Томский межвузовский центр дистанционного образования

А.Г. Костевич

Зрительно-слуховое восприятие аудиовизуальных программ

Учебное пособие

Томск – 2006

Рецензент: доцент кафедры "Телевидение и управление"
кандидат технических наук **Кормилин В.А.**

Корректор: Филиппова А.А.

Костевич А.Г.
Зрительно-слуховое восприятие аудиовизуальных программ: учебное пособие. — Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2006. — 230 с.

Учебное пособие составлено по материалам монографии А.П. Ефимова "Психология вещания". — М.: МТУСИ, 2004 и циклу статей И.А. Алдошиной по психоакустике в журналах звукорежиссер, 1999 – 2004. Автор-составитель — доцент кафедры телевидения и управления А.Г. Костевич.

Пособие предназначено для студентов радиотехнических специальностей и может использоваться для обучения по очной, вечерней, дистанционной форме обучения.

© Костевич Анатолий Геннадьевич, 2006

© Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2006

Содержание

Введение....9
Часть 1. СЛУХ и ЗВУК....11
1. ПСИХОЛОГИЯ ВОСПРИЯТИЯ....11
1.1 Предмет психологии. Ее ответвления....11
1.2 Основные понятия психологии восприятия....12
1.3 Цели и методы исследования восприятия....18
1.4 Связь образа и объекта....20
1.5 Семиотика. Её роль в вещании....21
2. ОРГАНЫ ЧУВСТВ....24
2.1 Общие свойства органов чувств....24
2.2 Адаптация органов чувств....25
2.3 Что такое звук? Что такое свет?....28
2.4 Слух и зрение в системе органов чувств....29
2.5 Основной психофизический закон Вебера и Фехнера....39
3. ФИЗИОЛОГИЯ ДЕЙСТВИЯ СЛУХОВОЙ СИСТЕМЫ....41
3.1 Развитие знаний о звуке....41
3.2 Понятия, относящиеся к восприятию звука....43
3.3 Строение органов слуха....45
3.4 Передача слуховых раздражений в мозг....47
3.5 Физиологические свойства и характеристики слуха....49
3.6 Восприятие чистых тонов....56
3.7 Пространственные свойства слуха....57
3.8 Задачи и возможности стереофонии....62
3.9 Увеличение чувствительности и угловой разрешающей способности слуха....64
4. ВОСПРИЯТИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ РЕЧЕВЫХ ОБРАЗОВ 66
4.1 Роль речевого общения....66
4.2 Речевое сообщение и речевой сигнал....66
4.3 Речевые форманты....67
4.4 Фонемы....71
4.5 Значение эмоциональной составляющей речи....74
5. ВОСПРИЯТИЕ МУЗЫКАЛЬНЫХ ЗВУКОВ....82
5.1 Роль музыки в жизни людей....82
5.2 Развитие знаний и представлений о музыкальных звуках....83
5.3 Классификация музыкальных звуков....85
5.4 Восприятие высоты музыкальных звуков....86
5.5 Восприятие тембра....87

5.6 Восприятие структуры музыкальных звуков 89
5.7 Консонансы и диссонансы 91
5.8 Звукоряды, гаммы и лады 92
5.9 Звуки и ноты 95
5.10 Влияние маскировки и различной чувствительности слуха на восприятие музыкальных звуков 97
5.11 Ощущение процессов установления 98
5.12 Восприятие певческих голосов 100
5.13 Восприятие звучания оркестра 104
5.14 Временные и пространственные свойства музыки 105
5.15 Восприятие звучания с позиций слушателя. Где лучше слушать музыку? 107
5.16 Восприятие звучания с позиций исполнителей 111
5.17 Информативность музыкальных произведений 113
5.18 Роль вещания в музыкальном просвещении и развитии общества 116
6. ВОСПРИЯТИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ШУМОВ 119
6.1 Классификация шумов 119
6.2 Исследование шумов 119
6.3 Нервно-психическое и физиологическое действие шумов 121
6.4 Санитарные нормы на уровни громкости 126
6.5 Загрязнение слуховой среды обитания 127
Часть 2. ЗРЕНИЕ И ИЗОБРАЖЕНИЕ 129
7. СВОЙСТВА ОРГАНОВ ЗРЕНИЯ 129
7.1 Исторические корни учения о свете и цвете 129
7.2 Строения глаза 130
7.3 Абсолютные пороги чувствительности 134
7.4 Относительные *(дифференциальные)* пороги чувствительности. Количество различимых градаций яркости 135
7.5 Разрешающая способность и острота зрения 137
7.6 Бинокулярное зрение 138
7.7 Инерционность зрительного ощущения 138
7.9 Влияние размеров и длительности наблюдения объекта 141
7.10 Комфорт и эстетика освещения 142
8. ВОСПРИЯТИЕ ЦВЕТА 145
8.1 Природа цветного зрения 145
8.2 Субъективные и объективные параметры цвета 148
8.3 Закономерности смешивания цветов 154

8.4 Цветовая (хроматическая) адаптация 155
8.5 Возникновение субъективных цветов 157
8.6 Аномалии цветового зрения 157
8.7 Восприятие небольших цветовых полей 159
8.8 Количество различаемых глазом цветов и оттенков 160
8.9 Воздействие на цветовые ощущения побочных раздражителей 160
8.10 Применение цвета для сигнализации 161
8.11 Эстетика цветового восприятия 161
8.12 Физиологическое и эмоциональное воздействие цвета 162
9. ВОСПРИЯТИЕ ПОМЕХ И ИСКАЖЕНИЙ 165
9.1 Градации субъективной оценки качества изображения 165
9.2 Классификация помех 166
9.3 Флуктуационные помехи 166
9.4 Импульсные помехи 168
9.5 Периодические помехи 169
9.6 Нормирование помех 171
9.7 Нелинейные и геометрические искажения 172
9.8 Искажения масштаба времени 173
9.9 Стробоскопический эффект 174
9.10 Искажение передачи градаций яркости 175
9.11 Восприятие нарушений цветопередачи 176
9.12 Снижение четкости изображения 176
10. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РАЗЛИЧНЫХ ОРГАНОВ ЧУВСТВ 179
10.1 Исходные положения 179
10.2 Звуки речи и цвета. Цветовые ассоциации 181
10.3 Формирование звуковых и зрительных образов словами и фразами 182
10.4 Цветовой звук и цветомузыка 184
11. ПРИЛОЖЕНИЕ ПСИХОФИЗИОЛОГИИ ЗРЕНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ АППАРАТУРОЙ ВЕЩАНИЯ 187
11.1 Постановка задачи 187
11.2 Психологические вопросы построения органов контроля 188
11.3 Психологические вопросы построения органов управления . 193
11.4 Роль освещения в деятельности работников вещания 198
12. ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОСПРИЯТИЯ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ 200

12.1 Условия наблюдения изображений 200
12.2 Роль света и цвета в формировании телевизионного изображения..... 202
12.3 Звуковые и зрительные планы 203
12.4 Вещание на службе у рекламы..... 208
12.5 Деятели вещания против психологов и гигиенистов..... 210
Приложение 1..... 218
НЕКОТОРЫЕ ПОНЯТИЯ И ВЕЛИЧИНЫ ИЗ ТЕОРИИ ЗВУКА И ЕДИНИЦЫ ИХ ВЫРАЖЕНИЯ 218
Приложение 2..... 222
СВЕТОВЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ ИХ ВЫРАЖЕНИЯ 222
П.2.1 Стандарты светотехники 222
П.2.2 Основные световые величины и единицы их измерения 222
П.2.3 Световые характеристики освещаемых объектов 228
ЛИТЕРАТУРА 231

От составителя

Учебное пособие составлено по материалам монографии А.П. Ефимова "Психология вещания". – М.: МТУСИ, 2004 и циклу статей И.А. Алдошиной по психоакустике в журналах "Звукорежиссер", 1999 – 2004. Автор-составитель – доцент кафедры телевидения и управления А.Г. Костевич.

В учебном пособии рассматриваются вопросы восприятия, относящиеся к областям звукового и телевизионного вещания. Излагаются свойства слуха и зрения при формировании звуковых и зрительных образов с учетом взаимодействия с другими органами чувств человека.

Уделено внимание психофизиологическим аспектам восприятия и понимания речи, музыки, акустических шумов. Рассматриваются особенности речевого общения дикторов и ведущих звукового и телевизионного вещания со слушателями и зрителями. Показаны ошибки, которые иногда допускаются этими работниками вещания.

Обсуждается роль вещания в музыкальном просвещении людей. Изложены рекомендации врачей-гигиенистов и психологов относительно содержания программ вещания. Обсуждаются физиологические и психологические аспекты конструирования аппаратуры студий и аппаратных вещания. Обращается внимание на дизайн аппаратных и условия комфорта деятельности творческих и технических работников вещания.

В приложении даны основные величины, выражающие звуковые и световые понятия, и единицы их измерения.

Пособие предназначено для студентов радиотехнических специальностей и может использоваться для обучения по очной, вечерней, дистанционной форме обучения.

Список сокращений

ГДРЗ	Государственный Дом радиовещания и звукозаписи
ЗВ	звуковое вещание
КИЗ	кажущийся источник звука
лампа БС	лампа белого света
лампа ДС	лампа дневного света
лампа ТБС	лампа тепло-белого света
лампа ХБС	лампа холодного белого света
МКО	Международная комиссия по освещению
ПУАЗО	прибор управления артиллерийским зенитным огнем
РД	радиодом
СМИ	средства массовой информации
ТВ	телевидение, телевизионное вещание
ТРВ	телерадиовещание
ТЦ	телевизионный центр

Введение

Канули в прошлое радости людей по поводу приема радиопередачи и их восхищение появлением на экране телевизора движущихся и звучащих изображений. Факт приема программ звукового и телевизионного вещания (ЗВ и ТВ) уже никого не удивляет. Люди, чье общее развитие и образование постепенно повышается, в том числе и не без влияния радиовещания и телевидения, предъявляют все более высокие требования к художественному и техническому качеству программ ЗВ и ТВ, к их большему разнообразию.

Звуковое и телевизионное вещание стало важной составной частью средств массовой информации (СМИ). Программы ЗВ и ТВ с большой силой воздействуют на ум и чувства людей.

Вещание — не только идеологическое оружие, средство пропаганды, информации и рекламы. Оно — средство развития, воспитания, образования людей, средство разумного отдыха и развлечения. Вещание — особый вид искусства. Пока идут разговоры о том, допустимо ли вещанию присваивать высокое звание искусства, оно, несмотря на все споры, развивается, вбирая в себя и приемы театра, и приемы кинематографа, создавая собственные художественные приемы.

Разработка художественных, творческих, эстетических приемов формирования программ звукового и телевизионного вещания наталкивается на обстоятельство, как будто вовсе не имеющее отношение к искусству и технике, — недостаточное понимание законов восприятия людьми окружающего мира, закономерностей психологии, психофизиологии, на неполное и даже неточное понимание особенностей действия органов чувств человека. Не всё в этих вопросах понято до сих пор. Несмотря на это, имеются попытки и их технические реализации воссоздавать или имитировать, кроме слуховых и зрительных ощущений, обонятельные, вибрационные и даже температурные ощущения. Эти попытки подчас интересны с технической точки зрения, но они пока не нашли художественного применения.

Программы вещания до некоторой степени формируют духовный облик общества, его нравственный «климат». От того, насколь-

ко вещание достигает этой высокой цели, отчасти зависит будущее страны.

Не всегда вещание справляется с решением этой задачи. Подчас деятели вещания потакают низменным чувствам некоторой части общества, идут на поводу у слушателей и зрителей с неразвитым художественным чувством, вовлекают их только в сферу развлечений.

То, что иногда показывают по телевидению, — грубо и пошло. Но зрителям это нравится. Что-то под влиянием телевидения сместилось в их сознании. И этот результат нельзя отнести к достижениям деятелей вещания.

Рассматривая процесс организации вещания, обычно занимаются двумя группами участников этого процесса — творческим и техническим персоналом радиодомов (РД) и телевизионных центров (ТЦ). Но есть еще третья, самая многочисленная группа участников процесса — радиослушатели и телевизионные зрители, люди, для которых ведется вещание. Разумность, а следовательно, результативность взаимодействия этих трех групп определяется не только профессиональной подготовленностью и талантом творческих и технических работников вещания, не только степенью технического совершенства оборудования РД и ТЦ, но и тем, насколько правильно и полно при организации вещания учитываются психофизиологические свойства и возможности людей — создателей программ и людей, воспринимающих эти программы.

В содержание книги входят некоторые положения психологии и психофизиологии человека, имеющие значение для понимания процессов создания программ и их восприятия радиослушателями и телевизионными зрителями. В связи с этим изложены общие свойства чувств человека. Главное внимание уделено свойствам слуха и зрения, поскольку именно они, в первую очередь, участвуют в восприятии программ ЗВ и ТВ.

Рассмотрены ошибки и недочеты, возникающие в процессе формирования программ и пути их уменьшения или полного устранения. Уделено место проблеме взаимодействия творческих и технических работников вещания с вещательным оборудованием.

В приложениях разъясняются основные физические величины, характеризующие звуковые и световые явления.

Часть 1. СЛУХ и ЗВУК

1. ПСИХОЛОГИЯ ВОСПРИЯТИЯ

1.1 Предмет психологии. Ее ответвления

Эта глава будет несколько трудноватой для неподготовленного читателя, знающего о психологии только понаслышке. Но без освоения понятий, относящихся к широкой области знаний, охватываемых наукой о свойствах человеческой психики в ее связи с окружающим человека миром, невозможно полноценное понимание последующих глав книги.

Психология (греч. psyche — душа, logos — учение) — наука о закономерностях, развитии и формах психической деятельности. В широкий круг знаний, охватываемых психологией, входят некоторые основные ответвления.

Психофизика изучает связи возникающих в сознании человека образов с объектом, под воздействием которого возникли эти образы. Основную задачу психофизики составляет выявление закономерностей между физическими параметрами объекта, раздражителями, воздействующими на органы чувств, и соответствующим им субъективным образам, возникающим в сознании, а также связывает интенсивность раздражения с интенсивностью ощущения.

Психофизиология (физиология восприятия) субъективное ощущение рассматривает как обобщенную, интегральную оценку нервных процессов, представляющих поведение организма, как особый способ организации нервных процессов, исследует физиологические основы нервных процессов.

Психоакустика своей задачей ставит выявление соответствий между физическими стимулами и ощущениями, придание им математических связей. Образно говоря, предметом психоакустики являются ваимоотношения эстетики, физики и математики. Основные задачи:

• *понять*, как слуховая система расшифровывает звуковой образ, устанавливает связи между физическими стимулами и интенсивностью слуховых ощущений;

• *выявить*, какие параметры акустических сигналов наиболее значимы для передачи семантической *(смысловой)* и эстетической *(эмоциональной)* информации.

Люди искусства часто с недоверием относятся к построениям и выводам психоакустики, считают их чем-то посторонним по отношению к чистому искусству. Конечно, эстетические категории не следует смешивать с психофизическими, но связь между ними прослеживается достаточно четко.

Социальная психология раскрывает субъективное восприятие через анализ личности, рассматривает личностное отношение данного человека к общественным событиям. Субъективность восприятия трактуется как некоторая целостная характеристика человека, индивида в любом его действии. Каждое такое действие включает в себя накопленный опыт человека, а также воздействие на человека общественной среды.

Медицинская психология рассматривает некоторые отклонения психики человека от общепринятых норм, причины этих отклонений и способы их устранения.

1.2 Основные понятия психологии восприятия

Восприятием называют познавательный процесс, обусловленный внешними воздействиями, в котором предметы и явления отражаются в виде образов или символов.

От воздействия раздражителей (стимулов) на органы чувств человек испытывает различные ощущения: слуховые, зрительные, обонятельные, осязательные, вкусовые, температурные и иные. Созданный восприятием образ не есть простая совокупность ощущений. Предметы и явления всегда воспринимаются целостно, и в обычной обстановке субъект не различает, какие именно ощущения он испытал. Более того, иногда нужна "подсказка", чтобы субъект испытал ощущение от какого-либо раздражителя.

Образ можно описать, выделяя и рассматривая его отдельные признаки, детали. Признаки образа — это конкретная форма реализации ощущений. Чистое ощущение выступает как абстрактное, отвлеченное от конкретных образов, но присущее многим из них общее свойство. Например, высота тона — абстрактное понятие, извлеченное из множества звуковых образов свойство звука представляться тонким, «писклявым» или низким, "басистым".

Интенсивность ощущения характеризует силу воздействия раздражителей на человека. Интенсивность ощущения измерима. Субъект способен дать этому ощущению количественную оценку,

по которой каждому ощущению интенсивности затем приписать некоторое число согласно правилам эксперимента. В результате получаются шкалы ощущений или так называемые сенсорные характеристики. Например, громкость звука (параметр ощущения) находится в соответствии со звуковым давлением или интенсивностью звука (физические величины). Высота тона (параметр ощущения) зависит от частоты акустического сигнала.

И.М. Сеченов и И.П. Павлов в конце XIX века показали, что восприятие не является моментальной фотографией объекта, а развивается как процесс. Он включает в себя несколько этапов: от обнаружения объекта до его детального распознавания. Применительно к зрительному восприятию были установлены следующие этапы восприятия:

1. Обнаружение, различение положения объекта в пространстве, т. е. в поле зрения и примерная оценка его размеров.

2. Неуверенная оценка его формы (например, человеку кажется, что объект имеет форму то ли круга, то ли многоугольника).

3. Различение резких, наиболее заметных перепадов формы объекта.

4. Общая оценка, в которой форма объекта представляется ясной, но без различения деталей.

5. Полное различение формы с деталями.

Другие психологи разбивают процесс восприятия на более крупные этапы:

1. Обнаружение объекта (при слабых раздражителях — превышение порога слышимости, порога видимости и т.д.).

2. Опознание (ответ на вопросы: что это — речь, музыка, неподвижный или движущийся объект, живой или неживой?).

3. Описание объекта в подробностях (голос какого певца, название какого музыкального произведения; в зрении: кто именно — товарищ, незнакомый человек; не просто птица, а какая — галка или воробей?).

Второй и третий этапы в сознании трудно разделить. Поэтому В.В. Мешков предложил их объединить в один и назвал его различимостью.

Применительно к зрению этапы восприятия назвали словами: видимость (объект представляется бесформенным пятном с нерезко очерченными границами), раздельная видимость (выявление от-

дельных границ деталей без точного определения формы), узнавание (точное определение формы и границ объекта). Прохождение сигналов в процессе восприятия представлено схемой (рис. 1.1.)

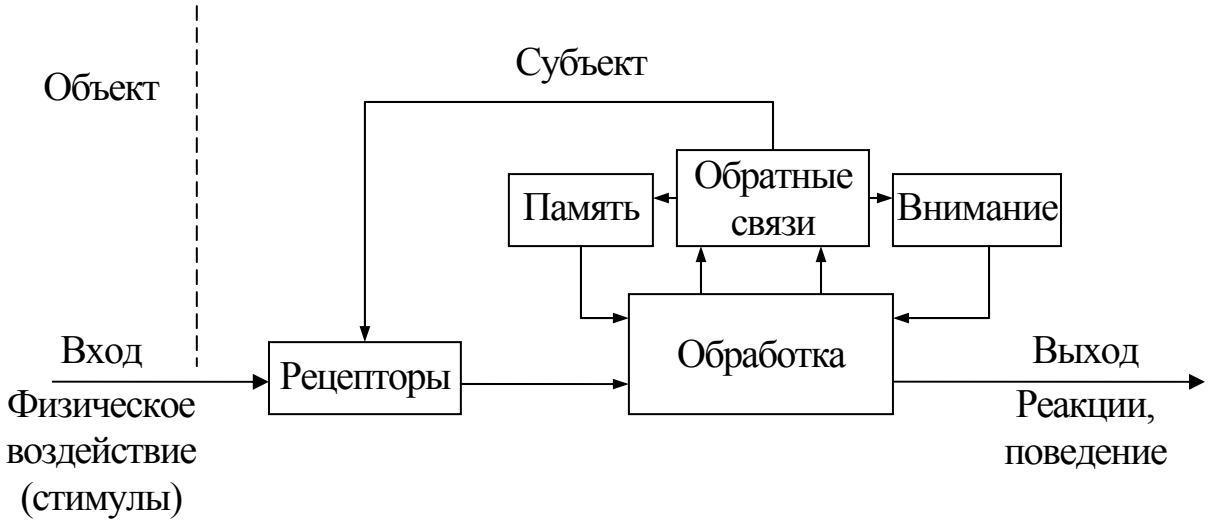


Рис. 1.1

В этой схеме, как и в схеме системы связи, имеются вход и выход. Со стороны входа на человека действуют раздражители (*стимулы),* имеющие физическую природу. *Раздражителями* или *стимулами* называют только те физические воздействия, которые могут быть восприняты органами чувств и вызвать ощущения. Слабые, ниже порога слышимости акустические колебания частоты 1 кГц считают слуховым стимулом, так как при увеличении его интенсивности человек воспримет его как звук, а ультразвуковое колебание, какой бы интенсивности оно ни было, стимулом не считают (впрочем, можно заметить, что ультразвуковые колебания большой интенсивности вызывают ощущение ожога). Итак, оба физических воздействия не вызывают у человека слуховых ощущений, но первое вызовет их, если увеличить его интенсивность, а второе — нет.

Аналогично слабый источник электромагнитных колебаний светового диапазона не вызовет ощущения света, но при увеличении интенсивности источника ощущение света возникнет. А источник электромагнитных колебаний инфракрасного или ультрафиолетового диапазона не вызовет ощущения света при любой его интенсивности.

Множество входных сигналов, т.е. стимулов, называют полем восприятия (*перцептивным полем)*. Приемниками стимулов служат *специализированные рецепторы* — слуховые, зрительные, осяза-

тельные, обонятельные и другие. Их совокупность образует *рецепторные поля* — кортиев орган уха, сетчатку глаза и т.д. На выходе системы образуются *реакции* на воспринятые субъектом входные стимулы. Характер реакций может быть различным: созерцательным, мыслительным, речевым, двигательным. Совокупность реакций субъекта составляет ответ, называемый *поведением*. В формировании воспринимаемого образа и ответного поведения заняты *память* и *внимание*. В памяти хранятся образы и реакции, накопленные в результате жизненного опыта. Поэтому память участвует в распознавании образов и выработке модели поведения.

В результате опытов было установлено, что мозг человека в бодрствующем состоянии каждую десятую долю секунды составляет картину окружающей его обстановки. За 70 лет мозг должен был бы сохранить 15×10^9 отдельных элементов информации. Такое количество почти в 10^3 раз превышает общее количество нервных клеток человеческого организма. Остается предположить, что каждая клетка должна сохранять след более чем одного бита информации и отдавать ее по мере надобности. По-видимому, часть информации со временем уничтожается, чтобы освободить место для новых битов информации. Но как мозг решает, что нужно сохранить, а от чего можно уже отказаться, остается загадкой.

Определим понятие внимания. *Внимание* — создаваемое субъектом ограничение поля восприятия на его определенной части. Благодаря вниманию субъект способен выделить голос собеседника из шума толпы или звучание одного из инструментов оркестра из общего ансамблевого звучания.

Различают передачу информации в прямом и обратном направлениях. Прямыми являются пути передачи сигналов от рецепторов и из памяти на входы блока обработки, а также канал передачи управляющих сигналов внимания.

Обратные связи обеспечивают корректирование сигналов рецепторов, перебор извлеченных из памяти вариантов реакций и управление вниманием. Содержание образов и, следовательно, поведение зависит не только от стимулов, но и от исходного психического состояния человека. Для обозначения этого состояния пользуются термином *"установка"*.

Установка — подсознательная готовность человека к определенной совокупности реакций на раздражители. Обычно установки

вырабатываются и закрепляются в результате жизненного опыта, высказываний близких людей, создаются воздействием средств массовой информации **(СМИ),** внушения, гипноза, тренировок, запоминания определенных инструкций и наставлений, действительного или воображаемого авторитета общественных деятелей, артистов и т.д. Влияние установок бывает временным или долговременным и стабильным: человек, находящийся под действием установки, зачастую не осознает этого.

Действие установки описано в рассказе А.П. Чехова. Гимназист, находившийся под воздействием установки на чтение латинского текста, пометку учителя — русское слово "чепуха" — воспринял как латинское *repyxa (реникса).*

Другой пример. Эксперты оценивали качество звучания роялей трех фирм — "Стенвей", "Фёрстер" и "Красный Октябрь" (рояль "Россия"). При прослушивании, когда рояли были видны экспертам, лучшим было признано звучание рояля "Стенвей", худшим — "Россия". Затем эстрада была отделена от слушателей акустически прозрачным занавесом. Тогда лучшим был признан рояль "Россия", а худшим — "Фёрстер". Результаты прослушивания оказались для экспертов совершенно неожиданными. В первом случае на экспертов влияла установка, обусловленная авторитетом престижных фирм, во втором случае — эта установка не действовала.

Обсудим понятие *"иллюзия"* — несоответствие образа объекту восприятия. Прямое сравнение образа и объекта, как правило, невозможно. Образ описывается в терминах поведения, объект — в терминах физики. Тем не менее, принято говорить о соответствии, адекватности образа и объекта, если заключение, сделанное субъектом, подтверждается опытом. Например, источник звука находится именно там, где он должен находиться по мнению наблюдателя; длины сторон геометрической фигуры, кажущиеся равными, действительно равны. На явлении иллюзии основано телевидение и кинематограф. Недаром первые кинотеатры называли *иллюзионами.* Ощущения движущихся изображений достигают частой сменой множества неподвижных изображений.

Яркие примеры художественного применения иллюзий мы находим в установках звукового кинематографа и воспроизводящих стереофонических устройствах. Ощущаемое положение кажущихся источников звука (КИЗ) не совпадает с положением истинных ис-

точников звука — громкоговорителей. Зритель в зале кинотеатра уверенно отождествляет источник звука с положением изображения актеров на экране. Распространенный случай иллюзий: звучание громкоговорителя принимают за звучание музыкального инструмента. В основе всех иллюзий лежат установки, закрепленные в сознании на основе предшествующего опыта.

Иллюзию нельзя объяснить обманом чувств, т.е. погрешностью преобразования стимулов в ощущения. Эксперименты показали, что в цепочке *объект — стимул — образ* последний оказывается адекватным стимулу, т.е. органы чувств действуют правильно, но не адекватно объекту – источнику стимулов. Известны иллюзии, вообще не связанные с органами чувств. Такова известная иллюзия, называемая *deja vu,* когда человеку кажется, что наблюдаемое им событие уже когда-то было в его жизни.

Еще пример неадекватного восприятия, когда в цепочке *объект — стимул — образ* последний не адекватен стимулу, но адекватен объекту. Это так называемая *константность* восприятия. Человек правильно оценивает размеры предметов, независимо от их удаленности, хотя размеры изображения на сетчатке глаза различны. Точно также громкость источника звука оценивают правильно, независимо от расстояния до источника звука, хотя звуковое давление, действующее на ухо, уменьшается с увеличением расстояния. Константность восприятия обеспечивается установкой, и человек подсознательно вносит поправки в воспринимаемые зрительный или слуховой образы.

Никакой стимул не вызывает реакции, пока его интенсивность не достигнет определенного *порога восприятия.* Существуют пороги яркости, слышимости, концентрации вкусовых или пахучих веществ. Значения порогов непостоянны. Порог заметности стимула данной физической природы зависит от воздействия на субъект других стимулов той же или иной физической природы. Совместное действие стимулов может быть:

• *индифферентным,* когда один стимул не влияет на порог заметности другого;

• *синергичным,* когда пороги заметности обоих стимулов или одного из них понижаются относительно порогового значения единственного стимула (стимул воспринимается лучше, заметнее);

• *антагонистическим,* когда значения порога возрастают, т.е. когда чувствительность к данному стимулу понижается.

В последнем случае говорят о явлении *маскировки* одного стимула другим. Один из раздражителей называют стимулом, второй — *маскером.* Если во время демонстрации изображения на кино- или телевизионном экране подсветить его посторонним источником, то детали изображения в тенях пропадут, а общая контрастность изображения уменьшится. Точно так же слабые звуки маскируются другими, более интенсивными звуками — заметная в паузе помеха становится незаметной в присутствии сигнала. Если же стимул и маскер имеют различную физическую природу, то действие маскера можно объяснить отвлечением внимания. Например, акустические шумы менее заметны в кинематографе или телевизионном вещании, чем в звуковом вещании, в котором отвлекающего действия изображения нет.

Наряду с маскировкой существует противоположное ей явление — *демаскировка.* В простейшем случае демаскировка наступает при устранении маскера, например, при отключении второго источника. Иногда демаскировку рассматривают как психический процесс, выражающийся в сканировании или расширении поля восприятия.

Сканирование поля восприятия — это перевод внимания с одних раздражителей на другие. *Расширение поля восприятия* достигают двумя путями: введением дополнительных стимулов, например, переключением воспроизводящего устройства из режима "моно" в режим "стерео", либо целенаправленной тренировкой субъекта, развитием у него музыкального вкуса.

1.3 Цели и методы исследования восприятия

Исследованием восприятия различных стимулов (раздражений) занимается отдел психологии, называемы экспериментальной психологией или психологией восприятия (слухового, зрительного и т.д.). Цель этих исследований — получить количественное выражение реакций человека на звуковые, световые и другие раздражители. Только на основе количественных выражений можно формулировать требования к техническим устройствам, служащим для передачи и воспроизведения этих раздражений.

Особую роль в выработке сведений о количественных связях играют статистические методы исследования. Индивидуальные свойства различных людей заметно отличаются. Даже один и тот же человек в различных условиях по-разному реагирует на один и тот же раздражитель. Объясним это на примере слуховых раздражителей. Надежно установить, слышит ли испытуемый определенный очень слабый звук или не слышит, трудно. Испытуемому может казаться, что он слышит звук, когда его нет, или наоборот, он может не сознавать, что слышит данный звук, хотя раздражение от этого звука принято ухом, и соответствующий импульс в слуховом нерве создан.

Классический прием исследования заключается в том, что испытуемому предлагают слушать в полной тишине чистые тоны определенной длительности и частоты. Интенсивность этих звуков увеличивают, пока испытуемый не сообщит, что заметил этот звук. Но слушатель заранее знает, что тон будет. Поэтому его утвердительный ответ не свидетельствует о том, действительно ли он слышит звук или случайно принимает за искомый звук шумы своего органа слуха. Поэтому методику строят иначе. Испытуемому предлагают "угадать", был ли подан звук в течение некоторого интервала времени или нет. Интервалы времени, в течение которых подается звук, следуют в случайном порядке. Возможны четыре ответа:

1. "Слышу", когда звук подан, — ответ правильный.
2. "Не слышу", когда звук не подан, — ответ правильный.
3. "Слышу", когда звук не подан, — ответ неправильный.
4. "Не слышу", когда звук подан, — ответ неправильный.

На основании большого числа таких опытов определяют проценты ответов 1, 2, 3, 4. Все они в сумме дают 100 %, однако доля тех или иных ответов зависит от некоторых причин. Если, например, слушателю предложат поощрение за правильные ответы, он, ожидая поощрения за ответ 1, будет называть ответ 1 и в случае 3. Если же испытуемого будут "штрафовать" за ответ 3, то он будет пропускать случаи, когда звук услышан, но нет полной уверенности в этом. Тогда увеличится количество ответов 4. На основании статистического анализа ответов удается установить объективную возможность отличить случайные возбуждения слухового нерва и нейронов слухового центра мозга, вызванные какими-то физиоло-

гическими процессами в его организме, от действительного акустического воздействия на слуховой нерв.

Анализ данных таких исследований привел к выводу, что причиной обнаружить звук, интенсивность которого ниже пороговой, является случайная активность проводящих нервных путей, вызванная различными физиологическими процессами в нервных путях и коре головного мозга. Она вызвана, по-видимому, какими-то физиологическими особенностями в организме испытуемого, а не порогом чувствительности слуховых нервных окончаний, реагирующих на звуковой раздражитель.

Аналогичным путем проводят исследования пороговой чувствительности других органов чувств человека.

Средне-статистические пороги чувствительности установили, исходя из условия, что 50 % испытуемых имеют порог более низкий (т.е. эти люди более чувствительны к данному раздражителю), а 50 % имеют порог более высокий. В качестве испытуемых обычно выбирают людей в возрасте от 18 до 23 лет с заведомо здоровыми органами чувств. Для более сложных исследований органов чувств привлекаются в качестве руководителей работ психологи и врачи - специалисты.

1.4 Связь образа и объекта

К числу важнейших понятий психологии относится понятие *образа. Образ* — некоторое структурированное приближенное описание (*эскиз)* рассматриваемого *объекта,* явления или процесса. Принципиальное свойство образа — неполное, частичное определение объекта. С помощью образа устанавливают соответствие объектов, их одинаковость, аналогичность, подобие, сходство. Два объекта считаются подобными, если удается установить одинаковость их образов. Поэтому установление соответствия образа объекту является важной задачей психологии.

Но не всегда понятие образа точно соответствует объекту. Например, зрительный образ, формирующийся в мозгу, при воздействии на глаз какого-либо объекта, зависит от положения объекта в поле зрения, от физического состояния органа зрения и человека в целом, уровня развития и обученности, от отношения человека к данному объекту. Субъективность образа выступает как целостное свойство, обладающее рядом определенных свойств.

Сопоставление образов — основная задача распознавания. В различных задачах образу приписывают различный смысл. Он определяется тем, какие характеристики объекта входят в описание образа, какой мыслительный аппарат используют для описания объекта. Чем большее число свойств и качеств объекта отражено в образе рассматриваемого объекта, тем полнее описание, тем полнее образ характеризует объект. Но объект всегда богаче описания. Например, человек может передать собеседнику описание живописного полотна, но образ, возникающий в сознании собеседника, будет беднее впечатления (образа), создаваемого самим восприятием картины.

Решение задачи формирования образа, его соответствия объекту имеет большое значение для многих технических отраслей деятельности человека. Оно играет большую роль в информатике, в различных проблемах искусственного интеллекта, в символической обработке алгебраических выражений, в экспертных системах и оценках, в синтезе и преобразовании компьютерных программ.

Важное понятие, относящееся к формированию и распознаванию образов — *класс*. Класс — это объединение объектов, явлений, процессов, отличающихся какими-то общими свойствами, интересующими человека. При восприятии музыки, например, под классом понимают жанр музыкальных произведений. Слушатель музыки решает, к какому классу, жанру относится произведение — симфонической или камерной музыке, инструментальному произведению, романсу, песне и т.д.

Автоматическое распознавание образов — важная, еще не решенная (а может быть, нерешаемая) задача создания адаптивных устройств автоматического регулирования уровней и динамического диапазона сигналов звукового вещания.

1.5 Семиотика. Её роль в вещании

Люди живут в мире, окружающем их различными *образами*. Способность мыслить образами — великое человеческое свойство, но и великая загадка. Увидев что-либо, человек сразу решает: что это? Мужчина, женщина, бабочка, стол, стул, дом... Человек решает это сразу и безошибочно. Окружающие существа, предметы, явления, события человек мысленно разбивает на группы, классифицирует их. Подчас в одной группе оказываются очень различные

предметы и явления, значительно отличающиеся друг от друга. Но в чём-то они схожи, обладают какими-то общими признаками.

Человек сопоставляет различные изображения: рисунок, выполненный рукой мастера, и рисунок, сделанный неумелой детской рукой. При разительной непохожести этих рисунков, человек сразу понимает, что изображено; и художник, и ребенок нарисовали дом, слона, другого человека.

Способность узнавать и классифицировать по признакам предметы и явления заложены в природу людей. Как происходит этот процесс, не знает, кажется, никто. Ясно одно: восприятие явлений действительности в форме образов дает возможность более экономно использовать память. Сформированный образ освобождает человека от необходимости запоминать множество конкретных предметов, явлений, событий.

Способность человека мыслить образами возникает в процессе *обучения.* Обучаясь, накапливая опыт, человек научается классифицировать увиденное, формирует образы. Образ позволяет человеку пользоваться накопленным ранее опытом.

От образа — прямой путь к пониманию системы *знаков.* Человечество выработало множество различных знаков для обозначения предметов и явлений. Часть этих знаков носит естественный характер, часть — искусственный характер.

К естественным относят звуки речи, предупреждающие и угрожающие позы и движения, жесты, обозначающие одобрение или осуждение, подтверждение или отрицание. Например, аплодисменты или поднятый вверх большой палец руки обозначают одобрение.

К искусственным относят письменные знаки и алфавиты различных языков, математические знаки, различные телеграфные коды, ноты, поясняющие или предупреждающие акустические и световые сигналы, обозначения входа и выхода в помещениях и транспортных средствах, эмблемы, логотипы фирм и телевизионных программ, географические карты, планы городов и здания и многое другое.

О познавательной роли знаков задумывались еще древнегреческие философы, в том числе Аристотель. Внимание этому вопросу уделили немецкий ученый Г.В. Лейбниц, англичанин Д. Локк. Возникла отрасль психологии, выделившаяся в отдельную науку, *семиотику.* Её название происходит от греческого слова "семиос", что

в переводе на русский означает «знак». Основу семиотики как науки сформулировал английский ученый Чарльз Пирсон в 30-е годы XX столетия. Большой вклад в развитие семиотики внесли русские и польские ученые.

Какое же отношение семиотика имеет к звуковому и телевизионному вещанию ?

И звук, и изображение являются знаками. Звуковое и телевизионное вещание являются средствами формирования и передачи этих знаков. В задачи, решаемые семиотикой, входят выбор музыкальных заставок, выбор шрифтов для надписей в телевизионных изображениях, логотипов программ, надписей и других обозначений на аппаратуре вещания и т.д.

Поэтому положениями семиотики интересуются программные и инженерные работники звукового к телевизионного вещания. Семиотика учит тому, как сделать символы, знаки, обозначения более понятными слушателям и зрителям, персоналу, имеющему дело с аппаратурой вещания.

В некоторых странах семиотика как учебная дисциплина входит в программы подготовки работников звукового и телевизионного вещания и сотрудников рекламных организаций. Цель усвоения этих знаний — формировать на экранах телевизоров изображения заставок, рекламные сюжеты таким образом, чтобы они стали более понятными и доходчивыми для потребителей — зрителей телевизионных программ.

2. ОРГАНЫ ЧУВСТВ

2.1 Общие свойства органов чувств

Одно из основных условий эффективного действия устройств, предназначенных для передачи разнообразной информации человеку, согласование свойств сигналов, служащих для передачи информации, с характеристиками (свойствами) органов чувств.

Любой анализатор состоит из трех главных частей: приемника сигналов — рецептора, проводящих нервных путей, центров анализа, находящихся в коре головного мозга.

Рецепторы преобразуют энергию раздражителей (светового потока, звуковых колебаний, тактильных ощущений и т.д.) в энергию особых нервных процессов. Это — результат взаимодействия рецептора с раздражителем. Рецепторы глаза возбуждаются тогда, когда на сетчатке возникает оптическое изображение, являющееся отображением тех свойств объекта, которые проявляются при воздействии на него лучистой (электромагнитной) энергии. Эти свойства составляют содержание зрительных ощущений. Раздражение слуховых рецепторов возникает при воздействии на них механических (акустических) колебаний воздуха, приходящих от объекта. Условием возбуждения тактильных ощущений является их механическое взаимодействие с объектом (давление, трение). При этом возникает ощущение механических свойств объекта — твердость, упругость, жесткость, шероховатость.

Вход рецепторов способен воспринимать воздействия определенного вида. На выходе возникают сигналы, единые по своей природе. Полагают, что код возбуждаемых нервных сигналов одинаков, он является частотно-импульсным.

Вторая часть анализаторов — *проводящие пути* — для передачи нервных импульсов через ряд отделов нервной системы в кору головного мозга. Мозговое окончание каждого анализатора состоит из ядра и рассеянных по коре мозга множества нервных элементов. Ядро зрительного анализатора находится в затылочных долях мозга, слухового — в височных долях, тактильного (кожно-механического) анализатора — в области задней центральной впадины и т.д.

Опытами физиолога И.П. Павлова и его сотрудников было выявлено, что самый тонкий и высший анализ внешних раздражений

осуществляется в ядрах анализаторов. Благодаря рассеиванию нервных элементов обеспечивается участие в каждом ощущении большей части коры мозга. Поэтому даже при разрушении ядра анализатора способность воспринимать и различать ощущения сохраняется. Такое строение анализаторов повышает надежность нервно-психической системы человека.

Другое средство повышения надежности действия органов чувств — парность некоторых анализаторов. Происходит дублирование действия пары анализаторов и взаимный контроль сигналов, поступающих от них. Этот механизмам является и средством борьбы с искажениями и потерей информации в процессе приема информации и передачи ее по нервным путям.

Благодаря сопряженному действию пары анализаторов (бирецепции), появляется некоторая новая информация, не создаваемая непосредственно в каждом из анализаторов. *Бирецепция* — специальное приспособление аппаратов мозга, служащее для образования пространственных впечатлений.

Между различными видами анализаторов образуются временные связи. Они — причина возникновения ассоциации ощущений, различных по своей природе.

Связь между рецепторами и мозговыми окончаниями анализаторов имеет двусторонний характер. Состояние рецепторов изменяется не только при изменении интенсивности внешних раздражителей, но и под воздействием нервных импульсов, идущих от мозгового конца анализаторов. Достигнув коры мозга и подвергшись в ней обработке, преобразованные импульсы вновь возвращаются к рецептору. Возникает своеобразная обратная связь, создающая эффект саморегулирования.

Поскольку приемником и переработчиком информации, поступающей из внешнего мира, является мозг, обладающий общностью нервно-психических процессов, некоторые числовые характеристики анализаторов одинаковы или близки.

2.2 Адаптация органов чувств

Органам чувств присущи процессы приспособления к изменяющимся внешним условиям, *адаптации*.

Изучение адаптивных механизмов в органах чувств важно в связи с задачами совершенствования электросвязи, вещания, авто-

матического распознавания образов. Органы чувств совместно с отделами центральной нервной системы представляют собой анализаторы, приспособленные к экономной переработке огромного количества информации в сочетании с высокой эффективностью выделения нужных сигналов.

Адаптация органов зрения сводится к действиям, предназначенным для наилучшего наблюдения желаемого объекта. Это — движение зрачков и повороты головы, чтобы не выпустить объект из области ясного зрения, изменение кривизны хрусталика, чтобы получить четкое, сфокусированное изображение объекта на сетчатке, изменение диаметра зрачка, чтобы приспособиться к яркости объекта. Наряду с этими уже достаточно известными механизмами, ведется изучение более скрытых от прямых наблюдений адаптивных свойств органов зрения и других анализаторов. Исследовано, в частности, действие имеющегося у каждого анализатора собственного мышечного аппарата. Собственные мышцы, имеющиеся у всех органов чувств, способны изменять диаграмму направленности рецепторов, их чувствительность или настройку на конкретные стимулы. В органе зрения — это мышцы поворота глазного яблока, кольцевые и радиальные мышечные волокна, осуществляющие сужение и расширение зрачка, кольцевые связи, изменяющие кривизну хрусталика.

У органа слуха животных — это мышцы, управляющие ориентацией ушной раковины, у человека – это мышцы среднего уха, изменяющие коэффициент передачи звукового давления от барабанной перепонки к улитке, рецепторы вкуса — желобообразные сосочки языка снабжены кольцевыми мышечными клетками, запирающими полости сосочков. Даже волоски тактильных рецепторов снабжены элементарными мышцами — арректорами, изменяющими их положение и влияющими на чувствительность органов осязания.

Все эти механизмы, регулирующие контакт органов чувств с соответствующими видами физической энергии, активно используются организмом для улучшения восприятия и анализа слабых раздражителей и для защиты органов чувств от чрезмерно сильных раздражителей. Этот механизм аналогичен системе АРУ радиоприемника, уменьшает коэффициент передачи при сильных сигналах.

Любопытное обстоятельство. Во многих мышцах, управляющих перестройкой органов чувств, обнаружены нервные окончания, реагирующие не на внешние раздражения, а на внутренние. Они посылают в мозг информацию о состоянии данной мышцы. Этот дополнительный канал, по-видимому, позволяет мозгу правильно оценивать сигналы, поступающие извне, различить движение наблюдаемого объекта и движение глаза. В обоих случаях изображение перемещается по сетчатке. Но во втором случае оно сопровождается сигналами внутренних рецепторов о перемещении глазного яблока или о движении головы, и это исключает иллюзию движения объекта.

Аналогичные явления наблюдаются и при анализе сигналов от других рецепторов, например, тактильных, и позволяют различить прикосновение, вызванное собственным движением тела, и прикосновение, обусловленное касанием постороннего предмета или тела.

Наличие рецепторов мышц резко повышает настройку органа чувств на восприятие данного стимула. Возникающая обратная связь позволяет мозгу точнее проверять выполнение команды мозга и вносить коррективы в действия.

В полной мере управление по такой схеме осуществляется, когда целенаправленный поиск важной для организма информации носит характер поведенческих действий. Таково, например, поведение человека в незнакомой обстановке, поиск нужного лица или предмета.

Общей закономерностью адаптивных свойств анализаторов оказывается взаимозависимость чувствительности и точности настройки, разрешающей способности рецепторов. Например, в условиях высокой интенсивности освещения острота зрения увеличивается при одновременном снижении чувствительности. Взаимозависимость любого физического измерителя обусловлена квантовой природой энергетических процессов. Она, как полагают исследователи, предопределена *принципом неопределенности Гейзенберга.* Это — не чисто абстрактно-теоретическое обстоятельство. Некоторыми исследователями, например С.С. Стивенсом, было экспериментально доказано, что многие анализаторы способны отвечать на порции энергии, оцениваемые всего несколькими квантами. Механизм взаимозависимого изменения чувствительности и разрешающей способности наиболее подробно применительно к зрению раз-

работан отечественным физиологом В.Д. Глазеровым, а механизм взаимодействия органов чувств при их одновременном и взаимном изменении адаптации — С.В. Кравковым.

2.3 Что такое звук? Что такое свет?

Для передачи звуковых и телевизионных сообщений слушателям звукового вещания и телевизионным зрителям служат соответственно звуковые и световые явления. Казалось бы, все ясно. Однако ответы на вопросы, поставленные в заголовке раздела, не так просты, как может показаться на первый взгляд. Зададимся таким вопросом: *«Существует ли звук в отсутствии субъекта, который мог бы его воспринять?»* Вдумавшись, обнаружим, что однозначного ответа на него нет. Слово "звук" имеет двоякое значение:

• это и поток энергии колеблющихся частиц среды,

• это и ощущение, которое при определенных условиях вызывает этот поток энергии в нашем сознании.

Итак, звук — это распространяющийся в упругих средах поток энергии, проявляющийся в виде механических колебаний, воспринимаемых органами слуха. Это быстрая смена сжатия и разряжения упругой среды, например, воздуха. При этом сами частицы среды только колеблются возле своих равновесных положений, но не смещаются поступательно в направлении распространения звуковой волны. В результате взаимодействия частиц среды между собою колебания распространяются в окружающей источник звука среде. В случае газообразной среды (воздуха) смещения частиц происходят только в направлении распространения. Такой процесс с образованием только продольных смещений характерен и для жидкостей. В твердых телах, наряду с продольными смещениями, возникают и поперечные смещения, так что звуковые колебания приобретают более сложный характер. Процессы излучения и распространения звуковых колебаний рассматриваются в акустике.

Вторая сторона содержания слова "звук" — восприятие звуковых колебаний рассматривается в психологии и ее ответвлениях: психофизике, психоакустике, психофизиологии, социальной психологии.

Аналогичный двойственный характер носит и слово "свет". Оно включает в себя и процессы излучения и распространения тех электромагнитных колебаний, длины волн которых лежат в видимой

части спектра, и процессы восприятия этих электромагнитных колебаний органами зрения. Анализ воздействия этих электромагнитных колебаний на сознание также проводится в психологии и ее научных ответвлениях.

2.4 Слух и зрение в системе органов чувств

Люди познают мир с помощью многих чувств. Их много больше, чем принято думать. Следуя Аристотелю, выделяют пять основных чувств: слух, зрение, обоняние, осязание и вкус. Слух, зрение, обоняние проявляются без непосредственного, телесного контакта человека с раздражителем, объектом, источником информации. Чувства осязания и вкуса возникают при контакте с объектом.

Аристотель питал любовь к малым числам: одна истина, два пола, три грации, четыре темперамента человеческой психики, пять чувств, семь чудес света, восемь нот в октаве, поэтому в перечислении чувств ограничился пятью основными.

Чувство слуха и *чувство зрения* к настоящему времени исследованы достаточно полно, хотя некоторые стороны этих чувств еще подлежат выяснению и уточнению. Не вполне ясны, например, механизм слуховой иллюзии "звук в голове", возникающей при поступлении к обоим ушам одинаковой акустической информации, или ошибки в виде мгновенного "переброса" ощущения положения звучащего источника "фронт — тыл" при положении источника строго в медианной плоскости (ошибочное суждение о том, находится ли источник звука перед человеком или позади него). Не объяснено появление окраски монохромных (черно-белых) изображений при быстром колебательном перемещении объекта.

Известные свойства слуха и зрения подробно рассмотрены в следующих разделах книги.

Но даже в известном *чувстве обоняния* много неясного. Механизм появления ощущения запахов до сих раскрыт не полностью. Имеется несколько гипотез, объясняющих его. Рассмотрим самую распространенную — биохимическую.

Органы обоняния находятся в двух *желобообразных* ямках в верхней части носовых проходов. Чувствительные клетки, связанные с обонятельным центром, находящимся в нижней части мозга, защищены от проходящего мимо воздуха тонкой слизистой пленкой, и потому не загрязняются пылинками. Площадь чувствитель-

ной к запахам поверхности не превышает площади копеечной монеты. На ней расположены 600 тыс. чувствительных клеток.

Чтобы человек ощутил запах, пахучее вещество должно раствориться в жидкой слизистой пленке. Оно удерживается в ней доли секунды, пока не свяжется с молекулами жира в оболочке чувствительных клеток. Было обнаружено, что есть вещества, не растворяющиеся в жироподобной пленке, но все же создающие ощущение запаха.

Химики подсчитали, что ощущение запаха уже возникает, когда количество вещества составляет всего $2x10^{-14}$ г. В этой ничтожной массе содержится примерно 20 млрд молекул!

Чувство обоняния меняется с возрастом. Дети, а также люди в период увядания не ощущают некоторых запахов, например, запахов половых гормонов. На каждую тысячу человек приходится один-два, не ощущающие некоторых запахов. Это — своеобразные "дальтоники". Большинство людей-альбиносов относительно нечувствительны ко всему спектру запахов.

Артур Конан Дойль устами своего героя Шерлока Холмса заявил, что хороший детектив должен уметь опознать 75 различных запахов, но не перечислил их. Современные японцы придумали игру для развлечение гостей. По кругу передают предметы, пахнущие одним из двухсот стандартных запахов. Гости должны назвать это вещество. Некоторые люди, лишенные зрения, узнают людей по их запаху, подобно тому, как зрячие идентифицируют знакомых по внешнему виду и голосу.

Когда жена уезжает на несколько дней, любящий муж находит утешение в том, что открывает платяной шкаф с одеждой его супруги.

В середине XVIII века шведский натуралист Карл Линней попытался создать систему определения запахов, которую можно было бы использовать как ключ при классификации растений. В 1916 г. немецкий психолог Х. Хеннинг предложил, чтобы каждому запаху было отведено место в многогранной призме, грани которой представляли бы собой качественные признаки запахов цветов, плодов, смол, пряностей, продуктов горения и гниения. Идея, подобная идее цветового треугольники для классификации цветов и их оттенков, была весьма заманчива, но реализовать её оказалось очень трудно.

В 1925 г. французский физиолог Цваадемакер предложил выделить восемь основных запахов: *чесночные* (лук, чеснок), *амброзийные* (мускус), *ароматические* (пряности, продукты горения), эфирные (фрукты, вина), *вонючие* (клопы, французские «ноготки»), благоухающие (цветы), *козлиные* (включая прогорклые масла) и *тошнотворные* (разлагающееся мясо и экскременты). Эта идея не получила широкого распространения. В 1945 г. был предложен упрощенный вариант, в который включены только четыре основных запаха: кислотные, продуктов горения, благоухающие и козлиные. Предполагалось, что в каждом из них нос человека мог различить от одного до восьми разновидностей.

Возможно, никогда не удастся создать рабочий метод, в основу которого ляжет найденный, наконец, механизм воздействия на человека пахучих веществ.

Были попытки создать устройства для передачи или синтеза запахов электрическим путем. Идея заключалась в том, чтобы на органы обоняния накладывались электроды, на которые подавались бы электрические импульсы различной частоты и формы. По этому поводу в довоенном радиолюбительском журнале *"Радиофронт"* была помещена карикатура: на телевизионном экране размером во всю стену комнаты видно изображение, а зритель, зажимает нос и говорит: *"Кажется, все отрегулировал правильно, почему же такой противный запах?"*.

В послевоенные годы в нескольких нью-йоркских кинотеатрах демонстрировалась система «Смелл о вижн» (Пахнущее изображение). В рекламном проспекте указывалось, что зрители ощутят гамму запахов: от запаха сапожной ваксы до аромата роз. Это кинозрелище не получило распространения, и кинотеатры быстро закрылись, поскольку демонстрируемые кинофильмы не несли художественного содержания, а были лишь забавным аттракционом.

Вкусовые ощущения обусловлены действием вкусовых сосочков, расположенных, главным образом, на кончике, краях и задней части верхней поверхности языка. У человека их около 10 тыс. Каждый вкусовой сосочек представляет собой маленькое *бокалообразное* скопление клеток диаметром примерно 0,07 мм. У детей кроме языка вкусовые сосочки усеивают все твердое и мягкое нёбо, а также и центральную часть поверхности языка. Однако к 16...18 годам они пропадают. С возрастом исчезают и многие сосочки, по-

крывающие кончик и края языка, поэтому, вкусовое чувство постепенно утрачивается, и человек должен увеличивать количество вкусовых веществ, чтобы с прежней силой ощутить их.

По сравнению с обонянием вкусовая чувствительность намного слабее. Чтобы вызвать вкусовое ощущение, нужно примерно в 25 тысяч раз больше вещества, чем для создания обонятельного ощущения.

Из всего разнообразия пищи только соль, сахар, кислые и горькие вещества имеют непосредственное отношение ко вкусу. Разнообразие вкусовых ощущений определяется комбинациями этих веществ, а также добавлением ощущения запаха. Ощущение горечи во рту возникает при концентрации вещества примерно в 1000 раз меньше, чем при создании ощущения сладкого, соленого или кислого. Горькие вещества большею частью ядовиты, и это обстоятельство сыграло свою роль в повышенной чувствительности человека к ним.

Конечно, можно приучить себя к вкусу пива, горечь которому придают хмель, или к горькому привкусу вермута, в состав которого добавляют экстракты горечанки, коры хинного дерева или полыни. Однако это также противоестественно, как привыкание к острому вкусу алкоголя.

Интересно, что поваренная соль в малых концентрациях (примерно 0,1 %) вызывает не вкус соленого, а вкус сладкого.

Не объяснено любопытное взаимодействие сладкого и соленого. Мороженое становится слаще, если добавить к нему несколько соленых орешков. То же получается, если немного присолить дыню. Наоборот, соленый вкус крекера проявляется еще больше, если есть его со сладкими желе.

Иногда вкусовые понятия используют для оценки совсем иных ощущений. Говорят: *"Сладкая музыка", "Это событие оставило чувство горечи"*. Часто, оценивая качества человека, говорят про него: "У *него хороший вкус"*. При этом имеют ввиду и способность человека судить о произведениях искусства, и умение хорошо одеваться, и даже выбор подруги жизни.

Осязание (тактильное чувство) представляется нам простым и понятном явлением. Оно рассказывает нам о ряде свойств осязаемых предметов — их форме, характере поверхности, жесткости или мягкости. Кожа человека содержит особые нервные окончания, со-

общающие человеку о многих свойствах предмета, к которому человек прикасается. Предполагается, что в процессе эволюции живых существ из некоторых органов осязания развились органы слуха.

В опере П.И. Чайковского "Йоланта" есть эпизод, в котором ясно проявляются роль и соотношение таких органов чувств, как зрение и осязание, в опознании предметов внешнего мира. Рыцарь Водемон спрашивает Йоланту, может ли она обнаружить розу, не прикасаясь к ней? Йоланта с удивлением восклицает: «Не прикасаясь? Разве можно?» Для слепой девушки осязание — один из главных способов восприятия окружающего мира.

