

Белорусский национальный технический университет
Приборостроительный факультет
Кафедра «Конструирование и производство приборов»

Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине
«ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ ЗАПИСИ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ АУДИО- И
ВИДЕОИНФОРМАЦИИ»

для студентов I ступени получения высшего образования специальности
1-38 01 01 «Механические и электромеханические приборы и аппараты
специализации»
1-38 01 01 05 «Бытовые машины, приборы и аппаратура»

Составитель: Зайцева Елена Георгиевна

Минск БНТУ 2022

Перечень материалов

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по учебной дисциплине «Приборы и системы записи и воспроизведения аудио- и видеоинформации» состоит из следующих разделов:

I. Теоретический раздел:

– курс лекций.

II. Практический раздел:

– лабораторный практикум.

III. Контроль знаний

– перечень вопросов, выносимых на экзамен.

IV. Вспомогательный раздел:

– перечень учебных пособий, рекомендуемых к использованию в образовательном процессе, и Интернет-ресурсов с материалами по данной дисциплине.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели создания ЭУМК:

Целью ЭУМК по дисциплине «Приборы и системы записи и воспроизведения аудио- и видеоинформации» является формирование у студентов комплекса знаний по изучаемой учебной дисциплине, соответствующих академическим, социально-личностным и профессиональным компетенциям специалиста в рамках образовательных стандартов для специальности 1-38 01 01 «Механические и электромеханические приборы и аппараты» специализации 1-38 01 01 05 «Бытовые машины, приборы и аппаратура».

Особенностями структурирования и подачи учебного материала являются изучение следующих теоретических материалов:

- основные принципы построения и функционирования приборов записи и воспроизведения аудио- и видеоинформации;
- методики количественной оценки приборов записи и воспроизведения аудио- и видеоинформации.

Практическая часть содержит методические указания по выполнению лабораторных работ. Раздел контроля знаний содержит вопросы к зачету и экзамену. Вспомогательный раздел содержит перечень учебных пособий и Интернет-ресурсов с материалами по данной дисциплине, рекомендуемых к использованию в образовательном процессе по дисциплине «Приборы и системы записи и воспроизведения аудио- и видеоинформации».

Рекомендации по организации работы с ЭУМК: Материалы данного электронного учебного-методического комплекса можно использовать при выполнении лабораторных работ, и конструкторских частей дипломных проектов (работ), связанных с приборами записи и воспроизведения аудио- и видеоинформации.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|-----|
| I ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ | 5 |
| 1 МИКРОФОНЫ | 5 |
| 2 АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ. ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ | 40 |
| 3 СТЕРЕОТЕЛЕФОНЫ | 66 |
| 4 ВИДЕОКАМЕРЫ | 72 |
| 5. ДИСПЛЕИ | 91 |
| 6. ВИДЕОПРОЕКТОРЫ..... | 95 |
| 7. ЗАПИСЬ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ 3D - ИЗОБРАЖЕНИЙ..... | 98 |
| II. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ..... | 99 |
| Лабораторная работа № 1..... | 99 |
| Лабораторная работа №2..... | 111 |
| Лабораторная работа №3..... | 127 |
| Лабораторная работа № 4 | 143 |
| Лабораторная работа № 5..... | 158 |
| Лабораторная работа № 6..... | 174 |
| Лабораторная работа №7..... | 184 |
| Лабораторная работа № 8..... | 191 |
| III. КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ | 201 |
| IV. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ | 202 |

I ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1 МИКРОФОНЫ

1.1 Классификация микрофонов

Первым звеном любой звукозаписывающей системой является микрофон. Микрофон - это преобразователь акустических колебаний в воздушной среде в электрические колебания (ГОСТ Р 53576-2009, МЭК 60268-4:2004).

В этом стандарте указано, что в состав микрофона входят: чувствительный элемент, согласующий элемент, электрические соединители, усилители и блоки питания, если они являются неотъемлемыми частями микрофона и указаны в технической документации на микрофон.

В [1] приведена классификация микрофонов, проанализированы их конструкция и принцип действия.

Согласно [1] все применяемые в практике звукозаписи микрофоны можно классифицировать *по принципам преобразования энергии, видам характеристик направленности, областям применения и конструктивным особенностям* (здесь и далее ссылки в соответствии с перечнем Интернет-ресурсов, приведенных в разделе IV).

Возможны следующие принципы *преобразования акустической энергии в электрическую*: электродинамический, конденсаторный, со сжатием угольного порошка, пьезоэлектрический, оптический.

Исторически первым широко используемым в практике микрофоном был *угольный* [2], запатентованный в 1886 году Т. Эдисоном (рис.1.1). Он представлял собой чашку с угольными гранулами, и расположенной сверху металлической диафрагмой.

Основные элементы и эквивалентная схема этого микрофона схематично представлена на рис. 1.2. Через гранулы за счет подачи напряжения между электродами проходит слабый постоянный ток. Когда диафрагма колеблется под действием падающей звуковой волны, гранулы сжимаются, площадь контактов между ними увеличивается, электрическое сопротивление гранул падает, а ток растет. В результате изменения сопротивления под действием звукового сигнала на выходе трансформатора появлялся переменный ток, который усиливался и подавался в цепь передачи сигнала.

