



## ИНДИКАТОРЫ

Среди систем отображения зрительной информации выделяют устройства коллективного, группового и индивидуального пользования. Типичными примерами этих устройств являются световые табло большого стадиона, экран телевизора, циферблат электронных наручных часов. Кроме многих других моментов, эти устройства различаются прежде всего размерами используемых ими индикаторных приборов.

Следуя общей направленности книги, здесь и в дальнейшем будут рассмотрены лишь малогабаритные и миниатюрные индикаторы для устройств индивидуального и отчасти группового пользования, т. е. с расстоянием от индикатора до глаза наблюдателя не более 1-2 м.

## ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНДИКАТОРНОЙ ТЕХНИКИ

**Человеческое зрение** как основной «потребитель» информации, вырабатываемой индикаторными приборами, отличается исключительным своеобразием. Видимая область составляет очень малую часть оптического диапазона длин волн (см. рис. 1.1); чувствительность глаза максимальна в центре этой области и резко падает к ее краям. Это свойство зрения отражено в функции видности (рис. 3.1), представляющей усредненную спектральную характеристику глаза как фотоприемника. В максимуме спектральной чувствительности ( $\lambda_{\max} = 555$  нм) 1 Вт излучения вызывает зрительное ощущение, эквивалентное ощущению от светового потока 680 лм. При других длинах волн величина светового эквивалента излучения меньше (ряд значений  $f_{\lambda}$  дан ранее в табл. 1.2); для широкополосного белого света величина  $f_{\lambda}$  близка к 360 лм/Вт. Кривая рис. 3.1 довольно условна: в сумерках спектр деформируется так, что  $\lambda_{\max}$  сдвигается влево на 50 ... 60 нм; детский глаз воспринимает свет начиная с  $\lambda \approx 315$  нм; увеличение яркости источника раздвигает границы видимости, например концентрированное ИК излучение GaAs-лазера ( $\lambda \approx 860$  нм) воспринимается как красное. Несмотря на все это и многочисленные индивидуальные особенности людей, кривая рис. 3.1 гостирована и является основой инженерной фотометрии; именно она служит ориентиром при разработке излучателей и фотоприемников.

Способность глаза приспосабливаться к восприятию резко различных по светимости объектов характеризуется логарифмическим законом Вебера — Фехнера, связывающим физическую яркость источника  $V$  с его физиологически ощущаемой яркостью  $L_{\text{фзл}} = a \ln L + b$ , где  $a$  и  $b$  — константы. Поэтому динамический диапазон воспринимаемых глазом яркостей исключительно широк и простирается от —  $10^{-7}$  кд/м<sup>2</sup> (в темноте) до —  $10^5$  кд/м<sup>2</sup> (при яркой внешней засветке); при этом в интервале  $10^{-7} \dots 1$  кд/м<sup>2</sup> работает «сумеречный» механизм зрения и цветового восприятия нет.

Разные по яркости источники вызывают неодинаковые зрительные ощущения; практически человек различает не более 8 ... 10 градаций яркости (полутонов), поэтому если информация передается изменением яркости индикатора, то нельзя использовать более 4 ... 5 градаций, а для надежной передачи — более двух (черное - белое).

Кроме яркости источника человек оценивает и его пространственные характеристики: разрешающая способность глаза (угловая) близка к  $1'$  (т. е. различение на расстоянии 10 м двух штрихов, разделенных промежутком в 3 мм). Для быстрого и безошибочного восприятия простого объекта (цифры, буквы и т. п.) надо, чтобы угловые размеры этого объекта были не менее  $1^\circ$  это для оптимальной высоты знака  $H$  дает

$$H \approx (0,5 \dots 1) \cdot 10^{-2} R_{\text{г-о}}$$

где  $R_{\text{г-о}}$  — расстояние от глаза до индикатора. Отсюда, например, для индикатора, встроенного в окуляр дальномера ( $R_{\text{г-о}} \approx 5 \dots 10$  см) допустимо  $H \approx 0,5$  мм, для индикатора наручных часов — 3 мм, а для крупноформатных дисплеев 10 ... 20 мм. При малой яркости (освещенности) индикатора величина  $R$  должна выбираться несколько большей, чем по (3.1).

Полный угол зрения близок к  $120^\circ$  (по горизонтали) и  $90^\circ$  (по вертикали); обзор для зоны максимального разрешения характеризуется углами  $20^\circ$  и  $15^\circ$ . В соответствии с этим выбирается удлиненный в горизонтальном направлении формат экрана (в телевидении и кино отношение его сторон составляет 4:3).

