lg L + b,$$

где a и b — коэффициенты, зависящие от условий наблюдения.

При выполнении условия $f \geq f_{\text{кр}}$ — эффективная яркость определяется *законом Тальбота*

$$L_{\text{э}} = f \int_0^{1/f} L(t) dt,$$

а прямой эффективный контраст — выражением

$$K_{\text{э}} = \frac{L_{\text{э.ф}} - L_{\text{э.о}}}{L_{\text{э.ф}}}.$$

В кино и телевидении частота смены кадров или полукадров $F_k = f$.

Зашумленность изображения. Установлено, что влияние шумов на изображение, наблюдаемое на экране кинескопа, проявляется двояко [30]. Во-первых, происходит увеличение средней яркости свечения экрана за счет шумовой подсветки, являющейся следствием детектирующих свойств модуляционной характеристики трубки. При этом снижается контраст изображения и нарушается распределение градаций яркости по динамическому диапазону. Во-вторых, переменная составляющая шума создает флуктуации яркости на экране, что ухудшает различимость отдельных мелких деталей изображения.

Шумовая подсветка экрана влияет в основном на изображение крупных деталей размером не менее нескольких десятков элементов разложения. На рис. 1.4 изображена модуляционная характеристика кинескопа, подчиняющаяся уравнению $L = \beta U_{\text{см}}$, где β — коэффициент пропорциональности; $U_{\text{см}}$ — приложенное к модулятору

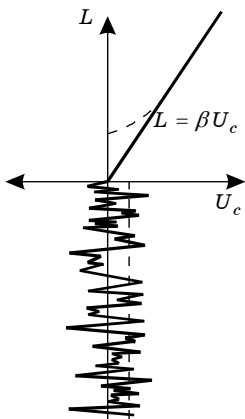


Рис. 1.4. Модуляционная характеристика кинескопа при шумовой подсветке экрана

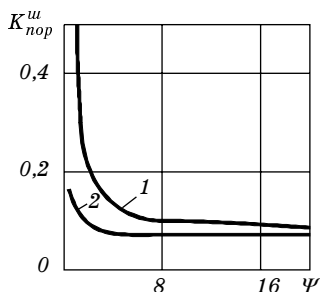


Рис. 1.5. Зависимость порогового контраста от отношения сигнал/шум на модуляторе кинескопа

кинескопа напряжение видеосигнала. Из рисунка видно, что даже при отсутствии видеосигнала вследствие детектирования положительных выбросов шума будет иметь место свечение экрана, на фоне которого возникают шумовые точки. Таким образом, модуляционная характеристика изменится, как это показано на рис. 1.4 штриховой линией. Очевидно, что аналогичный результат будет наблюдаться и в случае, когда модуляционная характеристика отвечает степенной функции $L = \beta U_{\text{CM}}^\gamma$, где γ — показатель степени.

Наличие шумовой подсветки приводит к снижению контраста изображения аналогично тому, как это имеет место при внешней засветке экрана. При наблюдении мелких деталей, измеряемых единицами элементов разложения, существенное значение помимо шумовой подсветки приобретает переменная (флуктуирующая) составляющая яркости. Наличие этой составляющей приводит к тому, что контраст детали также становится флуктуирующим. Возможность обнаружения детали объекта на фоне шумов при этом резко падает из-за увеличения порогового контраста, равно-го $K_{\text{пор}}^{\text{III}} > K_{\text{пор}}$. На рис. 1.5 показана зависимость порогового контраста от отношения сигнал/шум на модуляторе кинескопа для наблюдаемой детали размерами 3×3 элемента разложения, $\gamma = 2$, равномерного спектра шума от 0 до 5 МГц и порогового контраста при отсутствии шума $K_{\text{пор}} = 0,08$. Кривая 1 построена с учетом влияния на пороговый контраст как шумовой подсветки, так и флуктуации яркости, а кривая 2 — с учетом только шумовой подсветки.

Из графиков видно, что при $\Psi \geq 10$ можно положить $K_{\text{пор}}^{\text{III}} = K_{\text{пор}}$, а при $\Psi \leq 2$ мелкие детали становятся малоразличимыми [30].

Следует отметить, что на маскирующее действие шума оказывает влияние спектральная плотность мощности шума. Если основная энергия шума сосредоточена в области верхних частот, то значение $K_{\text{пор}}$ уменьшается.

1.2. РАСЧЕТ КОНТРАСТНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЗРЕНИЯ В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ТЕЛЕВИЗИОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ

Возможность обнаружения, различения или опознавания изображения объекта оператором определяется контрастной чувствительностью зрения (КЧЗ) в заданных условиях наблюдения. Из предыдущего следует, что КЧЗ есть безразмерная величина, обратная пороговому контрасту изображения объекта, при котором он обнаруживается оператором с вероятностью $P_{\text{об}}$:

$$\varepsilon = 1/K_{\text{пор}} = L/\Delta L_{\text{пор}},$$

где $L = L_{\Phi}$ — для прямого контраста и $L = L_0$ — для обратного контраста изображений объекта и фона соответственно.