Осязание — "контактное" чувство, зрение — "бесконтактное". К осязательным (тактильным) ощущениям близки по природе и проявлению *вибрационные ощущения*. Вибрационные ощущения предупреждают человека о грозных, опасных природных явлениях. Вибрации почвы — предвестники извержения вулканов, землетрясений, отзвук взрывов бомб и снарядов. Изменения характера вибраций различных механизмов и машин указывают человеку на их неисправности.

Существуют кинозрелищные заведения, где зрители сидят в креслах, укрепленных на подвижных платформах. Их вибрации и толчки при показе кинопрограммы имитируют вибрации корабля, подводной лодки, самолета и служат для усиления *"эффекта присутствия"*. Иногда такой кинопоказ дополняется передачей температурных ощущений.

Учеными были проведены подробные исследования чувствительности человека к вибрациям. Способность улавливать вибрации — это необыкновенно утонченное осязание. Пульсации ощущаются человеком как попеременные усиления или ослабления давления. Правда, до сих пор не известно, улавливаются ли пульсации окончаниями неспециализированных нервов, находящихся в поверхностном слое кожи, или действиями более сложных чувствительных органов, расположенных в глубине тела. Очень чувствительны к вибрациям кончики пальцев рук. Наибольшая чувствительность к колебаниям лежит в области частот 100–200 Гц. Известно, что, став глухим, Людвиг Ван Бетховен пытался воспринимать музыку, приложив пальцы руки к корпусу фортепиано.

Ученые пробовали научить человека "слышать" речь кожей. Американский психолог Р.Х. Голт подавал усиленные звуковые колебания на пальцы испытуемых. В трех случаях из четырех испытуемые определяли, какое из десяти коротких предложений передавалось пальцам в виде вибраций. Гораздо труднее оказалось узнавать отдельные слова, вырванные из контекста. Испытуемый терялся, если диктор менял темп речи, или взамен того диктора, с которым проходили тренировки, текст начинал читать другой.

В экспериментальном порядке проверилась идея сформировать для человека-оператора тактильный канал передачи и приема информации. Идея основана на высокой чувствительности кожи человека к тактильному воздействию. Для кодирования букв и цифр предлагают, например, использовать телеграфный код Морзе. Для реализации такой возможности в простейшем случае достаточно трех тактильных сигналов: "единица (точка), "ноль" (тире), "пауза". Последовательность этих трех элементарных сигналов будет создавать "буквы", "слова", "фразы" тактильного языка.

Известны опыты формирования тактильного поля, отображающего зрительное поле. В экспериментах, проведенных английскими учеными в 70 годы XX века, зрительное поле на коже испытуемых, потерявших зрение, создавалось с помощью множества (более тысячи) микровибраторов или игольчатых датчиков. После обучения испытуемых, продолжавшегося около двух лет, люди с помощью этих устройств могли ориентироваться на местности и даже различать крупные надписи.

Было обнаружено, что время осознания тактильных посылок не превышает 100 мс, что меньше отклика на звуковые или световые воздействия.

В экспериментах была подтверждена возможность управления техническими устройствами с помощью биоэлектрических потенциалов, возникающих в мышцах при мысленном побуждении мышц к совершению двигательных (моторных) действий. Эти потенциалы регистрировались с помощью электродов, накладываемых на поверхность тела.

Итак, используя тактильную или вибрационную чувствительность, человек может с довольно большой скоростью воспринимать внешние сигналы и отвечать на них, не загружая для этой цели слуховой или зрительный аппарат. На этом принципе можно организо-

вать двустороннюю связь оператора с управляемым техническим устройством в системе "человек — машина" или двусторонний обмен информацией двух операторов между собою с помощью *"тактильного языка"*. Была проведена эффектная демонстрация такого общения при сочетании тактильных устройств с радиопейджером. Связь осуществлялась на большом расстоянии. У непосвященных это создало иллюзию телепатического общения.

На тактильных или вибрационных ощущениях построена особая система передачи управляющих команд летчику. При нынешних скоростях движения самолета пилоту трудно управлять движением самолета, особенно при подходе к посадке: движения самолета опережают движение мысли. А ведь мысль надо еще превратить в мышечные движения для воздействия на органы управления. На теле пилота крестообразно закрепляют датчики: вверху и внизу грудной клетки, на левом и правом боку. С земли на датчики передают управляющие сигналы о правильности или неправильности захода на посадку. Применение такой системы разгружает зрение пилота и без того достаточно занятое наблюдением приборов, сигнализирующих о режиме движения самолета и состоянии различных агрегатов.

О своеобразном решении мышечного, тактильного управления полетом ракет вида "воздух-воздух" писали европейские газеты. Пилотов боевых самолетов снабжают "умными ("интеллектуальными") шлемами". С их помощью пилот направлением взгляда воздействует на траекторию движения ракеты. Куда смотрит летчик, туда летит ракета. Аналогичное устройство, действующее в земных условиях, позволяет наносить удары по целям небольших размеров, например, направлять ракету прямо в окно дома, в котором засел террорист.

Мыслимо приложить подобные идеи к управлению взглядом различными вещательными устройствами, особенно в условиях острого дефицита времени на исполнение принятого решения.

Любопытный факт. Пять основных чувств были отражены в убранстве янтарной комнаты Екатерининского дворца в Царском селе под Петербургом. В стены комнаты были вмонтированы флорентийские мозаики, в аллегорической форме изображавшие эти пять чувств. Поскольку мозаик было четыре, чувства обоняния и осязания были объединены в одном изображении.

Перейдем теперь к рассмотрению чувств, не вошедших в *знаменитую пятерку Аристотеля.*

Чувство ориентации в трехмерном пространстве (чувство гравитации) обеспечивается специальным органом, примыкающим к внутреннему уху — тремя полукружными каналами, расположенными в трех взаимно перпендикулярных плоскостях. Действием этого органа объясняется ощущение направления силы тяжести (силы гравитации). Оно заставляет человека держать свое туловище вертикально. Лишь при алкогольном опьянении или других болезненных нарушениях деятельности мозга это чувство ослабевает. Чувство гравитации свойственно почти всем живым существам. Стволы деревьев и стебли растений расположены чаще всего вертикально.

Всем знакомы *тепловые ощущения,* чувства тепла и холода. Этим чувством иногда обладают даже растения. Листики "стыдливой мимозы" опускаются, сморщиваются при прикосновении теплой руки человека.

Кинестетическое чувство — это ощущение точного положения отдельных частей тела. Оно в высшей степени развито у некоторых представителей творческих профессий — музыкантов, артистов балета, цирковых артистов (акробатов, жонглеров), художников, скульпторов, хирургов и многих спортсменов, например, конькобежцев - фигуристов.

Вас не удивляет, как музыкант безошибочно и точно располагает пальцы на клавиатуре рояля или грифе скрипки, танцовщик совершает движения рук и ног, гимнаст на лету ухватывает движущуюся, раскачивающуюся трапецию, как живописец наносит в нужном месте создаваемой картины мазок кистью, как хирург делает разрез, выбирая нужное место иногда с точностью до десятых долей миллиметра. Почти каждый человек передвигается по комнате своей квартиры, не задевая мебели, даже в полной темноте.

Артист-жонглер рассказал, что во время показа номера в воздухе переломилась деревянная булава, и ее тяжелый обломок полетел в зал. В одно мгновение артист спрыгнул с эстрады, бросился в зал и успел перехватить в воздухе обломок, который упал бы на голову зрителя.

Быстрая последовательность мышечных движений запечатлевается в мозгу в результате многократных повторений. Потом запе-

чатленные в памяти импульсы преобразуются в почти едва осознаваемые движения.

Кинестезию иногда называют "мышечным чувством", памятью на положение мышц. Эти названия не вполне точны. В действительности, соответствующие чувствительные органы находятся не только в мышцах, но и в сухожилиях и суставных сумках. Эти чувствительные органы непрерывно посылают в мозг информацию о совершаемых движениях.

Всем людям свойственно *чувство времени*. Его легко проверить простым опытом. Дождитесь, когда по радио зазвучит знакомая мелодия. Выключите на некоторое время звучание приемника, затем снова включите его. Вы убедитесь, пропевая мысленно полюбившуюся вам мелодию, в момент включения звучания вы точно попадете на звучание возобновившейся музыки. Течение вашего внутреннего времени совпадет с течением времени вне вас.

Каждый может проверить собственные "внутренние часы" и «часы» своего товарища другим опытом. Вы решаете, какое число минут нужно сосчитать. Дождавшись по наручным часам целого значения минут, вы произносите, например, *"три"* (задуманное число минут). Затем, ничем не отвлекаясь, вы ждете некоторое время и, решив, что нужный промежуток времени прошел, говорите: "три!" и смотрите на часы. Можете быть уверенным, что мысленно отсчитанный вами промежуток времени окажется примерно равным тому, который покажут ваши наручные часы. Любопытно, что ваш товарищ воскликнет: "три" почти в тот же момент времени, что и вы.

Человек довольно точно ощущает ход времени. Даже, когда спит. Поставьте будильник на определенное время, вы с удивлением обнаружите, что пробуждаетесь за несколько мгновений до сигнала будильника. Лишь при сильной усталости это чувство может вас подвести.

Предполагается, что действие "внутренних часов" имеет химическую природу. Но где находится "внутренний хронометр", внутренний "будильник" не известно. Пока его найти не удалось.

Кроме *"внутренних часов"* у многих людей есть еще и *"внутренний компас"*. С группой студентов одного университета был поставлен такой опыт. Их в пасмурный день завезли в незнакомое им место и попросили каждого указать предполагаемое направление на

родной дом. Более половины испытуемых указали это направление довольно точно. Любопытно, что среди угадавших процент девушек был значительно больше, чем процент мужчин. Студентки, смеясь, объяснили это обстоятельство "женской интуицией", хотя эти слова, собственно говоря, ничего не объясняют. Была выдвинута гипотеза о наличии внутри организма магнитных частиц. Их поле каким-то образом взаимодействует с магнитным полем Земли. Эта гипотеза ничем не подтверждена. А между тем *чувство направления* еще в большей степени свойственно многим животным. Вспомните черепашонка, который, едва вылупившись из яйца, безошибочно направляется к водоему, который на будущее станет его прибежищем. А тысячекилометровые многодневные перелеты птиц, направляющихся к местам, где они родились.

У городских жителей некоторые чувства, в том числе чувство направления, в значительной мере атрофировались. Но сельские жители, находящиеся ближе к природе, гораздо лучше городских ориентируются в лесу.

Еще один феномен, не получивший пока объяснения. Некоторые люди с завязанными глазами различают предметы и даже читают тексты. По имени людей, у которых было обнаружено это свойство, его называют феноменом Розы Кулешовой или Дениса Савкина. Вот перед девочкою с повязкой на глазах ставят фигурку, и девочка, не прикасаясь к фигурке, лепит точно такую же. Юноше с завязанными глазами предлагают определить цвет предмета, и он точно называет его, независимо от того, где помещен предмет — спереди или сзади от него. Феномен этот наблюдается так редко, что некоторые психологи и физиологи объявили его мистификацией.

Почти каждый чутко реагирует на изменения погоды, приближение грозы или бури. Почти каждый с неприятным чувством тревоги ощущает взгляд, направленный ему в спину, и невольно оборачивается к глядящему на него. Каждому свойственно чувство голода, насыщения, чувство боли. Каждый обретает ощущение спокойствия, уверенности, душевного комфорта, находясь у себя дома, в своей квартире, комнате. *"Защищают стены",* как в древние времена первобытных людей защищали своды облюбованной ими в качестве укрытия пещеры. Недаром у англичан бытует выражение: *"Мой дом — моя крепость".*

Ученые разных стран по-разному определяют информативную ценность различных ощущений, различных органов чувств. Наиболее ранняя оценка принадлежит, по-видимому, китайским мудрецам. Им приписывают выражение, *"Одна картинка стоит десяти тысяч слов"*. Современные ученые на первое место также ставят зрение. Отечественные психологи пришли к выводу, что 80–90 % информации из внешнего мира поступает через зрение, остальные 20–10 % — через другие органы чувств. Западно-европейские ученые отводят зрительным ощущениям 75 % всей информации, слуху — 15 %, остальным органам чувств — 10 %. Большую детализацию установили японские ученые. На долю зрительных ощущений они отводят 60 %, слуховых — 20 %, обонянию — 2 %, осязанию — 15 %, вкусу — 3 %.

Несмотря на приблизительность этих оценок, ясно, что значительными поставщиками информации о внешнем мире служат зрение и слух. Некоторые чувства у городских жителей утрачены, превратились в рудимент, другие — слух и зрение — остаются для людей и в современной жизни главными. Их подробному разбору посвящены последующие разделы книги.

2.5 Основной психофизический закон Вебера и Фехнера

Ученые давно стремились выявить количественные связи между интенсивностью раздражителя и ощущением. Науку, которая занимается исследованиями этих связей, назвали *психофизикой*.

Первое чувство, которое было измерено учеными количественно, не входило в *знаменитую пятерку Аристотеля.* В 1841 г. Эрнст Вебер (E. Veber) проверил на себе, а потом на других испытуемых способность человека определить (различить), какой из двух предметов, которые он держит в левой и правой руке, тяжелее. Говоря современным языком, Вебер исследовал чувство гравитации. Он установил, что это чувство не абсолютно, а относительно. Большинство испытуемых могли различить, что предмет весом 82 г тяжелее предмета весом 80 г, что предмет весом 4,1 фунта тяжелее предмета весом 4 фунта, а предмет весом 41 фунт тяжелее предмета весом 40 фунтов. Меньшую разницу испытуемые не улавливали.

Для всех чувств, исследованных со времен Вебера, эта едва различимая разница раздражителей составляет примерно 2 %. Это наименьшая разница, что могут ощутить наши органы чувств. Это — ме-

ра чувства контраста. Итак, *относительные* изменения стимула вызывают одинаковое *абсолютное* изменение ощущения S. В 1880 г. Г. Фехнер (G. Fechner) придал этой закономерности математическую форму

$$S = k \log I$$

Эта закономерность получила название основного психофизического закона (закона Вебера и Фехнера). Фехнера считают основоположником *сенсорной физиологии (психофизиологии)*.

Почти логарифмическая зависимость ощущения от раздражения *(стимула)* привела к введению логарифмических величин интенсивности — уровней, единиц их выражения — децибелов, фонов и неперов — и логарифмического масштаба частот. Каждое удвоение частоты звука в области средних частот вызывает одинаковое изменение высоты тона, называемое *октавой.*

Последующие исследования уточняли установленную Вебером и Фехнером связь между ощущением и раздражением. С. Стивене (S. Stevens) в исследованиях 1936–51 гг. дал следующие трактовки:

$$S = K\, I^n \text{ и } S = K(I - I_0)^n,$$

где I_0 – пороговое значение интенсивности, а n = 0,3 для слуховых ощущений, n = 0,33 — для зрительных при темновой адаптации и n = 0,45 при световой *(яркостной)* адаптации. При раздражении кожи электрическим током n = 3,5.

3. ФИЗИОЛОГИЯ ДЕЙСТВИЯ СЛУХОВОЙ СИСТЕМЫ

3.1 Развитие знаний о звуке

Звуки — наши неизменные спутники. Они по-разному действуют на человека: радуют и раздражают, настраивают на элегический лад, пугают своей неожиданностью.

Мир полон звуков. Лес наполнен пением птиц, скрипом стволов деревьев, поле — шелестом листвы, стрекотанием кузнечиков, море — звуком прибоя, грохотом бури. Гремят грозы, гудят самолеты; шумят ветры, журчат ручьи. Село встречает нас криками домашних животных. Мычат коровы, ржут лошади, блеют овцы, кудахчут куры, поют петухи. Полон звуков город. Шелестят шины автомобилей, гудят их двигатели, лязгают, постукивают и звенят трамваи, доносится шум заводов и фабрик, звучит разноголосая толпа, завывает автомобильная тревожная сигнализация.

Сколько оттенков в каждом звуке. Сухой треск близкого грозового разряда, пугающий грохот грома, раскаты дальнего грома. Резкий, завывающий, зловещий гудок электровоза, его же мелодичный звук, доносящийся издали. В атмосфере сильнее всего затухают звуки верхних частот, и тембр звуков с расстоянием смягчается.

Множество оттенков звучания речи в различных помещениях: комнате, коридоре, на гулкой лестнице, в пустом зале. В салоне шумящего автобуса речь приобретает рычащий характер.

С незапамятных времен звуки служат средством связи и общения, средством познания мира и овладения тайнами природы.

В глубокой древности звуки природы казались порождением сверхъестественных сил. Люди верили, что звуки могут укрощать диких животных, сдвигать скалы и горы, преграждать путь разбушевавшейся воде, вызывать дождь. В Китае до сих пор пытаются при засухе вызвать дождь грохотом пушек, ударами барабанов, щелканьем трещоток.

Истоки научных знаний о звуке таятся в глубокой древности. Первые исследования источника звука — *колеблющейся струны* — приписывают великому математику древности Пифагору (VII век до нашей эры). Ряд древних научных сведений о звуке содержится в работе *"Уроки Аристотеля",* написанной учениками этого философа древности. Но развитие учения о звуке как части естественных

наук было задержано тем же Аристотелем. Он считал, что эксперимент недостоин внимания естествоиспытателя. Следствием этого явилось то, что даже во времена Леонардо-да-Винчи царили античные взгляды на звук.

После длительного застоя учение о звуке стало развиваться лишь в XVI–XVII веках благодаря работам Галилея и Кеплера. Мерсенн (1588–1648 г.) и Гассенди (1592–1655 г.) определили скорость звука в воздухе. Гук в 1678 г. открыл закон пропорциональности механических деформаций силе. Хладни (1756–1827 г.) возродил экспериментальную акустику. На его современников большое впечатление произвели исследования колебаний пластин с помощью возникавших на них узоров, впоследствии названных *фигурами Хладни.*

Современное учение о звуке создали ученые нового времени: Л. Эйлер, Ж. Лагранж, Ж. Фурье, Д. Стокс, Т. Юнг, Г. Гельмгольц, Г.С. Ом, Дж. В. Стретт (лорд Рэлей). Т. Юнг исследовал колебания струны, ввел понятия частоты колебаний и интерференции. Г.С. Ом и Г. Гельмгольц занимались физиологией слуха. Г. Гельмгольц создал первый анализатор звука на основе резонаторов, получивших его имя.

Современные научные взгляды в области акустики и психофизиологии слуха сложились под воздействием многих зарубежных и отечественных ученых: Г. Бекеши, Л. Бераника, Э. Вебера, Г. Фехнера, С. Стивенса, Й. Блауэрта, В. Скучика, Б.Г. Белкина, Г.С. Гензеля, И.Г. Дрейзена, Ю.А. Ковалгина, С.Н. Ржевкина, А.В. Римского-Корсакова, М.А. Сапожкова, В.В. Фурдуева и многих других.

Известны попытки рассматривать звуковые явления подобно световым — и с волновых, и с квантовых позиций. Было даже введено понятие звукового кванта — *фонона* — аналогичного кванту света — *фотону*. Но развития этот взгляд не получил. Но то, что слух квантует звуковые ощущения — это бесспорный факт.

Наука о звуке продолжает развиваться, обогащая людей новыми знаниями о природе звука, его восприятии. Техническими приложениями этих достижений являются современные устройства приема, передачи и воспроизведения звука.

3.2 Понятия, относящиеся к восприятию звука

Прежде всего определим термины — слуховой и звуковой объекты, поскольку в литературе их нередко смешивают. Понятие *слуховой объект* относится к области ощущений, к восприятию, понятие *звуковой объект* — к источнику звука, к стимулам.

Необходимо уточнение. Считают, что слуховой объект возникает в результате звукового возбуждения, звукового стимула. Однако слуховые объекты могут возникать и в отсутствии звукового объекта, в результате галлюцинаций, когда человеку слышится музыка, речь, шумы, или вследствие искусственного возбуждения слухового нерва, например, электрическим током. Наоборот, при наличии звукового объекта слуховое ощущение может не появиться вследствие недостаточной интенсивности стимула или в результате ограничения полосы частот слышимых звуков после перенесенной болезни.

Тот факт, что не при каждом звуковом возбуждение возникает слуховое ощущение и не каждому слуховому ощущению предшествует обязательно звуковое возбуждение, опровергает мнение, что одно вызывается только другим. Более строго следует формулировать, что определенные, строго оговоренные звуковые возбуждения и слуховые объекты при определенных, точно оговоренных условиях, существуют одновременно или происходят одно за другим.

Познакомимся еще с одним понятием, называемым *слуховым образом.* Это — не вполне четкое понятие, содержание которого уточняют применительно к предмету наблюдения и конкретным техническим задачам. Каждый слуховой образ содержит информацию о направлении на источник звука, объект, и его удаленности (т.е. в совокупности о местонахождении источника), о громкости звука, высоте тона, если таковая поддается определению (бывают *атональные звуки),* и тембре звука.

Громкость — отображение интенсивности акустического колебания, зависит от значения звукового давления (или интенсивности звука) и частоты. Ощущение громкости зависит также от физического и психического состояния человека.

Высота тона определяется частотой колебаний. Принимают, что между высотой тона и частотой синусоидального акустического сигнала существует взаимно однозначное соответствие: каждому значению частоты в герцах соответствует единственное значение

высоты тона по той или иной психоакустической шкале, каждому значению высоты тона соответствует единственное значение частоты. Для любого другого акустического сигнала подбирают на слух синусоидальный сигнал, эквивалентный ему по высоте тона, измеряют его частоту и обращаются к сенсорной характеристике в координатах "частота — высота тона" Сигналы, которым можно приписать определенное значение высоты тона, называют *тональными*. Простейший тональный сигнал — синусоидальное колебание. Несинусоидальные тональные сигналы не обязаны быть периодическими функциями, бывают также хаотические или импульсные тональные сигналы.

Тембр — нечетко очерченное понятие, которое включает в себя все признаки звукового образа, кроме громкости, длительности и высоты тона. Этим объясняется, что специалисты различных профессий — музыканты, звукорежиссеры, инженеры-звукотехники — вкладывают в это понятие разное содержание и описывают его в разных терминах.

Качество звуковой аппаратуры и звукового вещания (ЗВ) определяется тем, насколько точно передаются и воспроизводятся тембральные характеристики звуков, не появляются ли посторонние призвуки и хрипы, сохраняется ли звонкость, объемность и полнота звучания. От такого описания тембра переходят к искажениям сигналов — частотным, фазовым, нелинейным — и к техническим показателям (параметрам качества) звуковой аппаратуры.

В музыкальной акустике тембр звучания певческих голосов и музыкальных инструментов описывают иначе: говорят о составе обертонов, атаке и затухании звука, модуляции *(вибрато* и *тремоло)*. От такого описания удобно переходить к особенностям возбуждения звука голосом, особенностям музыкальных инструментов, приемам извлечения звука.

Основным источником формирования звуковых образов является слух. Нельзя отрицать влияния других органов чувств, в первую очередь, зрения. Выше уже указывалось на участие зрения в создании установки на престижную фирму при прослушивании звучания роялей. Такова же роль установки на имя и облик исполнителя при оценке его исполнения.

Зрительные или иные стимулы могут маскировать те признаки звукового образа, для наблюдения которых нужны внимание и опе-

ративная память. Эти обстоятельства учитывают при проектировании звуко-технической аппаратуры и, особенно при организации испытаний методом экспертных оценок качества.

3.3 Строение органов слуха

Орган слуха схематически изображен на рис. 3.1.

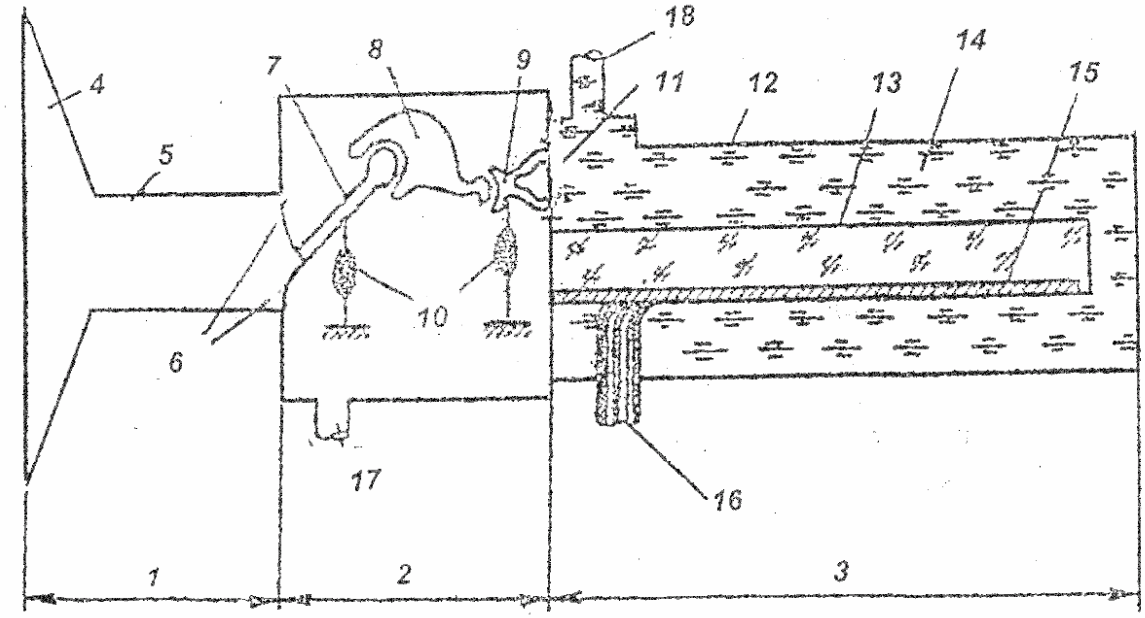


Рис. 3.1

Различают три крупные структуры: наружное, среднее и внутреннее ухо (соответственно 1, 2, 3). Звуковые волны от источника звука поступают в ушную раковину 4. Она является своеобразным рупором, концентрирующим звуковую энергию. Из-за асимметрии ушной раковины диаграммы направленности не одинаковы в разных плоскостях. Это, как будет показано ниже, играет роль при определении направления на источник звука в вертикальной плоскости.

Через слуховой проход 5, представляющий собой акустический волновод, звуковые колебания подводятся к конусовидной, воронкообразной барабанной перепонке 6. Слуховые косточки: молоточек 7, наковальня 8, стремячко 9, поддерживаемые мышцами 10, передают колебания далее. Основание стремячка закрывает овальное окно 11, отделяющее внутреннее ухо от среднего. Наружное и среднее ухо в совокупности являются преобразователем акустических колебаний окружающей среды в механические колебания

стремячка, причем амплитуда колебаний увеличивается в десятки раз.

Звуки извне передаются к внутреннему уху не только через наружное и среднее ухо, но и через кости черепа, а звуки собственного голоса и через евстахиеву трубу. В этом легко убедиться, закрыв слуховые проходы пальцами. Может случиться, что при этом громкость не только не ослабнет, а, наоборот, усилится. Звуки, проникшие через кости черепа и через евстахиеву трубу в среднее ухо, отразятся от внутренней поверхности барабанной перепонки, попадут назад во внутреннее ухо и усилят звук, передаваемый через кости черепа.

Некоторые пожилые скрипачи, у которых с возрастом уменьшается чувствительность слуха, при настройке инструмента касаются подбородком или зубами корпуса скрипки, чтобы компенсировать свой недостаток. И пока кости черепа передают высокие звуки, музыкант отчётливо воспринимает их. Но если этот приём не помогает, это означает, что потеря слуха обусловлена не огрублением барабанной перепонки и слуховых косточек, а более серьёзной причиной — поражением слухового нерва или соответствующих отделов головного мозга. Эти заболевания пока не умеют лечить.

Во внутреннем ухе находится орган равновесия — *вестибулярный аппарат* — с тремя полукружными каналами, расположенными в трех взаимно перпендикулярных плоскостях *(на схеме не показаны),* и орган слуха — *спиралеобразная улитка* 12 (изображена на схеме в распрямленном виде). Длина улитки в развернутом виде составляет примерно 32...35 мм. Пространство улитки разделено на три канала, заполненные жидкостью (лимфой) 14. Каналы отделены друг от друг двумя перепонками — *мембраной Рейснера* 13 и *основной мембраной* 15. Ширина основной мембраны у овального окна около 0,1 мм, а в конце, у вершины улитки — около 0,5 мм. На основной мембране 15 расположен *кортиев орган* — множество (примерно 22...24 тысячи) *волосковых клеток,* чувствительных к давлению и деформации основной мембраны. Волосковые клетки слабо связаны друг с другом и поэтому могут колебаться почти независимо. С волосковыми клетками соприкасаются окончания нервных волокон. Волокна объединены в пучок 16, называемый

слуховым нервом. Он соединен с улитковым ядром ствола головного мозга.

Согласно теории Г. Гельмгольца и Г. Флетчера основная мембрана является своеобразным анализатором частоты. Резонансная частота каждого нервного волокна основной мембраны определяется параметрами волокна, как натянутой струны, и массой лимфы, соколеблющейся с волокном. Эта масса определяется расстоянием от нервного волокна до овального окна. На нижних частотах это расстояние больше, и в колебаниях участвует большая масса лимфы. На верхних частотах расстояние меньше, и в колебаниях участвует меньшая масса лимфы.

Специфическая частотная характеристика чувствительности слуха со спадами чувствительности по краям звукового диапазона определяется резонансными свойствами наружного и среднего уха. Резонансная частота слухового прохода находится в области частот от 3 до 4 кГц, барабанной перепонки — на частотах от 1,2 до 1,4 кГц, комбинации слуховых косточек — в области частот 2,5...3,0 кГц.

Рычажное устройство среднего уха превращает акустическое колебание с большой колебательной скоростью и небольшим звуковым давлением в колебания лимфы с небольшой скоростью и большим давлением. Коэффициент трансформации по звуковому давлению от барабанной перепонки к лимфе внутреннего уха на частоте 100 Гц равен 10, на частотах 0,5 и 2,4 кГц — 15, а в областях частот 2,5...3,0 кГц достигает 60...100.

Преобразования звука слуховой системы в нервные раздражения объясняют *гидродинамической теорией слуха.* За ее разработку американский акустик венгерского происхождения Дьердь Бекеши в 1961 г. был удостоен Нобелевской премии.

На рис 3.1 показаны некоторые дополнительные устройства среднего и внутреннего уха. Это *евстахиева труба* 17, соединяющая среднее ухо с полостью носоглотки и служащая для выравнивания статических (атмосферных) давлений по обе стороны барабанной перепонки, и *канал* 18, ведущий к вестибулярному аппарату.

3.4 Передача слуховых раздражений в мозг

Процесс передачи нервных раздражений от волосковых клеток в головной мозг имеет электрохимический характер. Механизм пе-

редачи нервных раздражений в мозг представлен схемой рис. 3.2, где Л и П — левое и правое ухо, 1 — слуховые нервы, 2 и 3 — промежуточные центры распределения и обработки информации, расположенные в стволе головного мозга, причем 2 — т.н. *улитковые ядра,* 3 — *верхние оливы.*

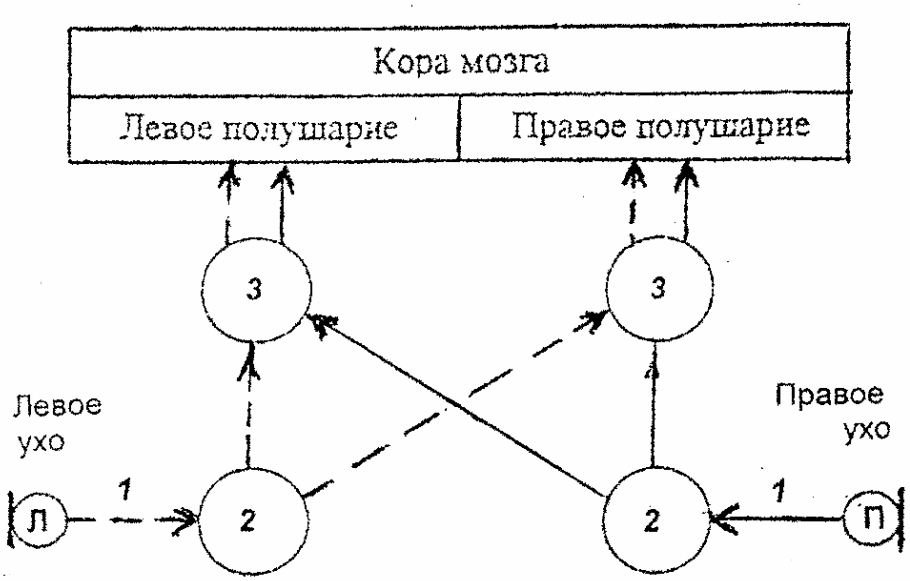


Рис. 3.2

Частота возникающих нервных импульсов зависит только от интенсивности раздражения, т.е. от значения уровня звукового давления. Механизм формирования ощущения высоты тона до сих пор подвергается дискуссиям. Известно лишь, что на нижних частотах за каждый полупериод звукового колебания возникает несколько импульсов. На верхних частотах импульсы возникают не в каждый полупериод, а реже, например, один импульс за каждый второй период, а на более высоких даже за каждый третий.

Большая часть информации, поступающей от левого уха, передается в правое полушарие мозга и, наоборот, большая часть информации, поступающей от правого уха, передается в левое полушарие. В слуховых отделах ствола головного мозга определяется высота тона, интенсивность звука и некоторые признаки тембра, т.е. производится *первичная обработка сигналов.* В коре головного мозга идут сложные процессы обработки. Многие из них являются врожденными, другие формируются в процессе общения с природой и людьми, начиная с младенческого возраста.

Установлено, что у большинства людей (95 % *правшей* и 70 % *левшей)* в левом полушарии выделяются и обрабатываются смысловые признаки информации, а в правом — эстетические. Этот вывод получен в опытах по *биотическому* (раздвоенному, раздельному) восприятию речи и музыки. При слушании левым ухом одного, а правым ухом другого набора цифр слушатель отдает предпочтение тому из них, который воспринимается правым ухом, и информация о котором поступает в левое полушарие. Наоборот, при слушании разными ушами разных мелодий предпочтение отдается той, которую слушают левым ухом, и информация от которого поступает в правое полушарие.

3.5 Физиологические свойства и характеристики слуха

Физиологические свойства слуха определяются многими понятиями, численными параметрами и характеристиками. К ним относятся: динамический и частотный диапазоны, чувствительность слуха и ее АЧХ, абсолютные и дифференциальные пороги восприятия, явление маскировки, нелинейные, временные и пространственные свойства и многое другое.

Динамический диапазон слуха ограничен со стороны малых уровней порогом слышимости ($p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па, $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м^2, $N_a = 0$ дБ), сверху — болевым порогом ($p_{max} = 20$ Па, $I_{max} = 1$ Вт/м^2, $N_{max} = 120$ дБ). Разумный порог слышимости, по-видимому, установился в процессе эволюции.

Наше сознание реагирует на ничтожно малые колебательные смещения частиц воздуха, составляющие примерно $6 \cdot 10^{-9}$ мм. Будь чувствительность слуха чуть острее, и люди непрерывно слышали бы шум, обусловленный тепловым, хаотическим движением молекул и атомов газов, входящих в состав воздуха. Это нагружало бы наше сознание ненужной информацией.

Значительное превышение *болевого порога* приводит к разрушению органа слуха. Слух ослабевает под воздействием сильных непрерывных и импульсных шумов, некоторых заболеваний, как побочный эффект при приёме лекарств, например, некоторых антибиотиков.

Частотный диапазон акустических колебаний, воспринимаемых людьми как звук, простирается от 16...20 Гц до 16...20 кГц. Предполагают, что очень маленькие дети воспринимают как звук колеба-

ния воздуха даже с частотой 40 кГц. Нижняя граница слышимых звуков довольно устойчива, верхняя заметно снижается с возрастом. Барабанная перепонка с возрастом грубеет, связки между слуховыми косточками среднего уха становятся менее эластичными, начинают оказывать большее сопротивление передаче колебаний во внутреннее ухо, и частотная характеристика чувствительности сужается. По исследованиям некоторых физиологов полоса пропускания сокращается примерно на 80 Гц каждые полгода после достижения человеком возраста 40 лет. Многие люди старше 50 лет не слышат звуков с частотами более 10...12 кГц. Красоты верхних обертонов музыки ими не воспринимаются.

Механические (акустические) колебания с частотами ниже 16...20 Гц *(инфразвуки)* и более 16...20 кГц *(ультразвуки)* слухом не воспринимаются, но при большой интенсивности оказывают на человека вредное физиологическое воздействие, нарушают деятельность некоторых внутренних органов. В области нижних частот находятся резонансы ряда органов — желудка (частота 27 Гц), сердца (17 и 23 Гц), корпуса человека (10 Гц). При частотах 6...7 Гц у человека возникает чувство страха, тревоги.

Ультразвуковые колебания вызывают нагрев тканей тела, а при большой интенсивности — т.н. "холодный ожог".

Амплитудно-частотная характеристика чувствительности слуха имеет сложный характер, так как чувствительность слуха зависит не только от частоты, но и от интенсивности звуков. Неравномерность АЧХ слуха при уровнях от 10 до 90 дБ составляет многие десятки децибелов. Лишь при уровнях, приближающихся к болевому порогу, неравномерность АЧХ уменьшается примерно до 20 дБ.

Зависимость чувствительности слуха к звукам выражают кривыми равной громкости *(изофонами)*. На рис. 3.3 изображены стандартные кривые равной громкости при прослушивании чистых тонов через громкоговоритель двумя ушами. Звуковое давление измерялось в свободном поле, т.е. при отсутствии слушателя в точке приёма.

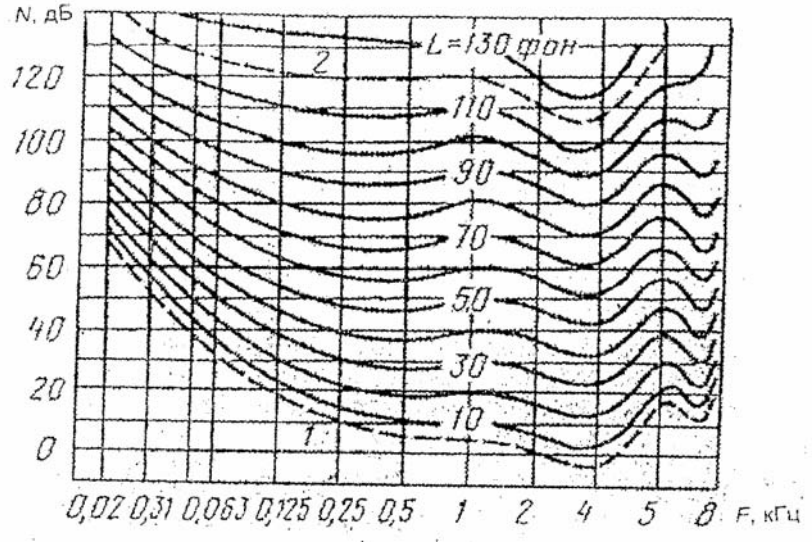


Рис. 3.3

Числа по вертикальной оси графиков обозначают *уровни звукового давления* (уровни интенсивности звука), числа у кривых равной громкости — *уровни громкости.* Цифрой 1 у нижней штриховой линии обозначен порог слышимости, цифрой 2 у верхней штриховой линии — болевой порог (*порог осязания*). Параметром кривых равной громкости служит не физическая, а психоакустическая величина — уровень громкости. Чтобы не смешивать понятия уровня звукового давления и уровня громкости, для обозначения последней использована буква L, а единице измерения присвоено наименование *фон.* Децибелы отсчитывают от стандартного нуля, соответствующего округлённому значению порога слышимости на частоте 1 кГц – $2 \cdot 10^{-5}$ Па, которому соответствует интенсивность звука $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м^2. Это значение интенсивности звука получено расчётным путём по известному соотношению для плоской волны:

$$I = p^2 / \rho_0 c_0 ,$$

в котором удельное акустическое сопротивление воздуха (волновое сопротивление воздуха) $\rho_o c_o$ приблизительно равном 400 кг/м^2 с, причём ρ_0 — плотность воздуха, а c_0 — скорость звука в воздухе. Значения p_0 и I_0 называют *стандартными порогами слышимости* на частоте 1 кГц соответственно по звуковому давлению и интенсивности звука в отличие от среднестатистического значения порога слышимости, которое несколько больше и зависит от условия проведения экспериментов.

Фон, как единица уровня громкости, неудобен тем, что, зная число фонов для двух, например, синусоидальных сигналов, нельзя простым их сложением найти уровень громкости двутонального сигнала. Условию аддитивности удовлетворяет другая единица громкости — *сон.* Зависимость громкости G от уровня громкости L изображена на рис. 3.4.

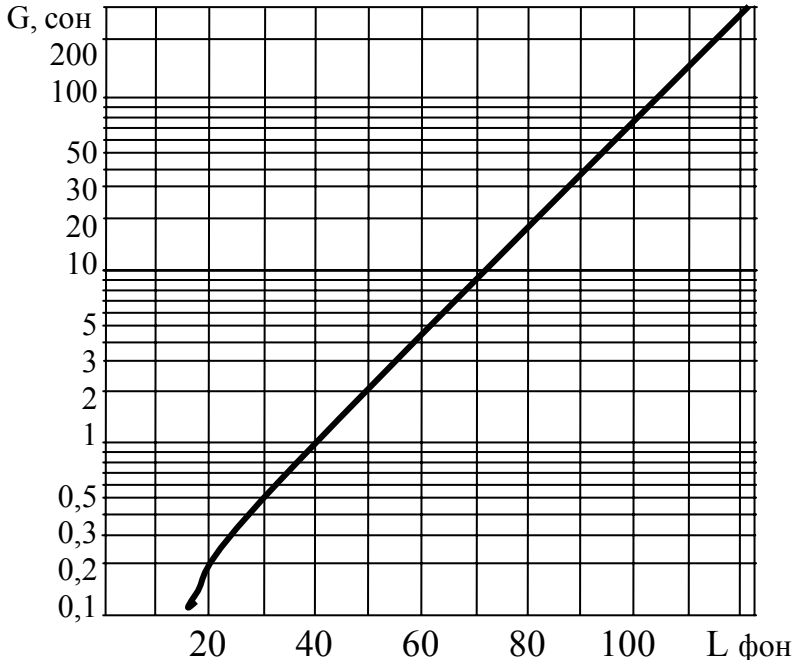


Рис. 3.4.

Для единообразия акустических расчетов зависимость G(L) стандартизована международными соглашениями. Функция G в диапазоне уровней громкостей от 40 до 120 фонов аналитически выражается формулой $G=2^{(L-40)/10}$. Для частоты 1000 Гц, при которой число фонов совпадает с числом децибелов, эта формула приобретает вид

$$G_{1000} = 42 \cdot p^{0.6} = 256 \cdot I^{0.3}.$$

Здесь G выражено в сонах, p — в паскалях, I — в ваттах на квадратный метр. Данная зависимость носит название *закона Стивенса.*

Из закона Стивенса следует, что в средней части диапазона звуковых частот громкость пропорциональна звуковому давлению в степени 0,6 или интенсивности звука в степени 0,3. Для прибли-

женной оценки полагают, что громкость пропорциональна кубическому корню из интенсивности звука (или мощности).

Семейство кривых равной громкости (изофонов) можно рассматривать как совокупность частотных характеристик слуховой системы, измеренных на ее выходе. При подобных измерениях значение выходного сигнала (в данном случае громкость) поддерживают постоянным, и регистрируют зависимости входного сигнала от частоты. Из кривых, приведенных на рис. 3.3, видно, что частотные характеристики слуха далеки от горизонтальной линии, причем неравномерность характеристик тем больше, чем меньше уровень звукового давления. Наибольшая чувствительность слуха отмечается в окрестностях частоты 3000 Гц. В этой области находится резонансная частота слухового прохода уха.

Слуху, как и другим органам чувств, свойственно *квантование ощущений.* Не всякие изменения стимула приводят к. изменению ощущения. Существуют т.н. дифференциальные *(разностные)* пороги ощущения. Для слуха они относятся к изменению раздражителя по интенсивности и частоте.

Большинство людей замечают изменения громкости при изменении звукового давления на 6...12 %, т.е. при изменении уровня на 0,5...1,0 дБ. Подсчетами определено, что на частоте 1000 Гц человек различает 374 скачка *(градации)* громкости. Другие источники называют 250 градаций. К краям частотного диапазона слуха число различаемых градаций громкости уменьшается: до 34 на частоте 62 Гц и 119 на частоте 8000 Гц.

Интересно, что дифференциальный порог *различения яркостей* близок к названным значениям и составляет 1...5 %.

Дифференциальный порог различения слуха по частоте равен примерно 4 %, т.е. чуть меньше интервала полутон. Без сличения с исходной частотой такое изменение частоты не замечается. Об этом свидетельствует показ кинофильмов с номинальной частотой 24 кадра в секунду по телевидению с частотой, увеличенной до 25 кадр/с.

Считается, что избирательные свойства нервных волокон невелики. Полосы слухового анализатора, определенные на уровне 0,7 от максимального значения, на частотах 250, 1000 и 4000 Гц составляют соответственно 35, 50 и 200 Гц, т.е. 14,5 и 5 %. Эти полосы называют *критическими полосками слуха.* Вследствие ограниченного количества нервных окончаний, расположенных вдоль ос-

новной мембраны, человек различает во всем диапазоне слышимых частот не более 250 градаций высоты. При уменьшении интенсивности звука число градаций уменьшается примерно до 150. Необъяснимыми являются феноменальные способности некоторых людей различать мельчайшие изменения частоты звука. Так, сын композитора Константина Сараджева, тоже Константин, в пределах одной октавы, т.е. в диапазоне изменения частоты в 2 раза, различал 1700 градаций высоты звука, а в пределах полутона, т.е. в диапазоне изменения частоты на 6 %, — 140 градаций.

Интегрирующие (накапливающие) свойства слуха основаны на закономерностях нарастания и спада электрохимических процессов в слуховых нервах и слуховом центре мозга. В первом приближении считается, что интенсивность ощущений зависит от произведения интенсивности нервных импульсов на их длительность. Процессы нарастания слухового ощущения *S* при длительном воздействии слухового стимула *I* характеризуется рис. 3.5, а изменения ощущения при воздействии импульсов разной длительности — рис. 3.6.

Численные значения, характеризующие инерционность процессов слухового восприятия, полученные различными исследователями, заметно отличаются от 50...70 до 165 мс, т.е. почти в 3 раза. Это объясняется различными условиями опытов. Примерно такие же численные значения приводятся для *инерционности зрения.* Совпадению значении не следует удивляться. Процессы передачи и преобразования слуховой и зрительной информации имеют общую природу или близки.

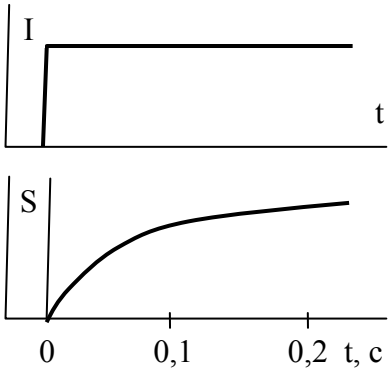


Рис. 3.5

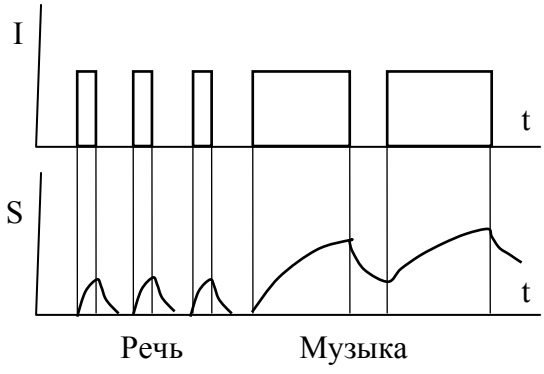


Рис. 3.6

К физиологическим и психическим особенностям восприятия звуков относится *эффект маскировки,* если слух воспринимает оп-

ределённый тон, то его чувствительность к восприятию более слабых тонов притупляется. Если различие в громкости обоих тонов велико, то слабый звук становится неслышимым, маскируется более сильным.

Слух обладает *нелинейными свойствами*. Эти свойства слуха обусловлены нелинейностью подвеса барабанной перепонки и слуховых косточек и связанной с этим нелинейной формой их колебаний. Сила, возвращающая барабанную перепонку и косточки в исходное положение, оказывается больше при смещении в одну сторону и меньше при смещении в другую сторону. На чистых тонах нелинейность проявляется в возникновении гармоник, на сложных сигналах — в образовании комбинационных частот. Уже при уровне интенсивности звука 20 дБ *(шепот)* опытный экспериментатор обнаруживает пять гармоник. На чистом тоне с уровнем интенсивности 100 дБ вторая гармоника ощущается с уровнем интенсивности 88 дБ, а третья — 74 дБ.

Но особенно нелинейные искажения проявляются в виде ощущения разностного тона при воздействии на уши двух или нескольких тонов разной частоты, но примерно равной интенсивности. При одновременном звучании двух чистых тонов с уровнями 80 дБ ощущается разностный тон с уровнем также 80 дБ. При уровне тонов 60 дБ разностный тон ощущается с уровнем 40 дБ.

Нелинейные искажения слуха особенно заметны на сложных звуках со многими частотными составляющими. Их можно наблюдать в шумных транспортных средствах, когда вибрации двигателя накладываются на звучание речи пассажиров, придавая ей *"рычащий"* оттенок.

В существовании нелинейных искажений слуха легко убедиться с помощью простого опыта. Пойте, изменяя высоту звука, перед громкоговорителем, излучающим колебания постоянной частоты. По мере сближения частот звука, издаваемого вами, и звука, излучаемого громкоговорителем, вы ощутите разностный тон, высота которого будет уменьшаться. Наоборот, при расхождении частот высота разностного тона будет увеличиваться.

Уместно поставить вопрос: *Если коэффициент гармоник слуха оценивается значением в несколько процентов, имеет ли смысл "подчищать" нелинейные искажения, добиваясь коэффициента гармоник в сотые и даже тысячные доли процента?*

3.6 Восприятие чистых тонов

Чистые тоны, т.е. синусоидальные акустические сигналы, лишены тембральных признаков. Параметрами сигнала со стороны входа служат значение звукового давления и частота. Параметрами выходного сигнала являются громкость и высота тона. Экспериментально получены частотные характеристики восприятия чистых тонов человеком в установившемся режиме, т.е. при достаточно продолжительном слушании измерительного сигнала. Связь между высотой тона *H* и частотой *F* выявлена немецкими акустиками Э. Цвиккером и Р. Фельдкеллером (рис. 3.7).

Исходной точкой для построения зависимости *H(F)* послужил тон «ДО» малой октавы. Было принято, что основной частоте этого тона 131 Гц соответствует высота 131 мел. Кривые адекватно отражают восприятие высоты тона в основном частотном диапазоне музыкальных звуков и хорошо согласуются со способом кодирования частоты в слуховой системе уха.

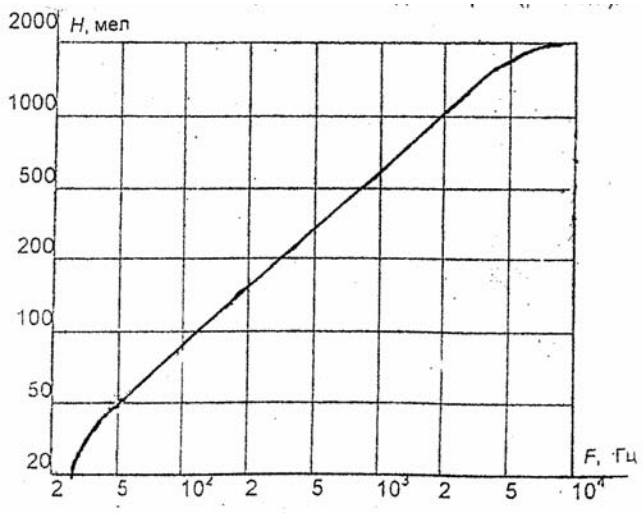


Рис. 3.7

Другая кривая *H(F)* предложена американским акустиком Г. Флетчером и уточнена С. Стивенсом. В ней частоте 1000 Гц соответствует высота тона 1000 мел. Эта зависимость считается менее удобной.

Широко используется музыкальная шкала высот тона. В её основе лежит высотный интервал — октава, соответствующий изменению частоты в два раза. Частотный диапазон от 20 до 20 000 Гц занимает примерно 10 октав.

В терминах музыкальной шкалы описывают некоторые характеристики звукотехнической аппаратуры. Так, крутизну спада или подъема АЧХ выражают в децибелах на октаву (дБ/окт), пользуются понятиями: октавные, полуоктавные, третьоктавные фильтры с отношением граничных частот соответственно $2:1; \sqrt{2}:1; \sqrt[3]{2}:1$.

Между описанными шкалами высоты тона есть существенная разница. Психоакустическая шкала, где частоту тона выражают в *мелах,* относится к *ощущениям* от звуков разной высоты. Музыкальная шкала относится не к ощущениям, а к *стимулам.* Итак, в психоакустике и музыкальной акустике одинаковым термином выражают разные понятия.

3.7 Пространственные свойства слуха

Часто, особенно в популярной литературе, утверждается, что пространственные свойства слуха, ощущение направления на звуковой объект *(источник звука)* обусловлены различием интенсивностей звуков, приходящих к левому и правому уху. Полагать так — значит лишь частично ответить на вопрос о пространственных свойствах слуха. Они гораздо сложнее, чем определение направления на звучащий источник.

Определение направления на звучащий источник в горизонтальной плоскости происходит в силу бинаурального эффекта, т.е. слушания двумя ушами. Эта способность сохраняется в некоторой мере у людей, у которых один из органов слуха поражен. В этом случае сказывается изменение интенсивности звука из-за огибания звуковой волной головы и некоторого изменения спектра звука.

Бинауральный эффект основан на тонком анализе поступающей в мозг информации. Естественно, он возможен с помощью тех отделов мозга, в которые поступает информация и от левого, и от правого уха. Роль разностных различий акустических уровней ΔN и временных сдвигов Δt сигналов, поступающих в левое и правое ухо, иллюстрируется графиками рис. 3.8 и 3.9 и табл. 3.1.

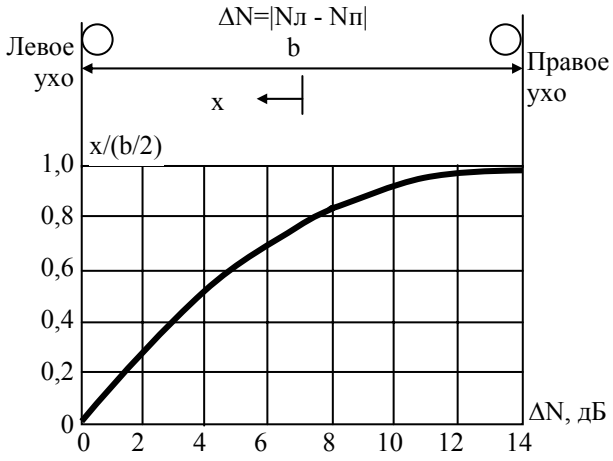


Рис. 3.8

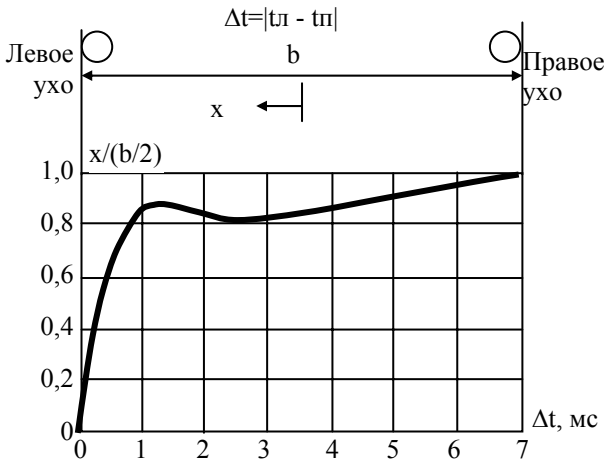


Рис. 3.9

Таблица 3.1

Область частот	Интервал частот, Гц	Основной фактор
Средние частоты (ср.ч.)	500…5000	Δt, ΔN
Верхние частоты (в.ч.)	более 5000	ΔN

На частотах менее 150 Гц локализация невозможна. Из приведенных данных вытекает, что для воспроизведения стереофонической усилительной установкой составляющих ниже 150 Гц вовсе не нужно применять два громоздких дорогостоящих громкоговорителя. Это обстоятельство было учтено В.И. Шоровым при создании т.н. *трехкомпонентной* акустической системы с одним низкочастотным громкоговорителем и двумя небольшими громкоговорителями средних и верхних частот.