Кроме яркости и размеров индикатора, решающую роль в его восприятии играет контрастность воспроизводимого знака. Количественно яркостный контраст определяется как  $K = (L - L_{\text{фон}}) / L_{\text{фон}}$ , где  $L$  и  $L_{\text{фон}}$  — яркости источника и фона. Практически для качественного восприятия важна не столько величина  $K$ , сколько ее превышение над пороговой для данных условий контрастностью  $K_{\text{пор}}$ . Для

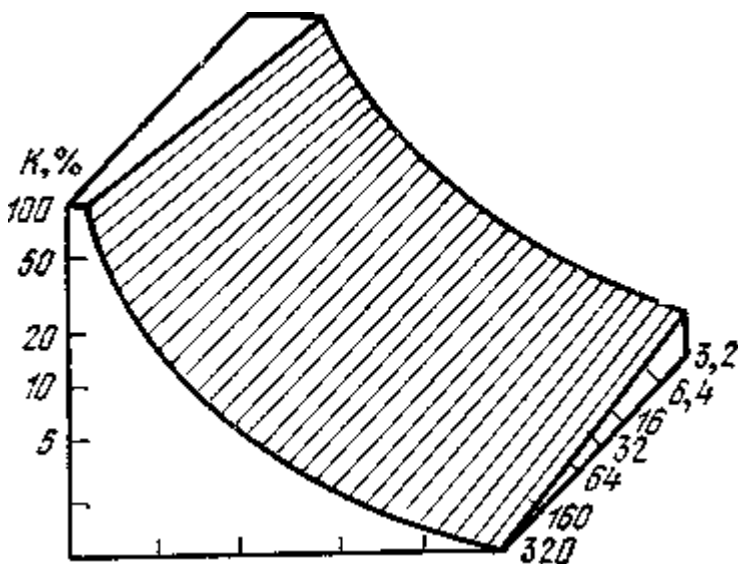
хорошей видимости необходимо, чтобы число пороговых контрастов ( $K/K_{\text{пор}}$ ) было не менее 15 ... 30. Зависимость порога зрительного восприятия от угловых размеров, яркости и контрастности наблюдаемых объектов представлена на рис. 3.2. Заштрихованная поверхность соответствует порогу зрительного восприятия: точки, лежащие ниже нее, соответствуют условиям, не вызывающим зрительных ощущений.

Оценка временных характеристик светового сигнала связана с инерционностью зрения: установлено, что при частоте световых посылок более 15 ... 50 Гц глаз перестает ощущать мерцание. При этом действует закон Тальбота: кажущаяся яркость мерцающего источника равна средней за период наблюдения яркости \*. Закон Тальбота служит основой для организации мультиплексных схем управления индикаторами.

Рассмотренные особенности зрения при оценке яркостных, пространственных, временных характеристик световых сигналов фактически и определяют основные требования к индикаторам. К этому еще добавляются особенности ощущения цвета.

**Восприятие цвета** является величайшей привилегией человека среди всех представителей животного мира. Лишь цветовая окраска делает окружающий мир столь неповторимым и прекрасным, каким мы его воспринимаем. Нет такого внешнего раздражителя, который был

L,кЗ/мг



1,0 2 5 10 20

Угол зрения, мин

Рис. 3.2. Соотношения между угловыми размерами наблюдаемых объектов, яркостью и контрастностью для порога зрительного восприятия при времени воздействия 0,3 с.

бы близок к цвету по числу различных градаций: цветовые каталоги включают до 107 различных оттенков! Естественно поэтому, что для индикаторной техники, стремящейся в конечном счете к наиболее полному использованию возможностей зрения и к его максимальному удовлетворению, проблема цветности относится к числу основных.

Современное учение о цвете базируется на том экспериментально установленном факте, что «элементарные фотоприемники» глазной сетчатки — колбочки содержат рецепторы трех видов, каждый из которых обладает повышенной чувствительностью в красной, зеленой и синей областях спектра. Соответственно этому говорят о трех основных цветах - R, G, B, сочетание которых позволяет синтезировать всю цветовую гамму. Математически это означает, что цветовое ощущение можно рассматривать как вектор в трехмерном пространстве, осями которого являются R-, G-, B-векторы (принято  $\lambda_r = 700$  нм,  $\lambda_g = 546$  нм,  $\lambda_b = 436$  нм).