Вместе с тем, основываясь на законе Вебера—Фехнера, пороговый контраст целесообразно выразить в логарифмической шкале яркостей [23]. Для прямого контраста его пороговое значение определится в этом случае соотношением

$$\delta = \Delta \lg L = \lg \frac{L_{\Phi}}{L_0} = \lg \frac{L_{\Phi}}{L_{\Phi} - K_{\text{пор}} L_{\Phi}} = \lg \frac{1}{1 - K_{\text{пор}}}. \quad (1.4)$$

Аналогичный результат получается и в случае обратного контраста.

Допуская независимость влияния на пороговый контраст рассмотренных ранее показателей изображения, можно записать

$$\delta = \delta_0 \prod_{i=1}^n f_i, \quad (1.5)$$

где f_i — нормированные функции, учитывающие изменения порогового контраста при отклонении наблюдения от нормальных условий; n — число учитываемых факторов; δ_0 — пороговый контраст при нормальных условиях наблюдения.

Под нормальными условиями наблюдения понимается отсутствие шума в изображении, его большие угловые размеры, вероятность обнаружения объекта $P_{\text{об}} \leq 0,5$, равенство яркостей адап-

тации и фона ($L_a = L_\Phi$) и длительное время наблюдения, существенно превосходящее время инерции зрения. Таким образом, величина δ_0 зависит только от яркости адаптации и при условии выполнения закона Вебера—Фехнера, для которого пороговый контраст в широком диапазоне яркостей равен $K_{\text{пор}}$, имеем $\delta_0 \approx 0,01$.

Рассмотрим функции f_i . Функция $f_1(p_{об})$ учитывает вероятность обнаружения изображения объекта на экране кинескопа. При вероятности $P_{об} > (0,8 \div 0,9)$ эту функцию можно аппроксимировать выражением

$$f_1(p) = 1 + \chi_P / 2, \quad (1.6)$$

где χ_P — процентное отклонение нормальной случайной величины, причем $\Phi(\chi_P) = P_{об}$ — интеграл вероятности.

Вероятность $P_{об}$ связана с временем обнаружения объекта $t_{об}$ [53]:

$$P_{об} = 1 - \exp \left(- \frac{K_{\text{пор}}^2 \alpha^3 L_\Phi^{0,3} t_{об}}{A_1 \beta_9^2} \right), \quad (1.7)$$

где для бинокулярного зрения коэффициент $A_1 = 6,3 \times 10^2$ (угл. мин) 3 (кд/м 2) $^{0,3} \cdot \text{с} \cdot \text{град.}^{-2}$; β_9 — угол поля обзора, т. е. угол, под которым виден экран кинескопа.

Функция $f_2(\alpha)$ учитывает влияние углового размера изображения объекта:

$$f_2(\alpha) = 1 + \frac{24}{\alpha^{1,2}}, \quad (1.8)$$

где α выражается в угловых минутах.

Из графика, отвечающего формуле (1.8), следует, что при $\alpha > (1 \div 2)^\circ$ $f_2(\alpha) \approx 1$ (рис. 1.6). Отметим, что значение α зависит помимо прочего от размеров экрана кинескопа и от расстояния наблюдения (см. рис. 1.1).

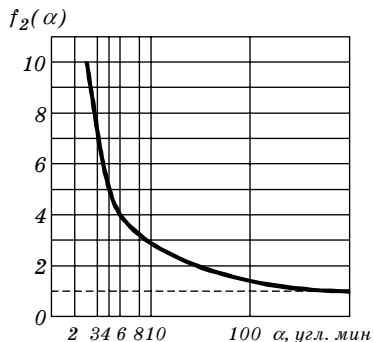


Рис. 1.6. График функции $f_2(\alpha)$

Функция $f_3(\tau)$ учитывает влияние времени предьявления изображения объекта наблюдателю τ ; $f_3(\tau) = K/K_9$, где K_9 — эффективный контраст.

При однократном или редко повторяющемся появлении объекта в точке наблюдения (например, вследствие его быстрого перемещения) зрительное восприятие фона на эк-

ране кинескопа при частоте кадров, не меньшей критической частоты мельканий, будет непрерывно суммироваться длительное время, а объекта — только в течение времени τ . Тогда искомая функция

$$f_3(\tau) = \frac{1}{1 - e^{-\tau/\vartheta}},$$

где ϑ — время инерции зрения.

Время τ можно определить по известной скорости перемещения изображения объекта на экране кинескопа v и линейной величине изображения S : $\tau = S/v$. Для малоразмерных движущихся объектов или их деталей, подлежащих опознаванию, функция $f_3(\tau)$ может оказаться существенно больше единицы, что отразится на контрастной чувствительности зрения оператора.

При наблюдении за малоподвижными объектами можно положить $K_э = K$ и тогда $f_3(\tau) = 1$.