Минимальная погрешность локализации слуха в горизонтальной плоскости составляет на частотах 0,05...0,5 кГц 3,8°, в области частот 0,5...7 кГц — 0,5°, в полосе частот 0,05...7 кГц — в среднем 0,7°. Погрешность локализации в вертикальной плоскости гораздо больше и составляет примерно 10...15°.

Особенно развит пространственный слух у слепых. Это обусловлено компенсационными возможностями психики человека. Каким-то неведомым путем, по-видимому, по временной структуре отраженных звуковых импульсов слепые довольно точно определяют пропорции и размеры помещения и даже расположение в нем предметов обстановки.

Пеленгационные свойства слуха проявляются не всегда. Иногда, особенно при узкополосных сигналах, возникает грубая ошибка: кажущийся источник звука находится в противоположном направлении от реального (т.н. ошибка *"фронт — тыл")*. При широкополосных сигналах эта ошибка уменьшается, но угловые ошибки иногда доходят до 10°. У людей ведущая роль в ориентировке принадлежит зрению. Когда звук услышан, и направление его прихода грубо определено, срабатывает безусловный зрительно-слуховой рефлекс: человек непроизвольно поворачивает голову и определяет направление на звук глазами.

Определение направления на звучащий источник в вертикальной плоскости первоначально вырабатывается также в результате взаимодействия слуха и зрения. В силу несимметричной формы ушных раковин при приходе звука с разных направлений в вертикальной плоскости происходит изменение спектра звука вследствие фильтрующих свойств ушных раковин. Эти изменения спектра связываются в сознании с положением звучащего источника, что и позволяет, например, определять местоположение самолета даже при небосводе, затянутом облаками.

Роль ушных раковин в определении направления на источник звука в вертикальной плоскости была подтверждена опытом. Звук подводился к барабанным перепонкам "в обход" ушных раковин с помощью миниатюрных телефонов, вставленных в слуховой проход. Путем подъема АЧХ в некоторых частотных полосах и соответственного изменения спектра подводимого звучания достигали ощущения перемещения кажущегося источника звука в вертикальной плоскости. Изменение ощущения направления упрощено иллюстрируется рис. 3.10. На нем буквами П, З, В обозначены области подъема АЧХ, при которых достигается эффект ощущения прихода звука спереди (П), сзади (З), сверху (В). Достаточный для получения заметного эффекта подъем АЧХ составляет 3...6 дБ.

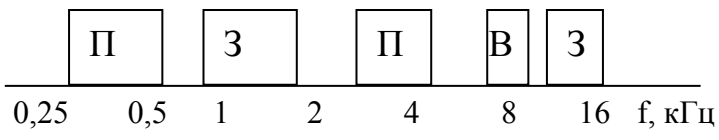


Рис. 3.10

Способность слуха определять расстояние до звучащего источника намного слабее способности к оценке направления. При оценке расстояния человек основывает свои суждения на слуховой памяти, т.е. на сравнении известного ощущения громкости со вновь испытываемым. Если слушатель хорошо знаком с источником звука, то оценка расстояния с истинным расстоянием совпадают. Для незнакомых звуков оценка расстояния становится расплывчатой. При расстоянии более километра некоторое суждение о расстоянии получается из-за изменения спектра приходящего звука. Оно вызвано увеличением поглощения звука в воздухе с увеличением частоты.

Более сложно формируются оценки направления и расстояния в помещениях. Крайними случаями могут быть нахождение звукового объекта в гулком, сильно реверберирующем помещении и его нахождение в заглушенном помещении. В первом случае вследствие прихода в точку наблюдения отраженных запаздывающих сигналов со многих направлений положение звукового объекта, особенно если он представляет собой стационарный узкополосный источник, становится неопределенным, во втором положение звукового объекта определяется совершенно точно. В экспериментах чётко зафиксировано влияние других органов чувств на положение слухового образа в пространстве. Существуют зрительная, моторная, вестибулярная, тактильная теории, объясняющие это воздействие.

Основное положение зрительной теории заключается в том, что ощущение положения слухового объекта зависит от того, что видит человек во время прослушивания и где находится видимый объект. Телевизионный зритель ощущает слуховой объект — голос диктора — в том месте, где находится на экране телевизора изображение лица диктора. При больших размерах экрана слуховой объект перемещается вслед за зрительным. Но как только человек закроет глаза, положение слухового объекта сместится в точку расположения громкоговорителя. Обнаружится, что слуховой объект находится не на экране, а рядом с ним, где расположен громкоговоритель.

Моторная теория слухового восприятия исходит из двух явлений, наблюдаемых при отыскании положения звучащего источника:

1. Непроизвольный (рефлекторный) поворот головы в сторону слухового объекта, т.е. в направлении вероятного расположения источника звука.

2. Движения пеленгации, совершаемые сознательно. Цель этих движений состоит в том, чтобы на основе получаемой при этом дополнительной информации более четко локализовать в пространстве слуховой объект.

Некоторые исследователи полагают, что при поворотах головы человека, следовательно, при возбуждении вестибулярного аппарата слуховой объект смещается против направления поворота (вестибулярная теория). При воздействии сильного звука наблюдаются нарушения в действии вестибулярного аппарата. Именно этими нарушениями исследователи объясняют случаи, когда на концертах рок-музыки, характерных чрезмерными громкостями, некоторые слушатели теряют равновесие и падают.

Наконец, существует мнение, что на положение слухового объекта могут влиять тактильные воздействия. Надавливание на некоторые участки кожи (затылок, области возле ушей) вызывает смещение слухового образа в пространстве (тактильная теория). Впрочем, полагают, что это влияние слишком мало, чтобы с ним считаться.

Пространственный слух человека развивается и совершенствуется по мере взросления человека. Диффузные, размытые вначале слуховые образы с течением времени приобретают все более четкие пространственные очертания. Уточняются их связи с наблюдаемыми, зрительными объектами. Считается, что, накапливая жизненный опыт, связывая слуховые ощущения со зрительными, человек начинает приписывать слышимым звукам "правильное" направление. Но в этом суждении есть неточность.

Положение слухового объекта в пространстве, действительно, совпадает обычно с местом нахождения источника звука (со звуковым объектом). Однако убеждение, что положение реального источника звука и есть "правильное", истинное место слухового объекта, неточно. Если их положение в пространстве различно, теряет смысл вопрос о том, какое из них "правильное".

3.8 Задачи и возможности стереофонии

При воспроизведении в комнате радиослушателя или телевизионного зрителя звучания с помощью стереофонических устройств положение слуховых объектов (кажущихся источников звука — КИЗ) и источников звука (громкоговорителей) почти никогда не совпадает. Задача инженера заключается в том, чтобы, используя как можно меньше источников звука (громкоговорителей), по возможности, так распределить слуховые объекты вокруг слушателя, как были расположены звуковые объекты в помещении, откуда идет передача.

Понимание закономерностей пространственного слуха позволило правильно подойти к разработке систем и устройств стереофонии. На пути к решению этой задачи возникали ошибки и неверные ходы.

В некоторых литературных источниках, особенно популярных, утверждалось, что главная задача стереофонии — предоставить слушателю возможность определять направление на звуковой источник. Действительно, стереофония позволяет определять направление на слуховой объект. Но это — не реальный, истинный источник, а лишь его отображение, кажущийся источник звука (КИЗ). А главное, локализационные эффекты в большинстве случаев не могут служить художественным средством. Вряд ли слушателям доставит эстетическое удовольствие сознание того, что звуки виолончели или деревянных духовых исходят из центра звуковой картины, а звучание контрабасов доносится справа. К тому же на лучших слушательских местах в зале угловой размер звучащего ансамбля столь мал, что в его пределах определять направление на звучащий инструмент или даже на группу инструментов сложно. Слушатель воспринимает звучание в целом.

Ряд авторов целью стереофонии ставят, возможно, более точный процесс перенесения в комнату слушателя пропорций первичного звукового поля, возникающего в помещении, откуда идет передача. Для этого должно выполняться условие

$$p_2(t, x, y, z) = p_1(t, x, y, z),$$

в котором p_1 и p_2 — звуковые давления в первичном и вторичном помещениях как функции времени t и пространственных координат x, y, z. Такой перенос вряд ли возможен даже теоретически ввиду

различия геометрических размеров и акустических свойств двух помещений. Приближение к этому условию достигается слишком сложными и дорогими средствами, т.к. потребуется множество каналов передачи.

Даже для классической музыки, когда следует стремиться к наиболее точному воспроизведению звучания, полный перенос структуры исходного звукового поля в комнату слушателя невозможен. Правда, при передаче легкой, эстрадной музыки, особенно электронной, дело обстоит иначе. Здесь возможно значительно усилить впечатление по сравнению с "естественным звучанием". Ожидаемый эффект слушателю заранее не известен, звуковая картина формируется звукорежиссером совместно с руководителем ансамбля чаще всего только с помощью технических средств, за пультом, в процессе сведения различных фонограмм. В этом случае с помощью технических приемов можно получить необычные звучания и необычные акустические эффекты, не имеющие аналогий в мире естественных звуков.

Цель, которую стремятся достичь в домашних условиях, формулируется следующим образом: *Слушатель, находясь в домашних условиях должен получить более полное, чем при монофонии, впечатление о звуковых событиях, развертывающихся в студии, концертном зале или на театральной сцене.* При этом необходимо удовлетворить определенному эстетическому условию, *"слуховому ожиданию",* сложившемуся ранее у слушателя под воздействием посещений концертных залов и театров.

Следует отметить, что при прослушивании трансляции передачи из концертного или театрального зала нельзя достичь той полноты впечатлений, которые возникают у слушателя в зале. Ощущения человека, находящегося в зале, складываются в результате взаимодействия различных органов чувств, а не только слуха. Здесь и впечатления от нарядного интерьера и убранства зала, и ощущение *сиюминутности,* сопричастности к тому, что происходит на сцене или эстраде, и настроение, создаваемое безмолвным общением с соседями-слушателями, своеобразное взаимодействие эмоций, усиливающее восприятие. От этого многообразия чувств при передаче по каналам вещания остается чисто акустическая информация, к тому же заметно измененная в результате ручного регулирования

электрических сигналов звукорежиссером и регулирования сигнала различными автоматами.

Образно и выразительно высказались об ограниченных возможностях домашней стереофонии американские психологи и физиологи супруги Лорус Джон Милн и Маргарет Милн : *«Инженеры не могут уничтожить помехи, возникающие в результате отражения звуков от стен вашей комнаты и находящейся в ней мебели, наши уши улавливают их и говорят нам о том, что мы не в помещении концертного зала. Самое большее, что может дать стереофоническая техника — это перенести нашу жилую комнату на середину концертного зала, но слушать звуки симфонического оркестра, находящегося на эстраде, позволяет только через два или несколько отверстий в стене комнаты, т.е. через два или несколько громкоговорителей, находящихся в вашей комнате».*

Несравненно более впечатляющий и интересный эффект получается при слушании передачи из зала (или студии) при помощи двух головных телефонов, связанных электрическими трактами с двумя микрофонами, находящимися в зале *(студии)*. Надев головные телефоны, вы ощутите эффект внезапного переноса ваших ушей в зал. Те же Милны пишут по поводу этого второго способа передачи музыки из зала: «*Получаемое* с *помощью громкоговорителей ощущение совершенно непохоже на восхитительную иллюзию, которую можно создать в комнате, когда мы слушаем концерт через наушники, воспринимающие звуки от двух микрофонов, находящихся в зале в той же точке и на том же расстоянии, какое существует между вашими ушами. Единственная реальная польза, которую мы извлекли из всех попыток создать "эффект присутствия" заключается в том, что мы полнее осознаем, с какой замечательной точностью наш мозг улавливает разницу между приходом звука к левому и правому уху и насколько велика его способность интерпретировать запаздывающие сигналы».*

3.9 Увеличение чувствительности и угловой разрешающей способности слуха

Чувствительность и угловая разрешающая способность слуха при решении некоторых технических задач, например, при определении положения звучащего объекта (самолета, подводной лодки, косяка рыб или стаи птиц), оказывались недостаточными. Для кон-

центрации большей звуковой энергии использовали рупоры с площадью порядка 1 м^2, а для увеличения разрешающей способности разносили рупоры на несколько метров, т.е. увеличивали базу. Комбинацию двух пар рупоров, расположенных в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (т.н. звукоуловители) перед Великой Отечественной войной использовали в приборах управления артиллерийским зенитным огнем (ПУАЗО) Аналогичный принцип применялся в оптических стереотрубах. Их объективы располагались на расстоянии до 6 м.

В старину тугоухие *(плохо слышащие)* пользовались небольшим рупором — слуховым рожком. Эта идея на новой технической основе используется в некоторых слуховых аппаратах. Миниатюрными рупорами-концентраторами звуковой энергии снабжены диагностические слуховые приборы — стетоскопы и фонендоскопы.

Рупорами как концентраторами звука в нужном направлении пользовались ещё в античных гигантских театрах на открытом воздухе. В маски актёров, изображавшие различные эмоциональные состояния героев (радость, печаль, гнев) были вмонтированы небольшие рупоры, направлявшие звук в сторону слушателей и зрителей.

4. ВОСПРИЯТИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ РЕЧЕВЫХ ОБРАЗОВ

4.1 Роль речевого общения

Человек воспринимает окружающую действительность через органы чувств. Они в совокупности с центральной нервной системой образуют, по терминологии великого русского физиолога И.П. Павлова, первую сигнальную систему.

Вторая сигнальная системе, по учению И.П. Павлова, образуется на основе речевого общения. Он писал: *"Человек прежде всего воспринимает действительность через вторую сигнальную систему"*. И.П. Павлов подчеркивал важную роль второй сигнальной системы во взаимоотношениях людей. Известно выражение: *"Речь лечит, но речь и калечит"*. Каждый испытал на себе справедливость этого утверждения.

На основе понимания процессов восприятия выдвигают технические требования к трактам передачи сигналов, к построению систем и устройств электрической связи, звукового и телевизионного вещания, звукоусиления, перевода речей (в том числе, автоматического), переговорных устройств, средств анализа и синтеза речи (вокодеров), аппаратуры управления голосом различных машин и приборов, слушающих, печатающих, говорящих автоматов, устройств кодирования и скрытной передачи речевых сообщений, опознания человека «по голосу» в «звуковых замках» и устройствах «звуковой подписи» и некоторых других.

4.2 Речевое сообщение и речевой сигнал

Приступая к рассмотрению вопросов формирования речи, напомним некоторые определения, прежде всего, содержание понятий "речевое сообщение" и "речевой сигнал".

Речевое сообщение создается в мозгу человека. Затем оно превращается в команды нервной системы. Они управляют движениями органов речи. Эти движения формируют в речеобразующем тракте акустические речевые сигналы. Возникшие сигналы излучаются в окружающее человека пространство в виде акустических *(звуковых)* волн.

В электрических трактах связи, звукового и телевизионного вещания сигналы передаются переменными электрическими токами или электромагнитными полями, воспроизводятся громкоговорите-

лями или головными телефонами и воздействуют на органы слуха человека. Центральная нервная система расшифровывает нервные импульсы и воссоздает первоначальное сообщение.

Из изложенного видно, что понятия "сообщение" и "сигнал" различаются. Сообщение имеет смысловой *(семантический)* характер, а сигнал является его отображением в виде акустических или электромагнитных процессов. Процесс образования первичного речевого сообщения может быть представлен упрощенной схемой рис. 4.1. Здесь *1* — источник потока воздуха (легкие), *2* — голосовые связки, *3* и *5* — полости гортани и рта, *4* — соединяющий их проход, *6* — губы говорящего. В формировании некоторых звуков участвуют полости и проходы носа.

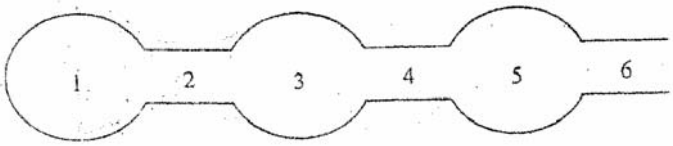


Рис. 4.1.

В форме, более привычной для инженера, речеобразующие органы представлены схемой рис. 4.2:

- источник потока воздуха *(легкие),*
- модулятор потока *(голосовые связки),*
- резонаторы *(полости гортани, рта и носа),*
- выходы *(ротовой и носовой).*

Рис. 4.2.

4.3 Речевые форманты

Характер первичного речевого сигнала зависит от интенсивности потока воздуха и состава возбуждаемых колебаний. В большинстве случаев спектр речевого сигнала занимает область частот 0.15...7 кГц. Колебания голосовых связок в первом приближении можно считать периодическими колебаниями сложной формы, образующими кроме низшей частоты — частоты основного тона —

гармоники (рис. 4.3, а). Их число в некоторых случаях превышает 40. На линейчатый спектр колебаний голосовых связок накладывается передаточная функция речеобразующего тракта (рис. 4.3, б).

Форма передаточной функции определяется конфигурацией и объемами полостей гортани, рта, носа, положением нижней челюсти, языка, зубов, губ. На нижних частотах линейные размеры полостей много меньше длины волны возбуждаемых колебаний. Поэтому полости представляют собой колебательные системы с сосредоточенными параметрами. В области нескольких тысяч герц линейные размеры полостей и длины волн возбуждаемых колебаний становятся соизмеримыми. Тогда полости следует рассматривать как колебательные системы с распределенными параметрами. В общем случае значения резонансных частот зависит от положения названных выше частей речеобразующего тракта. Гармоники, возбужденные колебаниями голосовых связок и попадающие в области резонансных частот, усиливаются, другие гармоники ослабляются (рис. 4.3, в).

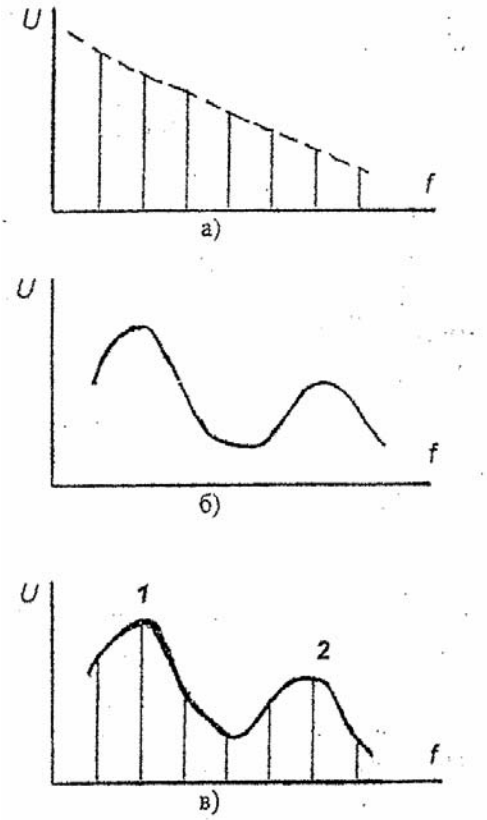


Рис. 4.3.

Области максимумов спектра (1, 2 на рис. 4.3, в) называют речевыми формантами. Заметим, что некоторые исследователи назы-

вают формантами только те спектральные максимумы, которые определяют конкретные звуки речи. Второе определение формант, по-видимому, более точно, т.к. для некоторых голосов огибающая спектра в пределах одной формантной области, особенно второй, не имеет вида одногорбой кривой. Поэтому говорят о нескольких формантах в одной формантной области. Такова позиция ученых-фонетиков. Однако ученые технического профиля придерживаются первого определения формант. Заметим, что центральная частота формантной области и резонансная частота *(мода)* полости речеобразующего тракта не являются синонимами. Первая лежит ниже второй. Формантные области звуков русской речи представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Звуки	**Области частот, Гц**	**Звуки**	**Области частот, Гц**
У	200…800	О	400…800
С	4200…8800	Ф	5600…10000
З	100…600; 200…8600	Ж	200…600; 700…1400
М	100…400; 1600…1850	Л	200…500; 700…1100
Ы	200…600	И	2800…4200
Э	600…1000; 1600…2500	Н	100…400; 1500…3400
А	1000…1400	Х	400…1200
Ш	1200…6300	Р	200…1500

Из приведенных данных ясно, почему звуки С и Ф совершенно не передаются по телефонным каналам. Частоты их формантных областей лежат за пределами верхней частоты канала 3400 Гц. Это замечание в некоторой мере касается и звука З.

Речевые форманты по мере возрастания их частоты обозначаются как F1, F2 и т.д., а их центральные частоты обозначаются P_1, P_2 и т.д. Гласные звуки возбуждаются почти периодическими колебаниями голосовых связок. В образовании согласных звуков главная роль принадлежит потоку воздуха с шумовым спектром. Голосовые связки в этом процессе почти не участвуют. Но и в этом случае характер звука определяется положением и движениями нижней челюсти, языка и губ.

Звучание различных гласных определяется различным распределением формантных областей. Определяющую роль играет соот-

ношение центральных частот первой и второй формантных областей. Связь этих частот в фонетике выражают графически так называемым четырехугольником гласных, который строят в виде функции центральной частоты второй формантной области от центральной частоты первой формантной области (рис. 4.4).

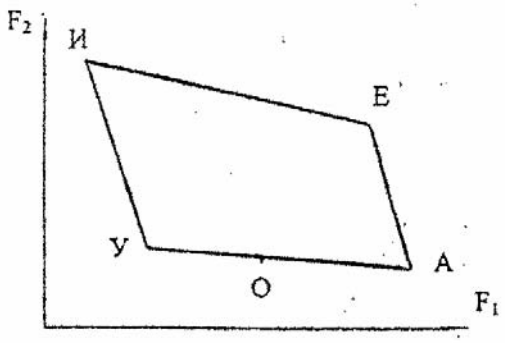


Рис. 4.4

Слева вверху на этом графике расположена точка, соответствующая звуку И, левее и ниже — звуку Е. Затем график круто, почти вертикально спускается к точке, определяющей звук А, поворачивает влево к точкам О и У и, наконец, возвращается к точке звука И.

Важная характеристика звуков речи — частота основного тона. Она определяется частотой следования импульсов воздуха, создаваемых голосовыми связками.

Частоты основного тона у большинства людей лежат в пределах от 70 до 450 Гц. Если голосовые связки тонки или сильно напряжены, частота основного тона высока, если связки толсты или менее напряжены, частота основного тона ниже.

Область частот основного тона индивидуальна. Изменения этой частоты лишь немного превышают диапазон одной октавы. При произношении звуков речи частота основного тона изменяется в зависимости от ударения и подчеркивания (акцентирования) звуков и слов. Изменения частоты основного тона называют *интонацией.* По изменению частоты основного тона можно до некоторой степени судить об эмоциональном состоянии человека.

Основной тон, интонация, манера произношения («устный почерк») говорящего и тембр *(окраска)* голоса служат для опознания личности человека. Степень достоверности опознания по голосу выше, чем по отпечаткам пальцев. Эти свойства речи используют в

аппаратуре, срабатывающей от определенного голоса, а также в криминалистике.

4.4 Фонемы

Понятие *«форманта»* относится к спектральному составу звуков речи. При переходе к семантическому *(смысловому)* рассмотрению звуков речи употребляют термин *«фонема».* Фонема — типизированная, образцовая форма звуков речи. Это то, что человек намеревается произнести, а звук речи — это то, что он фактически произносит. Фонемы сравнивают с образцово, каллиграфически написанными буквами *(графемами*) в отличие от множества форм рукописного изображения букв.

Речь состоит из звуков, слогов, слов, фраз и более крупных построений — периодов. За первичное смысловое понятие в языке принимают слово. Но наименьшим элементом речи считается звук.

Образный подход к понятию звука находят в сравнении звуков с письменными элементами речи — буквами. Начертание букв определяется индивидуальностью человека. То же самое можно сказать о произношении звуков. Произношение звуков зависит от их положения в слове, ударения, интонации. Сложные звуки (слоги, слова) в фонетическом отношении не являются простыми цепочками, последовательностями фонем, так как фонема в одном сочетании имеет одну форму, в другом — иную. Исследователи насчитали несколько тысяч звуков речи, отличающихся друг от друга. Несмотря на это разнообразие, все же была проведена классификация и типизация звуков речи, приведшая к возникновению понятия *"фонема".*

Звуки в изолированном виде употребляются редко, хотя и в этом случае звуки принимают за слово. Это возгласы, междометия, союзы вида "а"', "о", "и", "у". В словах, являющихся наименьшими смысловыми единицами, звуки соединены между собою в слоги. Но слоги, как и звуки, обычно самостоятельно не существуют. Границы между слогами так же трудно определить, как и между звуками речи. Границы между словами различаются более ясно, хотя ряд слов при беглом произношении сливаются в одно целое. Эти обстоятельства затрудняют построение устройств автоматического анализа и синтеза речи.

Слитное звучание характерно для произношения предлогов, союзов и других коротких слов. Некоторая связь обнаруживается даже между протяженными словами. Вероятность появления каждого звука и его произношения зависят от предшествующего и последующего звуков. В свою очередь, слова во фразах и интонация при их произношении связаны друг с другом по смыслу.

Индивидуальные особенности речи характеризуются абсолютными параметрами — положением частей речеобразующего тракта (языка, рта, губ) и относительными параметрами (формой и степенью напряжения голосовых связок), определяющими частоту основного тона. Каждый звук речи характеризуется частотой основного тона, формой и положением на оси частот формант.

В русском языке насчитывают 41 основную и 3 неясно звучащие фонемы: 6 гласных (а, о, у, э, и, ы), одну полугласную (й) и 34 согласных. Гласные звуки я, ю, ё, е соответствуют составным фонемам йа, йу, йо, йэ. Согласных фонем больше, чем согласных букв, так как ряд согласных букв соответствует двум фонемам: мягкой и твердой. Только твердых фонем — три (ш, ж, ц), мягких — одна (ч). Остальные 15 существуют в двух формах: мягкой и твердой.

По характеру звучания звуки речи подразделяют на звонкие и глухие. Первые образуются с участием голосовых связок. Находясь под напряжением, они под действием воздушного потока, идущего из легких, периодически раздвигаются. В результате создается прерывистый, импульсный поток воздуха. Импульсы следуют примерно с постоянной частотой. При произнесении глухих звуков голосовые связки расслаблены, не вибрируют, и поток воздуха свободно проходит в полость рта и здесь, встречая на своем пути преграды — язык, зубы, губы — образует завихрения, создающие шум со сплошным спектром.

По способу образования согласные подразделяют на сонорные, щелевые, взрывные и аффрикаты. Сонорные (л, ль, р, рь, м, мь, н, нь) по звучанию похожи на гласные, но отдельно не произносятся и поэтому относятся к согласным. Щелевые (в, вь, з, зь, ж, ф, фь, с, сь, ш, х, хь) образуются в результате проталкивания потока воздуха в виде импульсов или шума через узкие щели, образованные языком и нёбом, губами, зубами, гортанью. Взрывные (п, пь, т, ть, к, кь, б, бь, д, дь, г, гь) возникают в результате резкого открытия закрытого

до этого рта. Аффрикаты являются комбинацией глухих, взрывных и щелевых.

При произнесении звуков речи части речеобразующего тракта находятся для каждой фонемы в строго определенном положении или движении. Эти движения называют артикуляцией.

Звонкие звуки речи, особенно гласные, имеют высокий уровень интенсивности звука, глухие — низкий. Уровень интенсивности особенно быстро меняется при произнесении взрывных звуков. Динамический диапазон звуков речи составляет 35...45 дБ. Длительность гласных звуков речи составляет 0,15...0,3 с, согласных в среднем 0,08 с. Звук "п" длится примерно 30 мс. Большая протяженность гласных звуков вызвана необходимостью перестройки органов артикуляции.

Отметим, что звуки речи имеют различную информативную ценность. Гласные звуки менее информативны чем согласные. Например, в слове "посылка" сочетание звуков *о, ы, а* ни о чем не свидетельствует, в то время как последовательность *п, с, л*, к дает почти однозначный ответ о смысле слова. Поэтому разборчивость речи снижается, главным образом, из-за маскировки шумами глухих звуков, имеющих меньшую интенсивность.

Письменная речь дробится на буквы. Поэтому долгое время по аналогии с письменной речью было принято считать, что элементом устной речи служат фонемы. Казалось бы, ясно, что последовательность звуков (фонем) образует слоги и слова. Впоследствии этот взгляд подвергся уточнению. Исследования Л.А. Чистович и В.А. Кожевникова показали, что аналогия с письменной речью в данном случае неуместна. Внутренняя организация речи иная. Речь разбивается не на фонемы, а на слоги. Лучший способ убедиться в этом — воспроизвести в обратном порядке фонограмму речи. Мы не услышим обратную последовательность фонем. Например, при фонемном образовании слов вместо слова "батя" мы должны были бы услышать слово "ятаб". На самом деле будет слышаться нечто совсем иное: "айфта" или "айсбта".

Вспомните, насколько труден "взрослый" способ изучения иностранного языка, когда нас заставляют выучивать отдельные буквы и фонемы, а затем составлять из них слова. Дети поступают проще. В изучении языка они идут от слова и даже от фразы. Наверное, и для взрослых этот метод был бы наилучшим в познании чужого

языка. Вероятно, подобный приём связан с историей развития речи. Ведь вначале возглас, слова имели смысл целой фразы. Его можно наблюдать в развитии речи ребёнка. Звук "ма" может означать и "дай есть", и *"где* мама", и призыв *"подойди ко мне".*

Процесс *"говорения"* имеет две составляющие. Первое — побуждение сообщить какие-то понятия, смысл, сигналы *("специально человеческое высшее мышление",* как называл речь И.П. Павлов). Вторая составляющая — двигательная (моторная). Это действия, в результате которых мышление отображается речью.

Система управления речью имеет иерархическое построение. Мозг не занимается во всех деталях управлением движениями речеобразующего аппарата. Это управление происходит на более низком уровне, мозг знает лишь то, *что* нужно делать. А *как* будут действовать мышцы речеобразующего аппарата, решается на более низком уровне.

При "говорении" мышцы не различают смысла слов, это знает "верховная власть!" — высший отдел нервной системы. Мышцы выполняют работу на еще более низком уровне иерархии. Голосовые связки, мышцы языка и губ действуют по принципу антагонистов: смыкание — размыкание; сжатие — расслабление; сгибание — разгибание. Так образуются самые маленькие частицы устной речи — слоги. Из слогов складывается поток речи.

Система движения мышц имеет значение не только для говорящего, но и для слушающего. Оказывается, воспринимая звуки речи, мы невольно повторяем, имитируем их. Это важно для опознания и различения услышанных звуков. Один из крупнейших отечественных психологов профессор А.Р. Лурия поставил эксперимент: заставил испытуемых зажать кончик языка между зубами, чтобы он был неподвижен. Выяснилось, что при этом испытуемые стали хуже понимать смысл обращенных к ним слов.

Понимание процессов образования и восприятия речи сыграло положительную роль при разработке говорящих и слушающих машин и составлении программ их действия.

4.5 Значение эмоциональной составляющей речи

Человеку присущи раздельные механизмы восприятия. Восприятие семантики речи основано на логическом анализе содержания информации. Он выполняется соответствующим центром мозга.

Эмоциональная информация связана с восприятием образов. Это — врожденный механизм. Он свойственен даже младенцу. Наличие в информации эмоциональной составляющей привлекает внимание слушателей звукового вещания, способствует запоминанию семантической информации. Информация, излагаемая монотонно, бесстрастно не только не усваивается слушателями, но и утомляет их. Это приводит к "отключению" слушателей и лишает информацию реальной ценности. Наоборот, информация, передаваемая с ярко выраженной эмоциональной окраской, увлекает даже тех слушателей, которые были предубеждены против нее. Запомнившись, эта информация оказывает влияние на слушателей. Это предъявляет особые требования к работникам звукового вешания, будь то исполнители музыкальных произведений или дикторы информационного вещания.

Выявлено, что основными средствами передачи эмоциональной информации служат:

- тембр голоса и связанный с этим понятием спектр речи;
- изменение высоты голоса во времени, т.е. его мелодические изменения;
- изменения интенсивности голоса во времени;
- изменения темпа и ритма речи;
- индивидуальные особенности произношения.

Исследования основных акустических параметров речи при различном эмоциональном состоянии говорящего производились с помощью осциллограмм. Их записывали при чтении текста актерами при выражении ими различных эмоций: печали, радости, спокойствия, страха, гнева. Было обнаружено, что при смене психического состояния изменяется частота основного тона.

Частота основного тона повышается при переходе от печали к радости, от печали к страху и, особенно, к гневу (недаром разбушевавшемуся человеку говорят: "Не *повышай на меня голоса").* Три усреднённых графика изменения высоты основного тона актерами А, В, С при смене печали (п) спокойствием — нейтральным состоянием (н), страхом (с) и гневом (г) изображены на рис. 4.5. Данные приведены И.А. Алдошиной.

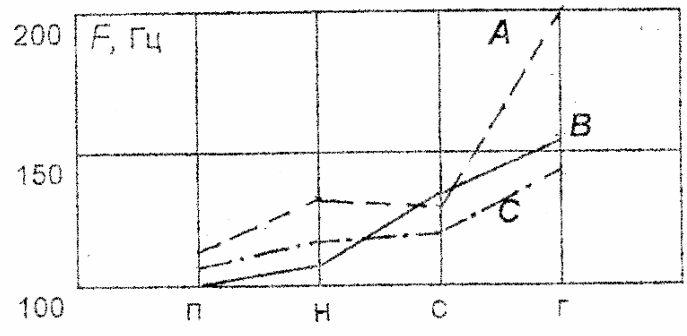


Рис. 4.5

Не следует придавать приведенным графикам основополагающего значения, но общий характер изменений выражен графиками достаточно ясно. Характерна динамика изменения высоты основного тона. При спокойной *(нейтральной)* речи изменения высоты во время произношения фразы происходят плавно, при состоянии ярости в течение фразы имеют место отдельные пики — резкие увеличения высоты основного тона, при страхе — быстрые смены пиков и спадов. Вариации изменения частоты меньше при печали и спокойном (нейтральном) состоянии, и значительно больше — при страхе и гневе.

Смена эмоций сказывается на темпе и ритме речи. Длина фраз увеличивается при состоянии печали и горя и сокращается при состоянии страха и гнева. Одновременно изменяется длина произносимых звуков, даже согласных. Число произнесенных в секунду звуков составляет: 4,3 для спокойной (нейтральной) речи; 4,2 для ярости; 3,8 для страха; 1,75...1,9 для печали.

Для передачи эмоциональной составляющей информации человек прибегает к различным акустическим приёмам, к взаимодействию различных акустических средств. Изменяется тембр голоса (следовательно, его спектр), высота, интенсивность, ритм и темп речи. Эмоция печали характерна замедленным темпом, снижением интенсивности звучания, увеличением длительности нарастания и спадания звуков.

Эти особенности необходимо учитывать актёрам, дикторам и звукорежиссёрам. Несоответствие между выражением лица и характером речи чётко улавливаются телевизионными зрителями и воспринимаются как фальшь. Таковы, например, скорбное выражение лица и бодрый, весёлый голос. Особенно важны сделанные замечания для певческой речи, в которой первенствует эстетическая информация. Все присущие певческой речи дополнительные средства выражения эмоций — боль-

шие перепады интенсивности голоса, расширение диапазона частот воспроизводимых звуков, повышение певческой форманты, вибрато и тремоло — используются для выражения различных эмоций.

Подробные исследования провёл В.П. Морозов в Ленинградской, а затем в Московской консерваториях. В качестве испытуемых были привлечены группы людей разного возраста и разного культурного развития. Было обнаружено, что узнаваемость эмоций в большой степени зависит от степени развития человека. Результаты этих исследований представлены рис. 4.6. По вертикальной оси отложено в процентах правильное распознавание эмоций. Штриховыми линиями изображён диапазон отклонения оценок от среднего значения.

По горизонтальной оси, цифрами обозначены группы испытуемых: 1 и 2 — школьники младших классов, 3 — неподготовленные в музыкальном отношении взрослые, 4 — школьники старших классов, 5 — учащиеся музыкальной школы, 6 — певцы, 7 — студенты консерватории.

Чем выше возраст и уровень музыкальной подготовки слушателей, тем выше вероятность правильных ответов и тем меньше разброс оценок. Степень узнаваемости разных эмоций оказалась различной: страх — вероятность узнавания — 80 % ; гнев — 79 %; нейтральное звучание — 64 % ; радость — 42 %. Более высокая вероятность узнаваемости эмоций страха и гнева, по-видимому, обусловлена жизненной важностью этих эмоций для человека, ведь они свидетельствуют об опасности или угрозе.

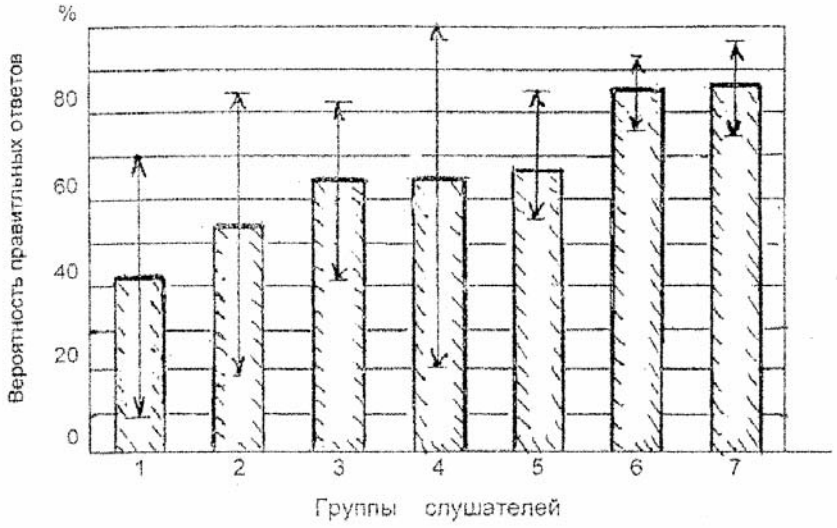


Рис. 4.6

Специалисты по нейролингвистическому программированию (одно из направлений социальной психологии) приводят следующие соотношения составляющих эффективности публичных выступлений:

7 % информации слушатели получают из смыслового содержания выступления,

39 % — из интонации и тембра говорящего,

54 % — из мимики, жестов, позы, движений говорящего.

Удивительно, что сама суть содержания составляет всего 7 % всей получаемой информации, а на эмоциональную сторону воздействия выступающего приходится почти в 6 раз больше. Оказывается, более важно не то, *что* произносит человек, а то, *как* он это произносит.

Доходчивость речевых сообщений сильно зависит от того, в каком эмоциональном и психическом состоянии находится выступающий перед микрофоном. Если это состояние доброжелательное, приподнятое, энергичное, то передача, которую он ведёт, будет принята слушателями, приятна для них.

Но как часто мы слышим, что диктор угрюмо, бесстрастно читает текст сообщений. Другой, наоборот, тараторит, как будто продолжает веселый разговор, завязавшийся вне стен студии, вовсе не сообразуя интонацию с тем, что читает. *«Оставьте своё настроение за дверью студии»* — хочется посоветовать такому выступающему.

В тревожные для Великобритании дни Второй мировой войны, когда один за другим следовали налёты немецкой авиации на английские города, дикторам известной радиокомпании *BBC* предписывали являться в студию для передачи новостей в смокинге.

"Зачем, — спрашивали дикторы, — *ведь нас не видят?" " Только человек, одетый в смокинг, может прочитать текст новостей подобающим образом",* — отвечали им.

Помнится давний случай. В холле перед студией "Последних известий", скинув туфли, удобно устроилась в кресле, поджав под себя ноги, женщина-диктор. Она держит в руках листки и что-то размечает в них. У нее поинтересовались: «*Что делаете с текстом новостей?»*

«*Размечаю интонации, ударения, места фраз, после которых удобно сделать вдох»,* — охотно пояснила она.

Если б нынешние дикторы брали с неё пример ! Но нет. Сейчас важнее всего передать в единицу времени как можно больше информации. Вот и *проборматывают* текст, как это делают плохие актёры во время репетиций. А что остаётся в сознании слушателей после такого *"скоростного чтения"* как будто никого не интересует.

Любимый многими радиослушателями актёр-чтец прославленный Виктор Валерьевич Татарский перед проведением передач *"Встреча с песней"* подолгу, по полчаса и больше, находясь в студии перед записью выступления, "настраивал" себя на нужное самочувствие и нужную интонацию. Товарищи по профессии подшучивали над ним: *«Ну, что ты стараешься, слушатели не оценят твоего труда*!»

Оценивали, тому свидетельство — огромная популярность проводимых им передач.

Диктор центрального радиовещания Евгения Гольдина говорила: *«Если в фразе есть десять слов, её можно произнести десятью различными способами, придать ей десять различных смыслов».*

И не только говорила, но и показывала, как это сделать, интонационно выделяла то или иное слово. Нынешние дикторы не утруждают себя работой над словом. А жаль! Интонационная инфантильность отрицательно сказывается на восприятии информации.

Печальный пример интонационной неточности — фраза, когда-то прозвучавшая по радио: *"По вине сварщиков в изделиях не было брака".* Получается: сварщики виноваты, что хорошо работали. Сколько таких интонационно неточных, неряшливых фраз можно услышать по радио ежедневно.

В последние годы в информационном вещании стала преобладать "голая" речь, без эмоций. Из вещания ушли квалифицированные, опытные дикторы, владевшие высокой речевой культурой. Их сменили так называемые "ведущие" механически, невыразительно, читающие текст. Одновременно замечается и другая тенденция — развязной, "раскованной" речи, не считающейся с нормами языкового общения. И то, и другое раздражает слушателей.

Семантическая информация хорошо усваивается слушателями лишь в том случае, если ее ожидают. Если слушатель не заинтересован в ней, тем более, предубежден против нее, то она проходит мимо его сознания, не воспринимается им. Поэтому исключительно

важна та эмоциональная окраска, которая сопутствует семантической информации.

Диктору или иному человеку, ведущему передачу, чтобы иметь хороший контакт с аудиторией радиослушателей, важно представлять, какого рода люди находятся у радиоприёмников или телевизоров. Подобное тянется к подобному. С большой долей вероятности можно утверждать, что социальный состав, круг интересов и настроений работников звукового или телевизионного вещания проецируется на потенциальную аудиторию радиослушателей и телевизионных зрителей.

Два человека, ведущих передачу, одинаково профессионально подготовленных, но являющихся представителями различных социальных групп, будут по-разному вести передачу, подчёркивать одни сообщения и оставлять в тени другие в соответствии со своими взглядами на эти события. Но если эти взгляды будут находиться в резком несоответствии со взглядами радиоаудитории, результат восприятия информации в такой подаче будет снижен.

Много полезных советов люди, ведущие передачи, могут извлечь из сочинений К.С. Станиславского, в которых рассматриваются вопросы психологии актёрского труда.

Чтобы речевые программы звукового вещания с наибольшей полнотой воздействовали на слушателей, необходимо обеспечить полноценную передачу и семантической, и эстетической частей информации.

Для передачи смысла речи достаточно передавать сведения об огибающей спектра речи, переходах тон — шум, а также об изменениях основного тона.

Для передачи эмоций необходим больший объем информации. Объективные причины, определяющие инженерные стороны передачи эмоций, изучены ещё недостаточно. Технические параметры каналов вещания, влияющие на передачу эмоциональной составляющей речи, почти неизвестны, и это не позволяет количественно оценить потери эмоциональной информации, ввести научно обоснованные нормы. Для уменьшения потерь семантической информации разрабатывали и вводили в действие технические средства, ухудшающие передачу эмоциональной информации. Таковы устройства сжатия динамического диапазона сигналов для их передачи по каналам с высоким уровнем помех. Хорошая помехозащищен-

ность достигается ценой потери значительной части эмоциональной информации. Сжатие динамического диапазона делает звучание речи вялым, трудно воспринимаемым слухом.

Известны работы, в которых показана связь характера передаваемых эмоций с шириной спектра и формой огибающей речевого сигнала. Эксперименты были поставлены так, чтобы исключить влияние семантической информации на распознавание эмоций. Но не удалось выработать количественные оценки силы эмоций. Неясно, существуют ли какие-то другие параметры каналов, влияющие на передачу эмоциональной информации. Не установлена количественная связь между величиной потерь эстетической информации и изменением уже известных параметров, влияющих на точность передачи эстетической информации. Нет меры оценки эстетической информации. Можно лишь предположить, что эту меру следует связать с напряженностью голоса, а она косвенно характеризуется изменениями высоты основного тона голоса.

Очевидно, что дальнейшее улучшение технической базы звукового вещания невозможно без учета рассмотренных обстоятельств.

5. ВОСПРИЯТИЕ МУЗЫКАЛЬНЫХ ЗВУКОВ

5.1 Роль музыки в жизни людей

Музыка создана человеком для человека. Давно известно воздействие музыки на психическое состояние человека и на его поведение.

Дикие племена Африки, собираясь на охоту, под звуки барабанов и дудочек плясали и совершали песнопения-заклинания, способствующие, по их мнению, удаче. Шаманы в северных краях мелодичными или резкими выкриками изгоняли злого духа из заболевшего человека. Известны песнопения индейцев Южной Америки, предназначенные для того, чтобы утихомирить грозные силы природы. Индийские факиры игрой на дудочке укрощают опасный нрав ядовитых змей.

Умело подобранные ритмические удары в гонг, колокольцы и колокола действуют на психику верующих, порождают религиозный экстаз и умиление.

В древнем Египте жрецы, обнаружив удивительное действие на людей музыки, использовали в своих целях подмеченное явление, подчиняли себе музыкой волю людей. Ни один религиозный праздник не обходился без ритуальных песнопений под аккомпанемент примитивных музыкальных инструментов. Греческие жрецы сделали исполнение музыки своей привилегией. Простым гражданам запрещалось исполнение музыкальных произведений.

Полководец древности *Александр Македонский* (IV век до нашей эры) звуками гигантского рога созывал своих воинов в поход. Рёв *«чудесного рога Александра»* был слышен на расстоянии 18 км. Музыка воодушевляла воинов на бой.

Позднее и христианская церковь начала использовать музыкальные звуки для создания у прихожан молитвенного настроения. В католических храмах звучат органы и хоры. Молитвенные песнопения стали атрибутом православных храмов. Колокольный звон извещал и о радостных, и о печальных событиях, стал сигналом тревоги при нашествии врагов, при пожарах и наводнениях.

Не обходятся без музыкальных звучаний современные собрания людей. В одних случаях они вызывают эстетические чувства, в

других приводят людей в экстаз, побуждают их буйствовать и разрушать.

5.2 Развитие знаний и представлений о музыкальных звуках

Люди присвоили некоторым видам звуков художественное качество, создали упорядоченную систему взаимоотношения звуков, ввели идею гармонии звуков. Истоки знаний о музыкальных звуках лежат в глубокой древности. Они носили в значительной мере умозрительный и даже мистический характер.

Основными источниками, из которых почерпнуты музыкально-теоретические учения древности, являются сочинения под названием *"Проблемы Аристотеля",* написанные его учениками, пять книг по музыке *Северинуса Бетиуса,* а также сочинения индийских авторов *"Море звуков"* и *"Зеркало музыки".* Наибольшим успехом классической античной теории музыки следует признать открытие связи между размерами излучающего тела — струны, трубы — и высотой звуков. Это открытие приписывают мифической личности Пифагора (VII век до нашей эры). Во всяком случае совершенно достоверно, что этим открытием мы обязаны его школе. *Монохорд,* на котором Пифагор по преданию проводил свои исследования, впервые упоминается у *Евклида.*

Обширные сведения по акустике помещений содержатся в работах Витрувия (IV век до нашей эры). Витрувий приводит пример, ставший классическим, — волновые круги на поверхности воды, и подчёркивает, что в противоположность плоским волнам на поверхности воды звуковые волны в воздухе являются сферическими. Сведения о процессах распространения и отражения звуковых волн в помещениях, приводимые Витрувием, не потеряли значения до настоящего времени.

Интересные объяснения возникновения звуков оставил *Северинус Бетиус: "Если бы все вещи находились в состоянии покоя, то ни один звук не коснулся бы нашего слуха, для возникновения голоса (звука) необходим удар. Возникновению удара но необходимости должно предшествовать движение. Каждое движение содержит в себе как момент скорости, так и момент медленности. Если движение при ударе медленное, то возбуждается низкий тон. Подобно тому, как медленное движение близко к состоянию покоя,*

так и низкий тон близок к молчанию. Быстрое движение приводит к высокому звучанию. Низкий тон, повышаясь, достигает середины, так и высокой тон достигает её, понижаясь. Отсюда следует, что каждое звучание как бы составлено из нескольких определённых частей, соединённых в известной пропорции. Пропорции же познаются, главным образом, в числах. В зависимости от этих пропорций слышатся либо созвучные, либо несозвучные тоны. Первые, взятые одновременно, создают приятное и созвучное звучание".

Эти объяснения близки современным взглядам на связь частоты колебаний ("скорости движения") с высотой тона, на консонансы и диссонансы.

Много внимания древние исследователи уделили представлениям о высоте музыкальных звуков, звукорядам (последовательностям восходящих или нисходящих звуков), музыкальным ладам, консонансам ("благозвучии") и диссонансам ("неблагозвучии").

Первые представления о звукорядах носили умозрительный и даже мистический характер. Китайский философ Фухо (3 тыс. лет до нашей эры) пытался найти связь между высотой тона и пятью элементами природы: Землёй, Водой, Воздухом, Огнём и Ветром. На основе этих представлений в Китае возникла и сохранилась до настоящего времени музыкальная гамма с пятью высотными ступенями. Этим обстоятельством объясняется специфическое звучание китайской музыки.

В музыкально-теоретических работах индийцев диапазон изменений высоты тона, который впоследствии стал называться *октавой,* разделялся на *22* ступени. Их в *«большом целом тоне»* содержалось четыре, в *«малом целом тоне»* — три, в *«полутоне»* — две. Арабы членили октаву на 17 ступеней, тонов. Разумеется, понятия «тон» и «полутон», введенные учёными древности, не соответствуют их современным определениям.

О музыкальных исследованиях Пифагора сообщает Евклид. Деля струну монохорда в разных соотношениях, Пифагор открыл, что сочетания звучания, отрезков струны дают приятные созвучия, если длины отрезков струны соотносятся как дроби с небольшими целочисленными числителем и знаменателем, например, 2:1, 3:2, 4:3. Если же числитель и знаменатель дроби выражены большими

числами, например, 9:8, 15:8, то сочетание этих двух тонов неблагозвучно.

Четыре струны лиры Орфея, как предполагают, были настроены в сочетании 1,4:3; 3:2; 2:1. Во времена Терпандера и Пифагора (VII–V века до нашей эры) греки расширили этот звукоряд до 8 ступеней. Так создавалась весьма благозвучная по сочетанию ступеней *натуральная диатоническая гамма.* Лишь две её ступени — вторая (*секунда)* и седьмая *(септима)* по отношению к первой ступени *(приме, тонике)* создают неприятные, диссонирующие звучания. Эта гамма легла в основу европейской музыкальной культуры. Греки создали и использовали многие музыкальные инструменты: различные виды лир, тибий (флейт), туб, люр, арф, барабанов, литавр и первых предшественников органа.

В XVII веке стала известна связь между высотой тона и частотой колебаний. Трудно сказать, кому мы обязаны этим открытием, Оно почти одновременно упоминается в *"Диалогах"* Галилея (1584–1642) и в *"Книгах гармонии"* Мерсенна (1588–1648 г.).

Семнадцатое столетие нашей эры характерно бурным развитием музыкальной культуры, созданием различных музыкальных инструментов, развитием теории музыки. Проектируются и сооружаются залы специально для слушания музыки, возникает оперное искусство.

5.3 Классификация музыкальных звуков

Музыкальные звуки — сложные звуковые образования. В отличие от речевых они, как правило, имеют регулярное, организованное строение, подчиняются определенным, логическим закономерностям. Они касаются метритмической *(временной),* мелодической *(частотной),* ладовой *(гармонической)* сторон звучания. Звучание делится на такты, **как** правило, равной длительности. *Метр* определяет число долей, а *ритм* — чередование сильных и слабых долей и их длительностей в пределах каждого такта. *Мелодия* определяется изменениями высоты *(частоты)* следующих друг за другом звуков. *Лад* — мажорный или минорный — отображает светлый, радостный или грустный, печальный характер звучания. Мелодические фразы *("предложения")* имеют четкое членение, причем количество тактов в музыкальной фразе обычно четное, например, 4, 8, 16, 32 и т.д. Музыкальное произведение в целом также подчиняется

определенным законам, реализуемым в музыкальных формах, начиная с простейших — куплетной, вариационной, рондо, трехчастной, и кончая сложными — сонатной, концертной, симфонической, ораториальной и т.д. Несмотря на эту строгую, закономерную структуру музыкальных произведений, язык музыки неисчерпаем.

По структуре спектра различают полностью и неполностью интонированные, а также полностью неинтонированные звуки. Наиболее характерными звуками с музыкальным содержанием являются звуки с определенной высотой, т.е. полностью интонированные. Их спектр содержит основную частоту, определяющую высоту тона, и ряд гармоник, т.е. составляющих, частоты которых находятся в кратном соотношении с основной частотой.

Наряду со звуками определенной высоты существуют звуки, неполностью интонированные. Составляющие их спектра не находятся в точном гармоническом соотношении, но отношения частот составляющих к основной частоте, определяющей высоту тона, имеют постоянные, устойчивые значения, и они формируют окраску *(тембр)* звука.

Существуют полностью неинтонированные звуки. Они не создают точного ощущения высоты. Их называют *шумами.* Шумы имеют непрерывный спектр, в котором невозможно различить отдельные частотные составляющие. Шумы характеризуют огибающей интенсивностей составляющих спектра. Этого достаточно для объединения шумовых составляющих в четкий звуковой образ источника звука. Благодаря этому четко различаются звуки большого и малого барабанов, оркестровых тарелок, возбужденных ударами палочек или щеточек и т.д.

Для гармонических звуков высота и тембр — понятия различные. Для шумов ощущения высоты и тембра практически совпадают или лишь слабо различаются. Не полностью интонированные (не полностью гармоничные) звуки представляют некоторую промежуточную категорию.

5.4 Восприятие высоты музыкальных звуков

Из всего диапазона слышимых звуков от 20 до 20000 Гц для построения музыкальных звучаний используют сравнительно небольшой участок от 100 Гц до 3400 Гц. Эти звуки воспринимаются слухом как имеющие определенную высоту. Основные частоты

большинства музыкальных инструментов занимают названную область частот. Лишь у некоторых музыкальных инструментов основные частоты лежат ниже 100 Гц (например, у контрабаса, трубы, органа) или выше 4 кГц. Звуки с частотами выше 4 кГц не поддаются в отдельности точной высотной оценке. При предъявлении в этой области частот звуков двух частот человек не может определить, какой из них выше.

Ощущение высоты тона тем точнее, чем ближе соотношения частот составляющих спектра к гармоническим. В частности, у фортепиано нижние составляющие спектра звука практически гармоничны, т.е. кратны основной частоте, а более высокочастотные составляющие все заметнее отклоняются от частот, соответствующих гармоническому ряду. Но в целом с позиций слушателя высота всех звуков фортепиано вполне определенна. Составляющие не полностью гармонических звуков не могут называться гармониками. Для них принят термин — *обертоны.* Обертоны основных частот, лежащие в области 10...20 кГц, — немузыкальны, воспринимаются как неприятный призвук, «скрипение».

Колебания с частотами 10...20 кГц, будучи искусственно значительно усилены, оказывают на некоторых людей отрицательное психическое влияние и вызывают у них состояние депрессии. Отрицательное воздействие могут оказать на человека и колебания инфразвуковых (сверхнизких) частот.

Известен эксперимент американского физика Р. Вуда. Генерированные его устройством в виде большой органной трубы акустические колебания с частотой 7 Гц вызвали у людей, находящихся в театральном зале, чувство страха и привели к панике. Разработчикам, стремящимся расширить полосу пропускания усилителей и громкоговорителей в область сверхнизких частот (например, до 2 Гц), следует прислушаться к предупреждениям психологов и физиологов о возможных нежелательных последствиях.