Упрощенная цветовая характеристика объекта возможна и в двумерной форме — точкой на цветовом графике МКО (рис. 3.3). Значение цветовых индексов источника (координат  $x$  и  $y$ ) позволяет найти две его важнейшие характеристики: цветовую тональность, определяемую доминирующей длиной волн излучения ( $\lambda_f$  для источника F на рис. 3.3); цветовую насыщенность, определяемую чистотой света (выраженное в процентах отношение отрезков W-F,  $\lambda_f$  на рис. 3.3).

Опорная точка цветового графика — точка W( $x=y=1/3$ )—соответствует белому свету, для которого характерны отсутствие какой-либо тональности и нулевая чистота цвета. Практически оптимальный белый свет получается из смеси трех цветов с  $\lambda = 450, 540$  и  $610$  нм. Излучатели, расположенные на огибающей кривой цветового графика или вблизи нее (таково большинство светоизлучающих диодов), имеют чистоту света, близкую к 100%; для сравнения укажем, что для ламп накаливания она не превышает 10 ... 20%.

Многочисленные психофизические эксперименты показывают, что по наилучшей цветоразличительной способности глаза выделяются шесть основных цветов:

белый, черный, красный, желтый, зеленый, синий. По-этому и многоцветные индикаторы, выполняющие функцию отображения информации посредством использования различных цветов, не должны использовать более шести цветов свечения, реально не более 3 ... 5. При сильной внешней засветке белым светом удобны красный, желтый, синий, пурпурный цвета; при слабой засветке к ним могут быть добавлены белый и зеленый. Для индикаторов с элементами малого размера оптимальны белый или желтый цвета. Наиболее контрастные области спектра для красного, желтого, зеленого цветов лежат в диапазоне 610 ... 630 нм, 588 ... 598 нм и менее 548 нм соответственно.

Для систем отображения нужны как насыщенные контрастные цвета, так и малонасыщенные полутонные. Как следует из цветового графика (рис. 3.3), для синтеза последних необходимы источники синего излучения: смешение чистых цветов из области красный — зеленый дает только насыщенные цвета.

Если, наконец, к сказанному добавить, что значительный процент людей обладает различными врожденными аномалиями цветового зрения, то становятся понятны трудности создания высоконадежных много-цветных индикаторов.

В заключение отметим, что учение о человеческом зрении намного сложнее любой другой области знаний и сказанное здесь есть лишь самое начальное приближение к действительности. Психофизическое пространство цветового восприятия не является линейным, поэтому технически используемые принципы пропорциональности и аддитивности цветовых сигналов не отражают реальность.

Повидимому, цветоразличение (и его высокая чувствительность) является не внутренним свойством отдельных колбочек, а результатом совместного действия многих элементов сетчатки, итогом пространственного и временного интегрирования и усреднения.

Можно считать твердо установленным, что для создания совершенной системы цветовоспроизведения по-требуется смешение не трех основных цветов, а по крайней мере десяти - двенадцати. Все это объясняет многочисленные расхождения между рекомендациями и выводами МКО (которые и сами постоянно изменяются) и цветовыми ощущениями различных наблюдателей.

**Физические эффекты, пригодные для использования в индикаторной технике**, исключительно разнообразны. Перечислим основные из них, придерживаясь хронологического принципа.

1. Свечение вольфрамовой нити помещенной в вакуум и раскаленной пропусканием через нее электрического тока (накальные индикаторы).
2. Свечение, сопровождающее электрический разряд в газах (газоразрядные индикаторы).
3. Предпробойная электролюминесценция порошковых люминофоров в переменном электрическом поле (электролюминесцентные индикаторы).
4. Инжекционная люминесценция монокристаллических полупроводников с p—n переходами (полупроводниковые индикаторы).
5. Излучение фотолюминофоров, нанесенных на полупроводниковые излучатели; возможны два крайних варианта: антистоксовый люминофор на ИК излучателе и «обычный» фотолюминофор на излучателе сине-фиолетового диапазона (пока рипотетическая модель).
6. Электролюминесценция тонких поликристаллических полупроводниковых пленок в постоянном и переменном электрических полях (тонкопленочные электролюминесцентные индикаторы).
7. Низковольтная катодолюминесценция (вакуумные люминесцентные индикаторы).
8. Электрооптические эффекты в жидких кристаллах (жидкокристаллические индикаторы).
9. Изменение окраски вещества при пропускании через него электрического тока (электрохромные индикаторы).
10. Электрооптические явления в сегнетоэлектриках, обладающих эффектом двойного лучепреломления (сегнетоэлектрические индикаторы).
11. Гальваническое осаждение и растворение тонкопленочных металлических рисунков (электролитические индикаторы).
12. Перемещение заряженных коллоидных частиц под действием постоянного электрического поля (электрофоретические индикаторы).
13. Разнообразные обратимые электро- и фотохимические процессы (электрохимические индикаторы).