Соотношение между яркостью адаптации и средней яркостью изображения на экране кинескопа \bar{L} можно учесть с помощью функции $f_4(\vartheta_a)$, которая с учетом усреднения по многим экспериментальным данным имеет вид

$$f_4(\vartheta_a) = 0,5(e^{-\vartheta_a} - e^{-2\vartheta_a}), \quad (1.9)$$

где $\vartheta_a = \lg(\bar{L}/L_a)$ причем при сравнительно небольших размерах изображения объекта можно принять за яркость \bar{L} яркость однородного фона. В случае $\bar{L} = L_a$ имеем $f_4(\vartheta_a) = 1$, что соответствует наилучшему условию наблюдения. Отметим, что если при расчетах функция $f_4(\vartheta_a)$ оказывается немного меньше единицы, то следует принимать $f_4(\vartheta_a) = 1$ (рис. 1.7).

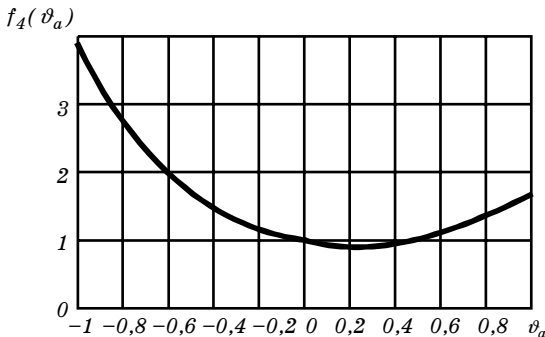


Рис. 1.7. График функции $f_4(\vartheta_a)$

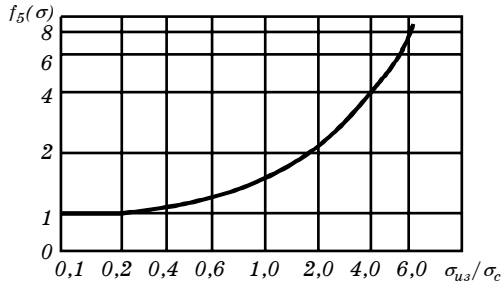


Рис. 1.8. График функции $f_5(\sigma)$

Функция $f_5(\sigma)$ учитывает влияние зашумленности изображения на пороговый контраст:

$$f_5(\sigma) = \sqrt{1 + \left[\frac{\sigma_{из} K_B}{\sigma_c f_4(\vartheta_a)} \right]^2}, \quad (1.10)$$

где $\sigma_{из}$ — эффективное значение шума в наблюдаемом изображении, определяемое флуктуациями логарифма яркости; σ_c — эффективное значение собственных шумов зрительной системы, пересчитанных на ее вход; K_B — коэффициент, учитывающий спектральный состав внешнего шума, при нормальном законе распределения шумов и равномерном энергетическом спектре $K_B = 1$.

Формула (1.10) написана в предположении, что собственные шумы зрительной системы суммируются с внешними шумами по закону средних квадратов. График, отвечающий формуле (1.10), приведен на рис. 1.8.

Таким образом, используя приведенные соотношения, можно оценить контрастную чувствительность зрения с учетом различных факторов и сделать вывод о возможности обнаружения объекта на экране кинескопа телевизионной системы.

1.3. ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНАЯ, ЧАСТОТНО-КОНТРАСТНАЯ И ПЕРЕХОДНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ

Любое преобразование информации, а также передача ее по каналу связи всегда сопровождаются определенными потерями. В телевизионной системе существуют три вида потерь информации: пространственные, градационные и временные. Пространственные потери информации связаны с уменьшением амплитуды отдельных гармонических составляющих, из которых складывается

исходное изображение. Градационные потери определяются уменьшением числа уровней энергии, передаваемых системой, а временные потери — максимально допустимой частотой съема информации, равной, как правило, частоте смены кадров.

Способность линейной системы к передаче амплитуд сигналов всех пространственных частот, из которых складывается исходное изображение, определяется пространственно-частотной характеристикой системы (ПЧХ), которая в одномерном варианте для продольного направления x находится из комплексной частотной характеристики

$$\vartheta(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} a(x)e^{-j\omega x} dx, \quad (1.11)$$

где $a(x)$ — функция рассеяния точки (импульсная характеристика системы); ω — круговая пространственная частота.

ПЧХ представляет собой модуль комплексной частотной характеристики $\vartheta(\omega)$

$$\vartheta(j\omega) = \vartheta(\omega)e^{-j\varphi(\omega)},$$

где $\varphi(\omega)$ — аргумент этой характеристики.

Зависимость $\varphi(\omega)$ является фазочастотной характеристикой системы (ФЧХ), которая при отсутствии фазовых искажений представляет собой прямую наклонную линию.

В линейной системе существует жесткая связь между комплексной частотной и переходной $h(x)$ характеристиками системы:

$$h(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{j\omega} \vartheta(j\omega)e^{j\omega x} d\omega.$$

Эта связь устанавливается также соотношением (1.11), поскольку справедливо равенство $a(x) = dh(x)/dx$. Таким образом, пространственные потери информации зависят от формы переходной характеристики.