5.5 Восприятие тембра

Тембр — нечётко очерченное понятие, характеризующее различие звучания музыкальных инструментов и голосов людей. Ввиду нечёткости понятия для его объяснения часто используют понятия, взятые из характеристик других органов чувств. Говорят, что тембр — это "окраска" звука (понятие из области зрительного воспри-

ятия). Говорят: мягкий или жёсткий тембр (понятия из области осязания), тёплый, холодный тембр (понятия из области температурных ощущений), сладкий тембр голоса (понятие из области вкусовых ощущений).

Оценка тембра — чисто качественная, субъективная. Тембр может представляться слушателю приятным или неприятным, мягким, резким, полным (густым), тусклым, бесцветным (понятия из области зрительного восприятия), успокаивающим, раздражающим.

Физически различия тембров определяются наличием кроме основной частоты звука дополнительных составляющих спектра — обертонов, способом возбуждения звуковых колебаний, характером нарастания и затухания этих колебаний, исполнительскими приёмами извлечения звука. Имеет значение интенсивность звука. Звуки большей громкости кажутся более низкими, меньшей громкости — более высокими, более жесткими, более *"жидкими"*. Звук, лишенный обертонов, со спектром, имеющим лишь одну частотную составляющую, — блеклый, пустой, даже раздражающий.

Понятия обертонов и гармоник для их небольших номеров практически совпадают. Частоты обертонов и гармоник более высоких номеров могут несколько различаться. Поэтому ставить знак равенства между этими понятиями не всегда правомерно.

Обертона (гармоники) пяти — шести низших номеров придают звуку полное, сочное звучание, обертона более высоких номеров создают звенящее, резкое звучание. По уверениям музыкантов особенно неприятны обертона с номерами 7 и 13.

Важное место в формировании тембра певческих голосов или музыкальных инструментов принадлежит *формантам* — почти постоянным по высоте призвукам. Форманты — области спектра, в которых наблюдается повышенная интенсивность колебаний. Для флейты, например, формантная область лежит в пределах 1400... 1700 Гц, для гобоя — 1600...2000 Гц, для фагота — 450...800 Гц. Формантами определяется различимость гласных звуков речи.

Своеобразный тембровый эффект возникает при исполнении музыкантами-инструменталистами или певцами одинаковых партий. Этот эффект называется *унисон.* Исполнители не в состоянии извлекать каждый звук одновременно и точно на одной и той же высоте. В целом все действуют согласованно, но в тонкой структуре музыкального звучания наблюдаются случайные отклонения

моментов начала извлечения каждого звука и высоты тона. Поэтому возникающие звуки отличаются некоторым разбросом во времени и по частоте. Таким образом, унисон охватывает некоторую область частот и некоторый промежуток времени. К этим обстоятельствам добавляются ещё различия интенсивности звука разных инструментов или голосов, различия времени начала атаки, затухания и переходов между звуками, тембров инструментов, различия в частоте и длительности вибрато, в манере извлечения звуков.

Рассмотренный эффект не является исполнительским браком. Он придаёт звучанию своеобразный тембровый оттенок, высоко ценимый любителями музыки. Ими чрезвычайно ценится унисон струнных смычковых инструментов, особенно скрипок. Звук приобретает особую полноту и объёмность. Эффект подчёркивается тем, что исполнители занимают разное положение на пространстве эстрады, сцены или студии.

Не вдаваясь в психологическую подоплёку этого эффекта, отметим, что аналогичное свойство присуще и зрительному восприятию. Изделие, выполненное ручным способом, например, ковёр или вышивка всегда более высоко ценится, чем изделие машинной выработки.

С целью получения более "густого", более "плотного" тембра конструкторы электрических гитар вводят в их усилители большую нелинейность. "Обогащение" спектра достигается путём создания множества гармоник и комбинационных частот. Но представители классических направлений в музыке считают этот тембровый эффект грубым и недостойным истинных музыкантов.

5.6 Восприятие структуры музыкальных звуков

Инженеры привыкли к наглядному представлению физических процессов в виде осциллограмм и графиков спектров. Однако эти представления, проясняя физическую структуру звуков и механизм их возникновения, лишь в малой степени объясняют музыкальные свойства звуков. Звуки с различной формой осциллограмм вызывают сходные ощущения, и, наоборот, графически незначительные изменения формы осциллограммы заметно изменяют восприятие звучания. Причина в том, что слух воспринимает звуки не по форме колебаний, а по спектральному составу, по интенсивностям различных составляющих. Фазовые сдвиги между гармоническими со-

ставляющими сложных звуков, сильно влияя на форму колебаний, что находит отражение в осциллограмме, во многих случаях мало сказываются на восприятии звучания. Если в спектр сложного звука добавить две – три высших гармоники, даже с большой интенсивностью, результирующая форма осциллограммы практически не изменится. В то же время восприятие измененного звука станет существенно иным.

Восприятие звучания различных музыкальных инструментов в значительной степени определяется составом и уровнями обертонов (гармоник). Флейты и многие органные трубы бедны обертонами, и потому звучат мягко, сдержанно. Спектр медных духовых инструментов, наоборот, богат обертонами. Поэтому их звучание имеет яркий, будоражащий чувства характер.

Спектр обертонов прославленных скрипок работы Страдивари заканчивается 11 номером, спектр обертонов плохих скрипок простирается до 29 номера. Для последних характерен «визжащий», «скрипящий» звук.

Немаловажным является соотношение четных и нечетных гармоник (обертонов). Звуки, содержащие только нечетные гармоники, воспринимаются несколько пустовато и имеют "носовой" оттенок; четные гармоники, особенно, вторая и четвертая делают звук светлым, радостным.

Спектральная расчлененность сложных звуков и их интонационная четкость являются особым свойством, лежащим в основе гармонических построений. Но, признавая за спектром только роль носителя тембрового качества, мы не решаем вопроса о природе восприятия высоты сложных звуков. Они никогда не ощущаются как сумма независимых тонов, но всегда выступают в форме нерасчлененного единства.

Более того, для ясного восприятия высоты сложного звука совершенно не обязательно, чтобы составляющая основной частоты имела наибольшую интенсивность по сравнению с другими, высшими составляющими. Оно подкрепляется слухом путем синтеза ощущения основной частоты из суммы ее гармоник. Наше сознание как бы "конструирует" составляющую основной частоты из составляющих гармоник. Ощущение высоты тем более определенно, чем более ясно выделены в ощущении гармоники, особенно с номерами

от второго до 6–12. Ощущение высоты тона определяется не само по себе, но путем выделения составляющей основной частоты.

5.7 Консонансы и диссонансы

Особое качество звучанию придают сочетания двух звуков, действующих на слух одновременно или один за другим при мелодическом движении. Они образуют разные музыкальные интервалы. Их называют числительными латинского языка, начиная с первой ступени — примы и кончая восьмой — октавой (табл. 5.1).

Таблица 5.1.

Цифровое и словесное обозначение ступени	Отношение частот данной и первой ступени	Доля совпадающих гармоник, %	Степень консонансности
I – прима	1:1	100	Абсолютный консонанс
II – секунда	9:8	11,8	Диссонанс
III – терция	5:4	22,4	Средний (несовершенный) консонанс
IV – кварта	4:3	29,2	Совершенный консонанс
V – квинта	3:2	41,6	Совершенный консонанс
VI – секста	5:3	26,7	Средний (несовершенный) консонанс
VII – септима	15:8	9,6	Диссонанс
VIII – октава	2:1	75	Абсолютный консонанс

Сочетание двух звуков, образующих ту или иную ступень, порождают особое качество, называемое *консонансностью*. Буквальный перевод этого термина — созвучность. Еще Пифагором было обнаружено, что степень консонансности связана со значением дроби — отношения основных частот составляющих данный интервал. Чем меньше числа, образующие числитель и знаменатель этой дроби, тем выше степень консонансности ("приятности") сочетания звуков. Неприятно звучащие сочетания называются *диссонансами*.

Исходя из спектрального представления основных частот и составляющих каждый музыкальный звук гармоник, можно предположить, что степень консонансности определяется долей совпадающих гармоник — чем она больше, тем выше степень консонансности (см. табл. 5.1).

Звуки с одинаковым спектром вызывают ощущение слитности звука, называемое в музыке *унисоном.* При сдвиге спектров в соотношении основных частот 2 : 1 образуется другая последовательность ступеней-октава, в которой все гармоники одного ряда совпадают с четными гармониками второго ряда. В интервале секста совпадают гармоники 3, 6, 9 и т.д. одного ряда с 5, 10, 15 гармониками второго ряда, в интервале квинта совпадают гармоники 2, 4, 6 и 3, 6, 9 и т.д., в интервале кварта 3, 6, 9 и 4, 8, 12 и т.д., в интервале терция 4, 8, 12 и соответственно 5, 10, 15 и т.д. В интервале секунда число совпадающих гармоник столь мало (8 и 9, 16 и 18 и т.д.), что этот интервал относится к диссонирующим. То же касается интервала септима.

Более сложные спектры взаимодействуют в случае аккордов, т.е. сочетаний трех, четырех и более звуков. Совпадение и несовпадение гармоник придают аккордам специфический тембр и наделяют их различной степенью устойчивости и родства по отношению к другим аккордам. Это создает особую область музыкальной выразительности, называемую *гармонией.*

5.8 Звукоряды, гаммы и лады

Звукоряд, образованный последовательностью восходящих или нисходящих ступеней, называют *гаммой.* Для различных музыкальных культур характерно свое построение гаммы. В зависимости от сочетания используемых ступеней различают *мажорный* и *минорный лады.* Первый воспринимается как светлый, радостный, второй — как печальный, грустный. Грустный, несколько загадочный характер звучания второго определяется, главным образом, уменьшением интервала между первой и третьей ступенями гаммы (например, от *до* до *ми бемоль),* находящегося на границе консонанса.

Чтобы понять современную европейскую тональную систему, нужно обратиться к истории. Древнейшие звукоряды (китайские и греческие) состояли из октав и квинт. При шаге от примы вверх на интервал квинты и от октавы на квинту вниз возникли четыре ступени настройки струн греческой лиры, расположенные по высотам с соотношениями частот основных тонов 1 – 4/3 – 3/2 – 2. Для музыкального сопровождения декламации этот звукоряд считался достаточным. Для сопровождения пения этот звукоряд дополнили двумя ступенями; в результате частоты ступеней стали соотносить-

ся как 1 – 9/8 – 4/3 – 3/2 – 16/9 – 2. Впоследствии соотношение частот 16/9 изменили на 15/8. На этом этапе музыкального развития остановились многие народы. Такой звукоряд лежит в основе шотландских и ирландских народных песен. Во время от VII до V веков до нашей эры греки добавили к нему еще две ступени. После некоторых преобразований возникла *восьмиступенная диатоническая мажорная гамма,* представленная в табл. 5.1. При начале звукоряда с 6-ой ступени образовалась *диатоническая минорная гамма.*

В восьмиступенной мажорной гамме ступени следуют в порядке: два тона — полутон — три тона — полутон. Если минорная гамма начинается с шестой ступени, в ней будет следующее чередование ступеней: тон — полутон — два тона — полутон — два тона.

Диатоническая гамма обладает наибольшей консонансностью интервалов. Из восьми ступеней диссонирующими по отношению к первой (приме) являются лишь вторая (секунда) и седьмая (септима). Но ей присущ и большой недостаток. На ее разных ступенях нельзя построить как на приме *(тонике)* гаммы других тональностей. Это обстоятельство сковывало возможности композиторов и, особенно, исполнителей-певцов. После длительных и мучительных, поисков теоретик музыки и органист Веркмейстер в XVII веке предложил *двенадцатиступенную хроматическую равнотемперированную гамму*. В ней достигнуто достаточно удовлетворительное приближение к тонам натуральной диатонической гаммы и получена возможность строить на любой ступени как на приме *(тонике)* практически равноценные и близкие к диатонической гаммы и переходить при сочинении и исполнении из одной тональности в другую. Это позволило исполнять музыкальные произведения в любой тональности.

Латинское слово темперация *(temperatio* — надлежащее смещение, соединение, образование) означает точное установление высоты и количества музыкальных звуков, входящих в состав той или иной исторически сложившейся звуковысотной системы. Основа равнотемперированной гаммы — равенство отношений частот смежных ступеней. Оно равно $\sqrt[12]{2}$ =1,06 и называется *полутоном*. Два полутона образуют интервал-*тон*. Заметим попутно, что одну сотую интервала полутон называют *центом.*

Зная частоту какой-то ноты, легко вычислить частоту любой другой ноты. За точку отсчёта в этих расчётах обычно принимают частоту ноты "до" малой октавы 131 Гц. В других системах отсчета за опорную принимают частоту ноты "ля" первой октавы — 440 Гц. Каждая октава содержит три интервала, называемых большая терция. В каждой большой терции заключены 4 полутона. В октаве содержится 3 х 4 = 12 полутонов.

Предложение Веркмейстера вызвало сперва яростное сопротивление некоторых великих музыкантов и восторженное одобрение других. Первым, кто безоговорочно принял равнотемперированную шкалу, был И.С. Бах. С целью пропаганды этого строя он написал знаменитый сборник из 24 прелюдий и фуг — *"Хорошо темперированный клавир"* (клавир — название одного из предшественников фортепиано).

Но его столь же гениальный современник Гендель был против новшества. Против равнотемперированного хроматического строя выступил в начале XX века и А.Н. Скрябин. Однако сконструированный им рояль с "подчищенными" под натуральные интервалами оказался слишком сложным для исполнителей и остался лишь музейным экспонатом.

Некоторые музыканты, обладающие совершенным слухом, легко различают тональность, в которой идет исполнение, ввиду различного отклонения ступеней хроматической гаммы от ступеней натуральной гаммы, а особо взыскательные предпочитают писать пьесу в той тональности, в которой отклонение от натуральной гаммы проявляется, возможно, меньше.

При переходе к хроматической равнотемперированной гамме все интервалы натуральной диатонической гаммы, кроме октавы, были нарушены. Большинство людей давно привыкло к тому, что чистых интервалов не осталось. Эстрадные певцы часто нарушают и интервалы двенадцатиступенной хроматической равнотемперированной гаммы *(детонируют,* как говорят музыковеды) и даже объявляют эти нарушения *"творческим приёмом".* Современные слушатели мирятся и с этими отклонениями от правильного взятия интервалов.

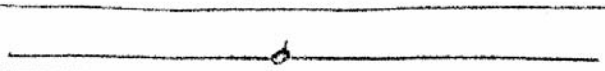
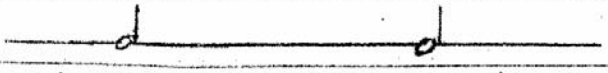
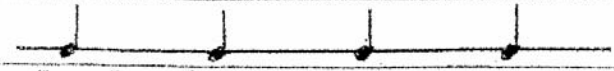
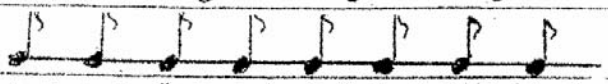
Расхождения в высотах звуков и интервалах диатонического и хроматического строя могут возникнуть при ансамблевом исполнении, так как клавишные инструменты — фортепиано, клавесин, че-

леста, аккордеон, баян, электронные клавишные — имеют хроматический строй, деревянные духовые также хроматические строй, медные духовые — и хроматический, и натуральный строй, а струнные (смычковые) являются инструментами со свободной интонацией, из них можно извлекать звуки и в натуральном, и в хроматическом строе. Согласование высотного звучания разных инструментов — предмет особой заботы композиторов и исполнителей.

5.9 Звуки и ноты

Люди придумали графические значки — буквы для обозначения звуков речи. Подобно им были придуманы графические символы для обозначения звуков музыки — ноты (латинское *nota* — знак). Эти обозначения прошли долгий путь развития, прежде чем достигли современного состояния. Нотами обозначают высоту и длительность звуков, пауз между ними, технические и эмоциональные оттенки исполнения. Длительность звуков обозначают формой знаков. Основой служат знаки целой ноты (4 четверти) и её долей (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Название длительности	Обозначение
Целая	
Половины	
Четверти	
Восьмые	
Шестнадцатые	

Точка, стоящая после ноты, увеличивает её длительность наполовину. Для указания ступеней звуков в пределах октавы используют итальянские (чаще) и немецкие обозначения. Они приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Ступени	1	2	3	4	5	6	7	8
Итальянское обозначение	до	ре	ми	фа	соль	ля	си	до

Немецкое обозначение	c	d	e	f	g	a	h	c

Так как названия нот повторяются в разных октавах, то для обозначения принадлежности нот к той или иной октаве и буквенным обозначениям придают цифровые индексы, как это показано в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Наименование октавы	Обозначение ноты «до» («с»)	Частоты, Гц
Субконтроктава	C_2	16
Контроктава	C_1	32
Большая	C	65,5
Малая	c	131
Первая	c^1	262
Вторая	c^2	512
Третья	c^3	1024
Четвертая	c^4	2048
Пятая	c^5	4096

Значения частот, соответствующие ноте "до" *(«с»*) разных октав, носят несколько условный характер. На самом деле в краевых октавах диапазона звуковых частот ощущение октавного интервала получается при отношении граничных частот октавы более двух.

В некоторых руководствах цифры в индексах, обозначающих номер октавы заменяют соответствующим количеством штрихов, например, вместо c^3 пишут *c'''*.

Высоту звуков обозначают положением ноты на нотном стане. Изобретение нотного стана приписывают Гвидо Аретинскому (Гвидо из Ареццо). Чтобы певцы лучше запоминали высотные интервалы, Гвидо использовал текст гимна, посвященного легендарному покровителю певцов св. Иоанну. Ноты получили названия от слогов текста: *ut, re, mi fa, sol, la.* Впоследствии слог *ut* был заменен на *до,* а седьмая ступень гаммы получила название *si* от начальных букв гимна *Sarle Johannes.* Число линеек в нотном стане менялось. Уже более трёхсот лет установился нотной стан с пятью линейками. Их для обозначения высот музыкальных звуков не хватает. Поэтому используются дополнительные линейки, обозначения смещения нот

на октаву вверх и вниз и т.н. "ключи". Наиболее употребительны басовой ключ "фа" и скрипичный ключ "соль" (рис. 5.1).

Рис. 5.1

Точка в изображении ключа на нотном стане соответствует ноте, именем которой назван ключ.

Исторически сложилось так, что пятилинейный нотный стан был предназначен для размещения нот восьмиступенной гаммы. Переход к двенадцатиступенной хроматической гамме повлёк за собой некоторое изменения в записи высоты звуков. Понадобились особые *знаки алитерации* — диез # и бемоль *b*, соответственно повышающие и понижающие высоту звука на полтона. Запись двенадцати ступеней выглядит следующим образом (рис.5.2):

Рис. 5.2

Переход к двенадцатиступенной гамме повлёк за собой и изменения в конструкции клавиатуры клавишных инструментов. К белым клавишам добавились в каждой октаве по пять чёрных.

5.10 Влияние маскировки и различной чувствительности слуха на восприятие музыкальных звуков

Звуки разных частот неравноценны в музыкальном отношении. Это объясняется особенностями слуха, выраженными явлением маскировки и кривыми равной громкости. Низкий тон большой интенсивности может полностью замаскировать тон более высокой частоты, но даже слабый звук нижних частот остается хорошо различимым в сопровождении интенсивного тона более высокой частоты.

Степень полноты, детальности слухового ощущения в диапазоне частот неодинакова. Наиболее информативна область средних частот примерно от 300 до 3000 Гц. Она наиболее благоприятна для построения сложных гармонических сочетаний звуков — *аккордов.*

По мере повышения частоты количество слышимых гармоник уменьшается ввиду снижения чувствительности слуха и усиления маскировки высших гармоник более интенсивными нижележащими.

Композиторы интуитивно чувствуют некоторую "ущербность" звуков нижнего и верхнего регистров. Видимо, сказываются снижение чувствительности слуха в краевых частях диапазона музыкальных звуков и уменьшение дифференциальной разрешающей способности слуха к различению интервалов. Поэтому композиторы предпочитают мелодические и гармонические построения своих произведений размещать преимущественно в среднем регистре. Анализ нотных записей пьес композиторов классического направления подтвердил названные предпочтения. График рис. 5.3 показывает, как часто та или иная нота является самой высокой в классических произведениях.

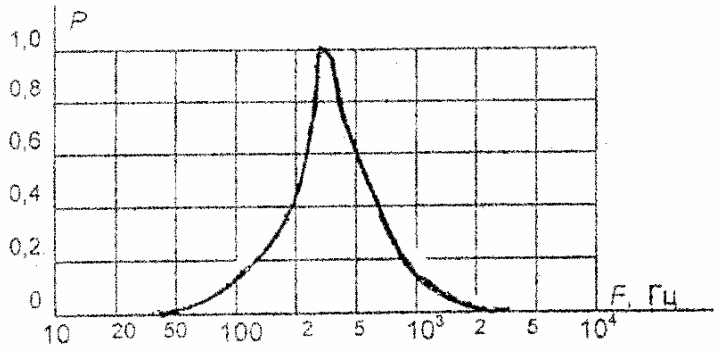


Рис. 5.3

Максимум графика лежит в области частот около 300 Гц. Ни одной ноты, соответствующей частоте 2048 Гц и выше, в рассмотренных сочинениях не встречалось. Это нота "до" четвёртой октавы. Лишь в произведениях виртуозного характера, например, в фортепианных пьесах Ф. Листа, содержатся более высокие ноты.

5.11 Ощущение процессов установления

В образовании ощущения тембра, наряду с соотношениями частот и интенсивностей спектральных составляющих музыкальных звуков, важное место принадлежит процессам нарастания и спада интенсивности звука — процессам установления. Колебательные системы музыкальных инструментов обладают инерцион-

ностью. Поэтому нарастание и спад интенсивности длится некоторое время (рис. 5.4).

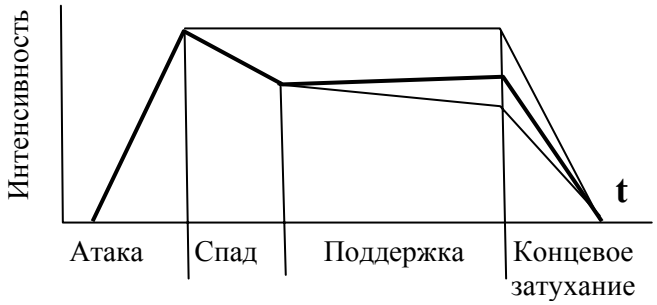


Рис. 5.4

У некоторых инструментов *(фортепиано, щипковые)* после возбуждения колебаний происходит некоторое ослабление, а затем стабилизация интенсивности. Далее наступает концевое затухание либо вследствие естественных механических потерь в колеблющемся источнике звука (струне, столбе воздуха в духовом инструменте), либо вследствие искусственного демпфирования колеблющейся струны пальцем в щипковых инструментах или особыми подушечками в фортепиано.

Механические потери на разных частотах неодинаковы. Поэтому и при нарастании интенсивности *(атаке),* и при концевом затухании соотношения интенсивностей колебаний разных частот изменяется. Несколько смещаются и частоты обертонов. Последнее характерно для ряда инструментов, например, для духового органа.

Короткая, "жесткая" атака длительностью 1...20 мс характерна для ударных и некоторых деревянных духовых. Более длинная, мягкая атака (20...60 мс) свойствена смычковым и большинству духовых инструментов. Начальный спад в средней части звучания свойственен ударным, щипковым инструментам и фортепиано. Для некоторых инструментов (смычковых, духовых, фортепиано) он является исполнительским приемом *(сфорцандо)*. Концевое затухание присуще всем инструментам.

У фортепиано естественная длительность затухания струн достигает в низкочастотном регистре 25 с, а в высоком — 1 с. Отсутствие механического демпфера привело бы к "набеганию" одних звуков на другие. Правая педаль фортепиано, с помощью которой можно прекращать или возобновлять демпфирование, придает осо-

бый облик звучанию инструмента и чрезвычайно расширяет исполнительские возможности.

Процессы установления в традиционных музыкальных инструментах обычно управляются исполнителем. Это и определяет индивидуальность звучания.

5.12 Восприятие певческих голосов

Певческий голос — тончайший по выразительности музыкальный инструмент. Большая степень эмоционального воздействия объясняется тем, что на ум и чувства человека воздействуют и эстетическая, и семантическая информация, причём последняя отличается, как правило, также высокой художественной ценностью, если для неё выбираются выдающиеся поэтические творения.

К физическим данным певческих голосов относят, прежде всего, высотный (частотный) и динамический диапазоны. Высотный диапазон обычно не превышает двух октав, а динамический — 35 дБ. Тембральные свойства певческого голоса определяются составом и интенсивностью обертонов. По частотному диапазону выделяют три основных группы женских голосов, три мужских и две детских (табл. 5.5).

Таблица 5.5

Виды голоса	Границы частотного диапазона, Гц
Сопрано	262…4318
Меццо-сопрано	220…1048
Контральто	175…784
Тенор	131…587
Баритон	110…440
Бас	82…398
Дискант	254…880
Альт	196…598

В спектре голосов певцов, прошедших серьезную музыкальную подготовку, обнаружено своеобразное распределение интенсивности гармоник (обертонов). Имеются, по крайней мере, две частотные области, две группы обертонов, определяющих певческие качества голосов и называемых певческими формантами. В зависимости от числовых значений частот певческих формант различают виды

мужских и женских голосов. Для мужских голосов характерны низкая формантная область частоты примерно 300–600 Гц, и высокая формантная область частоты — примерно 2,5–3 кГц. В женских и детских голосах формантные области расположены по частоте несколько выше. Низкая форманта придает мужскому голосу своеобразную массивность, мощь, высокая — особое свойство, именуемое музыкантами *полётностью, носкостью* (в англоязычных странах — *"едкостью", "колкостью").* Вокалисты обозначают этими словами способность певческого голоса переноситься вдаль, пере крывать звучность аккомпанирующего певцу оркестра, доноситься до слушателей. Особенно это свойство необходимо певцам оперного плана. Оркестр, находящийся в оперном театре ближе к слушателям, не должен мешать восприятию певцов-солистов, располагающихся дальше от слушателей, на сцене. Полётный, ноский голос — не обязательно громкий. Бывает, что сильный, "громоподобный" вблизи голос не слышен в большом зале. Наоборот, казалось бы, небольшой голос певца бывает хорошо слышен вдали.

Объяснение причин полётности, носкости голоса впервые дал выдающийся акустик С.И. Ржевкин. Эту идею развили его ученики Е.А. Рудаков и Д.Д. Юрченко. Они показали, что это свойство присуще лишь тем певцам, в голосе которых хорошо развита высокая форманта. Певцу, обладающему ею, легко овладеть отличной дикцией, его хорошо слышно в большом зале. С нею голос яркий, звучный, без нее — глухой, тусклый. Физиологическая причина полётности голоса та, что частоты высокой форманты приходятся на область наибольшей чувствительности слуха. В женских голосах высокая певческая форманта играет менее важную роль, чем в мужских. Спектры сопрано или меццосопрано и без того богаты составляющими высоких частот (см. табл. 5.5) и потому обладают *полётностью.* Зато мужским голосам высокая форманта необходима.

Полётностью звучания обладают и музыкальные инструменты, даже не создающие большой акустической мощности. Таковы, например, скрипки великих итальянских мастеров Амати, Гварнери, Страдивари.

Современные методы исследования позволяют оценить полётность и выразить ее численно. В схему измерений (рис. 5.5) входят: генератор "белого" шума, магнитофон с фонограммой исследуемого голоса, смеситель с регуляторами уровня, громкоговоритель (или

головные телефоны) и шумомер (или измеритель уровня). Шум и сигнал подаются на громкоговоритель (головные телефоны) через смеситель. "Белый" шум представляет собою как бы звуковую завесу, через которую должны пробиться голос певца или звучание инструмента. Уровень шума поддерживается постоянным, например, 80 дБ, а уровень сигнала постепенно понижают, пока голос не станет еле слышен на фоне шума.

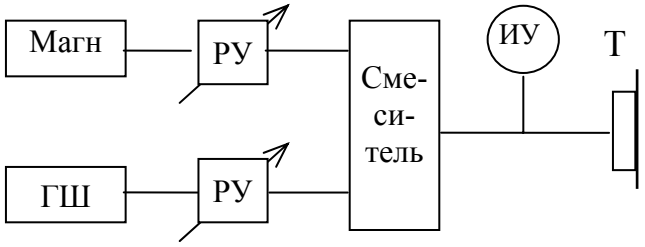


Рис. 5.5

Разность уровней шума и полезного звучания называют *коэффициентом полётности,* носкости. У хороших певцов он равен 25... 30 дБ, у певцов-любителей 15...20 дБ. Если из хорошего, "звонкого" голоса фильтром вырезать высокую певческую форманту, коэффициент полётности упадет с 25...30 дБ до 12...15 дБ.

Хороший певческий голос вырабатывается многими годами обучения**.** Развитие техники звукоусиления вывело на концертные эстрады множество "микрофонных" певцов, подчас имеющих эффектную внешность и умеющих свободно держаться перед зрителями, но не утруждающих себя певческой учёбой или не имеющих исходных природных данных. Чтобы сделать звучание их голоса сколько-нибудь приемлемым, прибегают к своеобразным "голосовым протезам", искусственно формирующим некоторое подобие певческой форманты.

Особым исполнительским приемом является *вибрато.* Вибрато — результат периодического изменения интенсивности, частоты и спектра звука. В струнных грифовых инструментах периодическое изменение частоты (высоты) достигается покачиванием пальца на грифе, в пении — выработанным упражнениями действием речеобразующего аппарата. Для слуха наиболее приятно вибрато с частотой 5...7 Гц. Более медленные колебания воспринимаются как качание, изменение высоты тона, более частые — как дрожание.

Такое певческое вибрато музыканты называют "блеянием барашка". Наиболее яркое ощущение вызывает частотное (высотное) вибрато. Утомительное для восприятия воздействие тона постоянной высоты заменяется его периодическими колебаниями. При этом, однако, сохраняется ощущение устойчивости высоты тона. Хорошее вибрато придает звуку певческого голоса большую выразительность и устойчивость.

Вибрато как исполнительский прием используют и драматические артисты, особенно при выражении сильных чувств и страстей. К нему часто прибегают инструменталисты — скрипачи, виолончелисты, трубачи, чтобы придать звучанию инструмента певческий характер.

Вибрато опытных певцов отличается приятной, ласкающей слух плавностью. Выражено оно не сильно. Поэтому создается ощущение, что голос льется непрерывной струёй, лишь слегка пульсирующей. Пульсации делают голос живым, одухотворенным. Если нет вибрато, голос становится сухим, безжизненным, «прямым как палка». У неопытных певцов вибрато бывает грубоватым, резким. Создается впечатление прерывистого звука. Такое вибрато музыканты называют "тремоляцией голоса" (тремоло — быстрая смена двух тонов, обычно на полтона или на тон).

Певческий голос — тонкий инструмент. На его звучание влияет многое: недостаток сна, переедание или, наоборот, голод, изменения атмосферного давления, авиационные перелеты. Самое губительное для голоса — нервное напряжение. Работникам вещания следует внимательно относиться к пожеланиям певца относительно времени записи и не считать их за капризы исполнителя. Технические неполадки при подготовке к записи или во время её проведения могут надолго выбить певца из творческого состояния.

Часто спрашивают, стоит ли певцу классического плана исполнять произведения "эстрадного жанра" или участвовать в сборных эстрадных концертах? Если это не связано с полным отходом от основной деятельности, в этом нет ничего зазорного или плохого. А исполнение хорошим певцом произведения т.н. "лёгкого жанра" будет радовать его слушателей и расширит творческий диапазон певца.

5.13 Восприятие звучания оркестра

В состав современного симфонического оркестра входят четыре группы инструментов: смычковые (струнные), деревянные духовые, медные духовые, ударные. Каждой из них поручают определённые мелодические, гармонические, тембровые, ритмические задачи. Важным для полноты восприятия является соблюдение баланса звучностей различных групп. Неприятно восприятие звучания, в котором заметно преобладают только низкочастотные или только верхнечастотные составляющие (если речь не идет о создании специальных тембровых эффектов). Исходя из этого, к концу XVIII века, т.е. во времена Гайдна и Моцарта, сложился классический состав оркестра (табл.5.6).

Таблица 5.6

Струнная (смычковая) группа	Деревянные духовые	Медные духовые	Ударные
Первые скрипки 10	Флейты 2	Валторны 2	Литавры 2
Вторые скрипки 8	Гобои 2	Трубы 2	
Альты 6	Кларнеты 2	Тромбоны 2	
Виолончели 5–6	Фаготы 2	Туба 1	
Контрабасы 3–4			

Для музыки Л. Бетховена, Р. Вагнера, Р. Штрауса потребовалось увеличение группы медных духовых. При этом соответственно была увеличена группа струнных (смычковых), чтобы сохранить баланс звучностей. Количество первых и вторых скрипок, в частности, было увеличено, соответственно, до 16 и 14. Желаемый баланс звучностей задумывается ещё композитором и выверяется во время репетиции оркестра в соответствии с концепцией дирижёра.

Большое различие в звучности музыкальных инструментов могло бы привести при их объединении в ансамбль к маскировке звучания одних инструментов звучанием других. Соразмерность, сбалансированность звучностей создается умножением количества менее звучных инструментов. Например, баланса звучностей групп симфонического оркестра достигают тем, что численность группы смычковых инструментов достигает 70 % общей численности инструментов (в том числе группа скрипок — 35 %, альтов — 15%, виолончелей и контрабасов — по 10 %), группа деревянных духовых — 12 %, медных духовых — 10 %, ударных — 8 %.

Разумеется, эти данные имеют ориентировочный характер. Состав оркестра и соотношения количества инструментов изменяются в зависимости от характера исполняемых произведений.

Баланс звучностей можно сопоставить с принципом равновесия масс в архитектуре, когда при внешней асимметрии и неравенстве размеров отдельных сооружений достигается ощущение уравновешенности расположения всего комплекса зданий. Примером совершенства использования принципа равновесия масс является афинский Акрополь.

В силу акустических свойств помещений баланс звучностей нарушается при слушании музыки в залах разного объема. В больших залах относительно уменьшается звучность инструментов низкочастотного регистра. Поэтому состав оркестра для больших залов пополняется медными духовыми и литаврами.

Динамический диапазон большого симфонического оркестра с численностью 100 исполнителей достигает 60 дБ (по некоторым данным даже 70 дБ), малого симфонического и оркестра легкой эстрадной музыки — 40–50 дБ, оркестра танцевальной музыки, духового оркестра и хора — 30–40 дБ.

Частотный диапазон симфонического оркестра определяется снизу литаврами, сверху — треугольниками и составляет 30 – 15000 Гц, для духового и эстрадного оркестра определяющими парами инструментов будут туба (бас-геликон) и флейта или контрфагот и тарелки, и составляет соответственно 50–10000 и 25–16000 Гц.

5.14 Временные и пространственные свойства музыки

Важное значение для восприятия музыкальных образов имеют его временные и пространственные свойства. Следует подчеркнуть: реальная длительность звучаний музыкальной пьесы и ощущение протяжённости её звучания; физическое и музыкальное пространство понятия различные, хотя и связанные между собою.

Длительность ощущения протяжённости пьесы определяется величиной в ней различных "подробностей", насыщенностью содержания, и в значительной степени зависят от психофизического состояния слушателя, его установки на восприятие. Реальное время существования музыки накладывается на субъективную протяжённость времени, ощущаемого слушателем.

Длительность ощущения существования слушателя во время слушания музыки оказывается тождественной содержанию музыки, её насыщенностью музыкальными образами. Этот отрезок жизни слушателя формируется по законам музыкальной логики. Музыка делает время ощутимым. Музыкальный образ формируется не мгновенно, а во времени. Основные характеристики музыкального образа связаны с временными изменениями.

Немаловажными для восприятия музыкальных образов являются пространственные ощущения. Пространственные свойства музыки служат важным средством воздействия на слушателя. Они вводят слушателя в образный строй музыки. Иногда композитор впрямую указывает на желаемое место расположения источника звука. Д. Россини делает пометку в партитуре оперы "Вильгельм Тель": звуки валторн, изображающих рога охотников, должны исходить из правой и левой кулис сцены. К. Вебер в партитуре оперы "Оберон" указывает, что мрачные звуки тромбонов, характеризующие чудищ подземного мира, должны доноситься из-под сцены.

Звуковые волны распространяются в пространстве, чаще всего ограниченном преградами помещения. Поэтому музыкальное впечатление в значительной степени определяется акустическими свойствами помещения, в котором музыка звучит, — зала или жилой комнаты. Пространственная локализация звукового образа зависит от акустических свойств этого помещения. К этому добавляется пространственная разнесённость источников звука: музыкальных инструментов — при слушании музыки в зале, громкоговорителей — при воспроизведении музыки в комнате слушателя.

Физиологическое и музыкальное значение пространственного слушания связано не столько с возможностью локализовать источник звука в пространстве, сколько с ощущением ширины и глубины звучащего ансамбля в целом. Впрочем, ощущение перемещения звукового объекта от одного положения к другому (от *инструмента к инструменту — в оркестре, от одной трубы к другой — в органе)* усиливает ощущение живости исполнения.

Пространство, наряду со временем, формирует конечный результат, формирует музыкальный образ. Пространство и время сосуществуют на всех этапах возникновения музыкального образа. Они создают единую пространственно-временную общность. Её проявления разнообразны: одни стороны этой общности несут

вполне не музыкальные черты, переводятся на язык других физических и психических проявлений, отражают пространственно-временные отношения физического мира, другие не переводятся на немузыкальный смысл из-за особенностей музыкального языка, а он большею частью отличается "неизобразительностью", невербальностью ("несловесностью"), сильно зависит от степени интеллектуального развития слушателя и его "настроенности" на восприятие музыки.

Вследствие рассмотренных особенностей музыкальное пространство и время принято рассматривать как многокомпонентную, многослойную систему. В неё входят составляющие: композитор – исполнители — среда распространения — слушатели. Под средой распространения понимают пространство зала, устройства записи, воспроизведения и передачи сигналов, электроакустические преобразователи, помещение, в котором располагается слушатель

5.15 Восприятие звучания с позиций слушателя. Где лучше слушать музыку?

Восприятие звучания музыки на открытом воздухе и в помещении не одинаково. На открытом воздухе музыка звучит несколько сухо, бледно и тускло. В помещении музыка воспринимается более полно и ярко.

При восприятии музыки имеют значение не только звуки, приходящие непосредственно от звучащего ансамбля, но и звуки, отраженные от преград помещения, приходящие с некоторой задержкой по сравнению с прямым звуком. Отдельные сравнительно редкие запаздывающие звуки начальных отражений, поступающие в уши слушателя с запаздываниями в десятки миллисекунд и более слитные последовательности позднейших запаздываний порождают в нашем сознании ощущение полноты звучания. Этот эффект называют *отзвуком* или *реверберацией.* Слово реверберация в переводе на русский язык означает отражение. Отзвук придает звучанию особую окраску, порождает впечатление о размерах помещения, создаёт ощущение окружения слушателя звуками. В них "купается" наше сознание.

Для получения наилучшего эстетического впечатления от исполняемого произведения слушатели должны находиться в оптимальных акустических условиях. Начальные отраженные звуки,

приходящие от потолка, боковых стен и задней стены зала, должны приходить к слушателям с определёнными запаздываниями. В результате обследования лучших концертных залов мира установлены оптимальные времена запаздывания Δt_1, Δt_2 и Δt_3 для речи и музыки (табл. 5.7).

Таблица 5.7

Вид звучания	Δt_1	Δt_2	Δt_3
Речь	10…15	15…22	25…45
Музыка	20…30	35…50	50…70

Обычно первые отражения приходят от потолка (наименьший линейный размер зала), вторые — от боковых стен, третьи — от задней стены зала. Чтобы добиться хорошей разборчивости речи, запаздывания должны быть сравнительно небольшими, при звучании музыки нужно подчеркнуть мелодическое начало. Для обеспечения слитности звуков необходимо большее время запаздывания начальных отражений. Отсюда вытекают рекомендуемые линейные размеры концертных залов (табл. 5.8).

Таблица 5.8

Размеры зала, м	Не менее	Не более
Высота	9	10,5
Ширина	18,5	25
Длина	—	40…45

Длина зала ограничивается необходимостью получения на самых удалённых местах достаточно большого уровня интенсивности звука.

Общая длительность отзвука оценивается временем реверберации. Оптимальное время реверберации зависит от характера исполняемых произведений и объёма зала. Для большинства произведений крупных форм оно составляет 1,5...2 с.

Немаловажен выбор места в зале. Непременный посетитель симфонических концертов в Большом зале Московской консерватории рассказывает:

"Впечатление от музыки зависит от того, в каком месте зала сидишь. Вблизи от эстрады, в первых рядах партера, подчёркнуто

воспринимаешь низкие звуки. Избыток звучности виолончелей и контрабасов подавляет звучание скрипок. Плохо воспринимаешь звучание группы деревянных духовых. Если сидишь на боковых местах партера, то ухо, обращенное к стене, как будто глохнет. В партере хорошо сидеть в 10–12 рядах. Но ещё лучше слушать музыку сверху. В первом амфитеатре почти все недостатки партера исчезают. Звук становится воздушным, а громкость всех групп – соразмерной. Как ни странно, во втором амфитеатре звучание оркестра представляется ещё более масштабным, несмотря на большое удаление от эстрады...».

Музыкант оркестра придерживается иного мнения:

«Вначале замечаешь только близкорасположенные инструменты. Но затем отвлекаешься от них и начинаешь купаться в окружающих тебя звуках всего оркестра. Звуки окружают тебя, чувствуешь все оттенки звучания. А спускаешься в партер, и как будто затычки в ушах появились».

Кто из двоих прав? Правы — оба. Один привык слушать музыку "из зала". Другой — "из оркестра". У каждого сложились свои эстетические оценки звучания.

А третий, владелец дорогостоящей многоканальной звуковоспроизводящей аппаратуры, считает: *«Музыку надо слушать дома, в спокойной обстановке, наслаждаться ею в одиночку. А в зале всё отвлекает — движения и возгласы соседей, шуршание программок и конфетных оберток. Нет, музыку надо слушать дома".*

А вот ещё одно свидетельство почти непреодолимой трудности воссоздать в жилой комнате атмосферу концертного зала:

*«Даже не слишком удачная акустика зала лучше самой совершенной (*во *всяком случае, на данный исторический момент) электроакустической аппаратуры».*

Это утверждение оправдывается уже фактом отсутствия в зале нелинейных искажений (за исключением экстремальных случаев). Ничто, кроме самого слуха и недисциплинированного шуршания фантиками, не ограничивает динамического диапазона инструментов. Взаимодействие слуха с полем, формируемым реальными инструментами, а не конусом колеблющегося как поршень диффузора, даёт совершенно уникальное, определяемое конкретным способом звукообразования, ощущение. Никогда в домашних условиях вы не прочувствуете настоящего баса. "А как можно ретранслиро-

вать эмоциональную связь публики с исполнителем, ту психологическую атмосферу сопричастности, организующую и подготавливающую дух к общению с искусством?" (журнал "Stereo and video" 1999, статья *"Акустика внутри нас"*)

А теперь сделайте сами вывод — «Где *лучше находиться во время исполнения и слушания музыки: на эстраде, где помещается симфонический оркестр, в зале, а, может быть действительно, дома, в своей комнате?»*

Возникает задача: *Как донести до слушателя, находящегося в домашних условиях, богатство впечатлений, получаемых слушателем в концертном или театральном зале?*

Предложено много способов, чтобы с помощью средств электрической связи и электроакустических преобразователей (громкоговорителей, головных телефонов) передать эти пространственные ощущения и воспроизвести их в комнате слушателя. Рассмотрим два главных.

Первый заключается в том, чтобы воссоздать в комнате слушателя структуру звукового поля, аналогичную той, которая существует в концертном или театральном зале или в студии, т.е. создать у слушателя ощущение нахождения звучащего ансамбля или драматических актёров в комнате слушателя, второй — в том, чтобы "перенести" уши слушателя в зал или студию.

Какой способ лучше, какой создаёт более выразительное впечатление? Что говорят по этому поводу учёные-акустики и психологи? Все они решительно заявляют, что первый способ обречён на провал, но выдвигают при этом разные основания.

Акустики говорят, что выполнить условие тождества полей в зале и комнате невозможно из-за резкого различия размеров и акустических свойств помещений. Психологи добавляют: даже человек, обладающий очень богатым воображением, не может ощущать себя находящимся в зале и переживающим настроения и чувства, свойственные слушателю, находящемуся в зале. Ведь слуховые ощущения в этом случае подкрепляются другими органами чувств. Итак, мечты о переносе концертного зала в комнату слушателя несостоятельны.

Второй способ, по мнению акустиков и психологов, сулит более сильные ощущения. Человек, надев головные телефоны, электрически связанные с двумя микрофонами, находящимися в зале,

ощущает очень сильный эффект будто его уши перенеслись в зал. Действительно, микрофоны воспринимают звуковую информацию, какую получали бы уши слушателя, находящегося в той же точке зала. Правда, зрительные и иные ощущения и в этом случае не передаются.

Способ приёма информации с помощью двух микрофонов "искусственной головы" хорошо известен и используется некоторыми зарубежными вещательными организациями. Специальные передачи этого вида ведутся в поздние вечерние часы, когда воспроизведение звуков с помощью громкоговорителей мешало бы отдыху окружающих и соседей.

Широкому распространению этого способа слушания музыки в домашних условиях препятствуют экономические обстоятельства. Изготовителям бытовой вещательной аппаратуры невыгодно производить маломощные усилители и головные телефоны взамен более мощных и более дорогих усилителей и громкоговорителей. В рекламных целях потенциальным потребителям бытовой аппаратуры внушают: чем больше мощности, чем больше громкоговорителей в комнате, тем лучше.

Справедливости ради, следует указать: в многоканальных системах передачи и воспроизведения звука реализуются весьма интересные, впечатляющие эффекты, особенно при воспроизведении эстрадной музыки. Но это вовсе не те впечатления, которые получает слушатель, находясь в концертном зале.

5.16 Восприятие звучания с позиций исполнителей

Для оркестрантов характер звучания получается иным из-за резко различающихся расстояний от соседних и от более удалённых инструментов. При скученном расположении исполнителей сказывается сильное поглощение звука самими исполнителями.

В особо неблагоприятных условиях находятся солисты-певцы. Певец, чтобы правильно соразмерять звучность своего голоса с общей звучностью ансамбля, должен хорошо слышать себя и своих товарищей по ансамблю. Для этого необходимо, чтобы значительная часть отражённой звуковой энергии возвращалась к нему. Поэтому необходимо, чтобы в зоне расположения исполнителей поглощение звука окружающими поверхностями было сравнительно

небольшим. Оценить условия певческого состояния солиста можно из табл. 5.9.

Таблица 5.9

Время реверберации, Т, с	Условия исполнения (фонации)
Т < 0,5	Исполнение затруднено (певец, чтец, актер, оркестрант) форсирует звук, чтобы услышать себя и поэтому быстро утомляется
0,5 < Т < 1	Исполнение затруднено, но опытный певец может приспособиться к неблагоприятным условиям
1 < Т < 2	Ощущается небольшое неудобство исполнения
2 < Т < 4	Исполнитель поет непринужденно, без напряжения, хорошо чувствует свой голос

Особенно неприятно чувствует себя исполнитель в больших залах, в которых во избежание эха поглощение конструктивными мерами сильно увеличивают. К тому же добавляется поглощение звуков большим количеством слушателей. В этих случаях на эстраде устанавливают громкоговорители (их называют *"мониторами"),* на которые подаётся электрический сигнал, отображающий звучание солистов и всего ансамбля. Уровень звукового давления каждого громкоговорителя устанавливается индивидуально по желанию самого исполнителя.

Иногда для увеличения местного времени реверберации в зоне расположения исполнителей эстрадную площадку окружают хорошо отражающими плоскостями.

5.17 Информативность музыкальных произведений

Французский учёный-психолог Абрахам Моль пишет, что информационная ценность *(содержательность)* художественного произведения зависит не только от его эстетических качеств, но и от других обстоятельств, подчас имеющих социальный характер.

Не вся информация, содержащаяся в рукописном или печатном произведении, оказывается доступной для читателя. "Средний читатель", читающий слова текста, связывает их друг с другом поразному, в зависимости от общего запаса знаний. Он различен для разных людей, принадлежащих к той или иной социальной группе со статистически примерно одинаковым уровнем развития и куль-

турным уровнем. Очевидно, что один и тот же рукописный или печатный текст несёт различное количество информации для людей, говорящих на разных языках, умеющих или не умеющих читать. Образно говоря, каждый извлекает из произведения то, что он может и хочет увидеть в нём. Также очевидно, что человек ищет в сообщении не только смысловую (семантическую), но и художественную (эстетическую) информацию.

Художественные сообщения, как правило, обращаются к людям целой общественной группы. У каждого члена такой общественной группы имеется собственная *"таблица знаний"*. Содержание этой таблицы определяется степенью осведомленности данного человека. В предельном случае: когда человек обладает полным знанием всего сообщения, которое ему передаётся, получаемая им новая информация будет равна нулю. Её избыточность равна 100 %, и сообщение не представляет интереса для получателя. Оно банально.

Однако с художественными произведениями, в том числе музыкальными, дело обстоит не совсем так. Человек, знающий наизусть содержание драматической пьесы или музыкального произведения, всё равно готов смотреть спектакль или слушать музыку в другом исполнении, надеясь на новые оттенки исполнения. Они представят для него не только смысловую, но и эстетическую оригинальность.

Появление новой информации в, казалось бы, известном произведении вызвано наличием в буквенном тексте или нотной записи многих *"степеней свободы",* инвариантностью этих записей.

Буквенная запись драматического произведения не может передать эмоции, заключённые в репликах героев. Тем более несовершенна нотная запись. Даже профессиональному музыканту, читая ноты, трудно представить, как произведение будет звучать. Силой воображения это может "услышать" лишь очень талантливый музыкант. Имеется много обстоятельств, способствующих возникновению вариантов исполнения:

1. Не вполне жесткая система записи, используемая в партиях отдельных инструментов и во всей партитуре в целом.

2. Возможность изменения оркестровки — партии можно перераспределить между инструментами.

3. Нотная запись не описывает тембр звучания. Одной и той же ноте, написанной композитором в партитуре, может соответство-

вать множество звуковых реализаций, обусловленных различием приемов исполнения.

4. Индивидуальные тембровые различия инструментов. Нет двух одинаково звучащих роялей или скрипок.

5. Отступления («вольности»), интерпретации, допускаемые исполнителями или руководителями ансамбля, например, дирижером.

Для исполнителя всегда остаётся свобода творчества. Исполнением можно украсить, но можно и обезличить произведение. Музыкальное произведение — продукт творчества, по крайней мере, двух авторов: композитора и исполнителя. Например, певцу всегда предоставлено право интерпретации. Он может транспонировать мелодию, т.е. повысить или понизить её тональность в соответствии с возможностями его голоса, изменить ритмический рисунок, добавить украшения *("мелизмы").* Если бы исполнитель точно следовал нотной записи, соблюдал бы выверенный темп и ритм, произведение потеряло бы свою прелесть. Музыкальное произведение богаче схемы, представленной нотами.

Особенным богатством содержания отличаются симфонические произведения. Приблизиться к пониманию замысла и содержания большого симфонического произведения можно, лишь только многократно прослушав его. Каждый раз открываются новые стороны, новые подробности, не замеченные при предыдущих прослушиваниях. Даже когда кажется, что *"всё уже известно",* при новом прослушивании возникнут новые впечатления, новые эмоции.

Правда, есть люди, которые воспринимают музыку иначе. Им ненавистно известное в музыке. Они предпочитают всегда совершенно новые звучания. По этой причине они любят музыку импровизационного характера: джаз, поп- и рок-музыку. Привычное, уже известное им неинтересно. Нельзя осуждать их за это. Каждый имеет право на своё восприятие музыки, но свои музыкальные жанры. Каждый жанр имеет право на существование и развитие, если он, действительно, музыкален. Богатство чувств, возбуждаемых в людях музыкой, в значительной мере определяется личностью исполнителя, совершенством исполнения. Чем больше чувств вложит исполнитель в произведение, тем оно будет информативнее. Это утверждение касается любого жанра.

Конечно, человеку не всегда нужна *"высокоинформативная"* музыка, насыщенная образами, идеями, чувствами. Необходимо учитывать текущее психическое состояние слушателя. Усталому человеку, только что вернувшемуся с работы, вряд ли захочется вникать в сложную ткань симфоний. Излишние подробности звучания вызовут пресыщение информацией, для успокоения слушатель предпочтёт размытое, "несфокусированное" звучание.

Наоборот, если человек хорошо отдохнул, не обременён решением деловых или домашних задач, он захочет услышать хорошо детализированное звучание, более сложное по своей фактуре и содержанию. Востребованность различных музыкальных форм существенно зависит от психологического склада, степени развития и текущего состояния человека.

5.18 Роль вещания в музыкальном просвещении и развитии общества

Большое место в распространении музыкальных знаний, в приобщении людей к музыкальной культуре принадлежит звуковому и телевизионному вещанию. Многие произведения музыкальной классики были впервые исполнены в студиях вещания, впервые прозвучали по радио. Модест Ильич Чайковский в своих воспоминаниях написал о том, что радио сыграло огромную роль в пропаганде произведений его гениального брата, познакомило с ними широчайшие круги населения нашей страны. Многие дотоле неизвестные широкому кругу людей музыкальные произведения, впервые "увидели свет", будучи исполнены музыкальными коллективами и солистами Всесоюзного радиовещания и Центрального телевидения.

В.В. Маяковский в стихотворении *"Рассказ рабочего Павла Катушкина о приобретении одного чемодана",* опубликованном в 1928 г. в сборнике "Культурная революция" и в журнале " Экран", писал:

«Накануне получки — пустой карман,
Тем более семейство — нужна ложа.
Подать, говорю, на дом оперу «Кармен»!
Подали, и слушаю, в кровати лёжа...
Завтра — праздник. В самую рань
Слушать музыку сяду я.

Правда, часто играют и дрянь.
Но это — дело десятое...»

Поэт — не совсем прав. Конечно, если по радио играют «дрянь», — дело не десятое. Важно *что* «играют по радио». От содержания музыкальных программ кое-что зависит — настроение человека, состояние его душевного здоровья, работоспособность и даже отношения в семье. Хорошая музыка улучшает настроение, бодрит, успокаивает.

Психологи на ряде примеров показывают, что музыка благоприятно влияет на научное творчество. Русский математик Н. Александров отмечал, что, возвращаясь с концерта, или в перерывах между отделениями концерта, он испытывал творческое настроение и ощущал, что *«именно в эти моменты приходили наиболее ценные мысли».*

Жена академика С. Лебедева, создателя синтетического каучука, вспоминала, что ее супруг, слушая на концерте музыку, вдруг, взволнованный, вынимал записную книжку и тут же, в концертном зале, набрасывал химические формулы или уравнения. Если записной книжки не было, писал на программке или афишке концерта.

Атмосфера симфонических концертов вдохновляла творчество поэтов, писателей, живописцев.

Фонотеки телерадиокомпаний хранят более миллиона музыкальных фонограмм. К сожалению, лишь их небольшая часть используется в программах вещания. Причин этому несколько.

Изменились вкусы, изменились склонности людей. Часть фонограмм уже не представляет интереса для слушателей. Сыграло время написания музыкальных произведений, потерян интерес к некоторым исполнителям. Их исполнение представляется теперь архаичным или несовершенным по своим художественным и техническим качествам.

Единый фонд музыкальных фонограмм был разделен между телерадиокомпаниями, а они неохотно делятся этими богатствами. Стоимость копирования фонограмм неимоверно возросла, и поэтому многие из фонограмм остаются невостребованными. Телекомпании предпочитают покупать музыкальные фонограммы за рубежом. Это оказывается дешевле.

Снизилась музыкальная культура общества, особенно его молодой части. Этому в немалой степени способствовала расширяю-

щаяся привычка слушания музыки *"на ходу"* с помощью низкокачественных приемников, именуемых *"мыльницами",* и носимых проигрывателей компакт-дисков — плейеров.

Большой вред искусству нанесла коммерциализация музыки. Она коснулась и музыкального вещания. Музыка в вещании всё чаще используется в виде *"музыкальных прокладок",* "перебивок" между информационными, пропагандистскими и рекламными передачами, некоего "фона" в таких передачах.