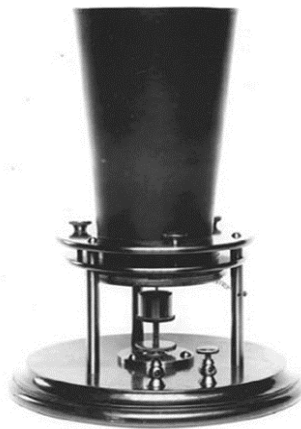


Рис. 1. Угольный микрофон [2]

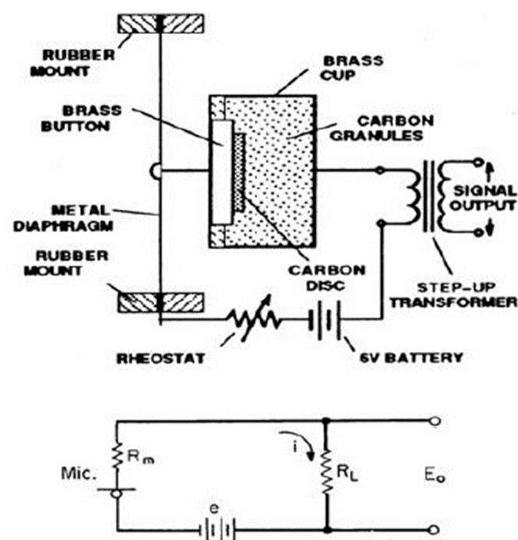


Рис. 2. Основные элементы и эквивалентная схема угольного микрофона [2]

В электродинамическом микрофоне звуковая волна воздействует на легкую диафрагму. Ее колебания приводят в движение связанный с ней проводник, помещенный в постоянное магнитное поле. Возникший в цепи движущегося проводника электрический ток усиливается и передается в цепи связи. Конструкция проводника (катушка на цилиндрическом каркасе, металлическая лента и т.д.) определяет тип электродинамического микрофона.

Основные элементы электродинамического катушечного микрофона схематически показаны на рис. 1.3.

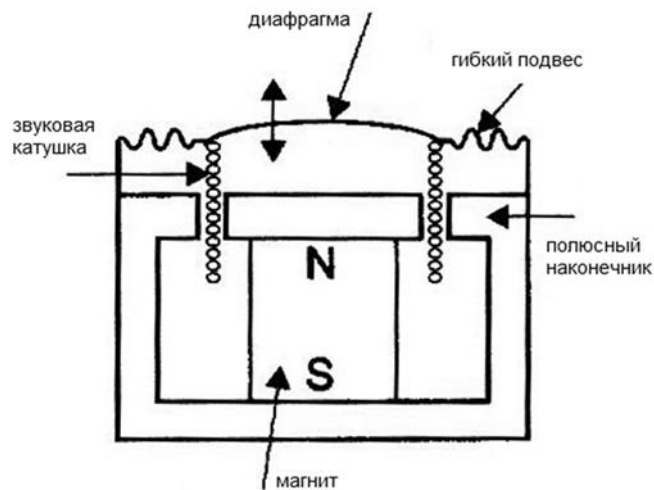


Рис. 3. Основные элементы электродинамического катушечного микрофона [1]

Этот тип микрофона является ненаправленным (приемник давления), т.е. его чувствительность не зависит от угла падения звуковой волны. В них звуковая волна действует только на внешнюю сторону диафрагмы. В настоящее время преимущественное распространение получили направленные микрофоны (приемники градиента давления), где обеспечен доступ звуковой волны и к тыльной поверхности диафрагмы через боковые отверстия. На рис. 1.4 представлена схема воздействия давления от звуковой волны на микрофон-приемник давления (а) и микрофон-приемник градиента давления (б).

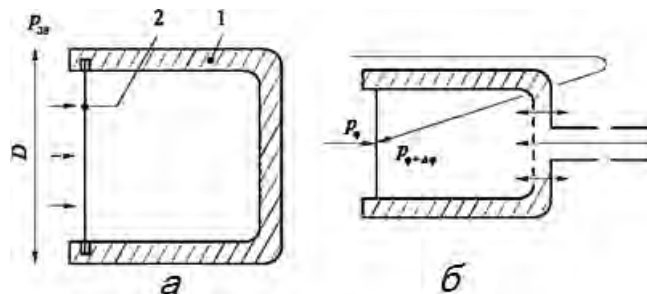


Рис. 4. Схема воздействия давления от звуковой волны на микрофон-приемник давления (а) и микрофон-приемник градиента давления (б) [3]

Конструкция электродинамического катушечного микрофона показана на рис. 1.5.