В оптике и фотографии пространственные частоты N измеряются числом периодов гармонической составляющей изображения, приходящихся на один миллиметр: $N = 1/\lambda$, $\omega = 2\pi N$, где λ — период гармонической составляющей, выраженный в миллиметрах. В телевидении пространственную частоту выражают числом полупериодов t гармонической составляющей изображения, укладываемых не на единицу длины, а на произвольную высоту растра h , т. е. $t = 2h/\lambda$, и, следовательно, $\omega = \pi t/h$. Величины h и λ можно измерять как в миллиметрах, так и числом строк

разложения, причем в последнем случае $\omega = \pi t/Z_a$, где Z_a — число активных, т. е. приходящихся только на время прямого хода кадровой развертки (на высоту раstra) строк разложения. Единицей измерения пространственной частоты при этом является телевизионная линия (твл). Из сказанного следует, что $t = 2Nh$, твл.

Таким образом, телевизионная линия (твл) — это единица измерения пространственной частоты синусоидальной или штриховой миры, либо другой периодической структуры изображения, равная отношению его высоты к половине периода.

Существует также понятие относительной пространственной частоты, под которой понимается отношение $\xi = t/2Z_a$. Тогда $\omega = \pi t/Z_a = 2\pi\xi$. В случае $t = Z_a$ имеем $\xi = 0,5$ и $\omega = \pi$.

Отметим, что измерение пространственных частот изображения в телевизионных линиях, относимых не к единице длины, а к высоте раstra на фотопреобразователе или кинескопе, связано с характером самого телевизионного изображения, которое в отличие от оптического всегда имеет дискретную структуру с фиксированным числом элементов, не зависящим от способа формирования и размеров изображения.

На рис. 1.9, а, б представлены нормированные, т. е. приведенные к единице при $\xi = 0$ пространственно-частотные и соответствующие им переходные характеристики телевизионной системы. Функция 1 построена для случая, когда ПЧХ системы имеет П-образную форму с резко ограниченной полосой частот. На соот-

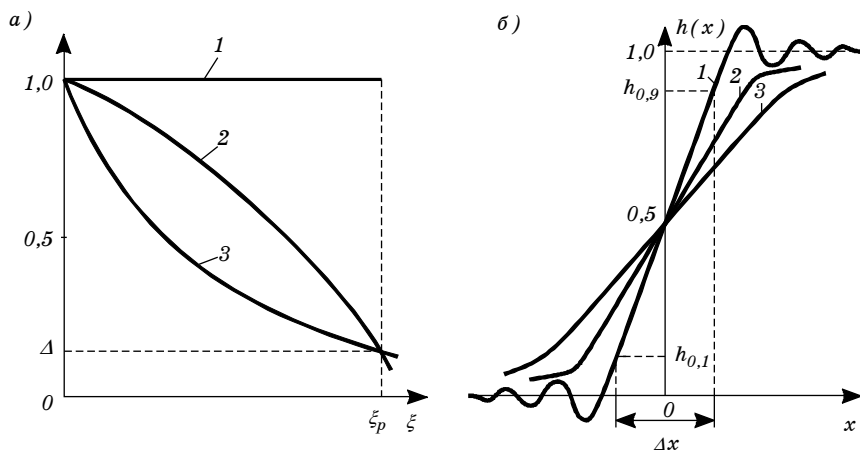


Рис. 1.9. Пространственно-частотные (а) и переходные (б) характеристики телевизионной системы

ветствующей переходной характеристике наблюдаются выбросы, носящие при отсутствии фазовых искажений симметричный характер. Наличие этих выбросов приводит к появлению на воспроизводимом изображении повторных контуров границ крупных деталей объекта. Из сравнения кривых 2 и 3 видно, что максимальная крутизна переходной характеристики, имеющая место при $X = 0$, зависит от площади, ограничиваемой ПЧХ.

По переходной характеристике определяют *резкость границ воспроизводимого изображения как разность $\Delta x = x_{0,9} - x_{0,1}$ между точками, соответствующими 0,9 и 0,1 $h(x)$* (см. рис. 1.9).

При нахождении ПЧХ системы следует помнить, что она представляет собой произведение ПЧХ отдельных звеньев: объектива, фотопреобразователя, видеотракта и кинескопа.