Музыка стала привычным атрибутом существования. Постоянно сопровождая человека, музыка перестала замечаться. Её слышат, но не слушают. Произошло снижение интереса к классической музыке, даже не к отдельным её произведениям, а к целому пласту искусства. Возникла своеобразная обратная реакция: ухудшение музыкального вкуса слушателей повлекло за собой снижение профессионального уровня музыкантов-исполнителей. Как цинично заметил один конферансье: *"Пипл всё схавает".*

Правда, действует и обратная тенденция. На телевидении возникла программа "Культура", в звуковом вещании действует музыкальная программа "Орфей". Но воздействие этих программ на общество ничтожно мало. По свидетельству сотрудника "Эха Москвы" программу "Орфей" даже в Москве слушают лишь 2...3 % населения. А "далеко от Москвы" эта программа вообще не слышна, так как для её передачи не выделяют радиостанций. Почти в каждой стране Западной Европы музыкальные программы передают, по меньшей мере, две радиостанции. Будем надеяться, что и в нашей стране положение изменится к лучшему. Ведь положительные музыкальные образы, возникающие в сознании людей, пусть в некоторой степени влияют на формирование положительных черт общества.

Поэт А. Дементьев написал стихотворение, которое заканчивается словами: *"Пусть флейтист гениально играет на флейте, Но ещё гениальные слушаем мы".*

В этих строчках заключена мысль: слушатель должен быть достоин автора и исполнителя, должен понимать гениальную музыку. Научить слушателя понимать музыку — идеал, к которому должны стремиться работники вещания. Любое приближение, к этому результату станет их большим достижением.

6. ВОСПРИЯТИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ШУМОВ

6.1 Классификация шумов

По происхождению различают *природные, промышленные* (техногенные) и *бытовые* шумы. К природным относятся шелест листьев, журчание воды в ручье или реке, шум дождя, пение птиц и крики животных, свист ветра, гром. К производственным — шумы двигателей, станков, мощных вентиляторов, "гудение" сердечников силовых трансформаторов, различных технических устройств в аппаратных залах (щелканье реле, треск телеграфных аппаратов). К производственным примыкают шумы транспортных средств (поездов, трамваев, автомобилей, двигателей самолетов и т.д.). Бытовые шумы создаются голосами людей, звяканьем посуды, действием домашних электроприборов (холодильников, бытовых компьютеров, кондиционеров, пылесосов). Шумы проникают в жилые комнаты из соседних квартир и с улицы. Значительный шум создают радиоприемники и телевизоры.

Порой трудно отличить один шум от другого. Пятилетний мальчик, войдя солнечным днём в соседнюю квартиру, удивлённо спросил: "Что это: у вас в квартире идёт дождь?". А услышал он шипенье сосисок, поджариваемых на сковороде.

6.2 Исследование шумов

Для исследования шумов применяют различные приборы. Наиболее сложные из них — анализаторы спектра и самописцы-осциллографы. Во-первых, анализаторах спектра результаты анализа представлены распределением интенсивности шума по частоте, во-вторых — с записью, регистрацией на бумаге или ином носителе.

Более простым и потому более распространенным прибором является *шумомер.* Спектр шумов сложен, а изменения интенсивности во времени случайны. Поэтому интенсивность шума оценивают по мощности. Для этого при измерениях используется квадратичный участок вольтамперной характеристики примененных в выпрямителе (детекторе), электронных приборов (ламп, транзисторов, полупроводниковых диодов). Для оценки интенсивности по слуховому действию в шумомере имеются контуры (фильтры), имитирующие АЧХ слуха при разных значениях интенсивности, т.е. с

учетом разной чувствительности слуха к звукам разных частот. Поэтому результат измерения выражен не в единицах уровня звукового давления — *децибелах,* а в единицах уровня громкости — *фонах.* Так как слуховое ощущение зависит и от длительности раздражения, в прибор вводят переключаемые интегрирующие цепи с различными постоянными времени в соответствии с видом исследуемых звуков: импульсные, непрерывные шумы, речь, музыка. Итак, эти измерения проводятся с учетом частотных и временных свойств слуха.

Обычно имитируются три вида АЧХ слуха, обозначаемые как кривые *A, B, C.* Характеристика *A* приближенно обратна кривой, равной громкости слуха (изофоне) при уровне громкости *L = 40* фон. Ее применяют при измерении тихих звуков с уровнями громкости 20...55 фон. При измерении уровней средней интенсивности (55...85 фон) используют характеристику *B*, приближенно обратную изофоне 70 фон. Практически горизонтальная характеристика *C* понадобится при измерении уровней громкости более 85 фон. Если имеются сомнения в оценке уровней, измерения проводят при двух положениях переключателей контуров *(фильтров),* и из двух полученных значений уровня выбирают большее. Результат измерений складывается из десятков фонов, определяемых по шкале переключателя чувствительности, и единиц, отсчитываемых по шкале стрелочного показывающего прибора.

Структурная схема шумомера изображена на рис. 6.1, где обозначено: РЧ — регулятор чувствительности, УЧЗ — усилитель звуковой частоты, В — выпрямитель (детектор), ИЦ1 — ИЦ3 — интегрирующие цепи с различными постоянными времени т, А, В, С — контуры (взвешивающие фильтры), ПП — показывающий прибор.

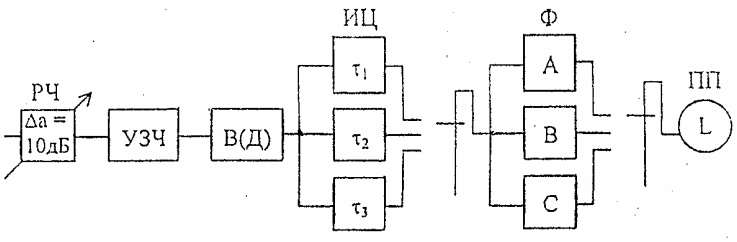


Рис. 6.1

Важная практическая задача — анализировать шумы различных технических устройств. В большинстве случаев это делается

"на слух". Водитель автомобиля оценивает состояние двигателя по изменению его звучания. Так же оценивает работу турбины или дизеля пароходный механик. Продавец демонстрирует покупателю целость стеклянной посуды по ее звону. В результате разработки алфавита и "языка" шумов различных двигателей удалось создать автоматы, анализирующие состояние машин, и по изменению их шума позволяющие определять неисправности или сигнализировать об их приближении и тем самым облегчить труд обслуживающих эти машины людей. На очереди — автоматическое изменение режима машин и механизмов или переход на Резерв.

6.3 Нервно-психическое и физиологическое действие шумов

Примерные значения уровней громкости различных шумов приведены в табл. 6.1. Нервно-психическое и физиологическое воздействие шумов на человека зависит от спектра шума, длительности воздействия, индивидуального отношения данного лица к шуму.

Таблица 6.1

Источник шума	Уровень громкости, фон
Реактивный самолет, вблизи	128…130
Котельный цех (клепка)	100…105
Удар грома	100
Фортиссимо оркестра	90…100
Поезд метро	85…90
Телеграфный зал	75…80
Оратор, 1 м	70…80
Зал театра	40…50
Пианиссимо оркестра	35…40
Столовая во время обеда	45…48
Шумная жилая комната	40…50
Тихая комната	25…30
Шепот, 1 м	20…25
Читальный зал	25…30
Шелест листьев	20

Природные шумы в большинстве случаев благоприятно влияют на человека. Они эволюционно, исторически знакомы слуховой системе. Она уже давно, по крайней мере, с момента появления человечества, настроена на них. В Японии разработан прибор, имитирующий звук дождевых капель. Будучи вмонтирован в подушку, он помогает усталому человеку заснуть. В ряде стран выпускают магнитофонные кассеты и компакт-диски с записью природных шумов разных местностей. Существует т.н. *"экологическая музыка", в* которой спокойная музыка перемежается композициями из различных природных звуков.

Однако некоторые природные шумы вызывают у людей с разной психикой противоположные эмоции. Шум дождя или льющейся воды одних успокаивает, даже вызывает дремоту, других раздражает. Удары грома одних возбуждают, радуют *("Люблю грозу в начале мая...")*, других пугают. Такие стремятся *"забиться в любую щель",* лишь бы не слышать грома.

Говорят, человек привыкает к шуму города. Это неправда. Постоянный, ровный шум, будто даже не замечаемый, порождает чувство непрестанной усталости, казалось бы, беспричинную раздражительность и даже злость. Особенно неприятны импульсные шумы — громкий выхлоп автомобильного двигателя, визг охранно-сигнальных автомобильных устройств, хлопанье двери.

По-разному воспринимаются производственные шумы. Отмечено, что работающим на шумящих агрегатах шум мешает меньше, чем людям, находящимся поблизости, но занятым на тихих операциях. При производственных операциях, связанных с напряженным вниманием *(сборка точных механизмов и приборов, расчетно-конструкторская работа, настройка аппаратуры, отыскивание повреждений),* даже небольшой шум и, особенно, разговор отвлекают внимание и могут послужить причиной грубых ошибок.

Особенно опасно воздействие шума на операторов, управляющих сложными техническими или военно-техническими комплексами, военным или гражданским кораблем, подводной лодкой, самолетом, движением поездов, энергосистемой. Важно знать, как оператор будет вести себя в условиях, затрудняющих его деятельность. Возникает психологический вопрос о *"помехоустойчивости"* оператора.

Помехи могут быть различными. Одни действуют постоянно, в течение всего рабочего дня, другие случайны (например, неожиданный разговор, отвлекающий внимание на небольшой срок). Одни за-

трагивают лишь единственную функцию, т.е. действуют избирательно, другие нарушают несколько функций. Одна помеха вызывает лишь кратковременный "сбой" деятельности оператора, другие влияют длительно. В зависимости от конкретных условий, характера личности, тренированности оператора один и тот же мешающий раздражитель вызывает различные отклики. Например, шум значительной интенсивности вызывает снижение чувствительности слуха на большой срок (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Уровень звукового давления шума, дБ	Длительность действия шума	Длительность восстановления первоначальной чувствительности слуха, час
120	1 час	5
120	4 часа	20
140	2 мин	24

Шум большой интенсивности сказывается на психических и физиологических функциях: уменьшается скорость и точность двигательных *(сенсомоторных)* процессов. Особенно ухудшается точность движений со сложной координацией, увеличивается длительность решения интеллектуальных задач, возрастает количество ошибок.

На графике рис. 6.2 показано влияние среднечастотного шума с уровнями звукового давления 80, 90 и 100 дБ на концентрацию внимания. По горизонтальной оси отложено время в часах, прошедшее после двухчасового воздействия шума, по вертикальной оси — процент правильно решенных задач, связанных с переключением и распределением внимания. Приводимые данные столь убедительны, что не нуждаются в комментариях.

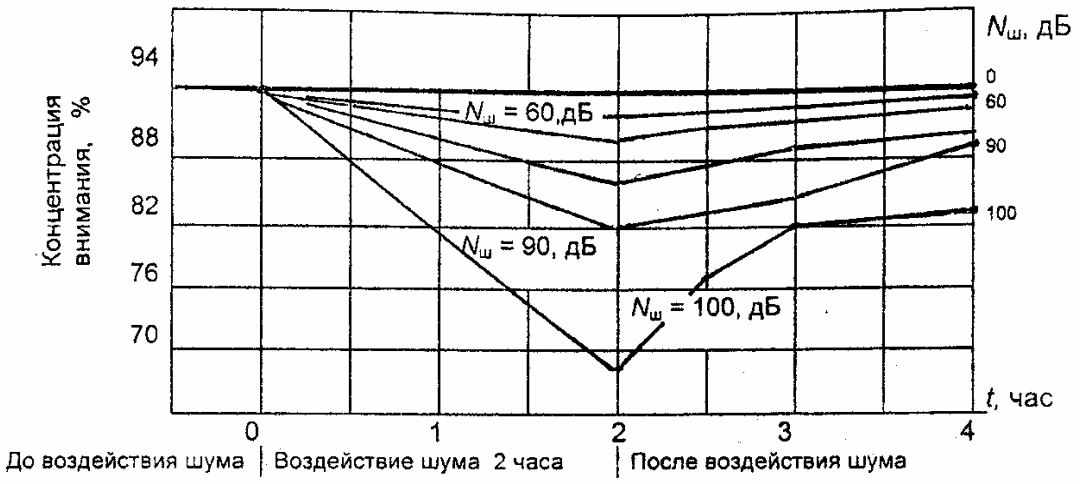


Рис. 6.2

Мешающее действие непрерывного ("гладкого") шума на восприятие речи иллюстрируется рис. 6.3. График изображает зависимость уровня звукового давления речи N_c от уровня шума $N_ш$ при сохранении разборчивости, свойственной речи в отсутствии шумов.

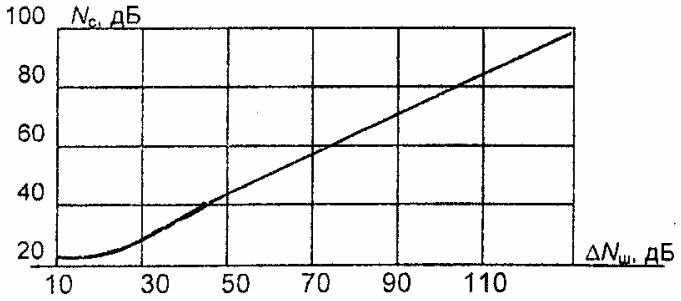


Рис. 6.3

Шум с уровнем 20...25 дБ не вызывает потребности повысить уровень звукового давления речи. При уровне шума более 40 дБ уровни речи для сохранения равной разборчивости должны расти пропорционально увеличению уровня шума. *Ю.С. Быков,* выявивший эту связь, обнаружил, что шум влияет не только на уровень звукового давления говорящего как результат непроизвольного слухового контроля, но и на спектр речи. Говорящий непроизвольно изменяет спектр речи с целью противостоять маскирующему действию шума.

Шум ухудшает художественное впечатление при слушании музыки. Чтобы шум совершенно не мешал восприятию музыки, его уровень должен быть на 10...20 дБ ниже минимального уровня музыки. В домашней обстановке это почти невыполнимое условие. Удовлетворяются тем, что минимальные уровни музыки находятся на уровне шумов.

Если помеха широкополосная, то даже при большом превышении ее общего уровня над уровнем прослушиваемого тона последний будет услышан, т.к. уровень помех, находящихся в пределах критической полоски, в которой содержится и прослушиваемый тон, может быть сравнительно небольшим. При помехе с равномерным спектром с составляющими от 100 до 5000 Гц тон будет услышан, даже если уровень помехи превышает уровень тона на 15 дБ.

Постоянное действие шума приводит к стойкому уменьшению чувствительности слуха. Особенно страдает слух у клепальщиков, операторов пневматических (отбойных) молотков, машинисток, работниц ткацких фабрик, артиллеристов, представителей некоторых творческих профессий — музыкантов эстрадных групп, звукорежиссёров. Начинающие звукорежиссёры после напряжённого слушания музыки 1,5...2 часа испытывают головную боль, чувство тошноты, повышение артериального давления.

Стойкая потеря слуха, возникающая, из-за длительного воздействия акустических шумов большой интенсивности, иллюстрируется рис. 6.4. На нём графически показано снижение чувствительности слуха по сравнению с нормальной, у лиц некоторых профессий: *1* — у работниц ткацких фабрик, *2* — у артиллеристов. Для сравнения цифрой *3* помечена зависимость от частоты потери слуха у пожилых людей, страдающих атеросклеротическим поражением органа слуха.

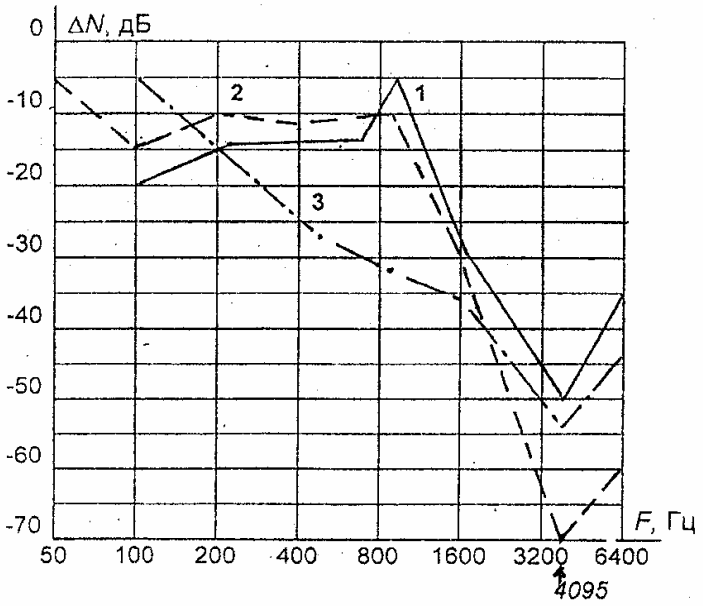


Рис. 6.4

На приведенных аудиограммах характерен спад чувствительности слуха на частоте 4096 Гц. Физиологических объяснений спаду чувствительности именно на этой частоте в литературе не приводится, остаётся предположить, что этот спад вызван какими-то особенностями проведения исследований.

6.4 Санитарные нормы на уровни громкости

Различие шумов, разнообразие ответных реакций людей на них не позволяют сколько-нибудь определенно установить допустимые уровни и длительности воздействия шумов. Врачи-гигиенисты всё же твердо считают, что шум с уровнями громкости 70...75 фон ещё допустим. Он не вызывает органических изменений слуха. Считается, что такой уровень громкости является привычным для человека. Шум с уровнями 80...85 фон, несомненно, приносит вред.

Исходя из конкретных производственных условий, были разработаны предельные нормы. Допустимые уровни установлены для диапазона частот от 63 до 8000 Гц. Нормы дифференцированы для разных октавных полос, средние частоты которых указаны в табл. 6.3.

Таблица 6.3.

Наименование нормы	Уровень шума, дБ, в октавных полосах со средними частотами в герцах							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ПС-45	71	61	54	49	45	42	40	38
ПС-55	79	70	63	58	55	52	50	49
ПС-70	89	82	77	73	70	68	66	65

Интенсивность шума нормирована в единицах уровня звукового давления, т.е. в децибелах. Для обозначения вида норм по областям применения использован символ ПС *("предельный спектр")*. Следующее за этими буквами число указывает уровень звукового давления в октавной полосе со средней частотой 1000 Гц. Приводим данные норм ПС-45, ПС-55, ПС-70.

Норма ПС-45 установлена для помещений без собственных источников шума, в которых производится умственная работа (конструкторские бюро, комнаты программистов, помещения для теоретических занятий, читальные залы). Норма ПС-55 — для помеще-

ний, предназначенных для конторской работы, коммутационных залов АТС, залов абонентского телеграфа, лабораторий без источников собственных шумов (источниками шума являются только люди), ПС-70 — для лабораторий с источниками шума, мастерских и лабораторий, где производится настройка и ремонт приборов.

Допустимый уровень шума, проникающего в студии звукового вещания на должен превышать 20 дБ над порогом слышимости. Для студий телевизионного вещания разные источники называют несколько большее значение — 20...30 дБ.

6.5 Загрязнение слуховой среды обитания

Бытовые (квартирные) шумы давно уже стали причиной головных болей, бессонницы, плохого настроения. Даже небольшой шум может раздражать. *"Не звякай ложкой"* — кричит уставшая мать сыну. Особенно болезненно реагируют на шум холодильника, лифта за стеной, вопли противоугонных автомобильных устройств и лай собак за окном больные и пожилые люди. Негромкий шум автомобильного двигателя раздражает во время домашнего отдыха, а ночью может стать вовсе невыносимым. По этой причине порог слышимости у городских жителей выше, чем у сельских. Даже музыка может послужить причиной сильных нервно-психических и физиологических реакций.

В последние десятилетия врачи всё чаще выявляют ослабление слуха, особенно на верхних частотах, у молодых людей, слушающих музыку на головные телефоны из воспроизводящих устройств — плейеров. Это явление возникает при пиковых значениях уровня звукового давления, приближающихся к 100 дБ. Обследования показали: если каждую неделю слушать громкую музыку по 4 часа, то через 2 года наступает невосполнимая потеря слуха. Одновременно диагностируется расшатывание нервной системы.

Наряду с шумами отрицательно действуют на человека иные причины, пока не имеющие точного словесного выражения. Назовем их *информационным шумом.* Это — различные речевые или музыкальные сигналы, излишне, нежелательно нагружающие органы слуха и мозг человека. Словесная или музыкальная информация, мало организованная семантически или эстетически, угнетающе или раздражающе воздействует на интеллектуальную, эмоциональную, а иногда и на физиологическую сферу человека. Раздражают

неприятный тембр голоса, плохая дикция, вульгарная манера речи, оговорки т.н. "ведущих", крикливая, надоедливая реклама, примитивная музыка, много раз повторяющиеся музыкальные заставки.

Часть 2. ЗРЕНИЕ И ИЗОБРАЖЕНИЕ

7. СВОЙСТВА ОРГАНОВ ЗРЕНИЯ

7.1 Исторические корни учения о свете и цвете

Людей с давних времен интересовали явления, связанные со светом. Попытки истолковать природу и свойства света предпринимались с глубокой древности.

Известный ученый, президент Академии Наук СССР С.Н. Вавилов назвал *провозвестником учения* о свете фараона *Аменхотепа IV* (XIV век до нашей эры). Фараон решил, что свет исходит не от божества Амона, провозглашенного официально богом света, а от Солнца, и повелел поклоняться солнечному диску Атону. Он даже сменил свое имя на *Эхнатон* — Угодный Атону. Жрецы прокляли фараона-отступника, и он рано умер, не выдержав борьбы с ними.

Евклид (III век до н.э.) в трактатах *«Оптика»* и *«Катоптика»* излагал мысль о том, что глаз испускает *«зрительные лучи».* Они ощупывают рассматриваемый предмет и возвращаются обратно. Лукреций в поэме «О *природе вещей»* придерживался противоположного взгляда. Он полагал, что предмет создает и испускает тончайший слепок *(«призрак»),* который направляется в глаз.

Восемь веков спустя после Аменхотепа великий древнегреческий философ Демокрит решил дать материалистическое, атомистическое истолкование природы света. Демокрит поведал, что *"от всех тел происходит мгновенное истечение образов, воздух между предметом к глазом уплотняется и, принимая окраску, отражается в глазу"*. Четыре основных цвета — белый, черный, красный и желтый — определяются формой атомов. Белый порождается поверхностью гладкой, как нутро раковины, в которой атомы так плотно пригнаны друг к другу, что даже не отбрасывают тени, черный — поверхностью пористой и шероховатой, красный — атомами сферической формы и т.д. Зеленый цвет он объявил смесью красного и желтого. Сочетаниями цветов он объяснял и другие цвета. *«А вообще цвета в природе нет, все эти явления возникают в глазу от соприкасания, очертания* (формы, сказали бы мы) *и поворотов атомов».* Исследователи последующих времен назовут эти взгляды *"вещевым и осязательным абсолютизмом и эстетикой от физики"*. Даже в одном сравнительно новом учебнике физики содержится утверждение, что *«явление цвета не относится к фи-*

зике как к таковой. Цвет есть мнение, ощущение, а ощущения разных цветов в различных условиях различны».

В наше время природа света считается двойственной. В одних проявлениях свет ведет себя как частицы, кванты, в других — как волна.

Первой точки зрения придерживались Галилей и Ньютон, второй — Гюйгенс, Ломоносов, Юнг, Френель, Максвелл. Когда в 1920 г. Эйнштейн спросил выдающегося датского физика Нильса Бора, что такое свет, Бор отшутился: *"Обратитесь к немецкому правительству, и пусть оно издаст постановление, либо, что свет — это волна, и запретит пользоваться фотоэлементами, либо что свет — это корпускулы, и тогда запретит пользоваться дифракционными решетками"*. Бор и де-Бройль пытались примирить оба взгляда, разработав квантовую электродинамику. В ней утверждалось, что свет — это волна, но действует так, словно состоит из частиц. Современные физики признают, что их не устраивает синтез двух теорий. Считают, что природа света получит в будущем новое, совершенно неожиданное толкование. Нынешнее толкование цветовых явлений совсем недавно объявлялось *субъективным идеализмом.*

Краткое обращение к истории вопроса необходимо для того, чтобы читатель понял, что в истолковании явлений света и, тем более, физиологических и психологических сторон этих явлений есть еще много неясного и спорного.

7.2 Строения глаза

Глаз имеет примерно сферическую форму с диаметром около 2,5 см (рис. 7.1).

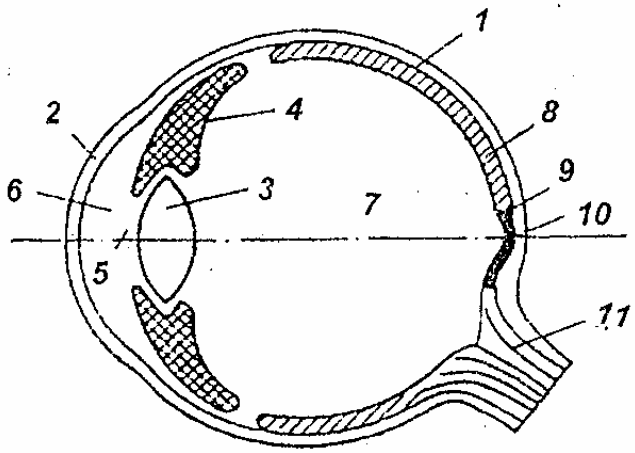


Рис. 7.1

Внешняя прочная оболочка, называемая *склерой 1,* защищает глаз от внешних воздействий. Передняя часть склеры — *роговица 2* — прозрачна. За роговицей располагается *хрусталик 3* — прозрачное упругое тело, имеющее форму двояковыпуклой линзы. Коэффициент преломления хрусталика n_0 = 1,4. Хрусталик прикрыт *радужной оболочкой 4.* В её середине находится круглое отверстие – *зрачок 5.* Диаметр зрачка без участия сознания человека, непроизвольно меняется при изменении освещенности. Тем самым осуществляется регулирование светового потока, поступающего в глаз, – *адаптация* — защита от чрезмерной световой нагрузки. Пространство между роговицей и радужной оболочкой называют *передней камерой 6.* Оно заполнено прозрачной, камерной влагой с коэффициентом преломления n_0 = 1,34. Вся полость глаза за хрусталиком заполнена прозрачной студенистой жидкостью, называемой *стекловидным телом* с n_0 = 1,4. Роговица, камерная влага, хрусталик и стекловидное тело образуют оптическую систему глаза с фокусным расстоянием 18,9...22,8 мм. С ее помощью изображение наблюдаемого объекта проецируется на внутреннюю оболочку глаза, называемую *сетчаткой (ретиной) 8.*

Кривизна поверхности хрусталика меняется под воздействием охватывающей его со всех сторон мышцы. Этим осуществляется *аккомодация* — получение на сетчатке наиболее четкого изображения объектов, находящихся на различном расстоянии от глаза. При нормальном зрении изображение точно фокусируется на сетчатке (рис. 7.2, а). С возрастом и под воздействием других причин способность управлять кривизной поверхности хрусталика ослабевает. Возникают недостатки зрения, именуемые *близорукостью* (рис. 7.2, б) или *дальнозоркостью* (рис. 7.2, в). Первый недостаток исправляют очками с вогнутыми линзами, второй — с выпуклыми.

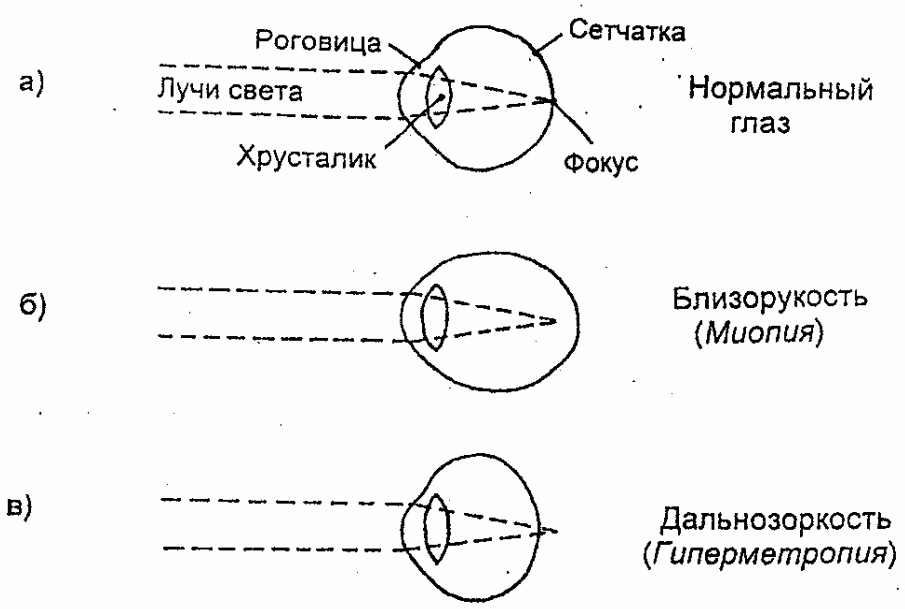


Рис. 7.2

Преломляющую способность линз характеризуют *оптической силой.* Это число, обратное фокусному расстоянию f, выраженному в метрах φ =1/f. Единицей оптической силы является *диоптрия (di-opter в* переводе с греческого означает *"видящий насквозь").* Оптической силой в одну диоптрию обладает линза с фокусным расстоянием f = 1 м. Оптическую силу вогнутых линз (для близоруких) обозначают цифрой со знаком минус, например, – 3 диоптрии. Оптическую силу выпуклых линз (для дальнозорких) — цифрой со знаком плюс.

Сетчатка содержит светочувствительные элементы двух видов: *колбочки* и *палочки* (названия даны по их форме). Колбочки создают ощущения яркости и цвета светового потока, палочки реагируют только на яркость светового потока, но не на цвет. Они обладают большей чувствительностью, чем колбочки, и позволяют воспринимать небольшие яркости. При достаточно большой яркости (примерно более 1 кд/м^2) в процессе видения участвуют, главным образом, колбочки *(дневное* или *фотопическое видение).* При яркости менее 0,1 кд/м^2 в процессе видения участвуют только палочки *(сумеречное* или *скотопическое видение),* и глаз не различает цвета, зрение оказывается ахроматическим (бесцветным). При промежуточных яркостях в процессе зрения участвуют и колбочки, и палочки (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Яркость поверхности, кд/м^2	$3{,}2\cdot10^{-3}$	$9{,}5\cdot10^{-2}$	0,32	1,8	4,8	10
Доля участия колбочек	0,08	0,18	0,40	0,62	0,73	0,82
Доля участия палочек	0,92	0,82	0,60	0,38	0,27	0,18

Общее количество колбочек около 7 млн, общее количество палочек — примерно 130 млн. Наиболее плотно колбочки размещены в центральной части сетчатки, называемой *фовеа* или *желтым пятном 9* (рис. 7.1). Угловой размер этой области — около 5°, а линейный размер примерно 1,5 мм. Средняя часть желтого пятна называется *центральной ямкой 10.* Её угловой размер — порядка *V.* Диаметр колбочек в центральной ямке 0,001 мм, к периферии больше, примерно 0,005 мм. В области желтого пятна глаз обладает наибольшей остротой зрения и наилучшим восприятием цвета. Поэтому глазное яблоко находится в непрерывном движении, так чтобы рассматриваемая часть объекта приходилась на желтое пятно. В этой области нет палочек, по мере удаления от желтого пятна плотность палочек увеличивается, но потом уменьшается.

От коры головного мозга к глазу подходит *зрительный нерв 11* (рис. 7.1). Он разветвляется по сетчатке отдельными нервными волокнами. В центральной впадине сетчатки к каждой колбочке подходит одно нервное волокно. По мере удаления от центральной ямки одно волокно приходится на 2 – 3 светочувствительных элемента, а на периферии желтого пятна одно волокно соединено уже с группой колбочек и палочек. Общее число волокон зрительного нерва — около 1 млн.

Структура тракта передачи нервного раздражения в мозг изображена на рис. 7.3. В области *зрительного перекрестка* половина волокон нерва переходит на противоположную сторону.

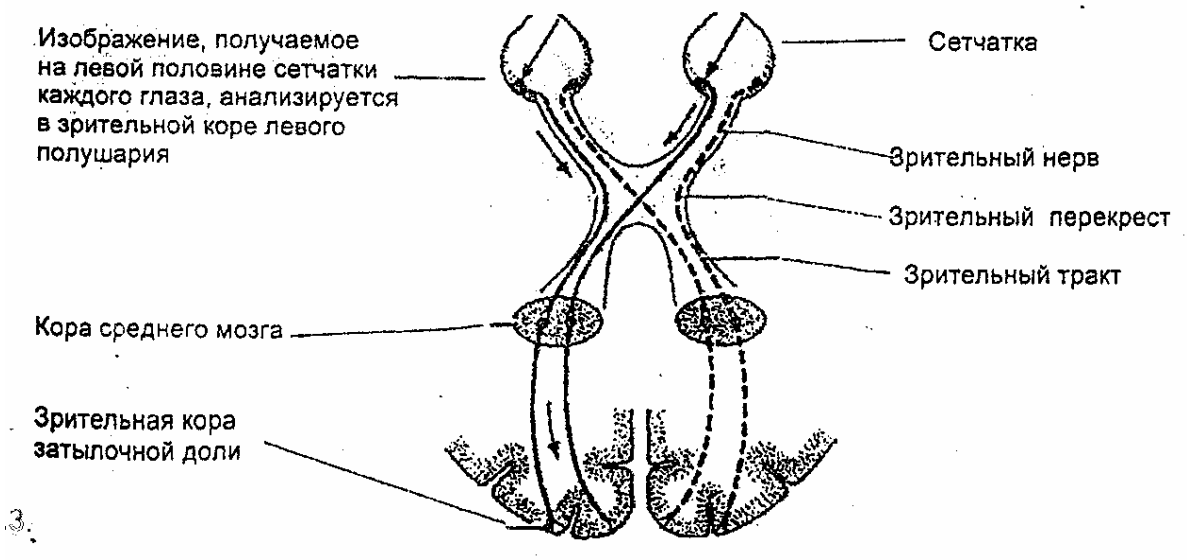


Рис. 7.3

В результате волокна каждого нерва связаны с двумя полушариями мозга, причем изображение, получаемое на левой половине сетчатки каждого глаза, анализируется в зрительной коре левого полушария, а на правой половине сетчатки — в коре правого полушария. *Зрительный центр* находится в коре затылочной доли мозга.

7.3 Абсолютные пороги чувствительности

Анализаторы действуют в некоторых пределах изменения интенсивности раздражения. Наименьшее значение этой интенсивности, вызывающее едва заметное (пороговое) ощущение, называют *нижним абсолютным порогом чувствительности,* по которому судят об абсолютной чувствительности анализатора к интенсивности раздражения. Наибольшее возможное значение — *верхний абсолютный порог* — характеризует *"перегрузочную способность"* анализатора.

Для зрительного анализатора эти пороги составляют соответственно 10^{-4} кд/м^2 и 10^4 кд/м^2. Иногда называют меньшее значение нижнего порога 10^{-5} и даже $3 \cdot 10^{-6}$ кд/м^2. Итак, отношение нижнего и верхнего порогов превышает 10^8 (160 дБ). Для сравнения: диапазон изменения уровня звукового давления от порога слышимости до болевого порога на средних частотах составляет примерно 120 дБ. У слуха механизм адаптации к интенсивности раздражения менее развит, чем у зрения.

Большой перепад значений яркости, создающих зрительные ощущения, обусловлен регулирующим действием зрачка. Измене-

ние диаметра зрачка уменьшает эти перепады. В результате глаз приспосабливается к яркости, преобладающей в поле зрения. Поверхности с яркостью более средней представляются светлыми, а поверхности с яркостью менее средней — темными. Для каждого значения яркости, к которой адаптируется глаз, имеется некоторое значение яркости, создающее ощущение черного, а диапазон яркостей, создающий перепады от черного до белого, зависит от значения средней яркости.

Обнаружено, что в условиях темновой адаптации, когда зрачок максимально расширен, глаз реагирует даже на одиночные кванты электромагнитной энергии. Некоторые космонавты наблюдали вспышки света под воздействием космических частиц, проникающих в кабину корабля – спутника Земли сквозь стены кабины.

7.4 Относительные *(дифференциальные)* пороги чувствительности. Количество различимых градаций яркости

Органам чувств свойственно своеобразное квантование ощущений. Они реагируют не на всякое изменение интенсивности раздражения, а на его определенное изменение. Наряду с абсолютными существуют относительные (дифференциальные, разностные) пороги. Применительно к зрению говорят о *контрастной чувствительности глаза,* т.е. о способности органов зрения различать перепады яркости.

Если в поле зрения находятся две соприкасающиеся поверхности, яркости которых равны B_1 и B_2 (рис.7.4), то различие их яркостей $\Delta B = |B_1 – B_2|$ станет заметным тогда, когда ΔB превысит $\Delta B_{пор}$. В некотором диапазоне яркостей (примерно от 80 до 320 кд/м^2) пороговая контрастность $\delta=\Delta B/B$ остается примерно постоянной величиной. В зависимости от условий проведения опытов δ = 0,01... 0,05. Сказываются размеры, форма и цвет сравниваемых полей, длительность наблюдения, а также значения яркости фона $B_ф$ (рис. 7.4). Однородный по яркости фон встречается редко, поэтому во внимание принимается интегральная (усредненная по площади фона) яркость, к которой адаптируется глаз.

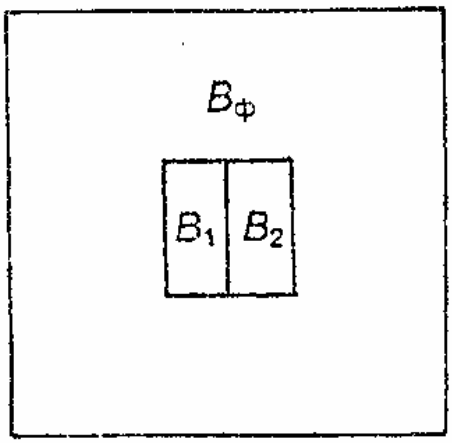


Рис. 7.4

Величину, обратную пороговой контрастности, называют *контрастной чувствительностью глаза.* Число различимых градаций яркости в диапазоне от $B_{\min}$ до $B_{\max}$ определяется из выражения

$$m = 1/\delta \ln K ,$$

где $\delta = \Delta B/B$ — пороговая контрастность, $К = B_{min}/B_{max}$ — контраст объекта (изображения).

Пусть $\delta = 0{,}02$, $K = 70/0{,}7 = 100$. Тогда $m = 230$. Числовое значение δ соизмеримо с дифференциальным порогом различения интенсивности звука (0,05), а число различимых градаций яркости — с числом различимых слухом градаций интенсивности звука на средних звуковых частотах (по разным данным от 250 до 324). Этим "совпадениям" не следует удивляться: ведь конечным звеном переработки информации о внешнем мире служит один и тот же орган — кора головного мозга.

Отметим, что исследования относительных порогов проводились с учетом вероятностных соображений. Результат считался достоверным, если он подтверждался 75 % наблюдателей.

Приведенные выше значения контрастной чувствительности являются усредненными. Так, в опытах Гельмгольца было получено $\Delta B/B = 0{,}006$ (0,6 %), в опытах Бугера — 0,015 (1,5 %). Столь большие расхождения объясняют различными условиями опытов: разной величиной, разной формой и цветом объектов наблюдения, разной яркостью фона. Более подробными исследованиями было обнаружено, что постоянство отношения $\Delta B/B$ сохраняется в ограниченном диапазоне яркостей от 7 до 700 кд/м^2. За пределами этого

диапазона яркостей контрастная чувствительность глаза уменьшается.

Количество различимых градаций яркости важно для разработок систем и устройства передачи изображения электрическим путем.

7.5 Разрешающая способность и острота зрения

Способность органа зрения различать небольшие объекты выражают такими понятиями, как разрешающая способность и острота зрения.

Разрешающую способность определяют наименьшим углом наблюдения, при котором две черные линии на белом фоне различаются с заданной вероятностью (чаще всего 75 *%).* Толщина линий выбирается равной ширине промежутка между ними (рис.7.5). Для нормального зрения $\varphi_{min} \approx 1'$.

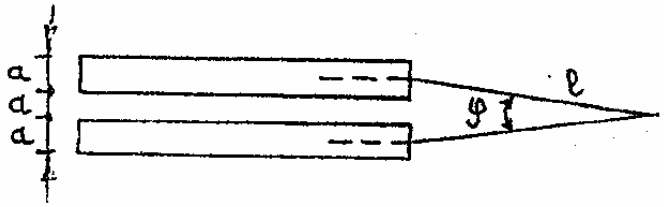


Рис. 7.5

Величину, обратную разрешающей способности, называют *остротой зрения* $s = 1/\varphi$. Острота зрения равна единице, если $\varphi=1'$. Разрешающая способность органа зрения зависит от яркости и цвета фона, длительности наблюдения, размера рецепторных полей. Разрешающая способность больше в однородных цветных лучах и максимальна при желтом цвете (λ = 0,58 мкм). При яркости фона 30...40 кд/м^2 размеры рецепторных полей минимальны. При дневном освещении их количество увеличивается, что улучшает разрешающую способность. При чтении и работе с мелкими деталями рекомендуют освещенность примерно 100 лк, чему как раз соответствует указанная яркость фона. При ночном зрении размеры рецепторных полей увеличиваются примерно до 1°, и разрешающая способность значительно ухудшается.

Обнаружено, что острота зрения повышается в отсутствии силы тяжести (силы гравитации). Космонавты, находящиеся в кораблях-спутниках на орбите, различают на Земле такие мелкие объекты,

которых в земных условиях обнаружить не удаётся. Физиологическая причина этого явления пока не объяснена.

7.6 Бинокулярное зрение

В результате зрения двумя глазами возникает достоверное суждение о глубине расположения объектов, их пространственной форме и объеме. Механизм сведения оптических осей глаза на наблюдаемом объекте называется *конвергенцией* (сведением), а угол, под которым пересекаются оптические оси глаз — *углом конвергенции.* При сведении осей на каком-либо объекте одновременно меняется аккомодация, чтобы сфокусировать изображение объекта на сетчатке.

7.7. Инерционность зрительного ощущения

Фотохимические процессы в зрительном органе занимают некоторое время. Поэтому зрение не сразу реагирует на изменения яркости. После начала воздействия света зрительное ощущение нарастает за 0,1...0,25 с (нарастание слухового ощущения совершается примерно за 0,16 с). Чем больше яркость, тем быстрее растет зрительное ощущение. Процессы нарастания и спадания ощущения иллюстрируются рис. 7.6. Интенсивность ощущения определяется частотой возбуждаемых нервных импульсов. Первоначальный скачок ощущения объясняется тем, что адаптация к свету совершается не мгновенно. Скачок ощущения после прекращения действия источника света вызван попыткой зрительного анализатора поддержать ощущение яркости расширением зрачка.

На инерционности зрения основаны такие технические виды искусств, как кинематограф и телевизионное вещание.

Если на орган зрения воздействуют кратковременные периодические вспышки света (рис. 7.7), то возникающее ощущение существенно зависит от частоты и скважности световых импульсов.

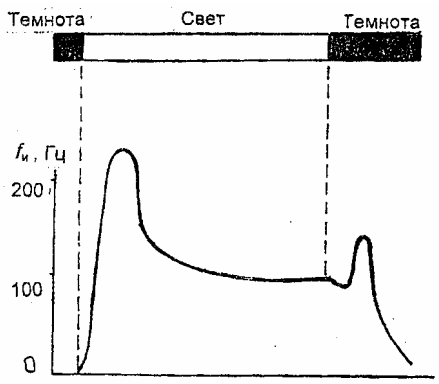


Рис. 7.6

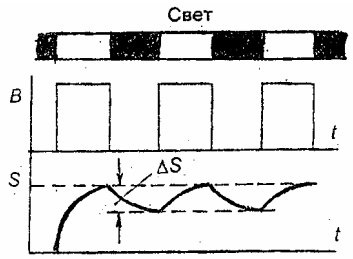


Рис. 7.7

При частотах повторения менее 5 Гц время между вспышками больше времени инерции, поэтому четко ощущаются мигания. При увеличении частоты вспышек возникает неприятное ощущение мелькания. Наименьшая частота, при которой мелькания пропадают, названа *критической частотой мельканий* $f_{кр}$. Она зависит от яркости источника света B (рис.7.8), его цвета, скважности световых импульсов и углового размера поля зрения.

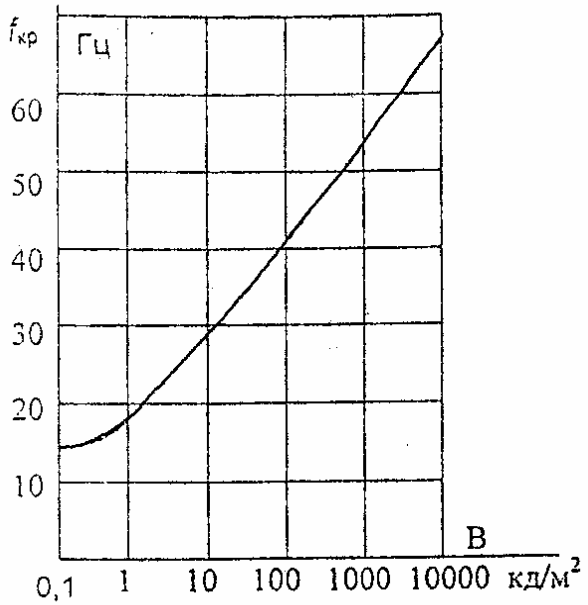


Рис. 7.8

Для яркостей, не превышающих 500...1000 кд/м^2 и скважности 0,5.

$$f_{кр} = 10\lg B + 22 .$$

Для яркости 100 кд/м^2 $f_{кр} = 42$.

Яркость мигающего источника кажется меньше яркости источника, светящегося непрерывно. Кажущаяся, визуально воспринимаемая яркость согласно закону Тальбота будет:

$$B_{каж} = \frac{1}{T}\int_0^T B(t)dt ,$$

где $B_{каж}$ — функция изменения яркости за период T. Итак, $B_{каж}$ — среднее значение яркости за период T.

Критическая частота мельканий определяет границу ощущения прерывистого стимула. За ее пределом прерывистый стимул воспринимается как непрерывный. Отдельные ощущения от последовательности световых раздражителей, образующих прерывистый ряд, сливаются и субъективно выступают как образ непрерывного стимула. Критическая частота мельканий, как и временной порог, зависит от интенсивности света. С увеличением яркости В частота $f_{кр}$ увеличивается.

Критическая частота мельканий связана с инерционностью зрения, т.е. со способностью сохранять некоторое время остаточный образ. Длительность сохранения изменяется от условия наблюдения и свойств светового раздражителя: при значительной яркости равна 0,05 с, а с уменьшением яркости увеличивается до 0,2 с и даже до 1 с. За время инерции зрения усредняются световые воздействия на сетчатку. Это необходимо для выделения полезного сигнала из шума, в частности из шума, обусловленного квантовой флуктуацией света.

Вопрос о пороге слияния световых ощущений, так же как вопрос об инерции зрения, имеет особое значение при решении некоторых инженерных задач. При разработке аппаратуры покадровой передачи изображений в кинематографе и телевидении необходимо, чтобы прерывистость показа не замечалась зрителем: частота мельканий должна превышать $f_{кр}$.

Но если мелькание света используют как сигнал тревоги, то частота должна быть меньше $f_{кр}$. Обычно указывают, что частота мельканий должна превышать 50 Гц. Но при большой яркости экрана эта частота оказывается значительно больше 50 Гц. Послесвечение экрана трубки обычно составляет примерно 0,01 с. Это уменьшает эффект мельканий, но только для области центрального зрения, т.е. для *области фовеа.* Для периферического зрения $f_{кр}$

больше. Чтобы исключить мелькания, необходимо либо увеличивать частоту кадровой развертки, например до 100 Гц, либо увеличить длительность послесвечения. Первое приведет к расширению полосы пропускания тракта, второе вызовет наложение одного кадра изображения на другой и как следствие — размытость изображения движущихся объектов. В кинематографе эффект мельканий устраняют, прерывая световой поток от каждого кадра два или три раза, в телевидении — вводя *чересстрочную развертку.*

Если мелькания используют, чтобы привлечь внимание оператора к какому-то нарушению действия аппаратуры, возникает вопрос о выборе наивыгоднейшей частоты вспышек. Обычно считают, что количество вспышек должно быть от 3 до 10 за 1 секунду, причем длительность каждой вспышки должна быть не менее 50 мс.

7.8 Влияние размеров и длительности наблюдения объекта

Классическая психофизика XIX века связала представления о порогах органов чувств только с интенсивностью раздражения, т.е. судила о порогах лишь по значению энергии воздействия, вызывающей ощущения. Позднее возникли понятия пространственных и *временных* порогов (как абсолютных, так и относительных — *дифференциальных).* Возникновение ощущения стали связывать не только с интенсивностью раздражения, но и с размерами, пространственными особенностями объекта и длительностью воздействия.

В частности, на порог светового ощущения влияют угловые размеры объекта наблюдения и его форма. Порог ощущения δ как функция угловых размеров объекта наблюдения φ представлен графиком рис. 7.9.

Пространственный порог определяется наименьшим размером едва ощущаемого (или *различаемого)* раздражителя и его расстоянием от рецептора, положением изображения в сенсорном поле и площади рецептора, на которую воздействует раздражение.

Временной пороз определяется длительностью воздействия, необходимой для того, чтобы ощущение возникло. Временной порог, указываемый различными авторами, варьируется в пределах тысячных и сотых долей секунды. Неоднозначность данных вызвана тем, что измерение длительности световых раздражителей, необходимой для возникновения едва заметного ощущения, определялась разными исследователями в разных условиях. По экспериментальным

данным, значение абсолютного временного порога зависит от интенсивности одиночной вспышки света: чем она больше, тем меньше порог, и наоборот. Эта зависимость показана на рис.7.10. Она линейна лишь в ограниченном диапазоне сравнительно больших интенсивностей.

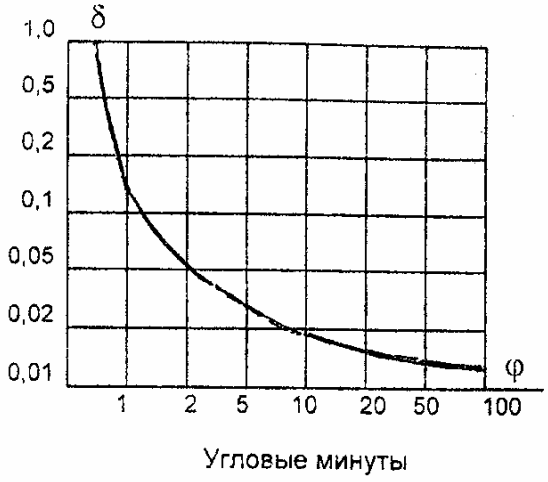


Рис. 7.9

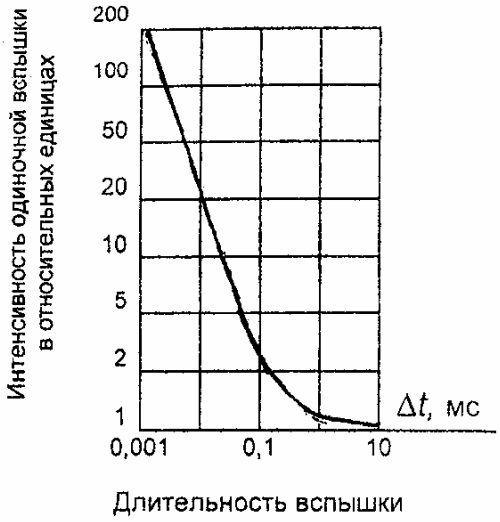


Рис. 7.10

7.9 Комфорт и эстетика освещения

Для создания комфортных условий жизни и трудовой деятельности необходимо выполнить определённые условия освещения. К ним относятся: определённое значение освещённости, стабильность светового потока во времени, его спектральный состав и желаемое направление в пространстве.

Значение освещённости зависит от характера выполняемых действий. Для общей ориентировки в пространстве достаточна освещённость 2...10 лк, для уверенного различения цвета — 50...100 лк, для чтения печатного текста и нот — не менее 75 лк, для напряжённой точной работы с мелкими деталями — 2...5 тыс. лк.

Как правило, источники света питают переменным током частоты 50 Гц. Их световой поток в такт с изменениями напряжения электрической сети колеблется с частотой 100 Гц. Это касается маломощных ламп накаливания и особенно газоразрядных источников света, например, люминесцентных ламп. Хотя эти периодические изменения светового потока не воспринимаются непосредственно сознанием, они утомляют зрение, заставляя мышцы глаза, управляющие его чувствительностью, выполнять дополнительную рабо-

ту. Следствие этого — повышенная утомляемость, ощущение напряжения в глазах, головная боль.

Для уменьшения вредного воздействия пульсации светового потока люминесцентных ламп применяют три способа: увеличение длительности послесвечения путём подбора люминофора, питание ламп током повышенной частоты, например, 400 Гц, применение схем включения двух или трех ламп со сдвигом по фазе.

Немаловажным является спектральный состав излучения. Привычным для человека является дневной свет. На пути оптимизации спектра не избежали экологических ошибок. Лампы накаливания крайне неэффективны с экономических позиций. Их коэффициент полезного действия составляет 6...10 %. Для уличного освещения с начала 30-х годов XX в. стали применять газоразрядные источники света — ртутные, а потом натриевые лампы. Их КПД значительно выше, но спектральный состав излучения неблагоприятен. У ртутных ламп преобладают сине-фиолетовые лучи, и лица людей приобретали неприятный мертвенный вид. В спектральном составе излучения натриевых ламп преобладают жёлто-красные лучи. Выход был найден в создании люминесцентных ламп. Их спектральные характеристики оказалось возможным изменять в широких пределах. Были созданы и выпускаются люминесцентные лампы различных типов:

- дневного света ДС,
- холодного белого света ХБС,
- белого света БС,
- тепло-белого света ТБС.

Спектр излучения ламп ДС близок к спектру рассеянного дневного света, ламп ХБС — к спектру излучения пасмурного неба, в лампах БС и ТБС возрастает доля жёлто-красных лучей. Их применяют, когда нужно перейти от свечения люминесцентных ламп к свечению ламп накаливания. Люминесцентные лампы обладают лучшими экономическими показателями. На долю видимых лучей приходится 20..25 % подводимой электрической мощности.

В рекламных целях преимущества люминесцентных ламп несколько преувеличиваются. Часть мощности тратится на пускорегулирующих устройствах. С учетом этого обстоятельства КПД ламп снижается. При плохой сборке сердечников дросселей пуско-

регулирующих устройств, они создают *акустическую помеху* — "гудят" с частотой 100 Гц, а сами лампы создают радиопомехи.

При эксплуатации люминесцентных ламп имеет значение психологический фактор. При переходе к люминесцентному освещению нужно увеличить освещенность по сравнению с освещённостью лампами накаливания в 2...3 раза, иначе возникает эффект сумеречного, закатного освещения, что вызывает чувство сонливости. Поэтому экономические преимущества люминесцентных ламп оказываются не столь уж значительными. По этой причине для освещения студий и аппаратных вещания по-прежнему применяют лампы накаливания.

Различимость окружающих человека предметов резко снижается, если в поле зрения появляются чрезмерно яркие источники света. Этот эффект называют *ослеплённостью.* Ослеплённость может повлечь за собой грубые ошибки в управлении аппаратурой. Эффект ослеплённости чаще всего возникает, если в поле зрения попадает светящаяся нить лампы накаливания. Яркость раскалённой нити составляет $5–10^{6}..10^{7}$кд/м^2. Поэтому нить ламп накаливания прикрывают рассеивателем, а для местного освещения, например, пульта звукорежиссёра или пюпитров музыкантов, применяют лампы с баллоном из молочного стекла. Чрезмерной оказывается даже светящаяся поверхность люминесцентной лампы. Поэтому светильники с такими лампами также снабжают рассеивателями.

Особые условия предъявляют к освещению телевизионных студий, поскольку этими системами решают художественные задачи.

8. ВОСПРИЯТИЕ ЦВЕТА

8.1 Природа цветного зрения

Цветовым зрением называют процесс восприятия **глазом** цвета.

Впервые гипотезу о природе цветового зрения выдвинул М.В. Ломоносов в 1756 г. В 1802 г. английский ученый Т. Юнг высказал такую же точку зрения. Природой цветного зрения интересовался великий немецкий поэт В. Гёте. Он прозорливо отметил ряд неясностей в господствующей в его время корпускулярной теории цвета И.Ньютона. Первым обратил внимание на то, что она не может объяснить многие оптические эффекты, в частности, явление дифракции, и поколебал веру в её непогрешимость.