14. Изменение оптических свойств вещества при переходе из жидкой фазы в парообразную при нагреве электрическим током (парожидкостные индикаторы).

Составление этих эффектов позволяет сделать ряд обобщений:

— все виды индикаторов можно подразделить на индикаторы с активным и пассивным растром. К первой группе относятся приборы на основе светогенерационных эффектов (1—7), приборы второй группы требуют внешней подоветки (8—14);

— в светогенерационных индикаторах выделяются приборы с прямым (2, 3, 4, 6) и двухступенчатым (1, 5, 7) преобразованием электрической энергии в световую;

- индикаторы с пассивным растром могут быть основаны на изменении коэффициентов отражения (8, 11, 12, 13, 14), пропускания (8, 12, 13), поглощения (9, 13) света и на вращении плоскости поляризации (8, 10);

— управление индикаторами может осуществляться электрическим током (1, 4, 5, 6, 14), напряжением (2, 3,

6, 7, 8, 10, 12), зарядом (9, 11);

— в качестве активных сред в индикаторах выступают металлы (1, 11), монокристаллы (4, 5), твердые поликристаллические вещества (6, 9, 10), порошки (3, 7), жидкости (8, 12), газы (2, 14);

— наиболее распространение получили полупроводниковые, газоразрядные и жидкокристаллические индикаторы.

Четыре поколения индикаторных приборов

**Четыре поколения индикаторных приборов** может быть выделено на основе ретроспективного и перспективного анализа их развития. Первое поколение характеризуется небольшим числом используемых физических принципов, низкими значениями к. п. д. и яркости, малыми информационными возможностями ( $N_{эл} \approx 1 \dots 10$ ), большими габаритами, одноцветностью, высоким управляющим напряжением, малой долговечностью ( $< 10^3$  ч), высокой стоимостью, ограниченным применением. Типичными представителями этого поколения являются газоразрядные пакетные индикаторы (типа «Никси»), первые образцы

ЭЛИ.

К типичным представителям второго поколения индикаторных приборов следует отнести полупроводниково-вые и жидкокристаллические индикаторы, многорядные люминесцентные и плазменные монодисплеи. Эти приборы характеризуются высокой яркостью свечения и контрастностью, экономичностью, приемлемой долговечностью ( $10^4$  ч), невысокой стоимостью. Эти качества, а также повышенная информационная емкость ( $N_{эл} \approx 10 \dots 10^3$ ), совместимость с интегральными схемами управления обеспечивают широкое и многообразное применение индикаторов второго поколения. Как тенденция, проявляющаяся в отдельных представителях этого поколения, эти приборы характеризует многоцветность. Переход от первого поколения ко второму стал возможен благодаря привлечению новых физических эффектов и широкому и последовательному внедрению плоскостных конструкций и групповых методов обработки.

Третье поколение будет базироваться в основном на тех же физических принципах, что и второе, однако совершенствование новых материалов и технологии позволит достигнуть еще большей экономичности и информационной мощности ( $N_{эл} \approx 10^4 \dots 10^5$ ); долговечность превысит  $10^4 \dots 10^5$  ч; многоцветность станет обязательным качеством табло и экранов. Совмещение с устройством управления избавит потребителя от трудностей применения и благодаря низкой стоимости распространение информационных средств станет повсеместным. Неким прообразом изделия третьего поколения могла бы служить трехцветная плазменная панель, существенно усовершенствованная в направлении экономичности, миниатюризации схем управления, повышения долговечности и надежности и снижения стоимости.

Четвертое поколение индикаторных приборов можно наметить лишь контурно. Это полностью твердотельные квазимонолитные всецветные универсальные экраны с встроенным управлением, плоской конструкции с рабочей площадью от 1 до  $10^4$  см<sup>2</sup>. Срок службы должен превышать  $(5 \dots 7) \cdot 10^4$  ч. Электронное обрамление экранов неизбежно должно будет использовать новые методы обращения с информацией. Не исключено также, что в этих приборах будут частично проявляться черты устройств отображения последующих поколений, в частности способность воспроизведения объемных голографических образов. Создание устройств четвертого поколения потребует не только коренного изменения технологии (совмещение групповой обработки с непрерывными процессами), но и открытия новых физических эффектов и синтеза новых совершенных материалов. Тем не менее большинство прогнозов сходится на том, что к началу XXI века это будет реализовано.