Из определения ПЧХ следует, что для ее получения экспериментальным путем необходимо использовать оптические миры с синусоидальным распределением яркости вдоль линии развертки (рис. 1.10, а). На практике, однако, удобнее пользоваться более простыми штриховыми мирами, имеющими прямоугольное распределение яркости (рис. 1.10, б). Снятые по таким мирам характеристики традиционно называют *частотно-контрастными характеристиками* (ЧКХ), обозначаемыми далее $K(\omega)$ и представляющими собой зависимость амплитуды яркости штриховой миры от ее частоты. Для сравнения между собой ПЧХ и ЧКХ следует пользоваться формулами

$$\vartheta(\omega) = \frac{\pi}{4} \left[K(\omega) + \frac{1}{3} K(3\omega) - \frac{1}{5} K(5\omega) + \frac{1}{7} K(7\omega) \dots \right];$$

$$K(\omega) = \frac{4}{\pi} \left[\vartheta(\omega) - \frac{1}{3} \vartheta(3\omega) + \frac{1}{5} \vartheta(5\omega) - \frac{1}{7} \vartheta(7\omega) \dots \right].$$

Отметим, что как ПЧХ, так и ЧКХ могут непосредственно выражаться через число полупериодов или линий m соответствующим образом.

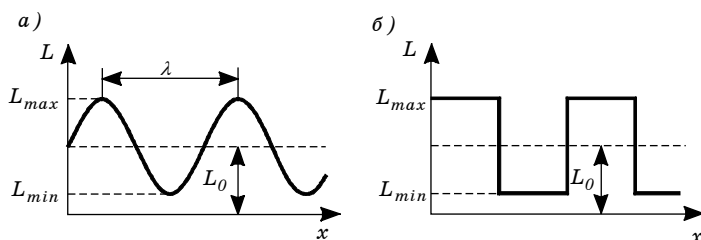


Рис. 1.10. Синусоидальные (а) и прямоугольные (б) распределения яркости в оптической мире

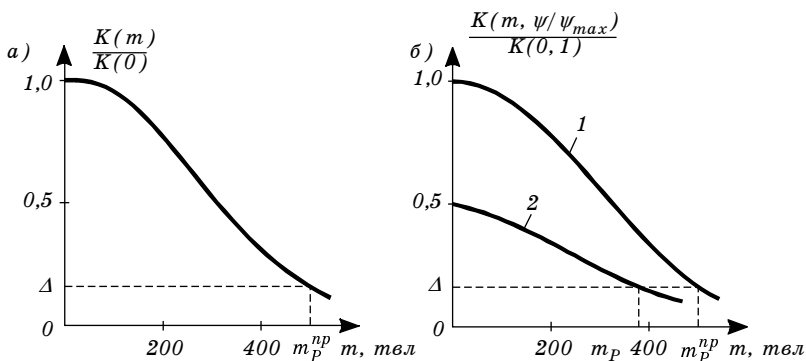


Рис. 1.11. Частотно-контрастные характеристики телевизионной системы: *а* — стандартная; *б* — при различных отношениях сигнал/шум; 1 — $\psi = \psi_{\max}$; 2 — $\psi = 0,5\psi_{\max}$

ющей мира, приходящихся на высоту раstra. Обозначают их $\vartheta(m)$ и $K(m)$.

На рис. 1.11, *а*, *б* показаны ЧКХ систем, на которых по оси ординат отложено отношение $K(m)/K(0)$, где по определению $K(m) = L_m(m)$ — амплитуда яркости m -го компонента штриховой миры; $K(0) = L_0(m)$ — соответственно нулевого компонента (крупная деталь изображения). Помимо понятия ЧКХ принято также пользоваться понятием частотной зависимости коэффициента модуляции $M(m)/M(0)$, под которым понимается отношение амплитуды яркости $L_m = (L_{\max} - L_{\min})/2$ к постоянной составляющей L_0 (см. рис. 1.10). Нетрудно показать, что для любой частотной компоненты

$$M(m) = L_m/L_0 = (L_{\max} - L_{\min})/2L_0 = (L_{\max} - L_{\min})/(L_{\max} + L_{\min}).$$

Для нулевой компоненты $M(0) = L_m(0)/L_0$, причем при условии $L_{\min} = 0$ имеем $M(0) = 1$. Зависимость $M(m)$ носит название *функции передачи модуля цели (ФПМ)*. Из приведенных соображений следует, что

$$K(m)/K(0) = M(m)/M(0) = L_m(m)/L_m(0),$$

т. е. понятия ЧКХ и ФПМ являются идентичными.

При стандартных измерениях ЧКХ зависимость $K(m)$ обычно снимается по предельно контрастным оптическим мирам и при достаточно больших освещенностях фотопреобразователя, которые обеспечивают максимальное отношение сигнал/шум на выходе видеотракта ψ_{\max} от крупных деталей изображения (рис. 1.11, *а*).

При пониженных значениях ψ ЧКХ изменяют свое расположение. В этом случае семейство нормированных ЧКХ может быть представлено в виде, изображенном на рис. 1.11, б. На этом рисунке значение $K(0, 1)$ соответствует амплитуде сигналов на выходе видеотракта от крупных деталей изображения при $\psi = \psi_{\max}$, а кривая 1 представляет собой стандартную ЧКХ. Кривая 2 построена для случая $\psi = 0,5\psi_{\max}$.