Воззрения В. Гёте не были лишены недостатков и заблуждений. Он считал, что цвет не является одной из характеристик света, а является психофизиологическим явлением, возникающем в глазу. Крупные физиологи XIX века чех Я. Пуркинье и немец И.Миллер объявили себя учениками и последователями В. Гёте. С воззрениями **В. Гёте** соглашались крупные ученые Г. Гельмгольц, В. Оствальд, В. Гейзенберг, М. Борн, А. Столетов, К. Тимирязев.

И. Миллер пытался примирить взгляды И. Ньютона и В. Гёте, считал, что правы оба. Первый исследовал явление цвета как физический процесс, вызывающий оптические ощущения. Второй исследовал явление цвета как психофизиологическое явление. Но прав всё же был И. Ньютон. Несмотря на свои ошибки В. Гёте по праву считается основателем нового учения — психофизиологии цвета.

Более детально гипотеза цветного зрения была разработана в 1852 г. Г. Гельмгольцем. Согласно этим воззрениям в сетчатой оболочке глаза, кроме палочек, высокочувствительных к свету и совершенно нечувствительных к цвету, имеется три типа колбочек, обладающих различной чувствительностью к разным спектральным составляющим светового потока. Воздействие света на колбочки одного типа дает ощущение красного цвета, второго типа — зеленого, третьего типа — синего.

Кёниг и Дитеричи в 1892 г. экспериментально определили кривые спектральной чувствительности разновидностей колбочек. Более под-

робные исследования были проведены в 1935 г. Н.Т. Федоровой и В.И. Федоровым (рис. 8.1). Полученные графики были прономированы таким образом, чтобы площади под ними стали одинаковыми. Тогда сумма всех трех кривых даст ощущение белого света.

Цветовые свойства зрения людей различны. У некоторых людей нижняя граница световых раздражений составляет 0,3 мкм, у других верхняя граница достигает 1,05 мкм, т.е. простирается в область инфракрасных лучей. Возможно, именно поэтому некоторые люди воспринимали тепловое излучение головы как светящийся ореол (*«венчик»*) вокруг головы человека.

Чтобы исключить разнобой в оценке цветовых свойств зрения, Международная комиссия по освещению (МКО) в 1924 г. установила стандартную *кривую относительной видности* (иначе говоря, спектральной чувствительности глаза) *стандартного наблюдателя* МКО (рис. 8.2).

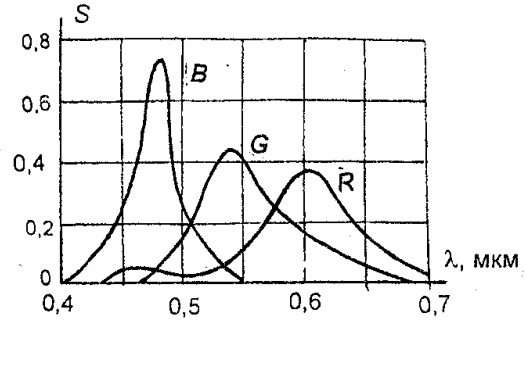


Рис. 8.1

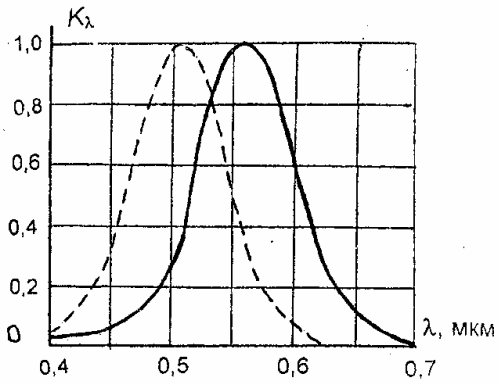


Рис. 8.2

Максимум этой кривой приходится на длину волны $\lambda = 0{,}555$ мкм, а границы составляют 0,38 и 0,78 мкм. При длинах волн более 0,7 мкм график этой кривой почти сливается с горизонталью. Округленно эти границы принимают за 0,4 и 0,8 мкм, чему соответствуют частоты электромагнитных колебаний $7{,}5 \cdot 10^{14}$ Гц и $3{,}75 \cdot 10^{14}$ Гц. Электромагнитные колебания с длинами волн 0,01...0,4 мкм называют ультрафиолетовыми лучами. Они обладают фотохимическим и биологическим действием — вызывают потемнение кожи *(загар),* а при большой интенсивности — покраснение и ожог кожи. Излучения с длинами волн 0,8...3,4 мкм — инфракрасные лучи, создают ощущение тепла.

Границы световой чувствительности глаза человека вырабатывались в течение многих тысячелетий и явились результатом при-

способления к лучшему восприятию окружающего мира. Нижняя граница видимого спектра близка к самым коротковолновым солнечным лучам, проникающим на Землю сквозь атмосферу (λ = 0,29 мкм). Поэтому чувствительность глаза к длинам волн менее 0,4 мкм не имела бы биологического смысла. Ограничение чувствительности со стороны длинноволновой части спектра вызвано наличием тепловых излучений всех предметов. Иначе глаз воспринимал бы как свет все тепловые излучения, даже собственные оболочки тела, и внешний мир был бы для него невидим из-за мешающего действия собственных излучений.

При слабой освещенности *(в ночное время)* кривая видности смещается в область более коротких длин волн с максимумом при λ = 0,512 мкм (штриховая линия на рис. 8.2). В результате красный свет становится темнее, а синий и голубой — светлеют. Это явление было открыто в 1825 г. чешским ученым Пуркинье.

Световой поток, создаваемый излучением с одной длиной волны или занимающий очень узкий участок спектра, называют *монохроматическим.* В зависимости от длины волны монохроматический световой поток создает ощущения различного цвета. По аналогии с тонами натуральной музыкальной гаммы И. Ньютон разделил спектр видимых лучей на семь главных цветов. Примерные границы этих цветов указаны в нижеследующей табл. 8.1.

Таблица 8.1

Цвет	Длина волны, мкм	Диапазон, мкм	Частоты, Гц×10^4	Фраза
Красный	0,80–0,60	0,20	3,75–5,00	Каждый
Оранжевый	0,60–0,59	0,01	5,00–5,1	Охотник
Желтый	0,59–0,56	0,03	5,1–5,44	Желает
Зеленый	0,56–0,50	0,06	5,44–6,00	Знать
Голубой	0,50–0,47	0,03	6,00–6,60	Где
Синий	0,47–0,43	0,04	6,60–6,96	Сидит
Фиолетовый	0,43–0,40	0,03	6,96–7,50	Фазан

Кроме перечисленных цветов различают еще пурпурный. Он не является монохроматическим, а образован сочетанием красного и синего световых потоков. В зависимости от соотношения долей красного и синего колористы выделяют в этой области оттенки: вишневый, собственно пурпурный и сиреневый. Каждому из пере-

численных в таблице цветов соответствует цвет, называемый *дополнительным.* При смешивании в некоторой пропорции световых потоков данного цвета и дополнительного образуется белый цвет. Для желтого цвета дополнительным является синий, для оранжевого — голубой и т.д.

Всю гамму главных цветов вместе с пурпурным И. Ньютон предложил в 1669 г. представлять графически — круговой диаграммой, изображенной на рис. 8.3.

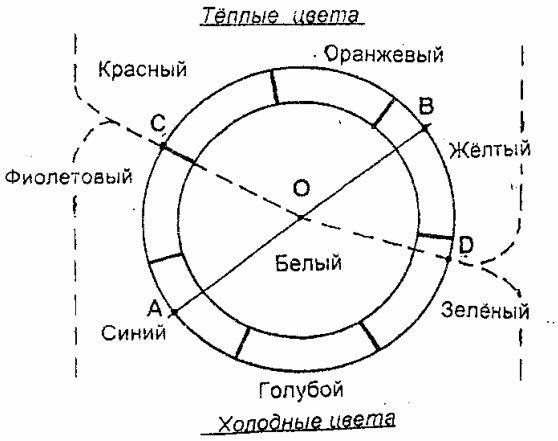


Рис. 8.3

Поверхность, ограниченная окружностью, называется *цветовым кругом.* Цвета, лежащие на прямой, соединяющей точку на окружности с центром круга, имеют одинаковый *цветовой тон,* но их насыщенность по мере приближения к центру круга уменьшается. Насыщенность определяется степенью разбавленности данного цвета белым. Прямая, проходящая через центр круга до точки на противоположной стороне окружности (например, *AB* на рис. 8.3), указывает на дополнительный цвет.

Если цветовой круг разделить на две части радиусами *CO* и *OD,* соединяющими точки, соответствующие красному и зеленому цветам, то в одной части круга помещаются т.н. *теплые цвета* (красный, оранжевый, желтый, желто-зеленый), а в другой — *холодные цвета* (пурпурный, синий, голубой, голубовато-зеленый).

8.2 Субъективные и объективные параметры цвета

Цвет принято характеризовать субъективными и объективными параметрами. К субъективным относятся: светлота, цветовой тон, насыщенность; к объективным параметрам — яркость, домини-

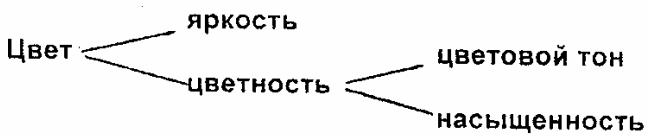
рующая (преобладающая) длина волны, чистота цвета. Светлота и соответствующая ей яркость — количественные параметры, остальные параметры — качественные.

Количественным психологическим параметром цвета служит *светлота.* Качественно одинаковые цвета, обладающие разной светлотой, вызывают разные световые ощущения. Например, белый, светло-серый и темно-серый цвета — один и тот же — белый цвет, но разной светлоты. Светлотой характеризуют интенсивность света. Различные цвета, в том числе и серый, могут иметь одинаковую светлоту.

Психологическая оценка интенсивности — *светлость* — связана примерно логарифмической зависимостью с объективной, физической величиной — *яркостью B.*

Качественный параметр цвета — *цветность.* Он определяется *цветовым тоном* и *насыщенностью.*

Приблизительные обозначения цветового тона заключены в названиях цветов: красный, желтый, оранжевый и т.д. *Цветовой тон* любого излучения характеризуется преобладающей *(доминантной)* длиной волны однородного (монохромного, спектрального) цвета.



Насыщенность характеризует степень различия ощущений цветности данного излучения и цветности белого, т.е. степень "разбавленности" данного цвета белым. Долю спектрального цвета в смеси с белым называют *чистотой цвета p:*

$$p = B_\lambda /(B_\lambda + B_б) = B_\lambda / B,$$

где B_λ — яркость чистого (спектрального) цвета, $B_б$ — яркость белого, B — яркость смеси.

Для спектрального цвета $p = 1$, для белого $p = 0$. Качественные (физиологические) и количественные (физические) параметры цвета сопоставлены в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Параметры	
Качественные (физиологические)	**Количественные (физические)**
Светлота	Яркость *B*
Цветовой фон	Доминантная длина волны λ_d
Насыщенность	Чистота цвета *p*

Для проведения цветовых расчетов введены понятия цветовых уравнений и цветовых треугольников. Они основаны на трехкомпонентной теории цветового зрения. Любой световой поток *F* может быть представлен суммой трех цветовых составляющих:

$$m \cdot F = F' = a' \cdot A + b' \cdot B + c' \cdot C ,$$

где *A, B, C* — названия смешиваемых цветов, которые именуются *основными цветами, a', b', c'* — коэффициенты, показывающие, какое количество цветов *A, B,* С содержится в световом потоке *F*.

Приведенное уравнение, именуемое *цветовым,* показывает, что сумма трех излучений *a'A, b'B, c'C* создает такое же зрительное ощущение, как и *f* единиц светового потока *F,* и что, следовательно, яркость суммарного цвета равна сумме яркостей смешиваемых цветов. Равенство выполняется, если цвета *A, B, C* линейно независимы, т.е. два из них при аддитивном смешении ни в каких количествах не дадут третьего. Следовательно, любой цвет может быть определен количествами трех линейно независимых цветов. Он может быть представлен вектором в трехмерном пространстве.

Для определения только качественной характеристики светового потока *F,* т.е. его цветности, достаточно знать не абсолютные, а относительные количества основных цветов. Они характеризуются относительными составляющими *a*, *b, c:*

$$a = a'/(a'+b'+c') = a'/m ;\ b = b'/m ;\ c = c'/m ,$$

где $a'+b'+c' = m$ — цветовой модуль.

Три слагаемых *a, b* и *c* в сумме дают единицу: a + *b* + c = 1. Векторное изображение цвета показано на рис. 8.4. В нем векторами *OL, OM* и *ON* представлены составляющие *a 'A, b'B, c'C,* а вектором *OP* — цвет смеси. Его длина определяет яркость цвета смеси, а углы, составляемые этим вектором с координатными плоскостями — цветность. Если уменьшить пропорционально количества основных цветов в смеси, разделив их модули на одну и ту же величину,

положение результирующего вектора в пространстве не изменится, уменьшится лишь его длина.

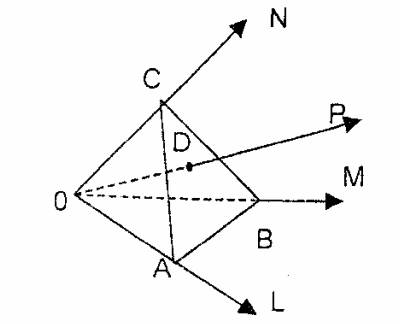


Рис. 8.4

Пересечем эту систему координат произвольной плоскостью. Тогда на секущей плоскости образуется треугольник, вершинами которого *A, B, C* будут точки пересечения плоскости с векторами основных цветов. Этот треугольник называют *цветовым треугольником.* Результирующий вектор *P* пересечет цветовой треугольник в точке *D*. Всякий другой вектор, соответствующий смеси другого качества, пересечет треугольник в другой точке. Поэтому цветовой треугольник характерен тем, что каждая точка на его поверхности соответствует определенному цвету. Складывая последовательно цвета, можно найти цвет смеси, состоящей из любого числа составляющих. Поэтому плоскость цветового треугольника используют для графического представления цветов и графического решения многих колориметрических задач.

Трехмерность цвета позволяет выражать любой цвет сочетаниями множества основных цветов, произвольный выбор основных цветов порождает множество колориметрических систем. Для устранения неопределенности были приняты Международные рекомендации по их выбору. Так родились две основные колориметрические системы — *RGB* (во французской аббревиатуре *RVB*) и *XYZ.*

Не вдаваясь в подробности системы *RGB,* отметим, что ее параметры легко определить экспериментально, так как ее основные цвета *R, G* и *B* — реально существующие с длинами волн 0,700 мкм; 0,546 мкм и 0,436 мкм соответственно. Более того, в качестве основных *G* и *B* взяты легко воспроизводимые цвета, соответствующие ярко видимым спектральным линиям паров ртути: $G = 0{,}546$ мкм, $B = 0{,}436$ мкм.

Но для вычисления количественной характеристики цвета — яркости — необходимо знать параметры всех трех составляющих цвета. Кроме того, при определении некоторых спектральных цветов в цветовое уравнение часть коэффициентов входит с отрицательным знаком. Это свидетельствует о невозможности реализовать эти цвета с полной насыщенностью.

Остановимся более подробно на цветовой системе *XYZ,* принятой Международной комиссией по освещению (МКО) в 1931 г.

Колориметрическая система единиц *XYZ* имеет чисто расчетный характер. При ее построении добились отсутствия отрицательных коэффициентов, уменьшили число составляющих, определяющих количественный параметр — яркость. В качестве основных цветов были выбраны условные, реально не существующие цвета, обозначаемые *XYZ.* Благодаря такому выбору основных цветов, все значения коэффициентов положительны, а линия спектральных (насыщенных) цветов оказалась полностью внутри цветового треугольника. Векторы основных цветов образуют прямоугольную систему координат.

Основное цветовое уравнение в системе *XYZ* имеет вид

$$F' = mF = x'X + y'Y + z'Z$$

где $x'; y' ; z'$ – коэффициенты цветовых составляющих потока *F,*

$m = x' + y' + z'$ – цветовой модуль.

Цветность светового потока выражают через трехцветные коэффициенты *X, Y, Z* уравнением

$$F = xX + yY + zZ$$

где $x = x'/m, y = y'/m, z – z'/m.$

Значения вычисленных трехцветных коэффициентов представлены графиками на рис. 8.5. Цветовой треугольник в системе *XYZ,* в вершинах которого лежат основные цвета — равносторонний. Положение любой точки на нем определяется тремя координатами, однако при известном *F* достаточно двух координат. Поэтому задачи по нахождению цветности можно решать не в трехмерном пространстве, а на плоскости. В связи с этим в системе *XYZ* используют не сам треугольник *XYZ,* а его проекцию на плоскость Х-О-У (рис. 8.6).

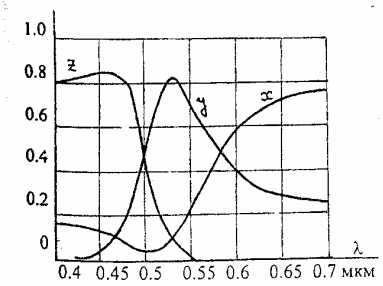


Рис. 8.5

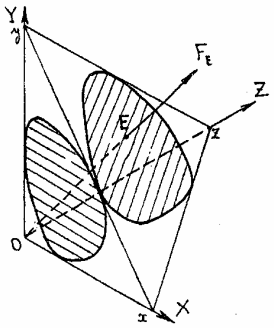


Рис. 8.6

Плоскость *Z-0-X* совместится с осью *0-X*, а вектор *0-Z* превратится в точку *0* (рис. 8.7).

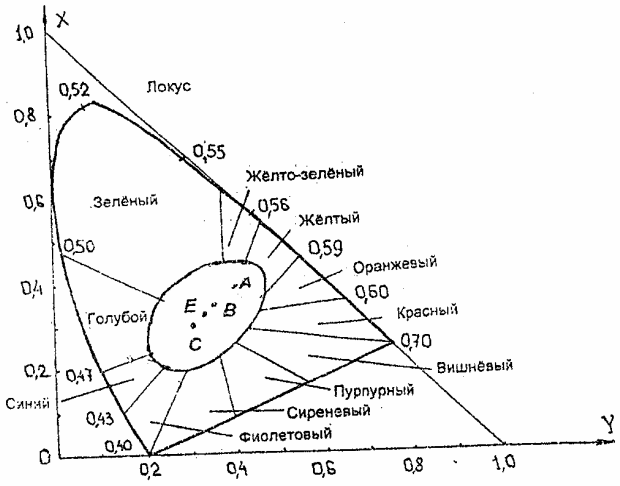


Рис. 8.7.

Положение точки на плоскости треугольника *X-O-Y*, характеризующее ее цветность, будет определяться двумя координатами — трехцветными коэффициентами x и y. Значение третьего коэффициента z при необходимости будет найдено из условия $x + y + z = 1$. График линии спектральных цветов *(локус)* построен по значениям коэффициентов рис. 8.5. По условию построения системы *XYZ* вектор белого равноэнергетического цвета Е определяется равенством $x'_E = y'_E = z'_E$ Поэтому точка его пересечения Е с цветовым треугольником будет иметь коэффициенты $x_E = y_E = z_E = 0{,}33$.

Равноэнергетический белый цвет имеет чисто теоретический, расчетный характер. Реализовать цветовую температуру 5700°, соответствующую источнику белого цвета *E,* с помощью лампы накаливания с вольфрамовой нитью невозможно, так как температура плавления вольфрама ниже названной температуры.

В практике телевизионного вещания в качестве стандартных приняты три источника белого цвета, обозначаемые буквами *A, B, C.* Их параметры приведены в табл 8.3.

Таблица 8.3

Источник света	Цветовая температура, *K*	Трехцветные коэффициенты			Цветовой тон, мкм	Насыщенность, %
		X	*Y*	*Z*		
A	2854	0,45	0,41	0,14	0,583	65
B	4800	0,35	0,35	0,30	0,574	15
C	6500	0,31	0,31	0,38	0,482	5
E	5700	0,33	0,33	0,33	–	

Источник *A* соответствует излучению лампы накаливания с вольфрамовой нитью, источник *B* — рассеянному полуденному солнечному свету или излучению люминесцентных ламп дневного света (ДС), *C* — прямому солнечному свету при безоблачном небе. Сравнительно редко в цветовых расчетах используют источник белого света с цветовой температурой 7500 К, что соответствует свечению неба, сплошь затянутого облаками.

8.3 Закономерности смешивания цветов

Смесь нескольких световых потоков называют *аддитивной* (слагательной) в отличие от так называемой *субтрактивной* (вычитательной) смеси, под которой понимают смесь, в которой из светового потока вычитают (например, с помощью светофильтра) часть его спектральных составляющих. Аддитивная смесь красного, зеленого и синего цветов дает следующие цвета, зависящие от пропорций смеси (табл. 8.4).

Таблица 8.4

Смешиваемые цвета	**Цвет смеси**
Красный и зеленый	Желтый
Красный и синий	Пурпурный
Синий и зеленый	Голубой
Красный, зеленый и синий	Белый

И. Ньютон в 1669 г. сформулировал ряд положений аддитивного смешивания цветов. Его результаты развил в 1853 г. немецкий математик Х. Грассман.

Для однозначного определения (характеристики) любого цвета необходимо и достаточно иметь три соответственно выбранных основных цвета, так что в результате их аддитивного смешивания в соответствующих пропорциях может быть получен цвет, эквивалентный данному, искомому цвету.

Способы смешивания цветов различны. Известно *одновременное* смешивание: световые потоки воздействуют на глаз одновременно.

Возможно *поочередное* смешивание: световые потоки смешиваемых цветов воздействуют на глаз поочередно. Если частота световых потоков достаточно велика, то в силу инерционности зрения, создается такое же впечатление цвета, как и для одновременного смешивания.

Существует *пространственное* смешивание, когда наблюдаемая поверхность покрывается мелкими цветовыми пятнами. В силу ограниченной разрешающей способности глаза такая поверхность с некоторого расстояния кажется не пестрой, а имеющей однородный цвет. Этот прием используется некоторыми живописцами взамен смешивания нескольких красок на палитре. Пространственным смешиванием цветов пользуются при разрисовывании тканей, в цветном телевидении. Советские ученые Б.М. Теплов и С.П. Яковлев в 1935 г. показали, что результаты этого смешивания таковы же, как и при других способах смешивания.

Наконец, возможно *бинокулярное* смешивание цветов: на один глаз подают световой поток одного цвета, а на другой — иного цвета. В этом случае в зрительном аппарате возникает устойчивое ощущение цвета их смеси. Этот вывод в 1876 г. сделал русский ученый А.В. Ходин. Были попытки применить этот способ в стереокино и телевидении с помощью очков с цветными светофильтрами.

Отметим: смесь двух или трех основных цветов дает цвет менее насыщенный, чем чистые спектральные цвета.

8.4. Цветовая (хроматическая) адаптация

Одновременное воздействие на орган зрения световых потоков различного цвета вызывает изменение цветовых ощущений. Источник яркого цвета уменьшает чувствительность приемников данного цвета и увеличивает чувствительность тех приемников, которые

возбуждаются слабо. В результате изменяется восприятие ряда цветов и увеличивается цветовой контраст соседних цветовых полей. Например, яркий синий цвет снижает чувствительность приемников синего цвета, а голубой цвет начинает восприниматься как зеленоватый.

Меняется восприятие цветов и в том случае, когда оба цвета имеют одинаковый цветовой тон, но различную насыщенность. Цветовой тон менее насыщенного цвета смещается к дополнительному цвету под влиянием более насыщенного цвета. Этот эффект увеличивает цветовой контраст.

Вследствие цветовой адаптации довольно широкая гамма цветов воспринимается зрением как белые цвета, если кроме этих цветов на глаз воздействует световой поток с цветностью, близкой к белой. Под влиянием белого цвета уменьшается чувствительность приемника, воспринимающего световой поток от наблюдаемой цветной поверхности, и увеличивается чувствительность приемника, воспринимающего от этой поверхности наименьшую энергию. В результате мозг получает примерно одинаковые возбуждения от всех спектральных составляющих светового потока, отражаемого данной цветной поверхностью, как и в случае наблюдения белой поверхности.

Цветовая адаптация — причина явления, называемого *константностью* цвета: восприятие цвета известных нам из предыдущего жизненного опыта поверхностей предметов, ощущение их цвета не изменяется при изменении в некоторых пределах спектрального состава освещающего их источника света.

Взаимодействие цветов наблюдают и в таких опытах. Если полоски синей материи положить на большие куски красной и зеленой материи, то обе синие полоски станут восприниматься по разному: цвет каждой из них сместится в сторону цвета, дополнительного к цвету фона. Вследствие *одновременного цветового контраста* любой цвет в окружении дополнительного к нему цвета кажется более насыщенным. Если же цвет окружен более насыщенным цветом, то его насыщенность уменьшится; на фоне теплых цветов это явление более заметно, чем на фоне холодных.

Кроме одновременного наблюдается *последовательный цветовой контраст.* После пристального, напряженного наблюдения небольшой зеленой полоски вследствие утомления группы приемни-

ков, чувствительных к этому цвету, их чувствительность на некоторое время уменьшается. Если быстро перевести взгляд на белую поверхность большой площади, мы в течение некоторого времени будем видеть на ней полоску, окрашенную в цвет, дополнительный к зеленому, т.е. в пурпурный цвет.

Если после наблюдения окрашенной поверхности перевести взгляд на другую окрашенную поверхность, то цвет второй окажется на некоторое время измененным. Это также проявление последовательного цветового контраста.

8.5 Возникновение субъективных цветов

При наблюдении чередующихся монохромных (черно-белых) изображений иногда возникает окраска изображений в ненасыщенные Цвета. Например, если вращать диск, содержащий белое и черное поля, с угловой скоростью примерно 8 об/с по часовой стрелке наружный край диска кажется окрашенным в синий цвет, середина — зеленый, центральная часть — в красновато-коричневый. При изменении направления вращения середина диска кажется синей, а край — красным. Строго обоснованного объяснения этого явления не существует. Предполагается, например, что эффект обусловлен разной инерционностью приемников разного цвета: глаз быстрее возбуждается зеленой составляющей белого цвета, чем красной и синей.

Предпринимались попытки использовать это явление для окрашивания частей изображения на экране монохромного (черно-белого) телевизора, но этот эффект оказывался неустойчивым: возникающие ощущения цвета зависели от формы изображения и имели небольшую насыщенность.

8.6. Аномалии цветового зрения

Английский химик Дальтон удивлялся, почему ему так редко в лесу попадаются ягоды. Дальтон оказался слепым на красный цвет. Он его не различал. Его фамилия стала основой термина "дальтонизм", символизирующего недостатки цветового зрения. Дальтониками, по-видимому, были некоторые художники, в частности, Врубель. Он плохо видел синий цвет и потому перенасыщал им свои картины. Наверное, этим объясняются холодно-мистические тона *"Царевны Лебедя"* и *"Демона"*. Необычный колорит интерьеров не-

которых зданий также можно отнести на счет дальтонизма архитекторов.

Конечно, это — не столь серьезный недостаток для большинства людей. *Но если речь идет о различении цветов сигнальных огней светофоров?* А ведь некоторые автомобилисты различают сигналы светофоров лишь по различию их яркости или по пространственному положению на корпусе светофора: светится внизу, значит красный.

Лиц, обладающих нормальным цветовым зрением, называют *трихроматами.* Цветовое зрение трихроматов полноценно только в пределах угла 10° от центральной ямки в направлении к носу. В области от 10° до 30° в этом же направлении глаз различает только желтый и синий цвета (*дихроматизм),* в зоне далее 30° цвета совсем не различаются. В сторону виска в области до 35° зрение является трихроматичным, далее в области от 35° до 50° различаются желтый и синий цвета, в зоне от 50° до 60° — только синий цвет. В зоне более 60° цвета не различаются.

Примерно у 6 % людей ослаблена чувствительность зрения к одному из трех основных цветов: красному, зеленому, синему. Это явление называют *аномальным трихроматизмом.*

Около 2 % людей обладает чувствительностью только к двум основным цветам *(дихроматизм)*, причем среди дихроматов женщины составляют только 1,5 %. Различают три вида дихроматизма: *протанопию* (около 1 % мужчин), *дейтеранопию* (около 1 % мужчин), *тританопию* (менее 1 % мужчин). При протанопии понижена чувствительность зрения в одной области длин волн, при дейтеранопии — в двух, при тританопии — в трех.

Наиболее часто среди нарушений цветового зрения встречается красно-зеленая слепота — протанопия. Протанопия характерна укорочением красного участка видимого спектра, наличием ахроматического участка в спектре в области 0,4 мкм, сдвигом максимальной чувствительности глаза в сторону более коротких длин волн, смешиванием светло-красных и темно-зеленых цветов, очень опасным для водителей транспортных средств, отождествлением пурпурных и фиолетовых цветов с синими.

Вторая группа нарушения цветового зрения в области красно-зеленых лучей — *дейтеранопия* — характерна нормальной протяженностью видного спектра в длинноволновой части, расположе-

нием ахроматического участка в области примерно 0,5 мкм, сдвигом максимума чувствительности глаза в область оранжевых излучений, отождествлением светло-зеленого с тёмно-красными цветами и фиолетового с голубым.

Для третьей группы цветослепоты — *тританопии* — характерно укорочение фиолетовой части видимого спектра, наличие в спектре двух ахроматических областей в области зеленовато-желтого и синего (эти цвета воспринимаются как серые), отождествлением желтовато-зеленого с синевато-зеленым цветом, а пурпурного с оранжево-красным, но восприятие красного, оранжевого и голубого цветов — правильное.

Все перечисленные случаи частичной цветовой слепоты по гипотезе Ломоносова — Юнга — Гельмгольца объясняются отсутствием одного из видов цветовоспринимающих клеток:

- при протанопии — ощущающих красное,
- при дейтеранопии — ощущающих зеленое,
- при тританонопии — ощущающих синее.

В.И. и Н.Т. Федоровы экспериментально показали, что путем утомления зрительного аппарата насыщенным красным цветом (λ = 0,66...0,68 мкм) искусственно получают временную протанопию, а путем утомления зеленым цветом ($к$ — 0,50 мкм) — дейтеранопию. Отметим также, что при небольших яркостях *(сумеречное зрение)* весь видимый спектр воспринимается как последовательность только трех цветов: красного, зеленого и фиолетового.

Для проверки цветового зрения существуют альбомы таблиц, в которых на многоцветном фоне расположены цифры или буквы различных расцветок.

8.7 Восприятие небольших цветовых полей

Для мелких изображений предметов, фокусируемых в области центральной ямки сетчатки, зрение двуцветно *(дихроматично),* так как эта часть сетчатки мало чувствительна к синим лучам. Дихроматизм при здоровом зрении наблюдается для объектов с угловыми размерами менее 12...20' — примерно (1/5)°…(1/3)°. При наблюдении предметов таких угловых размеров глаз обладает свойствами тританопии — т.е. не различает между собой синего и зеленого, красного и пурпурного цветов. Цвета таких предметов глаз воспринимает как смесь оранжевого и голубого цветов. В дальнейшем по

мере уменьшения размера объектов глаз перестает различать цвет и ощущает такие предметы, как черно-белые (монохромные). Эти свойства были учтены при разработке системы цветного телевидения, позволили уменьшить полосы пропускания трактов, по которым передаются цветоразностные сигналы.

8.8 Количество различаемых глазом цветов и оттенков

Количество различаемых глазом цветов зависит от условий наблюдения, физиологического и психического состояния человека и некоторых других обстоятельств. Считается, что глаз различает примерно 17000 цветностей, т.е. отличий по цветовому тону и чистоте. Эти результаты получены при размере цветового пятна более 2°, яркости фона 50 кд/м^2, угловом размере фона 50°.

По другим данным количество различаемых цветностей составляет 7300. Глаз различает 150...250 спектральных цветов и 30...140 насыщенных пурпурных. Большой разброс данных объясняется различиями условий наблюдения. Если вдобавок учитывать различия градаций яркости, то считается, что глаз способен различить около 10 млн цветов, отличающихся яркостью, цветовым тоном, насыщенностью. Лишь небольшую часть этих градаций способны передать и воспроизвести современные системы цветного кинематографа и телевидения.

Художники умело используют в творчестве способность различать цвета и цветовые оттенки. Способность отличать цветовые оттенки не всегда только прирожденное свойство. Эту способность можно развить художественным образованием, упражнениями, тренировкой подобно тому, как музыкальным образованием развивают понимание музыки, а тренировкой — умение различать малейшие искажения звучания, не обнаруживаемые измерительными приборами.

8.9 Воздействие на цветовые ощущения побочных раздражителей

Обнаружено, что чувствительность зрения к различным участкам спектра изменяется под воздействием звуковых, температурных раздражителей и запахов (исследования С.В. Кравцова). При действии звуков чувствительность зрения к зелено-синей части спектра увеличивается, а к оранжевому и красному участкам спек-

тра уменьшается. Соответственно изменяются границы поля зрения для этих участков спектра.

8.10 Применение цвета для сигнализации

Цвета широко используются для сигнализации об опасности. По Международному стандарту, принятому на основании договоров в Милане в 1955 г. и Лондоне в 1957 г., сигналами опасности являются теплые тона, а безопасности — холодные. Степень опасности кодируется разным цветом. Красный цвет — требование остановки действия (например, движения), оранжевый — предупреждение о серьезной опасности, желтый — предупреждающий *"Внимание! Осторожно"*, зеленый — отсутствие опасности.

Часто цвет служит для обозначения принадлежности объектов к той или иной категории, для отметок критических точек на шкалах приборов, например, измерителей уровня, для передачи информации о том, включен ли какой-то объект или нет. Во всех перечисленных случаях цвет служит средством контроля. Однако он может использоваться более полно. Учитывая широкие возможности зрения в различении цвета, можно использовать изменение насыщенности цвета для извещения об изменении интенсивности процесса, например, для оценки уровня сигнала в разных трактах звукового вещания, когда их одновременный акустический контроль невозможен.

8.11 Эстетика цветового восприятия

В зависимости от условий восприятия определенные сочетания различных цветов кажутся гармоничными, вызывают положительные эстетические ощущения (эмоции), создают впечатление красоты цветовых сочетаний, ощущение их гармонии. Эти ощущения сродни ощущениям, возникающим при восприятии музыки и речи. Они свойственны не только эстетически развитым людям — художникам, архитекторам, кинематографистам, людям искусства, но в той или иной степени всем людям. Во всех видах изобразительных искусств правильное сочетание цветов позволяет получить наилучшее эмоциональное и смысловое восприятие изображаемого сюжета.

Закономерности гармонии цветов основаны, главным образом, на развитом эстетическом чувстве и, не в меньшей степени, на

практическом опыте. В зависимости от цели в одних случаях нужно сочетание пастельных, блеклых тонов, в других, наоборот, насыщенных. В большинстве случаев рекомендуются близкие по цветовому тону цвета. Резкое противопоставление контрастных цветов производит впечатление *"цветового удара"* и потому не может применяться длительное время или часто. К сожалению, приходится наблюдать пользование цветом как самоцелью, без логического или эстетического оправдания приема. Таковы, например, динамические заставки передач или рекламных роликов. Фантастичность, неопределенность возникающих цветовых изображений заставляют зрителя мучительно напрягать мозг в поисках ответа: а что, собственно говоря, ему предъявлялось, и что это должно изображать?

Конечно, недопустима другая крайность — серость, бесцветность изображаемых сцен. Психологи утверждают: если предъявлять человеку только мрачные изображения, возникающие отрицательные эмоции способны сократить жизнь человека.

В телевидении цветом иногда кодируют характер персонажей, что дает интересный художественный эффект. Цветовой фон может влиять на эмоциональное состояние человека, степень работоспособности, ослабить ощущения жары или холода, "снять" напряженность или чувство монотонности. Для решения этих вопросов нужна совместная деятельность психологов и художников-конструкторов *(дизайнеров).*

8.12 Физиологическое и эмоциональное воздействие цвета

Известно специфическое действие цвета на самочувствие, настроение и даже здоровье. Опыты показывают, что спортсмен-тяжеловес в помещении, окрашенном в светло-зеленый или голубоватый цвет, показывает худший результат в поднятии тяжестей, чем в помещении, стены которого окрашены в яркие красноватые или оранжевые тона. Композитор Вагнер свою героическую музыку предпочитал писать в комнате, отделанной красным шелком. Психиатр Бехтерев предлагал лечить некоторых психических больных цветом. Таковы факты.

Современные психологи рекомендуют различную окраску помещений для различных видов работ. Для операторов, чья деятельность направлена на внешние объекты — обработку деталей, сборку механизмов — рекомендуют помещения, окрашенные в яркие,

теплые тона. Тем, кто имеет дела с сосредоточенной умственной деятельностью, лучше находиться в помещениях, окрашенных в холодные, неброские цвета. Чем больше физиологических усилий, тем больше должны окружать человека темные, насыщенные цвета, чем больше в работе умственных усилий, тем спокойнее должна быть цветовая обстановка.

Японские дизайнеры советуют: чтобы не возбуждать сильных страстей во время политических и научных дискуссий, в аудиториях, предназначенных для этих целей, окрашивать стены в голубой или светло-зеленый цвет. Наоборот, для спортивных залов, чтобы "подогреть" мышечные усилия спортсменов и эмоции зрителей, использовать оранжевый или красный цвет.

Цветом организуют пространство помещения. Окрасив дальнюю торцовую стену помещения в теплый коричневый тон, можно зрительно уменьшить протяженность удлиненного зала. Холодная окраска, наоборот создаст ощущение простора. Это обстоятельство следует учитывать при отделке небольших речевых студий. Дикторы жалуются, что у них появляется ощущение "зажатости", когда они ведут передачу из темноватой, отделанной коричневым деревом студии.

Исходя из пожеланий психологов и дизайнеров, следует рекомендовать определенный характер цветового решения аппаратных звукового и телевизионного вещания, основную гамму цветов, распределение теплых и холодных оттенков таким образом, чтобы исправить недостатки помещения. Поскольку физические усилия операторов невелики и работа требует внимания и сосредоточенности, основная гамма цветов должна тяготеть к прохладным и не очень насыщенным тонам — белому, серому, бледно-зеленому, светло-желтому, голубому.

Чтобы человек отдохнул от цветов средней части спектра, необходимо включить в окраску дополнительные цвета. Они снимут цветовое утомление и создадут цветовой комфорт. Это могут быть красные, пурпурные тона, но в умеренном количестве.

Использование светлых тонов поможет создать и световой комфорт. Глаз не должен уставать ни от чрезмерно светлого, ни от чрезмерно темного.

Не следует дробить интерьер на мелкие, по-разному окрашенные участки. Должна быть создана деловая, уравновешенная обстановка.

Высказанные соображения имеют отношение не только к интерьеру производственных помещений, но и к интерьеру жилых комнат.

Сейчас в убранстве жилых помещений стал модным т.н. *"стерильный минимализм",* нарочитый аскетизм интерьера: белые стены и белый, часто из пластиковых плиток потолок, белые встроенные шкафы; покрытая белой эмалью мебель — столы, стулья, кровати. Глазу не на чем остановиться. Из-за скудности цветовой информации возникает зрительный дискомфорт, чувство холодности и неуюта.

Другая крайность современного интерьера жилья — агрессивность визуального поля — повторяющиеся в монотонном порядке графические элементы обоев — вертикальные полосы, круги (стены "в горошек"), ромбы, квадраты, клетчатый рисунок ("под плитку" или "под кирпич"), скатерть или клеенка на столе в клеточку. "Рябит" в глазах, зреет раздражение.

Столь же нежелательны в детских комнатах многократно повторяющиеся в рисунке обоев изображения любимых персонажей из мультфильмов. Мозг ребенка переутомляется от обилия этих рисунков. В результате, как отмечают психологи — ночные кошмары: мультипликационные герои преследуют ребенка во сне.

Наоборот, успокоение приносят рисунка округлых форм — растительные орнаменты, изображения цветов (разумеется, если рисунок не слишком мелок).

9. ВОСПРИЯТИЕ ПОМЕХ И ИСКАЖЕНИЙ

9.1 Градации субъективной оценки качества изображения

В зависимости от степени подобия телевизионного изображения оригиналу различают три понятия точности воспроизведения.

Физическая точность — полная одинаковость физических параметров оригинала и репродукции; такая точность может быть достигнута ценой сложных и дорогостоящих технических решений и потому не реализуется.

Физиологическая точность — зрительная неразличимость оригинала и репродукции по форме, яркости и цвету, хотя физические параметры оригинала и репродукции неодинаковы; решение также достаточно сложное.

Психологическая точность — высокая субъективная оценка качества воспроизводимого изображения, когда достигается хорошее художественное восприятие, хотя физические и физиологические параметры изображения не соответствуют параметрам оригинала.

В телевизионном вещании стремятся достичь психологической точности, а в достижимых случаях — физиологической точности. Общую оценку качества телевизионного изображения производят с помощью субъективно-статистических экспертиз, используя пятибалльную шкалу оценок, рекомендуемую МККР (табл. 9.1).

Таблица 9.1

Баллы	Оценка качества	Степень ухудшения изображения
5	Отличное	*Ухудшение не заметно*
4	Хорошее	*Заметно, но не мешает восприятию*
3	Удовлетворительное	*Заметно, но немного мешающее*
2	Плохое	*Мешает*
1	Очень плохое	*Сильно мешает восприятию*

Изредка добавляют высшую оценку 6 — *Никаких ухудшений не заметно.*

Субъективно-статистические экспертизы сложны и дороги. Поэтому чаще качество изображения оценивают рядом технических параметров. В их число входят: четкость, яркость, контрастность,

число воспроизводимых градаций яркости, степень нелинейных и геометрических искажений, зашумленность.

Рассмотрению этих искажений посвящены последующие разделы настоящей главы.

9.2 Классификация помех

Ранее среди других вопросов рассматривались процессы превращения пространственных структур изображения во временную последовательность нервных импульсов и предполагаемые результаты воздействия этих процессов на нервно-психическое и физиологическое состояние человека.

Теперь речь пойдет об обратном процессе — преобразовании временных электрических процессов, вызванных воздействием помех на электрический тракт передачи сигналов изображения, в пространственные структуры рисунка помех и о восприятии рисунка помех человеком.

В зависимости от физических причин возникновения различают помехи: флуктуационные, импульсные, периодические. *Первые* обусловлены хаотическим движением носителей зарядов в электрических цепях — проводниках, электронных приборах, *вторые* чаще всего вызываются нестационарными явлениями в различных электрических цепях, например, "искрением" контактов. Природа *периодических помех* различна. Низкочастотная помеха чаще всего создается пульсациями выпрямленного напряжения питания, высокочастотная — действием различных высокочастотных генераторов, например, радиопередатчиков.

9.3 Флуктуационные помехи

Флуктуационные помехи уменьшают четкость и контрастность телевизионного изображения и вызывают у зрителя неприятные ощущения из-за хаотических изменений яркости *(мерцания)* участков изображения. Четкость изображения уменьшается потому, что помехи "размывают" резкие границы изменения яркости. Из-за помех мелкие детали изображения становятся неразличимыми, особенно с небольшим контрастом. Уменьшается количество различимых градаций яркости.

Мешающее действие помех при одном и том же относительном уровне и одинаковых условиях наблюдения зависит от нескольких

причин: распределения энергии помехи по спектре; разрешающей способности глаза; формы амплитудно-частотной характеристики приемной телевизионной трубки; яркости участков изображения, на которых наблюдается рисунок помехи; времени послесвечения люминофора трубки; частоты смены кадров.

Заметнее рисунок помехи при большей разрешающей способности глаза. Флуктуационные помехи заметнее на крупных участках изображения, обладающих промежуточным значением яркости — не на темных и не на светлых, а на "серых" участках. Слабая заметность помех на самых темных участках изображения вызвана двумя причинами уменьшением контрастной чувствительности глаза, т.е. увеличением дифференциального порога, и уменьшением остроты зрения при небольшой яркости изображения.

Глаз усредняет значения яркости в соседних кадрах изображения, а в соседних кадрах изменения яркости, обусловленные помехой, различны, чаще всего — противоположны. Усреднению рисунка помехи во времени способствует инерция свечения люминофора трубки. Поэтому, например, на фотографии одного кадра изображения мешающее действие флуктуационных помех более заметно, чем при непосредственном наблюдении изображения.

Анализ показал, что флуктуационная помеха наиболее заметна на участках изображения с яркостями 2,0...4,5 кд/м^2. Следовательно, при одинаковом напряжении помехи при различном размахе напряжения сигнала, помехи с уровнями, соответствующими 25...40 % размаха видеосигнала, создают наибольшее мешающее действие.

Обычно значения напряжения помех выражают в относительных единицах, через отношение сигнал/помеха (С/П), под которым понимают

$$C / П = 20 \lg(U_C / U_{ПЭФФ}) \text{, дБ,}$$

где Uc — размах сигнала от уровня черного до уровня белого;

$U_{ПЭФФ}$ — эффективное значение помехи.

Из графика рис. 9.1 следует, что при С/П ≈ 200 (46 дБ) флуктуационная помеха не влияет на различимость градаций яркости, а при С/П 100 (40 дБ) максимальное количество различимых градаций яркости уменьшается на 20 % по сравнению с отсутствием помех. Пороговые значения С/П, определенные различными автора-

ми, находятся в пределах 41...49 дБ, а допустимые значения в пределах 30...40 дБ.

Заметность флуктуационных помех зависит от распределения энергии по частоте. При одинаковой энергии низкочастотная помеха, создающая более крупный рисунок, заметнее, чем высокочастотная. На уменьшении заметности последней оказывают влияние снижение разрешающей способности зрения при уменьшении размера наблюдаемых элементов и спад АЧХ приемной трубки в области верхних частот. По второй причине уменьшается контраст небольших элементов изображения. Степень мешающего действия помех, находящихся в различных участках частот, определяется *весовой функцией помех Ф(f),* а влияние зрения на восприятие помех — аналогичной функцией для зрения — P(f). Тогда визуально воспринимаемая мощность помех

$$P_B = \int_{f_1}^{f_2} P(x)\Phi(x)df \ ,$$

где f_1 и f_2 — граничные частоты полосы пропускания электрического тракта.

Заметим, что оценить количественно влияние флуктуационных помех затруднительно ввиду следующего обстоятельства. Измерительные приборы определяют эффективное значение напряжения помех, но глаз реагирует не на эффективное значение помехи, а на отдельные всплески яркости на экране, вызванные импульсами флуктуации.

9.4 Импульсные помехи

Оценить интегрально заметность искажений изображения, вызванного воздействием импульсных помех затруднительно ввиду случайности появления этих помех. Механизм восприятия этих помех и влияния их на качество восприятия изображения сложен. Поэтому сведения о допустимом отношении С/П носят оценочный характер и не дают твердого ответа на вопрос, какие же отношения С/П являются допустимыми. Обычно называют значение С/П = 25 дБ как норму при случайной или кратковременной помехе.

9.5 Периодические помехи

Помехи этого вида носят длительный характер, поэтому исследовать их влияние на восприятие изображения удалось достаточно подробно. В результате теоретического рассмотрения была получена формула, связывающая допустимое отношение С/П для стационарной периодической помехи с параметрами приемной трубки и некоторыми свойствами зрения

$$С/П_{ДОП} = \frac{1}{x\delta} = \frac{\gamma\sqrt[\gamma]{(\beta-1)(\alpha\beta-1)^{\gamma-1}}}{\alpha\beta\delta}.$$

В этой формуле:

$\alpha = B/B_б$ — относительная яркость экрана трубки на участке, на котором проявляется действие помехи;

$\beta = B_б/B_ч$ — контрастность трубки, выраженная через отношение максимальной и минимальной яркостей, т.е. яркостей на "черных" и "белых" участках экрана $B_ч$ и B;

γ — коэффициент нелинейности световой характеристики трубки $B = kU^{\gamma} + B_{\div}$;

$б = \Delta B/B$ — дифференциальный (разностный) порог различения яркостей зрением, как видно из рис. 9.2, он зависит от общей яркости $в$.

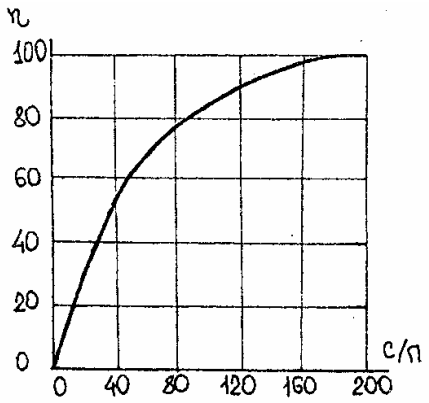


Рис. 9.1

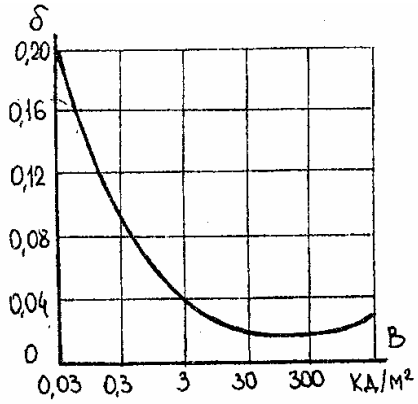


Рис. 9.2

Из анализа этой формулы вытекает, что наиболее опасными участками изображения, на которых проявляется действие помех, будут участки с промежуточной яркостью ("серые") и что требования к отношению С/П увеличиваются по мере увеличения контрастности трубки p (не смешивать с контрастностью $K = B_{max} / B_{min}$ объекта передачи).

Сомножитель x отображает свойства трубки, сомножитель β характеризует заметность рисунка помехи в зависимости от угловых размеров деталей рисунка помехи, т.е. от структуры рисунка помехи. При некоторых уточнениях в отношении δ эта формула может быть использована для теоретического обоснования допустимого отношения С/П применительно к флуктуационной помехе.

При сравнении результатов расчетов по вышеприведенной формуле с данными экспериментов оказалось, что числовые значения $(С/П)_{доп}$ близки. Вид рисунка помехи зависит от соотношения частоты помехи $f_п$ и частот кадровой $f_к$ и строчной $f_{стр}$ разверток (табл. 9.2).

Таблица 9.2

Соотношение между частотами $f_п$, $f_к$ и $f_{стр}$	Вид рисунка помехи
$f_п < f_{стр}$, $f_п = nf_к$	Неподвижный рисунок помехи из чередующихся горизонтальных темных и светлых полос. Число пар полос равно n (n — целое число)
$f_п < f_{стр}$, $f_п \neq f_к$	Горизонтальные полосы, перемещающиеся вверх или вниз по экрану трубки
$f_п > f_{стр}$, $f_п = mf_{стр}$	Неподвижные вертикальные полосы. Число пар полос m (m — целое число)
$f_п > f_{стр}$; $f_п = (m+1/2)f_{стр}$; $f_п = nf_к$	Рисунок из вертикальных полос, причем темные и светлые полосы в смежных кадрах занимают взаимно противоположные места. Вследствие усреднения яркости полос по смежным кадрам данный рисунок помехи слабо различим
$f_п > f_{стр}$, $f_п \neq mf_{стр}$, но $f_п = nf_к$	Неподвижный рисунок из чередующихся наклонных темных и светлых полос
$f_п > f_{стр}$, $f_п \neq mf_{стр}$, но $f_п \neq nf_к$	Рисунок из наклонных полос, перемещающихся по экрану

При кратных соотношениях рисунок помехи неподвижен, в противном случае полосы рисунка перемещаются по экрану и становятся более заметными. Это видно из экспериментально полученных зависимостей отношения С/П от частоты помехи для неподвижного рисунка помехи (рис. 9.3, а) и рисунка, перемещающегося по экрану (рис. 9.3, б).

В описываемом исследовании под С/П понимается отношение размаха телевизионного сигнала от уровня белого до уровня черно-

го к амплитуде напряжения помехи, а оценки качества соответствуют принятым в табл. 9.1.

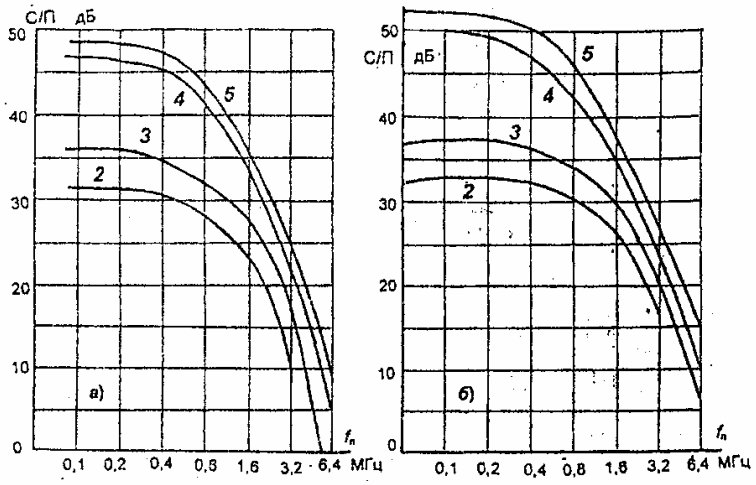


Рис. 9.3.

Если в соседних кадрах темные и светлые полосы меняются местами, рисунок помехи мало заметен ввиду усреднения зрительного впечатления и инерционности свечения люминофора трубки. Этим обстоятельством пользовались для уменьшения заметности помех при выборе несущих частот телевизионных передатчиков, действовавших в общем частотном канале, и при выборе цветовых поднесущих частот в системах цветного телевидения.

При равных напряжениях помехи наиболее заметен рисунок помехи, вызванной пульсациями напряжения питания и высокочастотными помехами, лежащими в области частот менее 0,4 МГц. При дальнейшем увеличении частоты помехи ширина полос рисунка помехи уменьшается, и он становится менее заметен.

9.6 Нормирование помех

Нормирование помех производилось методом субъективно-статистических экспертиз. Рекомендации на уровни помех, выработанные международными организациями МККР и МККТТ, относятся к линиям связи, предназначенным для международной передачи электрических сигналов телевизионных программ на большие расстояния. Нормы на Допустимые уровни помех выражены в виде отношения С/П. Числовые значение допустимого отношения С/П несколько различаются в зависимости от системы телевизионного вещания и принятой ширины занимаемой полосы частот.

Для флуктуационной помехи отношение С/П должно быть не менее 50...57 дБ, для импульсной случайной или кратковременной помехи — 25 дБ, для фона, вызванного пульсациями напряжения питания — 30 дБ, для периодической помехи, частота которой лежит в диапазоне от 1 кГц до 1 МГц — 50 дБ, а для помехи, частота которой находится в пределах от 1 МГц до максимальной частоты полосы пропускания тракта, — 30 дБ.

9.7 Нелинейные и геометрические искажения

Нелинейными и геометрическими искажениями телевизионного изображения принято называть нарушения геометрического подобия между проекцией объекта передачи на мишени передающей телевизионной трубки и его изображением на экране приемной трубки. Эти искажения разделяют на два вида ввиду их различного восприятия.

Нелинейные искажения (искажения масштаба) проявляются в виде сужения или расширения отдельных участков растра. В результате масштаб объекта передачи не сохраняется постоянным по полю растра. Эти искажения особенно заметны и неприятны при передаче изображения движущихся объектов, так как относительные изменения размеров элементов изображения наиболее ощутимы.

Геометрические искажения проявляются в искривлении прямых линий, окружностей и в нарушении прямоугольной формы растра. В зависимости от вида получающейся формы растра различают "подушкообразные" (рис. 9.4,а) и "бочкообразные" искажения (рис. 9.4, б).

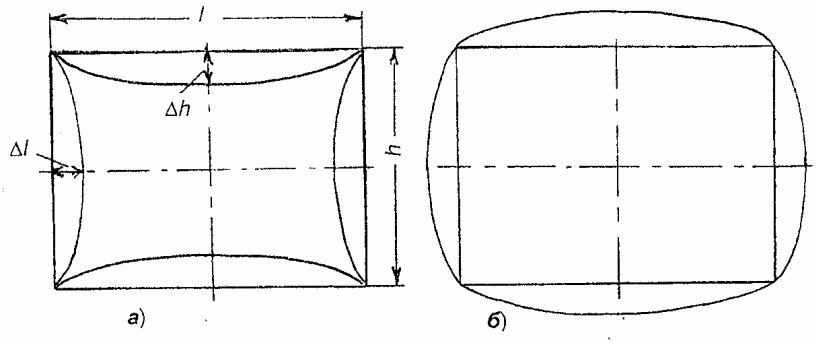


Рис. 9.4.

Нелинейные искажения наиболее заметны, если в одной части растра масштаб изображения увеличен, а в другой уменьшен. Нелинейные искажения по горизонтали *(по строкам)* и по вертикали *(по высоте кадра)* оценивают с помощью испытательной таблицы в виде шахматного поля и выражают коэффициентами

$$K_a = \frac{a-d}{d} \text{ и } K_b = \frac{b-d}{d},$$

где a — размер самого широкого искаженного квадрата по горизонтали, b — размер наиболее узкого квадрата по горизонтали, d — размер неискаженного квадрата.

Аналогично оценивают искажения по вертикали. Соответствующие размеры по вертикали — c и e.

Коэффициенты K_a и K_b имеют противоположные знаки, первый положителен, второй отрицателен. Оба характеризуют наибольшие относительные изменения масштаба. Иногда пользуются обобщенным коэффициентом

$$N = |K_a| + |K_b|.$$

Численное значение N показывает наибольшее относительное изменение масштаба изображения объекта по полю растра. Если $K \ll 1$, пользуются выражениями

$$N_{стр} = 2\frac{a-b}{a+b}100\%, \; N_K = 2\frac{c-e}{c+e}100\%.$$

Геометрические искажения, проявляющиеся в виде искривления краев растра (см. рис.9.4.), определяют по формулам:

$$\Gamma_{стр} = \frac{\Delta I_{\max}}{I}100\%, \; \Gamma_к = \frac{\Delta h_{\max}}{h}100\%.$$

Искривление прямых линий при нелинейности Г = 5 % уже легко обнаруживается. У телевизоров среднего класса качества нелинейность по горизонтали не превышает 10...12 %, по вертикали — 5...8 %.

9.8 Искажения масштаба времени

Частота проекции кадров изображения в кинематографе и телевидении $f_{пр}$ должна совпадать с частотой съемки объектов передачи f_c. При нарушении этого условия характер движения изображения объектов изменяется.

С целью достижения некоторых зрительных эффектов отклоняются при съемке от стандартной частоты 24 к/с. Чтобы сделать различимыми некоторые быстро протекающие процессы, например, вспышку молнии или движение крыльев птицы или пчелы, увеличивают во много раз частоту съемки. Наоборот, чтобы сделать понятными некоторые медленно текущие процессы, например, прорастание растения из семени или распускание цветка, уменьшают частоту съемки, до одного кадра в час. Иногда эти приемы используют для достижения художественных целей, например, для получения *комических эффектов.*

В эпоху "немого" кинематографа съемка велась с частотой 16 к/с. Этого было достаточно для удовлетворительной передачи не очень быстро двигающихся объектов и невысокой яркости экрана. Разрывов между отдельными положениями *(фазами* объектов съемки не наблюдалось. При демонстрации старых кинофильмов в кинотеатре с частотой 24 к/с и в телевидении с частотой 25 к/с характер передачи движения искажается настолько, что производит неприятное впечатление. Движения людей становятся суетливыми.

Для устранения этого недостатка необходимо каждый второй кадр изображения проецировать дважды. Тогда частота кадров будет $8 + 2 \cdot 8 = 24$ к/с, т.е. станет равной принятой сейчас частоте.

9.9 Стробоскопический эффект

Своеобразные искажения возникают в кинематографе и телевидении из-за того, что впечатления движения объектов достигают быстрой сменой множества неподвижных изображений, запечатлевших отдельные моменты положения объекта. Если, например, запечатлевать таким образом вращение колеса, то зрительное ощущение направления и скорости вращения колеса может оказаться полностью искаженным.

Если за время между последовательными моментами съемки совершится целое число оборотов колеса, то оно представится глазу неподвижным. Если за время между съемкой двух последовательных кадров совершится целое число оборотов колеса и еще какая-то доля целого оборота, то зрению колесо представится медленно вращающимся в направлении действительного его вращения. Наконец, если за время между съемкой двух соседних кадров число оборотов будет несколько меньше целого, то нам станет казаться, что

колесо вращается в направлении, обратном действительному направлению. При изменении скорости вращения эти эффекты будут сменять друг друга.

Искажения, обусловленные стробоскопическим эффектом, наблюдаются, если освещать какой-либо движущийся объект светом импульсного источника. Тогда наблюдатель увидит последовательные положения этого объекта. Тот же эффект получится, если безынерционный источник света, например, *неоновую* лампу, питать переменным током. Помашите быстро рукой перед лампой, и вы увидите сразу несколько теневых изображений кисти.

9.10 Искажение передачи градаций яркости

Количество различаемых градаций яркости изображения зависит от контрастности изображения $\beta = B_{max}/B_{min}$ и контрастной (*дифференциальной)* чувствительности глаза δ.

$$n = ln\beta n\beta/ln+\delta) \approx (2,13g\beta 2,1 .$$

Примем для мелких деталей изображения β = 10, для крупных β = 40, а δ = 0,03. Тогда n = 2,3·lg(l0...40)/0,03 = 80...130, т.е. в среднем около ста. Правильность передачи градаций яркости определяется степенью линейности телевизионного тракта, включая преобразователи изображений — передающую и приемную трубки (рис. 9.5).

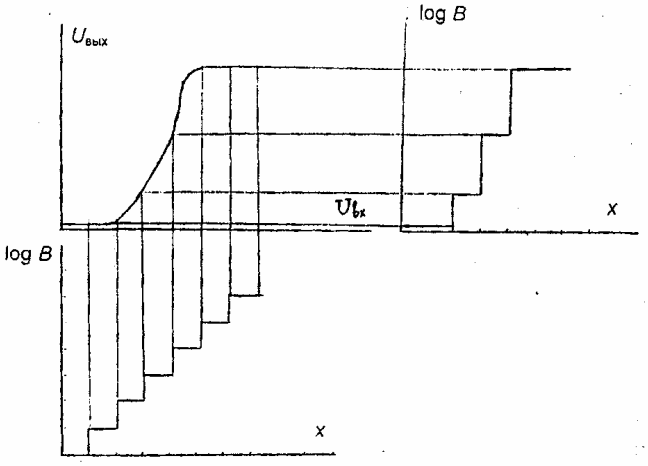


Рис. 9.5

Нелинейность амплитудной характеристики тракта приводит к потере части градаций яркости и, как следствие, к ухудшению воспроизведения полутонов.

Для оценки точности передачи градаций яркости используют градационные полоски телевизионных испытательных таблиц. Чтобы скачки яркости градационных полосок казались равными, коэффициенты отражения полосок должны изменяться в соответствии с логарифмическим *законом Вебера и Фехнера.* Относительные числовые значения коэффициентов отражения полосок приведены в табл. 9.3.

Таблица 9.3

Номера полосок	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коэффициент отражения	1	0,67	0,48	0,31	0,27	0,14	0,09	0,06	0,04	0,03

9.11 Восприятие нарушений цветопередачи

Нарушения точности воспроизведения цветов изображения воспринимается как резкое ухудшение качества. Особенно они заметны зрителям на изображении лица персонажей и белых участках изображения. Поддержание правильного баланса цветов в изображении — важная задача творческих и технических работников телевизионного вещания. В некоторых случаях сознательное нарушение цветового баланса дает интересные и полезные художественные результаты. Так, например, для создания эффекта ночных сцен желательно "притушить" красные и оранжевые тона и подчеркнуть синие тона изображения, так как это соответствует *эффекту Пуркинье (эффекту сумеречного зрения)*. Интересны цветовые характеристики положительных и отрицательных героев. Однако нарушения цветового баланса в "клипах" и рекламных передачах логически не оправданы и служат лишь целям получения экстравагантных изображений, предназначены для того, чтобы "ударить по сознанию" зрителей. Ввиду неэстетичности они формируют у зрителей отрицательные эмоции.

9.12 Снижение четкости изображения

Четкость является одним из важнейших составляющих качества телевизионного изображения. Недостаточная четкость вызывает неприятное ощущение размытости, расфокусировки изображения. Лица персонажей, находящиеся в телевизионном изображении на

среднем и общем планах, становятся неузнаваемыми, неразличимыми.

Четкость телевизионного изображения характеризуется различимостью мелких деталей, присутствующих в объекте передачи. Четкость в первую очередь зависит от числа строк разложения *z* (рис. 9.6).

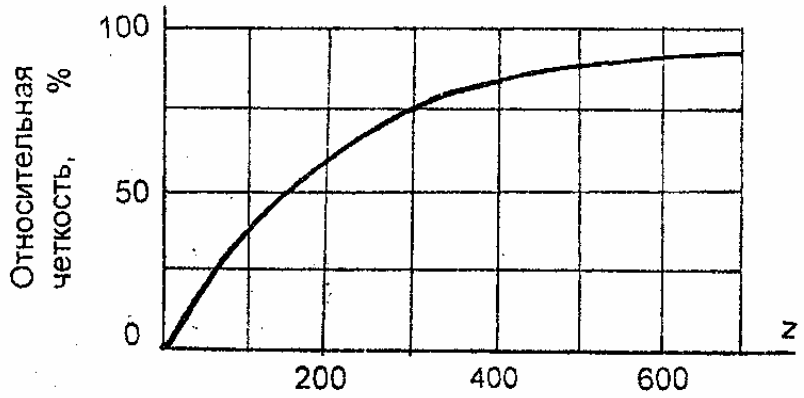


Рис. 9.6.

Считается, что при принятом в нашей стране и Европе числе строк разложения — 625 — четкость достигает 90...95% от максимально возможной. На самом деле в силу различных причин реальная четкость оказывается меньше указанной. Ее снижают т.н. *апертурные искажения* передающей и приемной трубок, ограничение полосы пропускания телевизионных приемников, амплитудно-частотные и фазовые искажения усилителей, передатчиков и других звеньев телевизионного тракта.

Влияние *апертурных искажений* объясняется с помощью рис. 9.7. Их суть сводится к тому, что по мере приближения диаметра *d* развертывающего луча электронно-лучевой трубки к размеру деталей изображения, диаметр луча становится больше протяженности этих деталей. В результате луч будет покрывать одновременно светлую полоску и темные промежутки между полосками. Тогда "белые" места потемнеют, а "темные" посветлеют. Очень узкие полоски превратятся в сплошной серый фон.

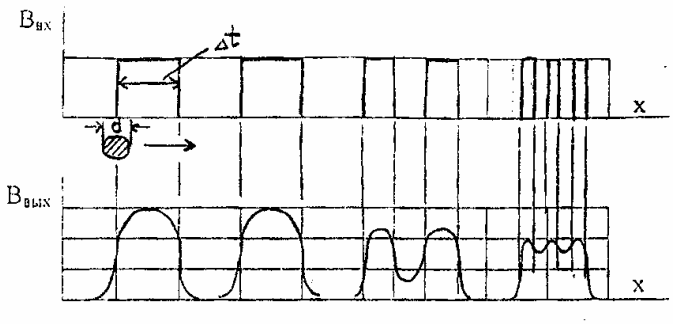


Рис. 9.7

Иногда понятие четкости подразделяют на *детальность* (воспроизведение мелких деталей) и *резкость* (воспроизведение резких скачков яркости). Существуют технические приемы, чтобы повлиять и на детальность, и на резкость границ.

Четкость изображения напрямую связана с разрешающей способностью глаза. Угловые размеры наблюдаемых деталей изображения зависят от размера экрана и расстояния, на которое зритель удален от экрана. Это расстояние выбирают из условия, чтобы не замечалась строчная структура изображения.

10. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РАЗЛИЧНЫХ ОРГАНОВ ЧУВСТВ

10.1 Исходные положения

Органы чувств человека находятся в тесном и постоянном взаимодействии. Воздействующие на них стимулы могут поддерживать друг друга, т.е. быть *синергичными,* либо подавлять друг друга, т.е. быть *антагонистичными.* В одних случаях один стимул будет поддерживать другой, в иных подавлять другой, т.е. быть по отношению к нему антагонистом.

Полнее всего прослеживаются связи между слухом и зрением. Эти связи неоднозначны. В одних случаях слуховые образы подкрепляются зрительными, при отыскании звучащего источника в пространстве, например, птички, поющей на ветке; в других зрительный стимул подавляет слуховой. Например, при восприятии музыки слушатель закрывает глаза, чтобы отвлечься от мешающих зрительных образов и сосредоточиться на чарах музыки. Также поступает человек при недостаточно разборчивом телефонном разговоре, чтобы сосредоточиться на слуховых ощущениях.

Вопросы взаимосвязи и взаимодействия слуховых и зрительных ощущений рассматривались многими исследователями. В конце XIX-го века физик и физиолог П.П. Лазарев в Обществе любителей естествознания в Санкт-Петербурге демонстрировал присутствующим влияние вспышек света на ощущение громкости дребезжащего звука электромагнитного прерывателя — зуммера. Громкость изменялась в такт со вспышками света.

Было обнаружено и обратное явление — воздействие звука на световые ощущения. Физиолог С.В. Кравков нашел, что под действием монотонного звука максимум чувствительности глаза из оранжево-зеленой области спектра видимых лучей перемещается в зелено-голубую область, а чувствительность к оранжевым и красным лучам уменьшается.

Более сложны и не до конца поняты связи звуков речи и музыки с иными раздражителями: цветовыми, осязательными, вибрационными, вкусовыми, обонятельными, температурными. Некоторые физиологи находят связь между слуховыми и осязательными ощущениями, поскольку полагают, что органы слуха в процессе эволю-

ции развились из органов осязания, и слуховые ощущения развились из осязательных.

Обнаружено, чем выше развитие, интеллект человека, тем больше ассоциативных связей возникает между различными органами чувств, хотя он осознанно даже не ощущает этого. В речи мы часто прибегаем к оборотам: солнечный звук трубы, матовый звук валторны или скрипки с сурдиной, музыка окрашена в теплые тона, музыка бросает в дрожь, жжет как огонь. Характеризуя ощущение от голоса человека, мы говорим: теплый, согревающий душу голос, бархатистый, мягкий, жесткий, голос бросает в дрожь и т.д., т.е. идут в ход и световые, и тепловые, и осязательные, и вибрационные оценки.

Разумеется, когда речь идет не о бытовой, а о научной оценке связи, все становится сложнее. Наука признает явление существующим лишь тогда, когда оно либо наблюдается непосредственно, либо воспроизводится в эксперименте, либо строго анализируется математически и вычисляется. К тому же, когда речь идет о психике человека, наука наталкивается на трудно анализируемые явления, не фиксируемые измерительными инструментами и не поддающиеся математическому анализу. Психологические явления чаще всего непосредственно не наблюдаются, в экспериментах проявляются не всегда (то они есть, то их нет), вычислениям почти не поддаются. Следы их проявления нерегулярны, зыбки, неопределенны. В процессе работ по проблеме искусственного интеллекта выяснилось, что человек в сложных положениях принимает решение не путем перебора всех возможных вариантов, а подсознательно, интуитивно, эвристически. Но интуиция иногда и подводит. Поэтому понять ответные реакции человека на те или иные стимулы, раздражения не всегда возможно; поэтому выводы, полученные в результате даже многих наблюдений, не всегда достоверны, правильны.

Таковы трудности, возникающие при установлении связи между различными ощущениями и во взаимодействии различных органов чувств. Обнаруженные явления взаимодействия различных органов чувств и порождаемых ими ощущений и образов в психологии получили название *синестезии.*

10.2 Звуки речи и цвета. Цветовые ассоциации

Свойство звуков порождать цветовые образы известно давно. Цветовую окраску приписывали звукам речи французский поэт А. Рембо, французский языковед К. Нирон, немецкий лингвист А. Шлеглель, русский поэт и писатель А. Белый. Их цветовые оценки звуков даны в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Звуки речи	А. Рембо	К. Нирон	А. Шлегель	А. Белый
А	черный	красный	красный	белый
Е	белый	—	—	желто-зеленый
И	красный	синий	небесно-голубой	синий
У	зеленый	ярко-желтый	—	черный
О	синий	—	пурпурный	ярко-оранжевый

При таком разнобое мнений невозможно вывести сколько-нибудь определенное заключение. Если учитывать индивидуальные суждения о связи звуков и красок, то каждый звук окажется окрашенным во все цвета радуги. Понадобились более обстоятельные исследования. Организация экспериментов была проста. Испытуемым либо предъявлялись звуки речи, либо разноцветные карточки. В первом случае испытуемые подбирали соответствующие цвета, во втором — звуки речи. Зарегистрированные мнения испытуемых подвергались статической обработке с целью выявления преобладающих реакций на различные звуки или цвета. Результаты исследований представлены табл. 10.2.

Таблица 10.2

Звуки	Ассоциированные цвета
А	густо-красный
Я	ярко-красный
О	светло-желтый или белый
Е	зеленый
Ё	желто-зеленый
И	синий
Й	синеватый
У	темно-синий, темный сине-зеленый, темно-лиловый
Ю	голубоватый
Ы	мрачный темно-коричневый или черный

В подавляющем большинстве испытуемые давали более четкую цветовую оценку гласным звукам, особенно звукам *А, Е, И,* а также звуку *О*. Звукам *А, Е, И* приписывались соответственно красный, зеленый и синий цвета, а звук *О* считался светлым, ярким, с белой или желтой окраской, т.е. воспринимался как солнечный.

Любопытно, что лингвисты считают гласные *А, Е, И, О* основными, опорными звуками речи во всех или, по крайней мере, всех европейских языках, а физики — цвета красный, зеленый, синий — основными, из которых путем смешивания получают большинство других цветов. Добавление к ним белого цвета, которому соответствует звук *О,* меняет *насыщенность* цвета. Любопытно и то, что в русских названиях цветов фигурируют соответствующие цвету звуки: крАсный, зЕлЁный, сИнИЙ, причем в каждом слове они занимают важную позицию — стоят под ударением. Видимо, в связях отражается коллективная цветовая интуиция людей.

Остальные гласные придают цвету оттенок. Здесь связи прослеживаются менее четко. Разброс цветовых оценок этих звуков велик. Так *У* ассоциируется с темными оттенками синего цвета, темно-синим, темно-голубым, темно-сине-зеленым. Звук *Ю* тоже связывают с оттенками синего цвета, но светлыми: голубым, светло-сиреневым. Звук *Ё*, в произнесении которого слышится *О*, ассоциируется с желто-зеленым цветом. Половина испытуемых назвала цвет звука *Ё* желтым, половина — белым. Цветовая окраска звука *Я* совпадает с окраской звука *А*, что также объясняется сходством звучаний. Но оттенок ей придают более светлый, чем *А*. Разнобоя не вызвала цветовая оценка звука *Ы*. Почти все назвали его звуком тьмы. Его цветовая характеристика темно-коричневая или черная.

Не все цветовые аналогии звуков прочно закреплены в мышлении людей. Встречались испытуемые, которые меняли цветовую оценку одного и того же звука от эксперимента к эксперименту. Это означает только то, что ассоциативное мышление у этих людей развито не так сильно, как у других. Бывают же люди, вообще не различающие некоторых цветов.

10.3 Формирование звуковых и зрительных образов словами и фразами

Обнаружение ассоциативной связи между звуками речи и световыми (цветовыми) явлениями заставило говорить о наличии еще

более сильной связи между зрительными образами и словами и фразами, в которых эти звуки преобладают. Исследования это подтвердили, но ввиду наличия в словах семантической информации, эти связи проявляются более сложным образом. На первый план выдвигается непосредственная связь между смыслом и звучанием слов и зрительными образами, картинами, создаваемыми этими словами. В поэтической форме мысль об этом высказал М.Ю. Лермонтов:

Есть сила благодатная
В звучанье слов живых.
И дышит непонятная
Святая прелесть в них.

К.Г. Паустовский писал, что стихи иногда теряют свою словесную сущность и становятся такими же явлениями жизни, как человеческие голоса, дождь и другие явления природы.

Поэты часто прибегают к *звукописи,* чтобы воссоздать в стихах зримые образы, картины, природные явления. Вспомним тютчевское: *"Люблю гРозу в начале мая, когда весенний пеРвый гРом, как бы Резвяся и игРая, гРохочет в небе голубом. ГРемят Раскаты молодые..."*. Следующие один за другим звуки "эр" имитируют удары грома. И как последний отзвук уходящей грозы в последний раз звучит звук "эр": *"Повисли пеРлы дождевые, и солнце нити золотит"*.

Образец звукописи находим в стихотворении К. Бальмонта:

Ночною порою в болотной тиШИ
Чуть слыШно, БесШУмно ШурШАт камыШИ.
О чём они ШЕпчут? О чём говорят?
Ночною порой камыШИ Шелестят.

Звуки "ШИ", "ША", "ШУ" напоминают шуршание высоких, жёстких стеблей и листьев этого болотного растения.

А вот более современный пример: *"ШурШи маШина Шибче резиновыми Шинами..."* или прозаическое *"СлыШится ШурШание Шин маШин по Шоссе..."*. Явственно представляешь себе несущийся, стелющийся по шоссе поток автомобилей. Стремление к звукописи, к музыкальности стиха доводит некоторых поэтов до формалистических вывертов. В. Хлебников так передает впечатление от лица героини:

Бобоэби пели губы, Вэзоми пели взоры, Пиэзо пели брови, Лиэзой пелся облик...

Компьютерный анализ стихотворений некоторых поэтов показал, что в них преобладают звуки, соответствующие цветовому содержанию стихов. Таков например, анализ стихотворения А. Блока, в котором он описывает впечатление от картины В. Васнецова *"Гамаюн, птица вещая"*. Ее трагический колорит — мрачно-багровый, кроваво-красный — нашел отражение в преобладании звуков *А, Я,* стоящих под ударением, и "темных" звуков *У, Ы,* соответствующих багрово-темному колориту. А повышенная частость звука *Е* свидетельствует о наличии в картине темно-зеленых пятен.

10.4 Цветовой звук и цветомузыка

Свойство музыкальных звуков вызывать цветовые ощущения замечалось давно. Первые публикации на этот счет появились в XVII веке. По-видимому, первым ученым, попытавшимся связать слуховые (музыкальные) и световые (цветовые) явления, был И. Ньютон. В 1665 г. он разложил солнечный свет призмой на цветовые составляющие. Вскоре после этого он предложил расположить тона натуральной гаммы в соответствии с цветами солнечного спектра следующим образом:

до – красный,	соль – зеленый,
ре – фиолетовый,	ля – желтый,
ми – синий,	си – оранжевый,
фа – голубой,	до – красный....

Это соответствие в значительной мере носило формальный характер.

Большой вклад в согласование музыкальных и цветовых явлений внес А.Н. Скрябин. В 1910 г. он создал для своей симфонической фантазии *"Прометей"* цветовую партитуру. Но до сих пор она не расшифрована. Предполагается, что смена цветов должна была происходить при смене тональностей, а насыщенность цвета связывалась с интенсивностью звучания.

Обширные исследования цветового звука были проведены в Конструкторском бюро Казанского авиационного института. Подвергся обследованию цветовой звук творческих людей — писателей, поэтов, музыкантов, кинематографистов. Были обнаружены три вида связи, названные исследователями:

- цвето-тоновыми, т.е. зависящими от высоты музыкального звука,
- цвето-тональными, зависящими от тональности произведения,
- цвето-гармоническими, зависящими от лада произведения и гармонических построений, т.е. структуры аккордов.

Цвето-тональным слухом обладал А.Н. Скрябин. Тональности до мажор он приписывал красный цвет, си мажор — цвет лунного сияния и т.д. Цветовым слухом обладали Л. Бетховен, Ф. Шуберт, Ш. Гуно, Р. Вагнер, Н.А. Римский-Корсаков. О цвете и музыке улиц писали А. Грин и В. Маяковский. Цветовую окраску приобрели даже названия некоторых музыкальных произведений: "Поэма огня", "Лунная соната", "Голубая рапсодия", "Голубая ночь".

Американские психологи Г. Карвосский и Х. Одберт обнаружили, что цветовой слух присущ многим людям. Чем выше образование и развитие человека, тем в большей степени проявляется это свойство.

Среди студентов этим свойством обладали около 60 %. Высокие музыкальные звуки (тона) создавали ощущение светлых оттенков, низкие — темных. При увеличении интенсивности звука цветовые образы как бы приближались к слушателям, становились насыщеннее, при снижении — отдалялись и блекли. Медленная музыка ассоциировалась с голубым цветом, быстрая — с красным. На расположение цветовых образов (пятен) в пространстве влияло развитие музыкальной темы: тянущееся во времени вызывало ощущение растяжения цветового образа по горизонтали, увеличение интенсивности — увеличение протяженности цветового образа по вертикали.

Искусство, конечно, не может основываться на столь неопределенной основе, поэтому считается, что цветовое сопровождение пока что может являться лишь вспомогательным средством обогащения музыкальных впечатлений.

На основе глубоких исследований отечественных психологов у нас в стране были созданы цветомузыкальные устройства, обладавшие высокими художественными свойствами. Это синтезатор цветозвука К. Леонтьева, цветовой вариатор студии им. Довженко (Киев). Ф. Юрьевым был разработан проект цветотеатра. В Казани и других городах сооружены цветомузыкальные фонтаны. Инте-

ресные разработки были выполнены Институтом сценографии в Праге.

Но высокая идея синтеза искусств по воле предприимчивых дельцов выродилась в мигание цветных лампочек в залах дискотек и не связанное с содержанием исполняемых произведений метание лучей прожекторов по эстрадным площадкам.

11. ПРИЛОЖЕНИЕ ПСИХОФИЗИОЛОГИИ ЗРЕНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ АППАРАТУРОЙ ВЕЩАНИЯ

11.1 Постановка задачи

Когда разрабатывается новая аппаратура и технология её использования, приходится учитывать, как будут складываться условия деятельности операторов, которые будут ею управлять. Для повышения эффективности управления используют два пути:

1. Учитывают возможности и характеристики человека, согласуют его возможности с предлагаемыми условиями труда. Для этого исследуют закономерности психических процессов и приспосабливают разрабатываемую аппаратуру к этим закономерностям.

2. В необходимых случаях исследуют индивидуальные особенности различных людей с помощью специальных испытаний и на этой основе производят их профессиональный отбор и обучение.

Оба эти пути не исключают, а дополняют друг друга. В проблеме управления вещательными комплексами возникают и решаются две задачи. Первая — передача сигналов от аппаратуры к оператору, вторая — передача управляющих действий от человека к аппаратуре. При этом необходимо учитывать характер и возможности двигательных, *"моторных"* действий оператора и обусловленных ими требований к конструированию органов управления. "Выходные", управляющие действия чаще всего совершаются оператором непосредственным передвижением рукояток органов управления. В последнее время усиленно обсуждается вопрос о речевом управлении. Утверждается, что управление речью совершается более быстрым и экономным путем. Однако с помощью речи можно решать лишь ограниченный круг задач. Пока что наиболее эффективным является управление движением.

Вопросы психологических принципов конструирования органов управления и контроля являются предметом инженерной психологии.

Эффективность действий операторов аппаратных вещания в конечном счете зависит от того, насколько совершенны органы управления и контроля. От этого зависит скорость и точность

приема информации и ответных реакций в виде соответствующих движений.

11.2 Психологические вопросы построения органов контроля

Главным средством управления процессами вещания служат различные пульты, снабженные органами управления и контроля. Состояние вещательных трактов и параметры сигналов вещания отображаются на шкалах измерительных приборов и экранах дисплеев. На экранах дисплеев информация отображается в виде комбинаций условных знаков, цифр и букв. В оценке параметров звучания главенствующая роль принадлежит акустическому контролю, осуществляемому с помощью контрольных громкоговорителей, а в оценке изображений — видеоконтрольным устройствам.

Психологическую оценку достоинств и недостатков контрольных устройств производят по нескольким взаимосвязанным признакам. В их число обычно включают:

1. Характер сигналов, которые устройства отображают (визуальные, акустические и другие).

2. Назначение поступающих на контрольные устройства сообщений: сигналы звукового или телевизионного вещания, команды операторам, оповещение о состоянии аппаратуры или ее блоков, предупреждение о режиме работы — репетиция, передача идет, тревога — авария, выход из строя какого-то блоке и т.д. По этому признаку контрольные устройства подразделяют на целевые и ситуационные. Первые отображают цель управления и дают сведения, побуждающие оператора к определенным действиям, вторые дают не только информацию о ходе контролируемого процесса, но и о ситуации в целом.

3. Объем и скорость воспроизведения информации с учетом «пропускной способности» соответствующих органов чувств оператора, его возможности реагировать на нее.

4. Назначение и способ использования информации:

а) для проверочного контроля, когда оператор решает простейшую задачу вида *«да — нет»,* включен какой-либо блок или тракт или нет, нормален ли режим его работы или нет *(«исправен — неисправен»),* какой источник сигнала включен и в какую точку тракта ;

б) для качественного контроля (в какую сторону изменился контролируемый параметр, стал ли он больше или меньше номинала);

в) для количественного контроля, например, для численной оценки контролируемой величины (напряжения, уровня и т.д.).

Однако это разделение условно. Например, по движению стрелки измерителя уровня судят и о том, что тракт включен и действует, и об отклонении уровня в большую или меньшую сторону от установленного номинала, и о численном значении уровня.

На правильность восприятия информации, считываемой с контрольных устройств, в сильной степени влияет не только степень сопряженности контрольного устройства с возможностями оператора, но и психическое состояние оператора и различные отвлекающие внимание оператора обстоятельства ("шумы") — разговоры окружающих людей, мысли о домашних делах и т.д. Исключительно важное значение в реакции оператора на информацию, доставляемую ему контрольными устройствами, имеет *антиципация* — предвидение хода событий (*"опережающее отражение").* Срывы в деятельности оператора возникают особенно часто при затруднениях антиципации. Это происходит в тех случаях, когда отдельные важные действия оператора жестко регламентированы информацией, поступающей в каждый отдельный момент, т.е. когда оператор ставится в режим работы по принципу: *"сигнал- реакция"*. Неожиданная, непредвиденная заранее информация может в сильной степени "сбить" дальнейшие действия оператора.

Среди контрольных устройств большое место занимают измерительные шкальные приборы. Исследования показали, что точность считывания их показаний в значительной мере зависит от устройства шкалы, ее размеров и формы. Результаты исследования реакции операторов на пять видов шкал, изображенных на рис. 11.1, представлены ниже в табл. 11.1. Время предъявления показаний шкал во всех случаях было ограничено значением 0,12 с.

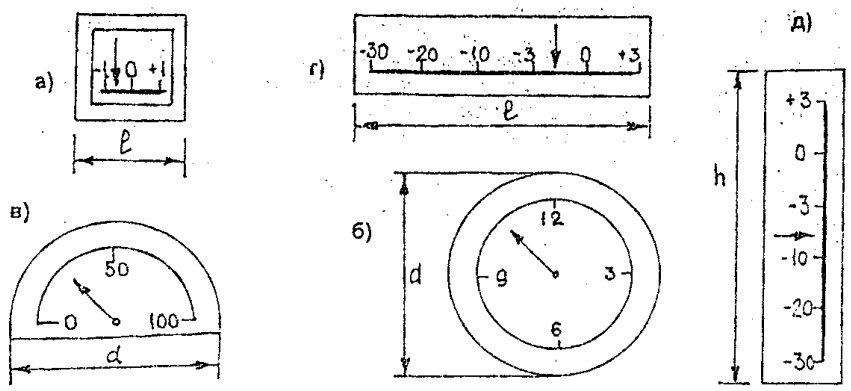


Рис. 11.1

Таблица 11.1

Форма шкалы	**а**	**б**	**в**	**г**	**д**
Максимальный размер, мм	42	55	11	178	178
Количество ошибок считывания, %	0,5	10,9	16,6	27,5	35,5

Наиболее точно читаются показания счетчика *("открытое окно"),* затем следуют круговая, полукруглая, горизонтальная и, наконец, вертикальная шкалы.

Преимущество счетчика понятно. Задача при чтении его показаний проста и сводится к чтению появившегося в окошке числа. Преимущества круглой и полукруговой шкал также легко объяснить: положение стрелки оценивается в двумерном пространстве, что является дополнительно информацией к прочитываемому численному значению величины. При этом маршрут движения глаз более экономен, чем при восприятии линейных шкал. А вот худшая читаемость вертикальной шкалы по сравнению с горизонтальной объясняется, по-видимому, выработанной привычкой "читать по строкам" и более простым мышечным режимом движения глаз в горизонтальном направлении.

Более поздними исследованиями выявлено, что скорость и точность чтения показаний круговых шкал зависит от того, в каком *квадранте* расположена стрелка. При прочих равных условиях лучше всего оцениваются показания в верхнем левом квадранте, хуже всего — в правом нижнем. Скорость и точность чтения показаний стрелочных приборов зависит также от того, что является подвижным элементом. При коротких экспозициях (менее 0,5 с) точнее читаются показания прибора с подвижной шкалой и неподвижной стрелкой. Условия чтения приближаются к условиям чте-

ния показаний счетчика. Но при увеличении экспозиции преимущество переходит к приборам с неподвижными шкалами.

После всего сказанного нужно объяснить, почему в вещании приняты приборы с линейными шкалами. Правда, их роль сводится большею частью лишь к качественному, а некколичественному контролю и даже к отсчетам типа "*да — нет*" — превышен ли установленный номинал (нулевая отметка на шкале) или нет. Что касается вертикальных шкал, то это — единственный способ контролировать уровни сразу во многих трактах. К тому же движение стрелок в этом случае (вниз — вверх) хорошо согласуется с движением рукояток регуляторов (к себе — от себя).

Подводя итоги исследований по выбору типа шкалы, американский исследователь А. Чапанис сравнил приборы с тремя видами шкал:

1) с подвижной стрелкой и неподвижной шкалой,

2) с неподвижной стрелкой и подвижной шкалой,

3) счетчик.

Результаты при использовании их для проверочного, количественного и качественного чтения и для решения задач, требующих установки органов управления в определенное положение, даны в табл. 11.2.

Таблица 11.2

Задача	**Тип шкалы**		
	1	2	3
Количественное чтение	+	+	+++
Контрольное чтение	+++	-	--
Качественное чтение и слежение	+++	+	-
Установка органов управления	+++	+	+++

Здесь количество знаков обозначает предпочтительность той или иной шкалы. Знак минус свидетельствует о непригодности шкалы для решения данной задачи. Очевидно, лучше всего удовлетворяет поставленным задачам прибор с подвижной стрелкой и неподвижной шкалой.

Одним из основных показателей эффективности устройств отображения информации является *разрешающая способность*. Оптимальной считается угловая высота знаков шкалы — 40', ещё допус-

тимой — 20'. При считывании знаков меньших размеров время считывания и число ошибок возрастают.

Немаловажными являются *угловые размеры всей шкалы.* Они должны находиться в пределах 2,5...6°. В зависимости от расстояния, с которого читают показания прибора, длина шкалы должна составлять от 50 до 180 мм при расстоянии до шкалы соответственно от 50 до 100 см.

В некоторых контрольных устройствах информация выводится в виде цифр, букв (надписей), других знаков. В этих случаях немаловажными являются *форма и размеры знаков, толщина обводки.*

Скорость и точность опознания цифр зависит от их формы. Исследователи располагают цифры в порядке ухудшения их чтения в следующем порядке: 1,7,4, 0, 2, 9, 3, 5, 6, 8, по другим данным 4, 7, 5, 3, 0, 1, 8, 2, 6, 9. Несмотря на имеющиеся расхождения, следует признать, что лучше различаются цифры, образованные прямыми линиями. Был предложен ряд *шрифтов,* обеспечивающих повышенную различимость цифр. При этом стремились сделать возможно более непохожими цифры, которые можно спутать, например, 5 и 6, 6 и 8, 8 и 9. Следует отметить, что форма цифр, принятая во многих газоразрядных и цифровых матричных индикаторах, далека от наилучшей. Видимо, здесь стремились более к упрощению построения самих индикаторов.

Рекомендации об *отношении высоты и ширины цифр* весьма разноречивы: от 1:1 до 3:1. Рекомендуемая *толщина обводки* по отношению к высоте цифр: для черных цифр на белом фоне (прямой контраст) от 1:6 до 1:8, для белых цифр на черном фоне (обратный контраст) от 1:8 до 1:10. Цифры, рассматриваемые на просвет, хорошо различаются даже при толщине обводки 1:40. При одинаковой толщине обводки на больших расстояниях белые цифры различаются лучше, чем черные, на близких — наоборот. При чтении белых цифр на черном экране оператор допускает меньшее количество ошибок и меньше утомляется, чем при чтении черных цифр на белом фоне.

Мало изучен вопрос об оптимальной форме букв русского алфавита. При опознании букв стандартного машинописного алфавита или стандартных типографских шрифтов возникают такие же ошибки, что и при опознании цифр. Ошибки возрастают при увели-

чении сложности начертания и сходстве элементов букв. Чем сложнее форма буквы, тем больше времени требуется для ее опознания.

Буквы *И, К, Л, О, Т, У* опознаются в среднем за 0,06 с, буквы *Ж, Ф, Х, Щ* — за время 0,11...0,14 с. Строчные буквы различаются хуже, чем заглавные, наибольшее количество ошибок возникает при опознании букв *Ж, З, М, Ц, Ы, Э, Ю, Я, Б, В, Ш. Щ, П.*

При чтении знаковой информации возникает вопрос о *числе знаков в группе,* которые могу быть опознаны за наименьшее время и сохранены в кратковременной памяти. Применительно к группам букв оно постоянно для каждого человека и составляет от 3,8 до 5,2 буквы, в среднем 4,3 буквы. Речь идет о *наборе* букв, а не об осмысленных словах. При увеличении времени экспозиции с 0,015 до 0,5 с точность опознания букв остается почти постоянной.

В отношении цифр некоторые авторы указывают возможное количество цифр в группе 7...8. Для лучшего запоминания цифры рекомендуют объединять в группы по 2...3. Именно этот принцип используют для запоминания многозначных номеров телефонов.

Ошибки могут возникать из-за неправильно прочитанных сходных по начертанию, но различных по смыслу слов. Простейший пример: слова *«включить»* и *«выключить»* или в сокращенной форме *"вкл"* и *"выкл"*. Одно из таких слов следует заменить близким по смыслу, но отличным по начертанию или вовсе исключите из употребления. Так и поступают в ряде случаев, например, используют светящуюся надпись *"Микрофон включен"* как сигнал включения микрофона, а при выключенном микрофоне эта надпись не светится.

11.3 Психологические вопросы построения органов управления

Когда на пульте управления, например, звукорежиссерском пульте, расположены сотни органов управления, возникает опасность их ошибочного использования. А.П. Полстяной определил вероятность правильных операций управления в зависимости от степени сложности структуры пульта. Для пульта структуры 6/2 она составляет 98 %, для пульта структуры 12/4 — 97 %, для пульта структуры 24/4 — 95 %. Числитель в обозначении структуры означает количество входов, знаменатель — количество выходов.

Взаимодействие оператора (звукорежиссера, звукоинженера) с пультом представлено схемой рис. 11.2. Параметры сигнала на входе и выходе трактов пульта предъявляются оператору с помощью устройств контроля и отображения. Эта информация, воспринимаемая зрением и слухом, способствует формированию у оператора внешней информационной модели. Она отражает состояние и динамику изменения управляемого объекта. Далее в сознании воспринятая информация сопоставляется с *внутренней образно-концептуальной моделью обстановки.* Последняя является результатом осмысления оператором сложившейся обстановки с учетом поставленных перед ним задач. В процессе синтеза внешней и внутренней моделей возникает система взаимодействия характеристик — *оперативная концептуальная модель.* На ее основе принимаются решения о необходимых действиях и формируется схема поведения.

Принятое решение реализуется посредством управляющего воздействия или системы воздействий на органы управления пульта.

Двигательные (моторные) действия, откорректированные двигательным анализатором, преобразуются в соответствующие изменения состояния тракта и характеристик электрических сигналов.

Схема рис. 11.2 дает лишь общее представление о взаимодействии оператора и пульта. В действительности перечисленные этапы не обязательно выполняются полностью и в рассмотренной последовательности, что связано с особенностями частей вещательной программы (музыка и речь из студии, фонограммы, информация от внешних источников и т.д.). Очевидно, что качество деятельности системы "оператор-пульт" определяется тем, насколько правильно распределены обязанности между этими двумя составляющими системы.

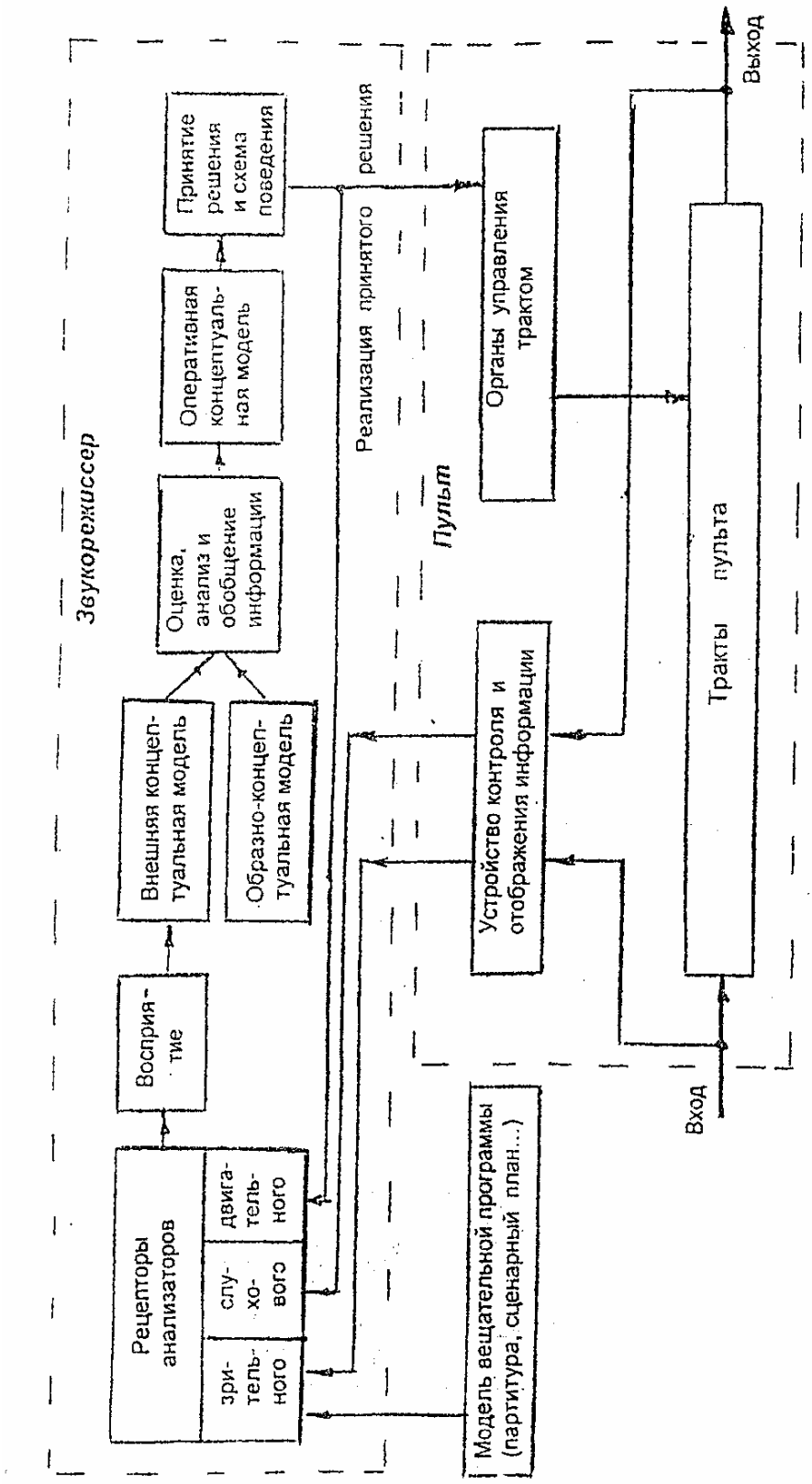


Рис. 11.2

Органы управления пультом условно разделяют на *оперативные* (регуляторы уровня и АЧХ, регуляторы эффектов) и *неоперативные*

(в первую очередь, коммутационные устройства). Оперативные органы управления располагают по возможности в оптимальной зоне, легко доступной оператору, неоперативные — в максимальной, дальней зоне. Оптимальной считают зону в радиусе примерно 40 см от каждого плеча, максимальной — в радиусе около 60 см. Наиболее точные движения оператор совершает в области 15...35 см от средней линии тела, т.е. в оптимальной зоне. На расстоянии более 40..60 см точность движений и соответственно выполняемых операций резко снижается (рис.11.3).

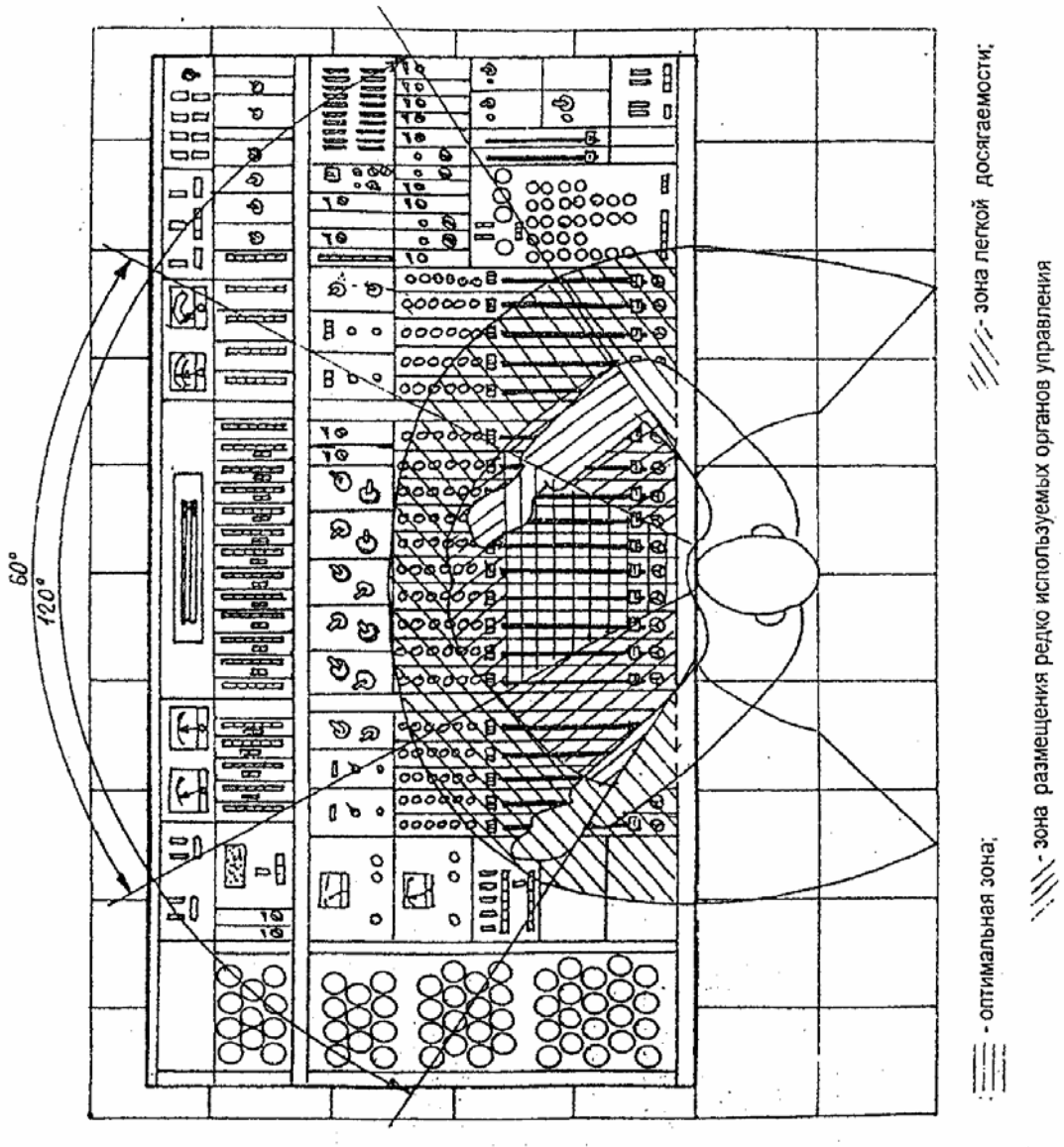


Рис. 11.3 — Углы обзора и зоны досягаемости моторного поля оператора в горизонтальной плоскости (ГОСТ 12.2.032-78) при работе за пультом типа 5 АР99041 R (ЧССР)

Отметим, что научные основы положений о регулировании рабочих движений были заложены И.М. Сеченовым и И.П. Павловым и развиты их последователями: П.К. Анохиным, Н.А. Бернштейном, Л.М. Веккером, А.В. Запорожцем, Г.Х. Кекчевым, А.Н. Леонтьевым, Б.Ф. Ломовым, А.Р. Лурье, А.Н. Пуни.

Для различения органов управления, особенно коммутационных, широко пользуются их окраской, для чего выбирают резко различные, яркие, насыщенные цвета — *красный, желтый, зеленый, синий.* Для регуляторов, управляемых вращением, используют рукоятки, различающиеся формой (например, круглые, многогранные, в виде "клювика') и размерами. Разнообразят форму боковой поверхности ручек. Её выполняют гладкой, шероховатой, с различной насечкой. Таким образом для различения привлекают не только зрение, но и *осязание.* В опознание вовлекается пространственная память (память на место расположения тех или иных органов управления).

Немаловажным является вопрос о *точности регулирования,* т.е. о точности установок рукояток регуляторов в нужное положение. Она зависит от размеров рукояток. Для вращаемых рукояток психологи и физиологи считают оптимальным диаметр 50 мм, а для рукояток, перемещаемых в продольном направлении, длина участка перемещения желательна от 50 до 140 мм (в зависимости от диапазона изменения регулируемой величины).

Скорость установки рукоятки в требуемое положение примерно в 1,5 раза больше при вращательном движении, чем при поступательном. Но регулятор с продольным перемещением рукоятки удобен тем, что перемещение рукоятки к себе и от себя хорошо согласуется с движением стрелки указателя уровня с вертикальной шкалой — вниз и вверх, а само положение рукоятки наглядно показывает величину затухания регулятора и, следовательно, уровень сигнала в данном тракте.

В современных пультах с цифровым управлением одной рукояткой управляют параметрами нескольких трактов поочередно. Выбор тракта, подлежащего управлению, производят с помощью кнопочной *тастатуры.* Тем самым уменьшают количество органов управления и размеры пульта.

11.4 Роль освещения в деятельности работников вещания

Все виды деятельности работников вещания нуждаются в естественном или искусственном освещении. От значения освещённости зависит степень различения элементов оборудования, точность выполнения операций управления, качество выполнения работ в целом, общее психологическое состояние и степень утомляемости персонала.

Используется общее и местное освещение. С помощью общего освещения обеспечивают надлежащий *"световой климат",* при котором персонал чувствует себя достаточно удобно, не испытывает ощущения полумрака. Местное освещение предназначено для создания световых акцентов на рабочих поверхностях оборудования. Правильное соотношение освещённостей различных зон производственного помещения определяет зрительный комфорт персонала. Комфортные условия достигаются при соотношении освещённостей, обеспечиваемых системами общего и местного освещения в пределах от 5:1 до 10:1. Общая освещённость по данным различных источников составляет от 75 до 200 лк.

Недопустимо нахождение в поле зрения персонала слепящих источников света, например, в виде незащищённых нитей накаливания.

Недопустима пульсация светового потока источника света, превышающая 10...15 % номинального значения освещенности. Для ламп накаливания это требование выполняется. Но у некоторых газоразрядных и люминесцентных источников света пульсации освещённости могут доходить до 100 %. Частота пульсации при питании этих источников света переменным током составляет 100 Гц. Она превышает критическую частоту мельканий и, казалось бы, не должна сказываться на восприятии. Но быстрые изменения освещённости фиксируются зрительными долями мозга, откладываются в подсознании, приводят к утомлению зрения и даже к долговременным расстройствам зрения.

Немаловажным фактором являются цветовые свойства излучения источников света. Нежелательны цветовые различия спектра излучения различных источников.

Следует избегать резкого различия в освещённости частей помещения. Но неблагоприятно и полное отсутствие контрастов яркости и цветности, подобная "стерильность" характерна для многих

современных служебных помещений с одинаково светлыми стенами, потолком, полом и мебелью. Соотношение яркостей центральной наблюдаемой области и периферийных областей пространства помещения должно быть порядка 5–10.

Важно направление световых потоков в помещении. Свет должен распространяться так, чтобы не возникало резких теней. Психологи отмечают, что предпочтительное направление светового потока искусственного света должно быть таким, как и естественного светового потока. Однако эта рекомендация почти никогда не выполняется.

Физиологи указывают на опасность ультрафиолетового излучения искусственных источников света. Впрочем, эта опасность у ламп накаливания и современных люминесцентных ламп отсутствует.

Ультрафиолетовое излучение вредно не только для людей, но и для многих предметов. Под его воздействием быстро стареет писчая бумага, портится лакированная мебель, выцветают краски. Известно, что цветные фотографии менее долговечны, чем черно-белые.

Особую опасность для исполнителей представляет большая освещённость телевизионных студий и эстрадных площадок. Эта опасность усиливается из-за динамических эффектов освещения: движения световых лучей прожекторов и других устройств эффектного освещения, частая смена цветности световых потоков с помощью вращающихся светофильтров. Следует отметить небольшую эстетическую ценность этих эффектов, поскольку движение световых лучей и смена цветности обычно никак не связаны с содержанием исполняемых произведений. Эти эффекты чаще всего служат для того, чтобы скрасить невысокий художественный уровень исполнения, завуалировать его недочёты. Поэтому по своей природе они *антиэстетичны.*

12. ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОСПРИЯТИЯ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

12.1 Условия наблюдения изображений

Телевидение занимает большое место в жизни многих людей. Значительное влияние телевизионных программ на зрителей объясняется тем, что зрение воспринимает больший объём информации, чем другие органы чувств. Телевизионные программы более эффективно воздействуют на сознание людей, чем печать и программы звукового вещания.

Язык изображений, язык зрительных образов более древен, чем язык слов, чем жесты. Некоторые исследователи полагают, что с развитием речи язык зрительных образов отошёл на второй план, ушёл, главным образом, в область подсознательного восприятия. Но это обстоятельство не умаляет значения языка зрительных образов, наоборот, делает его более весомым и в некотором отношении более сложным. Психологи предупреждают: с изображениями, воздействующими на область подсознательного мышления, нужно обращаться осторожно.

Язык зрительных образов более сложен и более ёмок, чем язык слов. Любое изображение несёт в себе более сложное понятие, а иногда одновременно несколько понятий, накладывающихся одно на другое. Смысл некоторых из них не лежит на поверхности, не всегда доступен прямому пониманию, не всегда изначально ясен. Изображение по своей природе ассоциативно. Каждый человек находит в нём свой индивидуальный смысл.

Поэтому для восприятия телевизионных изображений нужны особые условия: отключённость от других раздражителей, сосредоточенность на смысле передаваемых сообщений.

Для большинства людей телевидение — окно в огромный мир. Но и само телевидение — целый мир со своими законами, достижениями и недостатками. О некоторых из них идёт речь в настоящей главе.

Современные технические системы передачи и воспроизведения зрительной информации (кинематографические, телевизионные, компьютерные) формируют на отображающих устройствах (экранах кинотеатров, телевизоров, дисплеях) синтетические изо-

бражения, заметно отличающиеся от реальных объектов. Эти изображения вследствие технических ограничений лишь имитируют реальную обстановку. Подмена реальности набором стимулов, представляющих *"слепки"* с действительности, ограниченные и дискретизированные в пространстве, времени и оптическом спектре, бывают настолько далеки от реальности, что вызывают у зрителей чувство неудовлетворённости. На условия наблюдения изображений большое влияние оказывает окружающая зрителя среда. Комфортными условия наблюдения зритель считает тогда, когда характер изображения удовлетворяет его вкусу и желанию, а окружающая обстановка не отвлекает его от просмотра изображения.

Все причины, мешающие восприятию изображений, психологи обозначают словом *"дискомфорт"*. Причинами дискомфорта бывают физические *(технические)* и психологические обстоятельства.

К физическим (техническим) причинам в телевизионном вещании относят рассмотренные ранее обстоятельства: отклонения яркости изображения от желаемой, геометрические и нелинейные искажения, нарушения передачи градаций яркости и цветопередачи, изменение контрастности изображения, понижение чёткости, появление повторных контуров и тянущихся продолжений *(«тянучек»),* появление заметного рисунка помех.