1.4. ГРАДАЦИОННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ

Градационная (полутоновая) характеристика телевизионной системы, определяющая ее нелинейные свойства, выражается зависимостью $\ln L = f(\ln L')$, где L — яркость воспроизводимого на экране кинескопа изображения; L' — яркость объекта. Полное физическое подобие двух полей яркостей $L'(x, y)$ и $L(x, y)$ будет иметь место, очевидно, в случае выполнения равенства $L(x, y) = K_g L'(x, y)$, где K_g — коэффициент пропорциональности. Отсюда вытекает соотношение

$$L_{\max}/L_{\min} = L'_{\max}/L'_{\min} = K_g,$$

из которого следует, что телевизионная система должна полностью воспроизводить динамический диапазон яркостей объекта. Однако это реально только для частных случаев передачи по телевизионному каналу фотографий, полиграфической и другой аналогичной продукции и практически неосуществимо при воспроизведении натуральных объектов, динамический диапазон яркостей которых, как правило, весьма широк.

Вместе с тем не только в прикладном, но и в вещательном телевидении требование физического подобия обоих полей яркостей не является обязательным. Обязательным является лишь получение необходимого объема зрительной информации об объекте или требование, вытекающее из художественного восприятия передаваемой сцены. При этом возможно не только сжатие динамического диапазона яркостей объекта, но и, в случае необходимости, заведомое искажение закона распределения градаций яркости внутри этого диапазона. Определяющим фактором является зрительное впечатление от изображения, которое при заданных условиях наблюдения и размерах изображения объекта будет зависеть от кривой зрительных ощущений яркости $A = f(\ln L)$, где зрительное ощущение яркости A выражается в условных единицах зри-

тельного ощущения, принимаемых как $\Delta A_{\text{пор}} = 1$ [40]. Напомним, что $\Delta A_{\text{пор}}$ соответствует одной световой градации, выраженной в ощущениях яркости, в то время как $\Delta L_{\text{пор}}$ является той же градацией, но выраженной в объективных единицах.

Рассмотрим два случая определения градационной характеристики телевизионной системы, отвечающие условиям $\theta = \text{const}$ и $\theta \neq \text{const}$, где θ — коэффициент в формуле (1.1).

1. $\theta = \text{const}$. Зрительное ощущение градаций яркости подчиняется закону зрительного восприятия яркостей, т. е. психофизическому закону Вебера—Фехнера. Согласно этому закону, $A = \theta \ln L + C$ и $A' = \theta \ln L' + C'$. С учетом выбора единицы измерения величины A положим далее $C = C' = 0$.

Выражение для искомой градационной характеристики может быть получено, если известна или задана зависимость $A = f(A')$, которая имеет смысл *градационной характеристики системы, выраженной в световых ощущениях*. Крутизна этой характеристики называется градиентом воспроизведения полутонов: $\gamma = dA/dA'$, откуда с учетом равенств $dA = \theta dL/L$ и $dA' = \theta dL'/L'$ получаем

$$dL/L = \gamma dL'/L'$$

и, следовательно,

$$\ln L = \gamma \ln L' + \ln k_1, \quad (1.12)$$

где $\ln k_1$ — постоянная интегрирования.

Из формулы (1.12) следует, что градационная характеристика линейна, если $\gamma = \text{const}$, причем этот случай соответствует равномерной и пропорциональной передаче градаций яркости ΔA , выраженных в световых ощущениях. Если значение коэффициента γ не постоянно внутри динамического диапазона передаваемых яркостей, то градационная характеристика оказывается нелинейной.

Коэффициент γ часто называют *коэффициентом контрастности*, численно равным показателю степенной функции, вытекающей из уравнения (1.12):

$$L = k_1 (L')^\gamma, \quad (1.13)$$

где коэффициент $k_1 = L_{\text{max}}/(L'_{\text{max}})^\gamma$.

2. $\theta \neq \text{const}$. Формула (1.13) долгое время являлась основой для расчета градационной характеристики телевизионной системы и ее звеньев. Однако еще Е. Лоури (1929), а затем и другие исследователи под руководством Е. Л. Орловского показали, что закон восприятия градаций отличается от закона восприятия яркостей Вебера и Фехнера. Отличие заключается в том, что вос-

приятие градаций отдельных деталей телевизионного изображения производится наблюдателем практически при постоянной адаптации зрения. В экспериментах Вебера и Фехнера адаптация глаза изменялась с изменением яркости сравниваемых полей, имевших значительную площадь (рис. 1.12, а). Е. Лоури впервые снял кривую зависимости контрастной чувствительности зрения от яркости при постоянной адаптации L_a (рис. 1.12, б) и показал, что даже в сравнительно узком интервале яркостей величина $L/L_{пор}$, строго говоря, не остается постоянной.