К психологическим обстоятельствам относят: несоответствие звукового и зрительного плана, частые и художественно неоправданные смены зрительных планов, беспричинное изменение масштаба изображения, имитирующее *"наезды"* и *"отъезды"* камеры, чрезмерное пользование трюковыми (искажающими) объективами, создающими эффект "самоварного" изображения, дрожание камеры или быстрое *"панорамирование"*. Ранее последние недостатки были свойственны любительской кино- или видеосъёмке, когда неумелый оператор не держал жёстко камеру в руках. Теперь же этот недочёт используется профессионалами как художественный приём, имитирующий быстрый переброс взгляда с одного предмета на другой.

Человек определённым образом соотносит экранное изображение с действительностью, интуитивно вырабатывает для себя определённые *«правила поведения»* в отношении телевизионного изображения и нормы допустимого отклонения изображения от действительности. Чем выше развитие зрителя, тем строже он относится

к отклонению наблюдаемого экранного изображения от ожидаемого. Крайним является случай, когда наблюдаемое экранное изображение не имеет аналога в реальном мире. Возникает сильное психологическое напряжение в безуспешных попытках *"привязать"* необычный образ к действительности.

12.2 Роль света и цвета в формировании телевизионного изображения

Выразительным средством телевизионного изображения служит логичное выделение светлых и темных частей кадра. Взаимоотношение света и тени способствует, наряду с правильным композиционным построением кадра, созданию нужного художественного образа.

Для вечерних или ночных сцен характерны тёмные тона кадра. Сцене, происходящей в пасмурный день, свойственны светлые тона и малая контрастность. Сцены, изображающие солнечный день, характерны светлыми тонами и большой контрастностью.

Особое внимание уделяют распределению освещённостей при изображении наиболее существенных элементов кадра, прежде всего, лиц исполнителей. Падая на лицо человека, свет образует сложные переходы от света к тени. В зависимости от характера освещения эти переходы могут быть резкими, контрастными или, наоборот, мягкими. Светом "лепят" лицо человека. Непривычное освещение может совершенно исказить облик человека. Передний свет скрадывает рельеф лица, делает его "плоским". Боковой, наоборот, подчёркивает рельеф, вызывает глубокие тени, увеличивает контрастность, подчёркивает недостатки кожи. Верхний свет, подобно боковому, подчёркивает рельеф лица, создаёт тени под бровями, носом, губами, подбородком. Преобладание верхнего света придаёт лицу мрачный вид. Нижний свет, будучи необычным, создаёт деформированное изображение лица, так как тени направлены снизу вверх. Задний свет помогает выявить очертания головы, форму причёски, отделяет фигуру исполнителя от фона и тем самым создаёт ощущение объёмности.

Большое значение имеет цветовое решение кадра. Множество мелких контрастных по цвету элементов кадра создаёт ощущение неприятной пестроты. Зато отсутствие резких по контрасту элементов придаёт кадру ощущения спокойствия, мира. Преобладание не-

которых цветов делает кадр эффектным, будоражащим чувства, и подчас используется как художественно оправданное средство.

12.3 Звуковые и зрительные планы

Одна из важных задач формирования передач телевизионного вещания — создание *звукового образа,* соответствующего видимому содержанию сцены.

При увеличении расстояния между источником звука и слушателем на открытом воздухе происходит постепенное уменьшение уровня звукового давления, а при дальнейшем увеличении расстояния — некоторое изменение тембра ввиду затухания высокочастотных составляющих спектра звука в воздухе. В помещении скорость спада уровня звукового давления уменьшается по сравнению с процессом на открытом воздухе. Сказываются отражения звуковой энергии от преград помещения. Изменяется соотношение плотностей энергии прямого и диффузного звука, образованного многократными отражениями звука от преград. Изменение этого соотношения в пользу относительного увеличения доли диффузного звука проявляется как ощущение увеличения *"гулкости"* помещения.

При использовании для передачи звука электроакустического тракта у слушателя возникают несколько иные впечатления, меньше сказываются изменения уровня звукового давления ввиду компенсации спада уровня увеличением усиления сигнала в электрическом тракте. При отдалении источника звука от микрофона звучание становится "гулким", несколько матовым, более глухим по тембру, при приближении — менее "гулким", более отчётливым и светлым по тембру. Итак, при удалении характер звука становится гуще, шире, более гулким, при приближении — суше, светлее, резче, уже. Повышается разборчивость певческой речи.

Названные обстоятельства имеют большое значение для телевизионного вещания. Их используют для согласования зрительного и звукового планов показываемой сцены. Изменяя расстояние между источником звука и микрофоном, изменяют соотношение доли энергии прямого и доли энергии диффузного звука, что вызывает у слушателя ощущение изменения размеров помещения и изменение размеров звучащего источника.

Представление о желаемом характере звучания выражают понятиями звукового плана и звуковой перспективы. Различные *зву-*

ковые планы возникают в концертных или театральных залах при изменении расстояния между источниками звука и слушателями, а в вещании — между источниками звука и микрофонами. Общее звучание различных звуковых планов вызывает у слушателей или зрителей ощущение протяжённости звуковой картины в глубину. Возникающее при этом восприятие называют *звуковой перспективой.*

При решении творческих задач в телевидении и кинематографе пользуются понятиями *зрительных планов.* Различают следующие планы:

- общий или дальний план — толпа людей, пейзаж;
- третий или средний — небольшая группа людей во весь рост;
- второй — фигура человека до пояса или до колен;
- первый — лицо и плечи;
- крупный — глаза человека, часы на руке, кисть музыканта на грифе скрипки.

Аналогично зрительным различают *звуковые планы*. Классификация звуковых планов менее детализирована. Она включает в себя

- общий или дальний звуковой план,
- средний или нормальный звуковой план,
- крупный или ближний звуковой план.

Общий или дальний план используют для создания эффекта расширенного пространства, например, в случаях, когда нужно передать массовое действие, шум толпы, гул голосов, батальные сцены, бурю, грозу. Эти звучания характеризуются силой и мощью. Общий звуковой план уместен в финалах крупных симфонических произведений. Сухая акустическая обстановка создаст для такой музыки тесную, бедную звуковую среду.

Средний звуковой план является основным при передаче драматических спектаклей и камерной музыки. Средний звуковой план характеризуется примерно равенством плотностей энергий прямого звука $\varepsilon_{пр}$ и диффузного звука $\varepsilon_{д}$. Отношение этих плотностей энергий выражают параметром, называемым *акустическим отношением* $R = \varepsilon_{д}/ \varepsilon_{пр}$.

Крупный или ближний звуковой план служит для выражения внутренних, интимных чувств человека. Он уместен при передаче музыкальных произведений лирического характера — романсов,

"песенок настроения". В кинематографе распространён приём *"монолог за кадром":* актёра показывают первым зрительным планом, а его голос звучит в очень близком, интимном плане, выражая мысли героя. Создаётся впечатление непосредственного личного общения. Ближним планом широко пользуются эстрадные исполнители.

Краткая сводка особенностей звуковых планов представлена в табл. 12.1.

Таблица 12.1

Звуковой план	**Акустическое отношение**	**Кажущаяся величина источника**	**Кажущийся размер пространства**	**Производимое впечатление**
Общий или дальний	Велико: 5-6 и больше	Меньше действительного	Наибольший	Впечатление большого пространства и мощи
Средний	Близко к единице	Нормального размера	Соответствует натуре	Естественное впечатление, соответствующее реальному присутствию
Крупный или ближний	Близко к нулю	Больше действительного	Наименьший	Близость, интимность, ограниченность в пространстве

В зависимости от содержания сцен драматического спектакля или инсценировки изменяется акустическая обстановка. Если действие переносится из помещения на открытое пространство, соответственно должна меняться акустическая обстановка, меняться звуковые планы.

Особая точность в соблюдении звуковых планов требуется в телевизионном вещании и кинематографе. Несоответствие звукового плана зрительному ухудшает художественный эффект, вызывает недовольство теле- или кинозрителей.

В *монофоническом* звуковом вещании различия звуковых планов усиливают впечатление достоверности происходящего. Более широкие возможности предоставляет *стереофония.* К звуковым планам разной глубины добавляется размещение *кажущихся источников звука* по ширине воображаемой сцены. Этот эффект в некоторой степени возмещает отсутствие зрительных ощущений. Вот впечатляющий пример стереофонии в радиопостановке.

Слышно лёгкое постукивание женских каблучков слева направо, справа налево. Постукивания становятся всё чаще. Человек вол-

нуется, кого-то ожидая, звук шагов сместился вправо. Недолгая пауза. Слышен стук открывающейся оконной рамы. Врывается уличный шум, слышны гудки автомобилей, невнятный говор людей. Скрип тормозов подъехавшей машины. Женщина радостно вскрикивает. Быстрый топот каблучков влево. Там, видимо, прихожая. Раздаётся звук дверного звонка, скрип отворяемой двери, звук поцелуя... Тот, кого так нетерпеливо ждали, пришел.

Не произнесено ещё ни одного слова. А уже создалась почти зримая картина происходящего...

Но как редко наполненные смыслом звуки услышишь по радио или в телевизионной передаче! Чаще встречаешься с бедностью "звуковой палитры" постановщиков передач.

Несоответствие звуковых планов зрительным и отсутствие звуковой перспективы особенно заметны в телевизионных постановках.

Идёт трансляция эстрадного концерта. На сцене — солист, подпевающий ему вокальный квартет, на дальнем зрительном плане — оркестр или инструментальный ансамбль. Казалось бы, в звуковой перспективе должны присутствовать все три звуковых плана — ближний, средний, дальний. Ан, нет! всё звучит "плоско", одним ближним планом, как будто звукорежиссёр стремится втиснуть всю объёмистую звуковую картину в пространство комнаты зрителя.

Сцена изображает открытое пространство, где не может быть реверберации, а диалог героев слышен с отзвуком, присущим помещению. Бывает наоборот, сцена изображает гулкое помещение — заводской цех, храм, подземелье, а диалог звучит без отзвука, "сухо", "стерильно".

Особенно остро чувствуется несоответствие звукового и зрительного планов, если диалог героев идёт в меняющейся по ходу действия акустической обстановке. Два персонажа ведут беседу в комнате, продолжая её, выходят в прихожую, на лестничную площадку, спускаются по лестнице, выходят на улицу. А звучание совершенно "нейтрально" к изображаемой обстановке, хотя гулкость должна была возрасти при выходе из квартиры на лестницу, а при выходе на улицу на речь актёров должны были бы наложиться транспортные шумы. Очевидно, весь диалог записывался в тонателье под заранее снятое изображение.

Ещё один пример. Актриса, напевая, прихорашивается в прихожей квартиры перед зеркалом, открывает дверь на лестничную площадку, движется вниз по лестнице, выходит на шумную улицу, впархивает в автомобиль, а в фонограмме всё время ощущается акустика студии, где записывалась песенка.

При записи музыкальной сцены эту неизменность звучания ещё как-то можно было бы оправдать стремлением дать "чистенькое" звучание, хотя и в этом случае можно было бы ненавязчиво намекнуть на смену акустической обстановки. Но в чисто речевых сценах неизменность звучания в условиях резкой смены зрительных планов производит впечатление нарочитости и фальши. Нарушается художественное правдоподобие. Это влияет даже на не слишком разбирающихся в акустике зрителей. Одна пожилая женщина заметила: *"Странно, герои разговаривают в поле, а звук — как в помещении"*.

А вот пример, приведенный профессионалом, звукооператором кинематографа Д.С. Флянгольцем в статье "Звукорежиссёрское мастерство и звуковая культура фильма", опубликованной в журнале *"Техника кино и телевидения",* 1987, № 7.

"В руках операторов находится такая гибкая техника, как трансфокаторы и вариообъективы. С.Ф. Герасимов назвал их оптикой века. Часто смена планов трансфокатором даёт прекрасный художественный эффект. Но иногда трансфокатором пользуются бездумно, просто для демонстрации его возможностей.

Первый план. Идёт диалог персонажей, вдруг оператор резко удаляет пару на общий план, а затем столь же резко возвращает их на первый план.

Ради чего? При этих «перебросках» звук остаётся одним и тем же, «крупно-масштабным», будто он воспринимается "петличными" микрофонами, закреплёнными на актёрах". Как видите, аналогичный пример несоответствия звукового плана зрительному.

Уход от правды жизни снижает художественный эффект, ухудшает эмоциональное состояние зрителей и даже раздражает их. Кинематограф был более взыскателен в решении задач согласования звуковых и зрительных планов, в стремлении создать художественное правдоподобие. Но в последние годы и в кинематографе всё чаще стали небрежно относиться к согласованию слухового и зрительного образов создаваемых сцен.

12.4 Вещание на службе у рекламы

В эпоху производства ненужных вещей возникла система принудительного ассортимента. В придачу к нужной вам вещи вы были обязаны купить ещё одну неходовую, ненужную вам вещь, иначе вам не продадут нужную. Похоже, принудительный ассортимент возрождается, приняв иную форму.

Человек пришёл с работы усталый, хочет отдохнуть, включает телевизор или радиоприёмник, надеясь услышать лёгкую музыку. Но вместо желаемого он получает "принудительный ассортимент," которого он вовсе не желает — *рекламу.* Попытки уйти от рекламы на другую программу не всегда приводят к успеху. По странному совпадению и на других программах в это же время тоже передают рекламу. Свободное время человека без его согласия работники вещания продали за немалые деньги рекламным агентствам. Понятно, вещательным организациям нужно существовать, а для этого нужно добывать деньги. Но что делать радиослушателю или телевизионному зрителю? Глотать невкусную и ненужную ему бурду?

Иногда реклама приобретает изощрённые формы.

Большинство людей считает, что мультипликационные фильмы и сериалы, передаваемые по каналам телевидения, — средство развлечения детей, да и взрослых тоже. Но это не всегда безобидное развлечение. Фирмы, производящие и продающие различные товары, предлагают режиссёрам этих фильмов и сериалов, чтобы в них фигурировали именно эти товары — мебель, игрушки, папиросы, вина, журналы, газеты... Мультфильмы — лишь видимая часть айсберга под названием *"Индустрия игрушек и развлечений".*

Многие могущественные фирмы получают значительные доходы от продажи столь нравившихся детям зверюшек и их изображений, и мультипликационные фильмы и сериалы — лишь средство для создания у детей установки, ориентации на приобретение этих игрушек. По зарубежным оценкам демонстрация фильмов и сериалов и последующий "бум" принёс заинтересованным фирмам только за 1996 год доход более 5 млрд. долларов. Они извлечены из карманов родителей, не устоявших перед воплями их чад: «*Купи, купи, купи*!». Странно, что отечественные телерадиокомпании включились в рекламу зарубежных игрушек и прочих сопутствующих товаров — маек, брелоков, заколок, наклеек, демонстрируя зарубежные рекламные мультфильмы.

Схема действия производящих и продающих фирм такова. Разрабатывается стратегия рекламной кампании, предшествующей производству и продаже перечисленных товаров, определяются их виды и формы. С кино- и телевизионными компаниями заключаются договоры на подготовку фильмов, в которых будут участвовать кукольные персонажи, намеченные к производству и продаже. Спустя некоторое время (от нескольких месяцев до 1–2 лет) игрушки выпускают в продажу. А подготовленный к их восприятию круг детей — зрителей кинофильмов — начинает "атаку" на родителей с требованием приобрести уже полюбившуюся игрушку. Вспомним «бум» с продажей кукол "Барби" и их партнёра "Кена".

Пропагандируемые средствами телевидения игрушки, получили за рубежом название *«покемоны»* (буквально «карманные монстры» — pocket monster). В конце 1997 г. в Японии началось странное заболевание. Более 700 детей попали в больницы после просмотра очередного фильма из серии "Покемон". Врачи диагностировали эту болезнь, как приступы эпилепсии. Причиной оказался мультипликационный герой Пикачу. Он выглядел неприятно: пухлое существо ядовито-жёлтого цвета с острыми в виде колючек ушами и хвостом зигзагообразной формы в виде молнии, как её изображают на эмблеме служб связи. К тому же в этом мультфильме был применён опасный для детской психики приём — быстрая смена, мелькание насыщенных красного и синего цветов. У самых впечатлительных начались судороги, рвота.

Врачи потребовали запретить показ фильмов этой серии, но после окончания расследования их показ был продолжен. Заключение судьи было предельно простым: не нравится — не смотрите. А между тем в Японии мультипликационные фильмы смотрят 90 % детей, в США — 83 %, в Германии — 63 %.

Печальный случай произошёл в Турции. Двое малышей прыгнули с балкона, желая поиграть в покемонов: *"Покемоны умеют летать, значит, и мы сможем",* — видимо, подумали они. Показ фильмов этой серии в Турции был запрещён. К сожалению, это — единственный случай правильной реакции на вредное и даже опасное действие кинофильмов этой серии. В нашей стране телерадиокомпания ОРТ три месяца передавала фильмы этой серии.

Научные работники Института педиатрии Академии медицинских наук России пытались поставить работу по психологическому

анализу содержания детских телевизионных передач, но ни одна телерадиокомпания страны не захотела финансировать эту работу.

Одна пожилая женщина обратилась к знакомому радиоинженеру: *"Что вы, инженеры, не можете придумать способа, чтобы на время передачи рекламы звук выключался ?"*

"Да меня убьют, если я такой способ предложу", — ответил инженер.

Взрослые страдают от навязчивой, неумной рекламы не менее, чем дети от мульфильмов-страшилок. Чтобы лучше "врезаться" в память зрителя, рекламным текстам иногда придают парадоксальную, нелогичную форму.

Чего стоят рекламные фразы: *«Сделай кьо»*, «Не *тормози, сникерсни*!», а надпись через весь экран *"Лежать"* и после неё реклама сантехнического оборудования, «Я *всегда с собой беру мой любимый кофе Бру»?* Начинаешь мучительно думать: *«Кто этот* "я", *зачем и куда он берет кофе, кто такой Бру*?» И реклама запоминается.

12.5 Деятели вещания против психологов и гигиенистов

В старинной русской песне-игре выступают друг против друга две группы людей. Первая, построившись в линию и наступая против второй, поёт: *"А мы просо сеяли, сеяли",* вторая теснит первую и отвечает: *"А мы просо вытопчем, вытопчем* !"

Похоже, что деятели звукового и телевизионного вещания играют в такую игру с психологами и врачами-гигиенистами и своими действиями яростно побивают рекомендации врачей.

Чтобы обеспечить спокойный, восстанавливающий силы ночной сон, психологи и врачи-гигиенисты рекомендуют составителям программ вещания выбирать для передач в вечерние и ночные часы спокойную музыку и сюжеты, лишенные напряжённых психологических сцен. Однако практика вещания часто вступает в противоречие с этими рекомендациями.

После *22* часов звуковое вещание начинает вести передачи, в которых преобладают "ударные", "хитовые", по выражению работников вещания, музыкальные пьесы. Поясним, что "hit" в переводе на русский язык означает удар, толчок, успех. В это же время по телевидению начинается показ авантюрных фильмов с погонями, стрельбой и прочими ужасами.

С экрана на зрителя направляют дуло пистолета или автомата. Хотя зритель понимает, что всё это совершается «понарошку»; согласитесь, что пистолет, направленный на вас в упор, даже с экрана телевизора, не вызовет у вас положительных эмоций. Слабонервные после просмотра таких передач видят кошмарные сны и вскрикивают от ужаса. У некоторых повышается артериальное давление. Спрашивается, какова цель проведения таких будоражащих передач в полуночные часы? Они организуются *"по недомыслию"* или сознательно?

Психологи, последователи школы И.П. Павлова, считают, что одной из причин возникновения неврозов является т.н. *"сшибка"* — попеременное действие на психику двух противоположных раздражителей, вызывающих противоречивые эмоции. Экспериментальные неврозы у собак в лаборатории И.П. Павлова вызывали поочерёдным действием положительного и отрицательного стимулов, например, предлагали собаке пищу и тотчас производили удар электрическим током. *"Сшибка"* приводила к тому, что животное отказывалось от пищи и погибало от голода.

Именно такую "сшибку" вводят в некоторые телевизионные сюжеты, когда в спокойное повествование врывается сильный эмоциональный удар в виде резкого скачка уровня громкости или резкой смены сюжета. У зрителя нарастает раздражение. Возникает почва для развития невроза.

Раньше программные работники телевизионного вещания осуждали приемы "перебивок" сюжетной линии. Теперь сами охотно прибегают к ним. Чего не сделаешь ради получения денег для телерадиокомпании?

Существенную роль в создании у зрителей определённых эмоций играет характер изображения. Изображение создаёт у зрителя мыслительные отклики созерцательного, действенного и даже агрессивного характера. В одном случае возникают приятные, умиротворяющие ощущения, в другом — беспокойные, тревожные ощущения, даже страх и возбуждение.

Врачи-психиатры давно уже подметили полезную, целительную роль некоторых изображений при лечении нервных, психических расстройств и некоторых заболеваний соматического (телесного, не нервного) характера. Таким больным рекомендуют пребывание в местностях, отличающихся спокойными ландшафтами, рас-

сматривание изображений этих ландшафтов. Как лечебное средство, выпускаются видеокассеты, демонстрирующие лесные пейзажи, бескрайние поля и луга, морские побережья. Психологи рекомендуют деятелям телевидения заботиться о здоровье телевизионных зрителей, чаще возбуждать в них положительные эмоции, показывать красивые виды природы, архитектурные сооружения классических форм, спокойные интерьеры, красивые изделия. Эти объекты создают хорошее психическое состояние.

Наоборот, иные изображения утомляют зрение и мозг, являются причиной угнетенного состояния и даже расстройства здоровья.

Долгое время полагали, что прямой урон психике наносят изображения, несущие явно выраженный грубый характер: сцены погонь, выстрелов в упор, убийств, насилия, эротические сцены. Позже обнаружилось, что бывают изображения, не имеющие такого содержания, тем не менее, опасные для здоровья человека. К ним, как показали исследования, прежде всего относятся рисунки с множеством повторяющихся одинаковых элементов — параллельных линий, прямоугольных решеток, равномерно расположенных по полю изображения точек или кругов. У некоторых групп психически неполноценных людей они вызывали возбуждение и склонность к агрессивным действиям.

Раздражающее влияние таких структур психологи объясняют следующим образом. В процессе рассматривания любого изображения взор человека "привязывается" к какой-то точке изображения как к исходной. Если точек или других графических элементов, пригодных для фиксации взгляда на изображении, много, и они расположены на одинаковом расстоянии друг от друга, взор "теряется", сбивается в поиске, мучительно ища тот единственный элемент, за который можно "зацепиться". В результате нарушается врожденный процесс обегания взглядом изображения, глаз ошибается в поисках точки фиксации. Возникает нервное напряжение, мозг утомляется.

Уместно привести сравнение со зданием, содержащим на больших плоскостях одинаковые элементы — окна, полосы ленточных проемов. Вспомните, как трудно сосчитать число этажей многоэтажного здания, если все этажи одинаковы, а фасад заполнен повторяющимися одинаковыми строительными элементами.

Некоторые физиологи и психологи высказывают такую парадоксальную, на первый взгляд, мысль относительно опасности изображений с ритмически повторяющимися графическими элементами. Известно, что передача раздражения в мозг происходит с помощью нервных импульсов. Движение глаз превращает периодические структуры изображений, особенно с резкими перепадами яркости или цвета, в последовательность нервных импульсов, следующих с определенной частотой.

В спектре возникающих в зрительном анализаторе временных периодических структур могут оказаться составляющие с частотами, равными или кратными резонансным частотам некоторых органов человека — желудка, сердца, легких, мышц. При совпадении возбужденных периодическими структурами изображения частот с собственными частотами этих органов возникнет резонансное возбуждение, нарушающее их нормальное действие. Нарушение ритмов мозга приведет к сбою нервно-психической деятельности, следствием чего могут стать гипнотическое состояние, вхождение в транс, приступ истерии.

Разумеется, высказанные предположения медиков являются не более чем гипотезой, нуждающейся в тщательной и осторожной проверке. Однако пренебрегать ими не стоит.

Высказываются мнения, что демонстрация по телевидению сцен, носящих агрессивный характер, уже привела к своеобразному психическому извращению. Сигналы тревожного, агрессивного характера, попадая в мозг, вызывают ответную физиологическую реакцию в виде увеличения выработки возбуждающих гормонов, например, адреналина. Учащается ритм сердечной мышцы с целью улучшения снабжения органов кровью. Но тревожные сигналы не преобразуются в мышечные, двигательные действия — ведь тревога то ложная. Выделившиеся и ставшие ненужными гормоны организм вынужден каким-то образом использовать. В результате нарушается нормальная деятельность нервной системы и внутренних органов. При повторении подобных сцен (а при демонстрации авантюрных и криминальных фильмов так именно и бывает) у человека с неустойчивой психикой удар на себя принимает, главным образом, нервная система. Возможны нервные срывы, стрессы, повышения артериального давления.

Проявления стрессовых ситуаций, вызванных агрессивностью телевизионных передач, у людей с сердечными заболеваниями могут привести к трагическому исходу. О них повествуют газетные статьи под заголовками *"Смерть во время трансляции футбольного матча", "Как опасно смотреть телевизор"*.

Врачи называют еще одну опасность агрессивных телевизионных передач. При подготовке организма к встрече с опасностью в кровь поступают наркотикоподобные вещества. Они предназначены для того, чтобы подавить неприятные эмоции, страх, возможную боль. Повторение подобных обстоятельств вызывает привыкание и тягу к получению наркотических средств извне, т.е. тяга к алкоголю, наркотикам. Вспомните, у курящих при волнении, вызванном чрезвычайными жизненными обстоятельствами, возникает желание закурить.

Агрессивными могут стать телевизионные изображения с преобладанием ярких, насыщенных цветов, нарочитое сочетание основных и дополнительных цветов.

Направления культуры и искусства, получившие название классических, будь то скульптура, живопись, музыка, поэзия, избегают воспроизводить болезненные, патологические формы. Представители этого направления в искусстве полагают, что возникающие реакции безнравственны и недостойны человека. Если сосредоточиваются на показе неэстетичных, патологических форм, то тем самым провоцируют в людях низменные чувства, и загоняя их в область подсознательного, извращают личность и тем самым делают ее потенциально способной к проявлению таких же извращенных форм поведения, вплоть до преступных. *Ничего не стоит убить* — такова идея некоторых передач, когда демонстрируется как обаятельные, сильные герои убивают своих противников. При этом за кадром сознательно оставляются муки и горе людей, близких погибшим. Не на этом ли показе воспитываются наемные убийцы, которым всё равно, кого убивать, лишь бы получать за это деньги?

Художник высокого класса застрахован уровнем своего таланта и мастерства от болезненных моделей творчества, будь то рисунок, живописное полотно, музыка, речь, движущиеся изображения. Его творчество полноценно по технике исполнения и эстетичности восприятия.

Для воспроизведения патологии не требуется высокого мастерства и высоких чувств. Передача стрессовых, "ударных", патологических проявлений возможна и в загрубленных формах. Авторы таких передач полагают, что грубость форм и есть проявление современного искусства, и именно они нужны для создания сильных эмоций у зрителей и слушателей.

Телевидение стало главным средством доставки зрителям звуковых и зрительных сообщений, оказывающих на них дисгармоническое, психопатологическое воздействие. К таким передачам относятся, например, трансляции массовых *"радений"* людей, присутствующих на концертах рок-ансамблей и на массовых психологических опытах якобы исцеления страждущих. Опасность заключается в том, что психопатология или её элементы воздействуют на психику подспудно, подсознательно, не осознаётся зрителями напрямую. Патология начинает восприниматься как нечто обычное, как норма.

Более того. Самое понятие *«психическая норма»* ясно лишь специалистам, психиатрам, психологам. Для широких слоев потребителей экранных зрелищ, главным образом, молодёжи, привычными и желанными стали отклонения от психической нормы, именуемые такими оборотами, как *"крыша поехала", "кайф", "рейв"* («безумие» на молодёжном жаргоне). И эти состояния считаются желанным результатом участия в массовых зрелищах или просмотре этих зрелищ по телевидению.

Теоретики *"видеоарта"* оперируют псевдонаучными словечками: *"шизокод", "психоделия"* и даже *"психоделическая культура"*. А далее следуют псевдофилософские, а по сути дела демагогические, высказывания с использованием слов *"свобода", "демократия",* о том, что каждому должно быть предоставлено по своему усмотрению выбирать: быть здравомыслящим или безумцем. Это проповедывается и некоторыми средствами массовой информации — печатью, звуковым и телевизионным вещанием. Более того, насаждается многократным показом на экранах телевизоров "радеющих", ритмично покачивающихся и воздевающих руки вверх, выкрикивающих вслед за "кумирами" бессмысленные звуки.

Налицо своеобразное загрязнение интеллектуальной, умственной среды обитания, своеобразная диверсия против основополагающих, общепринятых нравственных и этических понятий. *"Сво-*

бода безумствовать", "Право быть безумным" — таковы заголовки газетных и журнальных отчётов о концертах рок-музыки.

Телевидение не одиноко в пропаганде низменных занятий. Введение человека в примитивный, иллюзорный мир компьютерных игр — форма отвлечения человека от реальной жизни, своего рода погружения в наркотический мир грёз и сновидений.

Современная телевизионная стилистика с её концепцией применения сильно действующих на сознание средств широко использует тематику отклонения от нормы, патологии, проецирует её на массового, не слишком развитого потребителя. Черты безумия, неадекватных поступков и переживания сочетаются с будоражущей, очень громкой, «психоделической», «астральной» музыкой.

Всё это создаёт у телевизионного зрителя ощущение нереальности происходящего. Отрешение зрителя от окружающей его обстановки, погружение в нереальный мир экранных изображений подобно погружению человека в иллюзорный мир наркотических переживаний. И в этом — одна из опасностей некоторых телевизионных зрелищ.

Сознают ли организаторы показа извращённого поведения и неадекватных эмоций их вредную роль? Если нет, то спрашивается, кому мы поручаем управление телевидением и воспитание людей? Если да — ещё хуже. Тогда возникает вопрос: «С *какой целью это делается?»*

Своеобразную защиту людей от последствий психопатического воздействия телевизионных передач пытается найти религия.

В старину людей с крайне нарушенной психикой в народе называли бесноватыми, одержимыми. Характерными чертами их поведения были неконтролируемые подёргивания мышц, нарушения мимики, бессмысленные возгласы. Для исправления их сильно деформированной психики церковь издавна применяла особый вид богослужения — т.н. *"отчитывание".* Для усиления эмоционального и психического воздействия отчитываний они проводились не в любом храме, а в особо почитаемых, слывущих особой святостью местах — в скиту, в лавре. По ходу богослужения читалась молитва, посредством которой перекрывались главные пути загрязнения психики. Ныне в текст этой древней молитвы священники ввели добавление, вызванное обстоятельствами современной жизни. Священник "отчитывает" страждущих " *от телевизора",* от его

дурного воздействия. Речь идёт не о запрещении смотреть телевизионные программы, не о предании анафеме телевидения, видеофильмов, компьютерных изображений и игр, а о противодействии психопатической направленности продукции этих зрелищных средств. Других способов бороться с вредными последствиями от просмотра возбуждающих телевизионных программ пока никто не предлагает.

Деятели телевидения многое делают для развития, образования и развлечения людей. Но неумеренное, неумелое, неумное пользование этим средством культуры приводит к «перекосам». Тогда оно превращается из средства духовного обогащения людей в свою противоположность. Оно отвлекло многих людей от чтения книг, а некоторых даже отучило думать. Об этом написал Жорж Элгози: *«Два великих изобретения в истории: книгопечатание, усадившее нас за книги, и телевидение, оторвавшее нас от них».* Американский кинодраматург Педди Чаевский выразился ещё острее: *«Телезрители скоро изменятся генетически: глаза станут больше, а лбы постепенно исчезнут».*

О двойственной роли телевидения писал Норберт Винер: *«Это новое достижение науки и техники открывает неограниченные возможности для добра и зла».* Точнее не скажешь ! Но почему-то работники телевизионного вещания не прислушиваются к высказываниям выдающихся деятелей культуры и науки. Или они — не авторитеты для работников телевидения?

Поэт Е. Евтушенко в книге *"Точка опоры"* писал: *«Люди только думают, что они смотрят телевизоры. На самом деле телевизоры смотрят людей".* Поэт имел в виду, что программные работники телевидения по тому, что смотрят зрители, определяют вкусы, сущность зрителей и, подлаживаясь под эти вкусы, строят содержание программ, учитывают, что соответствует умственным и нравственным запросам. Хорошо, если это — потребности людей со здоровой психикой, со здоровыми нравственными устоями. А если создаваемые программы потакают низменным вкусам, ущербным потребностям? Телевидение, как и всё вещание, должно вызывать не низменные, а высокие эмоции, должно не только информировать и развлекать, но и воспитывать.

Приложение 1

НЕКОТОРЫЕ ПОНЯТИЯ И ВЕЛИЧИНЫ ИЗ ТЕОРИИ ЗВУКА И ЕДИНИЦЫ ИХ ВЫРАЖЕНИЯ

Одно из основополагающих понятий теории звука — звуковое поле. *Звуковое поле* — одна из форм существования материи — проявляется в виде кинетической энергии колеблющихся материальных тел, звуковых волн в газообразной, жидкой и твёрдой средах, обладающих упругостью.

Звуковая волна — процесс постепенного распространения в упругой среде возмущений в виде смещения колеблющихся частиц вещества относительно равновесного положения. Процесс передачи смещений от одних частиц к другим приводит к периодическому изменению плотности среды, распространяющемуся по пути движения волны. В газообразной и жидкой средах смещение частиц среды совершается в том же направлении, что и направление распространения волны. В твёрдых телах, обладающих упругостью, возникают и поперечные смещения частиц. В газообразных и жидких средах волны являются продольными, в твёрдых телах деформация среды, а следовательно, и структура волны имеют более сложную форму.

Если размеры источника колебаний малы по сравнению с длиной возбуждаемой волны, в пространстве образуются *сферические волны.* В трубе постоянного поперечного сечения формируется *плоская волна.* Теоретически плоская волна получится, если размеры излучающей поверхности много больше длины волны, но в реальных условиях такой случай встречается редко. Звуковое поле характеризуют векторными и скалярными величинами:

- вектором смещения частиц,
- вектором колебательной скорости (*скорости колебаний)*,
- звуковым давлением.

Смещение частиц считается *положительным,* если оно совершается в направлении распространения волны, и *отрицательным,* если оно совершается в противоположном направлении.

Колебательная скорость характеризует быстроту изменения положения частиц среды в пространстве. При периодическом во

времени смещении частиц колебательная скорость имеет также периодический характер:

$$v = dx / dt = d(x_m \sin \omega t) / dt = \omega x_m \cos \omega t .$$

Чем выше круговая частота ω и чем больше амплитуда смещения x_m, тем больше колебательная скорость. Колебательную скорость принято считать положительной, когда частицы движутся в направлении распространения волны, и отрицательной — при движении частиц в сторону, противоположную направлению распространения. Колебательная скорость на несколько порядков меньше скорости распространения звука в воздухе (c_0 = 340 м/с) и составляет миллиметры и сантиметры в секунду. Даже для очень громких звуков ν меньше 10 м/с.

Звуковое давление p — разность между мгновенным значением полного давления p_i и средним значением атмосферного давления $p_{атм}$, которое наблюдается в среде в отсутствии звукового поля. В фазе сжатия звуковое давление $p = p_i - p_{атм}$ положительно, в фазе разрежения — отрицательно. Единица звукового давления — *паскаль;* 1 Па = 1 Н/м^2.

При колебаниях частиц малой амплитуды изменения полного давления в среде и её плотности прямо пропорциональны друг другу. В этом случае звуковое давление и колебательная скорость связаны между собой линейной зависимостью. Эта зависимость имеет простейший вид для бегущей плоской волны. В её поле *p* и ν изменяются синфазно, и *p/v* = ρ*c* причём ρ — плотность среды, *c* — скорость звука в ней.

Удельное акустическое сопротивление ρc зависит только от физических свойств среды. Для воздуха при температуре 20° С и скорости звука 340 м/с $\rho_o c_o$ =1,21 * 340 = 412 кг/м^{2}с.

Длина волны – расстояние между двумя соседними точками среды (фронтами волны), находящимися в одинаковой фазе. Длина волны *X* связана с периодом *T* и частотой колебаний *F* соотношениями

$$\lambda = cT = c / F .$$

В воздухе при частоте 20 Гц λ =17 м, при частоте 20 кГц – λ = 1,7 см.

Интенсивность звука — мощность звуковой волны, приходящая на площадку в 1 м, перпендикулярную направлению распро-

странения волны, Вт/м^2. Понятием интенсивности звука уместно пользоваться, когда известна структура поля. В поле плоской волны

$$I = pv = p^2 / \rho_0 c_0 = v^2 \rho_0 c_0 .$$

Эти выражения аналогичны выражение электрической мощности через напряжение U ток I и сопротивление R.

$$P = UI = U^2 / R = I^2 R .$$

В поле сферической волны интенсивность звука убывает обратно пропорционально квадрату расстояния от источника звука до рассматриваемой точки поля.

Мощность *речевых сигналов* составляет от 0,01 мкВт (шепот) до 2 мВт (крик). Мощность симфонического оркестра на пиках громкости достигает 70 Вт.

Если структура поля не известна, пользуются второй энергетической величиной — плотностью звуковой энергий.

Плотность звуковой энергии — среднее количество звуковой энергии E, приходящееся на единицу объёма помещения V

$$\varepsilon = E / V \text{ , Дж/м}^3.$$

Ощущения находятся примерно в логарифмической зависимости от значения интенсивности раздражения. Поэтому интенсивности ощущения часто выражают через логарифм от интенсивности раздражения.

Уровень интенсивности звука (*уровень звукового давления*). За нуль шкалы уровней принимают значения интенсивности звука или звукового давления на пороге слышимости на частоте 1 кГц:

$$N = 10 \lg(I / I_0) = 20 \lg(p / p_0) = 10 \lg(I / 10^{-12}) \partial Б = 20 \lg(p / 2 \cdot 10^{-5}) \partial Б$$

Сложное звуковое поле возникает при возбуждении звуков в помещении вследствие отражения звуков от преград помещения и находящихся в нём предметов. На спектр возбуждаемых источником звука колебаний накладываются собственные резонансные колебания помещения. Их частоты близки к частотным составляющим спектра звучащего источника. После каждого звука собственные колебания начинают с разной скоростью затухать, образуя *отзвук*. На каждый отзвук накладываются новые колебания, возбуждаемые источником звука.

Процесс постепенного затухания собственных колебаний помещения *(отзвук)* называют реверберацией (в переводе на русский язык это слово означает отражение).

Время реверберации — длительность уменьшения плотности звуковой энергии от момента прекращения действия источника звука до момента, когда плотность звуковой энергии уменьшится в 10^6 раз, звуковое давление — в 10^3 раз, а уровень интенсивности звука уменьшится на 60 дБ.

В плотности звуковой энергии в помещении содержатся две составляющие: $\varepsilon = \varepsilon_{пр} + \varepsilon_{д}$. Первая есть *плотность энергии в прямой волне,* непосредственно приходящей в точку приёма, вторая — *плотность диффузной энергии,* обусловленная приносимыми в точку приёма волнами после многократных отражений от преград.

Акустическое отношение является отношением этих двух составляющих: $R = \varepsilon_{д} / \varepsilon_{пр}$. Вблизи источника звука преобладает первая составляющая, и $R<1$. На большом расстоянии преобладает вторая составляющая, и $R>1$. Изменения акустического отношения воспринимаются слушателем как изменение длительности отзвука. Это явление характеризуют понятием *эффективной (эквивалентной) реверберации:*

$$T_{эфф} = 1{,}2T / \{1{,}2 + T \lg[(1 + R/R)]\}.$$

Приложение 2

СВЕТОВЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ ИХ ВЫРАЖЕНИЯ

П.2.1 Стандарты светотехники

Световые явления включают в себя процессы излучения, переноса и приема этой энергии. Величины, численно характеризующие световые явления, включены в Международную систему единиц (СИ). Эта система была принята в 1960 г. 11-й Генеральной конференцией по мерам и весам, и утверждена в СССР в качестве стандарта ГОСТ 9867 в 1961 г. При разработке стандарта были учтены дополнения, внесённые в СИ решениями 14-й и 15-й Генеральных конференций по мерам и весам и международными стандартами по единицам измерения Международной организации по стандартам (ИСО).

Используемая в настоящей книге терминология светотехники была разработана в 1946–47 гг. и рекомендована к употреблению Комитетом технической терминологии АН СССР.

П.2.2 Основные световые величины и единицы их измерения

1. Как и всякое электромагнитное излучение, свет при распространении переносит энергию. Энергию излучения E, отнесенную к единице времени, называют *лучистым потоком* или потоком энергии:

$$P = E/t, \text{ Вт.}$$

Аналогичное понятие в акустике называют *звуковой мощностью.*

2. Лучистый поток, воспринимаемый органом зрения как свет, называют *световым потоком.* Единица светового потока — *люмен* (лм). Её связь с единицей мощности — ваттом — разъясняется далее.

Световое ощущение, создаваемое любым монохроматическим ("одноцветным") лучистым потоком dP_λ, т.е. потоком в узком диапазоне длин волн от λ до $\lambda + d\lambda$, определяется выражением

$$dF_\lambda = AK_\lambda dP_\lambda$$

в котором dF_λ — световой поток, dP_λ — лучистый поток, т.е. мощность излучения в малом интервале длин волн от λ до $\lambda + d\lambda$, A — коэффициент пропорциональности, предназначенный для согласования размерностей лучистого потока (Вт) и светового потока (лм), K_λ — *относительная видность,* коэффициент, учитывающий различную чувствительность зрения к электромагнитному излучения с различной длиной волны.

Поэтому световой поток оценивают по зрительному ощущению. Равным мощностям лучистой энергии dP_λ при различных длинах волн соответствуют различные значения светового потока dF_λ. Значения светового потока пропорциональны относительной видности K_λ при соответствующих длинах волн λ. Световой поток суммы нескольких монохроматических излучений с длинами волн λ_1, λ_2 и т.д.

$$F = A(K_{\lambda 1}P_{\lambda 1} + K_{\lambda 2}P_{\lambda 2} + ...)$$

где $K_{\lambda 1}$, $K_{\lambda 2}$ и т.д. — значения относительной видности при длинах волн λ_1, λ_2 и т.д.

Световой поток сложного с непрерывным спектром излучения в границах спектра от λ_1 до λ_2

$$F = A\int_{\lambda 1}^{\lambda 2} K_\lambda p_\lambda d\lambda \text{, где } p_\lambda = dP_\lambda / d\lambda .$$

Между мощностью электромагнитного излучения и световым потоком в максимуме относительной видимости (K_λ = 1 при λ = 0,555 мкм, желто-зеленый цвет) экспериментально установлено: одному ватту лучистого потока соответствует 683 люмена светового потока или, наоборот, 1 люмен соответствует 1/683 доли ватта. Для светового потока белого цвета иное соотношение — 1 Вт соответствует 220 лм или, наоборот, 1 лм — 1/220 Вт.

Для оценки значений светового потока источников света приведем два примера. Световой поток обычной лампы накаливания мощностью 100 Вт составляет 0,8...1,5 клм. Световой поток прожекторной лампы накаливания мощностью 5 кВт равен примерно 130 клм.

3. Источники света редко излучают световой поток по всем направлениям равномерно. Необходимо знать распределение светового потока в пространстве.

Угловую плотность светового потока, излучаемого источником света в данном направлении α (рис.П.1.) называют силой света *I*. Аналогичное понятие в акустике – интенсивность (сила) звука *I*.

$$I = dF / d\omega .$$

Сила света определяется численным значением и направлением, т.е. является *вектором.* При определении понятия «сила света» предполагается, что световой поток, вступивший в телесный угол ω из его вершины 0, постоянен на всем его пути распространения, т.е. не подвержен затуханию.

Единица силы света — *кандела* (кд). Можно сопоставить это слово со словом "канделябр" — подсвечник. Единицей телесного угла является *стерадиан.* Такой телесный угол опирается на участок сферы с площадью S, равной квадрату радиуса. Если источник света в пределах телесного угла, равного стерадиану, излучает световой поток 1 лм, то он обладает в данном направлении силой света 1 кандела.

Площадь поверхности сферы $S_1 = \pi r^2$. Поэтому полный раствор телесного угла $\omega_{п} = S_1/r^2 = 4\pi r^2/r^2 = 4\pi^2$ стер. Если световой поток точечного источника равномерно распределен по всем направлениям, то $I = F/4\pi$.

Если предположить, что весь световой поток лампы накаливания мощностью 100 Вт распространяется во все стороны равномерно, то сила света будет составлять $I = (800...1400)/4\pi = 64...120$ кд, т.е. сила света в канделах численно примерно равна мощности лампы, выраженной в ваттах. Если с помощью отражателя весь световой поток будет направлен в нижнюю полусферу, сила света удвоится.

Реальные источники света не являются точечными. Понятие же "силы света" применимо лишь к таким их малым частям, которые можно считать точечными. Поэтому, строго говоря, вычислять силу света множества источников, положения которых в пространстве не совпадают, *нельзя.*

Однако практически с достаточной для инженерных расчетов точностью этим приемом можно пользоваться, полагая, что линейные источника света на порядок меньше расстояния от источника света до освещаемой поверхности.

Понятие *"сила света"* включено как одно из основополагающих в международную систему единиц. Созданы физически воспроизводимые образцы единицы. Первичный эталон единицы силы света хранится в Париже. Во многих странах имеются вторичные эталоны силы света, подобно тому как существуют вторичные эталоны единицы длины — метра.

4. Через силу света выражают *яркость B*. Это — плотность силы света излучающей поверхности, причем под излучающей поверхностью понимается не сама площадь излучения $S_{ИЗЛ}$, а площадь ее проекции на плоскость, перпендикулярную направлению α, под которым происходит излучение $S_{ИЗЛ}\cos\alpha$ (рис. П.2.2).

$$B = I/(S_{ИЗЛ}\cos\alpha).$$

Особого названия для единицы яркости нет, а размерность яркости — кд/м^2. Итак, яркость — это сила света, отнесенная к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную заданному направлению. Яркость светящейся поверхности, также как и сила света, определяется численными значением и направлением.

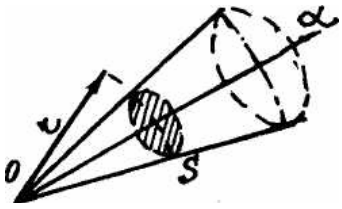


Рис. П.1.

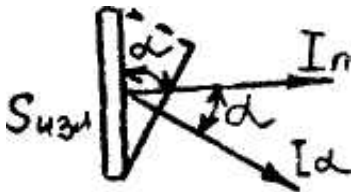


Рис. П.2.

Яркость — единственная световая величина, на которую непосредственно реагирует глаз. Освещенность сетчатой оболочки глаза в зоне изображения объекта наблюдения прямо пропорциональна его яркости. Поэтому тела, равнояркие в данном направлении воспринимаются глазом как *равносветлые.*

Для ориентировки приведем значения яркости некоторых источников света (табл.П.2.1).

Таблица П.2.1

Источник света	**Яркость кд/м^2**
Киноэкран	10...30
Экран кинескопа	40...80
Пламя спички	$5 \cdot 10^3$
Нить лампы накаливания	$5 \cdot 10^6 ... 10^7$
Солнце	$1{,}5 \cdot 10^9$

5. Наряду с поверхностной плотностью силы света — *яркостью* — используют понятие *светимости R* — поверхностную плотность светового потока — отношение светового потока *F* к площади излучающей поверхности $S_{ИЗЛ}$:

$$R = F / S_{ИЗЛ} .$$

Единицей светимости принято считать 1лм на 1м^2. Особого названия эта единица не имеет.

Все ранее перечисленные понятия относятся к источникам света. Следующее понятие — *освещенность* — относится к освещаемым объектам.

6. *Освещенность* — плотность светового потока, падающего на освещаемую поверхность, т.е. отношение $F_{пад}$ к площади поверхности S

$$E = F_{ПАД} / S .$$

Единица освещенности — *люкс* (лк). Латинское слово означает свет. Световой поток в 1 люмен, будучи равномерно распределен на освещаемой поверхности с площадью 1 квадратный метр, создает освещенность в 1 люкс.

Если освещенность создается точечным источником с силой света *I*, отстоящем от освещаемой поверхности на расстоянии r, то телесный угол $\omega = S/r^2$, $S = \omega r^2$, $F_{ПАД} = I\,\omega = IS/r^2$ и

$$E = F / S = F_{пад} / (\omega r^2) = I / r^2 ,$$

т.е. освещенность спадает с увеличением расстояния между точечным источником и освещенной поверхностью обратно пропорционально квадрату расстояния.

Ниже приводятся примеры значений освещенности некоторых характерных объектов (табл. П.2.2).

Таблица П.2.2

Освещаемый объект	**Освещенность, лк**
Киноэкран	40...200
Книга при чтении	20...75
Телевизионная студия	1000...2000
Предметы в тени летом	1000
Предметы на пляже в солнечный летний день	100000

Освещаемые предметы являются вторичными источниками света, поскольку частично отражают падающий на них световой поток.

7. Для оценки действия освещения, длящегося ограниченное время *t,* например, при фотографической или кинематографической съемках, пользуются понятием *количества освещения (световая экспозиция) H.* Эта величина равна произведению освещенности *E* на длительность освещения t. $H = E \cdot t$. Остаток второго термина сохранился в названии прибора — *экспонометра,* предназначенного для определения длительности выдержки или относительного отверстия объектива при известной чувствительности фото- или киноленты. Строго говоря, экспонометр реагирует не на освещенность объекта съемки, а на его яркость.

8. Важная характеристика источника света — *спектральная интенсивность лучевого потока,* т.е. распределение энергии *E* (или мощности P) излученного потока по диапазону длин волн. Эта величина характеризует и цвет свечения источника света, и его световую отдачу, показывает какая часть лучистого потока превращается в видимое излучение. Примером равноэнергетического спектра служит свет пасмурного небосклона. В спектре светового излучения ясного солнечного дня имеется некоторое преобладание синих и голубых лучей, а в спектре лучистого потока ламп накаливания — преобладание красных и желтых лучей и солидная доля (примерно 90 %) невидимых инфракрасных лучей.

В краткой форме основные световые величины представлены в табл. П.2.3.

В определении лучистого потока E — энергия, в остальных определениях *E* — освещенность; t — время ; ω — телесный угол; S — площадь светящейся (излучающей) или освещаемой поверхности; α — угол между нормалью к светящейся (излучающей) поверхности и данным направлением, в котором определяют силу света.

Таблица П.2.3

Физическая величина	Обозначение	Связь с другими величинами	Единицы измерения или размерность	Обозначение единицы
Лучистый поток	P	$P=E/t$	Ватт	Вт
Световой поток	F	$P=I\omega$	Люмен	лм
Сила света (основная)	I	$I=F/\omega$	Кандела	КД
Яркость	B	$B = I/(S_{изл}cos\alpha)$	Кандела с 1 м^2	кд/м^2
Светимость	R	$R =F/S_{изл}$	Люмен с 1 м^2	лм/м^2
Освещенность	E	$E=F_{пад}/S$	Люкс (люмен на 1 м^2)	лк
Количество освещения (световая экспозиция)	H	$H=E\cdot t$	Люкс-секунда	лк·с

П.2.3 Световые характеристики освещаемых объектов

В общем случае световой поток $F_{пад}$, падающий на поверхность предмета, претерпевает следующие изменения. Часть потока $F_{отр}$ отражается от поверхности предмета, часть $F_{погл}$ поглощается, часть $F_{прош}$ проходит сквозь предмет, если предмет прозрачен (рис. П.2.3).

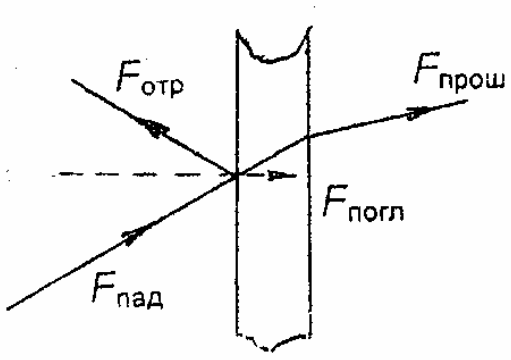


Рис. П.2.3

Эти свойства предмета (объекта) характеризуются тремя коэффициентами: отражения ρ, поглощения α, пропускания τ.

$$\rho = F_{отр} / F_{пад}; \alpha = F_{погл} / F_{пад}; \tau = F_{прош} / F_{пад}.$$

Поскольку $F_{пад} = F_{отр} + F_{погл} + F_{прош}$, то $\rho + \alpha + \tau = 1$.

Во многих случаях объекты непрозрачны. Поэтому их оптические свойства достаточно полно определяются видом отражения и коэффициентами отражения и поглощения.

Крайними случаями отражающих свойств объектов служат зеркальное и диффузное отражения. Зеркальное (направленное) отражение происходит, если неровности поверхности объекта много меньше длин волн падающего светового потока, и угол отражения φ_2 равен углу падения φ_1 (рис. П.2.4, а).

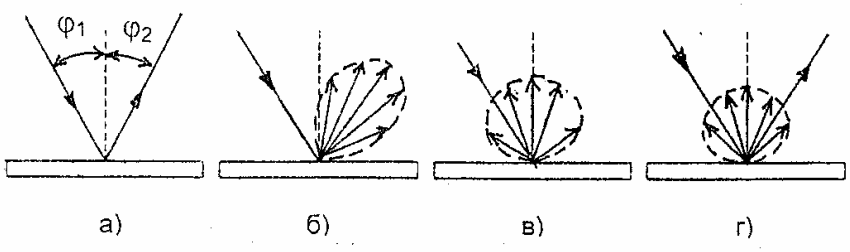


Рис. П.2.4

Рассеянное отражение имеет место, если неровности поверхности объекта сравнительно велики (рис. П.2.4, б). Крайним случаем рассеивающей отражающей поверхности является такое отражение, когда отражающая поверхность приобретает яркость, одинаковую во всех направлениях, независимо от направления падающего на поверхность светового потока (рис. П.2.4, в). Существует смешанный характер отражения: частично направленный, частично рассеянный (рис. П.2.4, г).

Освещенные поверхности предметов, например, поверхность киноэкрана, рассматривают как вторичные источники света. Их излучающие свойства, как и свойства самосветящихся поверхностей, характеризуются такими величинами, как световой поток и яркость. Под световым потоком F_2 в этом случае понимают лишь рассеянную часть падающего на поверхность первичного потока F_1 F_2 = ρF_1, = ρES.

Примеры коэффициентов отражения различных объектов приведены ниже (табл. П.2.4).

Таблица П.2.4

Объект	**Коэффициент отражения**	**Объект**	**Коэффициент отражения**
Снег, мел, гипс	0.93...0,98	Черный бархат	0.01
Белая бумага	0,6...0,8	*Кожа* лица: лоб мужской темный	0,19
Стены: свежепобеленные	0,8	лоб мужской светлый	0,43
Стены:темно-красные	0,16	женская щека	0,37
Стены:желтые	0,77	Лицо, покрытое гримом	0,3...0,37

Свойства зрения таковы, что при наблюдении объектов главным является не абсолютное значение яркостей отдельных частей объекта, а соотношение яркостей этих частей. Максимальное отношение яркости самых светлых частей объекта к яркости самых темных частей называется *контрастностью:*

$$K = B_{\max} / B_{\min}.$$

Контрастность природных объектов иногда достигает $10^4...10^5$ (яркость частей объекта, освещенных солнцем, и яркость в тенях объекта). Но в большинстве случаев контрастность объектов наблюдения не превышает 100, если только объект не содержит зеркально отражающих участков. В табл. П.2.5 приведены несколько примеров значений контрастности.

Таблица П.2.5

Объект	**Контрастность**
Пейзаж в солнечный день	1000
То же в пасмурный день	100
Киноэкран	50...100
Хорошая фотография	50...100
Экран телевизора	30...40
Газетная репродукция	5…6

Отметим, что яркостный контраст подкрепляется цветовым.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алдошина И.А. Цикл статей по психоакустике и акустике помещений // Звукорежиссер, 2001 – 2004.
2. Ефимов А.П. Психофизиология вещания. Монография – М.: МТУСИ, 2004. – 196 с.
3. Ефимов А.П. Психофизиология зрения. – М.: МТУСИ – Информсвязьиздат, 2003. – 64 с.
4. Электроакустика и звуковое вещание / Под ред. Ю.А. Ковалгина. – М.: Радио и связь, 2004. – 792 с.
5. Зусманович В.М. Свет и цвет в телевидении. – М.: Энергия, 1964. – 208 с.