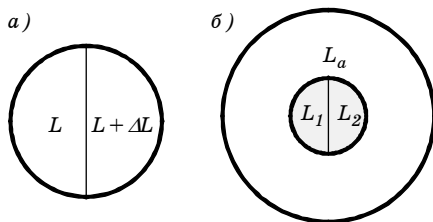


Рис. 1.12. К определению контрастной чувствительности зрения при переменной (а) и постоянной (б) адаптации зрения

В рассматриваемом случае кривая зрительных ощущений поля яркостей изображения $A = f(\ln L)$ выражается нелинейной функцией

$$A = \int \theta \frac{dL}{L} + C, \text{ или } A = \int \theta d(\ln L) + C, \quad (1.14)$$

где $\theta = dA/(dL/L) \neq \text{const}$ — крутизна кривой зрительных ощущений яркостей.

Для графического построения градационной характеристики системы на основе экспериментально снятых кривых при различных условиях адаптации $L/\Delta L_{пор} = f(\ln L)$, одна из которых в зависимости от десятичного логарифма приведена на рис. 1.13

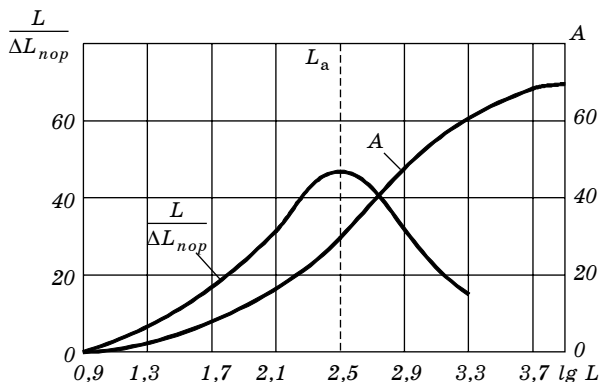


Рис. 1.13. Зависимости $L/\Delta L_{пор} = f(\lg L)$ и $A = f(\lg L)$ при постоянной адаптации зрения $L_a = 320 \text{ кд/м}^2$

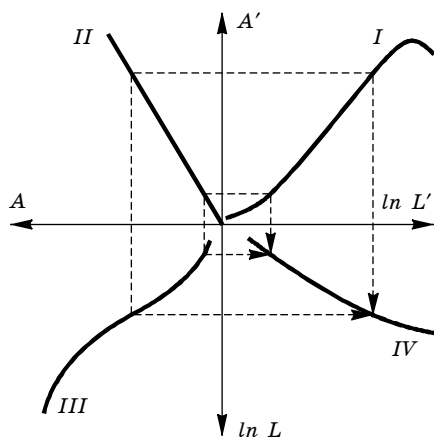


Рис. 1.14. Диаграмма построения градационной характеристики телевизионной системы

диаграмме (I–IV) (рис. 1.14) получается искомая характеристика $\ln L = f(\ln L')$.

Таким образом, можно заключить, что расчет градационной характеристики телевизионной системы по формуле (1.13) рекомендуется производить в сравнительно узком интервале яркостей, в котором функцию $A = f(\ln L)$ допустимо аппроксимировать прямой линией. В широком интервале яркостей следует использовать графический метод.

1.5. РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СИСТЕМЫ И ВЫБОР ЧИСЛА СТРОК РАЗЛОЖЕНИЯ

Разрешающая способность является важнейшим параметром любой телевизионной системы, характеризующим ее способность раздельно воспроизводить мелкие детали изображения.

Разрешающая способность системы определяется максимальной пространственной частотой, при которой обеспечивается пороговый контраст воспроизводимого на экране кинескопа изображения предельно контрастной синусоидальной или штриховой миры для визуальных систем, либо пороговое отношение сигнала к шуму на выходе видеотракта от той же миры для автоматических систем. Таким образом, согласно этому определению в состав визуальной телевизионной системы включается и зрительный аппарат оператора — получателя конечной информа-

[40], предварительно строятся зависимости $A = f(\ln L)$ и $A' = f(\ln L')$. При этом используется формула (1.14), в которой операция интегрирования заменяется суммированием конечных величин. Из формулы (1.2) вытекает, что при $\Delta A_{\text{пор}} = 1$ коэффициент $\theta = L/\Delta L_{\text{пор}}$, и, следовательно, кривая $L/\Delta L_{\text{пор}} = f(\ln L)$ является кривой крутизны зависимости $A = f(\ln L)$.

При расчете градационной характеристики, как и в первом случае, должна быть задана зависимость $A = f(\ln L)$. Тогда путем обычных построений в четырехквadrантной

ции. От разрешающей способности системы зависит *четкость изображения*, являющаяся одним из показателей его качества.

Разрешающую способность при линейной развертке обычно оценивают в двух направлениях (вдоль и поперек строк) и измеряют, как и пространственную частоту, в телевизионных линиях, приходящихся на высоту раstra h . В любом направлении разрешающая способность $P_p = h/l$, где l — ширина воспроизводимого штриха миры на пороге ее различения. Поскольку $h = Z_a l_c$, где l_c — ширина строки, то

$$R_p = Z_a l_c / l. \quad (1.15)$$

При $l = l_c$ имеем $R_p = Z_a$.

В оптике разрешающую способность принято измерять числом пар предельно различимых черных и белых линий миры, приходящихся на 1 мм. Если обозначить эту величину через N_p , лин./мм, а высоту раstra на фотопреобразователе или кинескопе — через h , то получим

$$R_p = 2N_p h.$$

Продольная разрешающая способность телевизионной системы m_p определяется по ПЧХ или ЧКХ, если известна величина уровня отсчета Δ (см. рис. 1.9, 1.11). Значение уровня отсчета для систем визуального типа зависит от распознаваемости оператором изображения миры, т. е. ее порогового контраста в реальных условиях телевизионного наблюдения $K_{\text{пор}}$. Уровень отсчета разрешающей способности для визуальных систем $\Delta = M_{\text{пор}}/M(0)$ (см. рис. 1.11). Связь порогового контраста $K_{\text{пор}}$ и порогового значения коэффициента модуляции $M_{\text{пор}}$ имеет вид

$$M_{\text{пор}} = \frac{K_{\text{пор}}}{2 - K_{\text{пор}}},$$

следовательно, при $M(0) = 1$ $\Delta = K_{\text{пор}}/(2 - K_{\text{пор}})$. Например, если $K_{\text{пор}} = 0,2$, то $\Delta = 0,11$.

Поскольку пороговый контраст зависит от размера детали объекта, т. е. в данном случае от значения m , то и уровень отсчета в общем случае не остается постоянным и зависящим от расстояния наблюдения H (рис. 1.15). Для исключения зависимости разрешающей способности системы от величины H необходимо рассматривать изображение миры на сравнительно близком расстоянии (расстоянии H_3 на рис. 1.15).

Для автоматических систем $\Delta = \Psi_{\text{пор}}/\Psi_{\text{max}}$, где $\Psi_{\text{пор}}$ — пороговое отношение сигнал/шум, определяемое условиями регистрации сигнала от предельно контрастной миры на выходе видеотракта

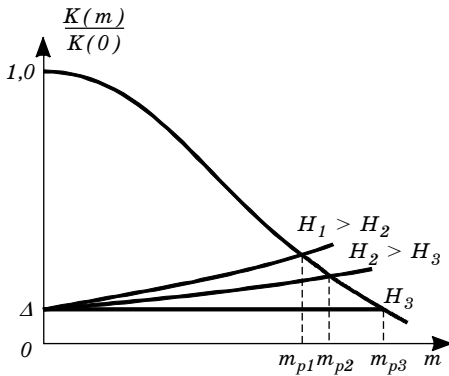


Рис. 1.15. Определение разрешающей способности телевизионной системы при различных расстояниях H от наблюдателя до экрана кинескопа

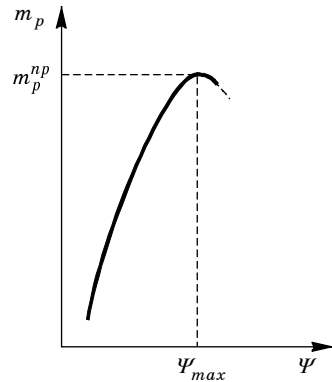


Рис. 1.16. Зависимость разрешающей способности системы от отношения сигнал/шум

с заданной вероятностью; Ψ_{\max} — максимальное отношение сигнал/шум, взятое для крупных деталей изображения, когда разрешающая способность достигает максимума m_p^{np} (рис. 1.16). Очевидно, что при пониженных отношениях сигнал/шум разрешающая способность будет меньше предельной (см. рис. 1.11, б).

Из рис. 1.9 следует, что при различных формах ПЧХ разрешающая способность системы может оказаться одинаковой. Однако площадь, ограничиваемая разными по форме ПЧХ, будет различной. Для монотонно изменяющихся характеристик площадь под ПЧХ определяет резкость передаваемого изображения и, следова-

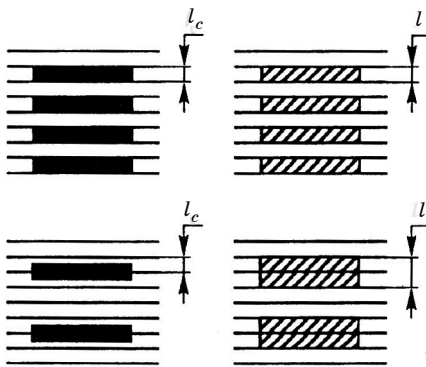


Рис. 1.17. Иллюстрация зависимости поперечной разрешающей способности системы от относительного расположения штрихов миры

тельно, при одной и той же разрешающей способности систем резкость воспроизводимых ими изображений окажется неодинаковой.

Поперечная разрешающая способность телевизионной системы n_p ограничивается числом строк разложения. Предположим, что строки раstra располагаются плотно одна к другой, т. е. без наложения и пропусков (рис. 1.17). Тогда поперечная (вертикальная) разрешающая способность будет определяться размерами передаваемых штрихов миры и их