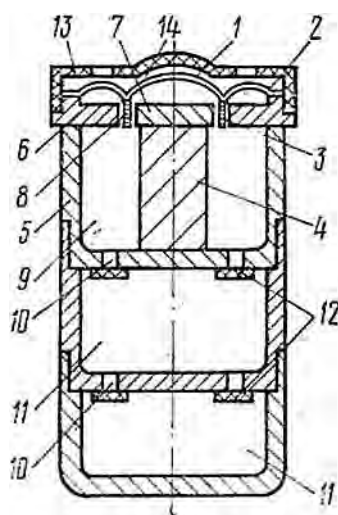


Рис. 4. Конструкция электродинамического катушечного микрофона (1 — диафрагма; 2 — гофрированный подвес; 3 — звуковая катушка; 4 — магнит; 5 — стакан; 6 — фланец; 7 — полюсный наконечник; 8 — воздушный зазор; 9 — объем; 10 — отверстия в дне стакана и объемов; 11 — объемы; 12 — ткань; 13 — накладка; 14 — щель) [1]

Принцип действия данной конструкции приведен в [1]. К диафрагме, которая состоит из сферического купола 1 и гофрированного подвеса 2, приклеена звуковая катушка 3, состоящая из каркаса с намотанным на него в два слоя проводником. Магнитная цепь включает в себя: постоянный магнит 4, магнитопровод в виде стакана 5, фланца 6 и полюсного наконечника 7. Гофрированный подвес диафрагмы через прокладку присоединен к верхнему фланцу таким образом, чтобы катушка разместились в середине зазора 8. Поскольку магнит намагничен вдоль оси, то магнитные силовые линии пересекают зазор, поэтому когда при движении диафрагмы под действием звукового давления катушка начинает колебаться, пересекая при этом магнитные силовые линии, в ней индуцируется ток, связанный со значением звукового давления на диафрагму.

При колебаниях диафрагмы в полостях между ней, полюсным наконечником и верхним фланцем возникает избыточное звуковое давление, и воздух начинает через зазор выходить в полость 9, а затем через отверстия в дне стакана 10 в полость 11. Отверстия эти обычно закрыты тканью 12, что дает возможность регулировать сопротивление звуковому потоку. Сверху над диафрагмой обычно устанавливается накладка 13, форма которой в центральной части повторяет сферическую форму диафрагмы, она имеет широкие окна, то есть акустически прозрачна. Между диафрагмой и накладкой имеется узкая полость 14, которая также оказывает свое влияние на демпфирование колебаний диафрагмы.

Соотношение между звуковым давлением p , действующим на диафрагму, индукцией B в зазоре, площадью S диафрагмы, длиной L проводника звуковой катушки и током I в ней имеет вид:

$$p = \frac{B L I}{s}$$

Диафрагма с подвесом обычно изготавливаются методом горячего прессования из прочной и легкой пленки толщиной около 20 мкм, например, из майлара, обладающего высокой температурной (минус 40 – плюс 77 градусов Цельсия) и устойчивостью к вибрациям. Жесткость пленки позволяет сохранять поршневой режим колебания диафрагмы в достаточно широком диапазоне частот.

В качестве магнита используются магнитотвердые сплавы с высокой остаточной индукцией например, из неодима. Стакан и фланец изготавливаются из магнитомягких материалов (малоуглеродистой стали или пермаллоя). Диаметр стакана 20-40 мм, что определяет общий размер капсуля. Капсюль вместе с амортизаторами, предохраняющими его от ударов и тряски, закрепляется в корпусе микрофона.

Чтобы чувствительность микрофона не зависела от частоты, необходимо, сохранять сопротивление микрофона постоянным в широком диапазоне частот. С этой целью в конструкции динамических микрофонов и используются последовательности воздушных полостей со специально подобранными значениями массы и гибкости воздушного объема и активного сопротивления потерь за счет трения в щелях. Это сопротивление регулируется выбором размеров щелей и параметров ткани, которая закрывает щели.

Эквивалентная схема динамического микрофона-приемника давления показана на рис. 1.6.

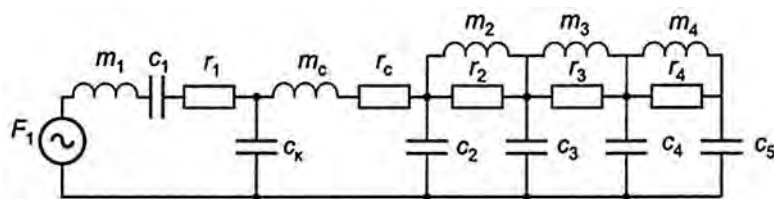


Рис. 1.6. Эквивалентная схема динамического микрофона-приемника давления (m_1, c_1, r_1 — масса, гибкость и сопротивление подвижной системы, m_i, c_i, r_i — масса, гибкость и сопротивление воздуха в полостях за диафрагмой)

В соответствии с [1] динамические микрофоны большой динамический диапазон, устойчивость к механическим, климатическим нагрузкам и ветровым помехам, низкий уровень шумов, большую надежность и т. д., поэтому они используются в системах звукоусиления, в конференц-системах, в радиовещании, в репортажах с места событий, речевых студиях.

К недостаткам следует отнести пониженную чувствительность, неравномерность амплитудно-частотной характеристики, повышенный уровень переходных искажений по сравнению с конденсаторными микрофонами.

Основные элементы *электродинамического ленточного* микрофона показаны на рис. 1.7.

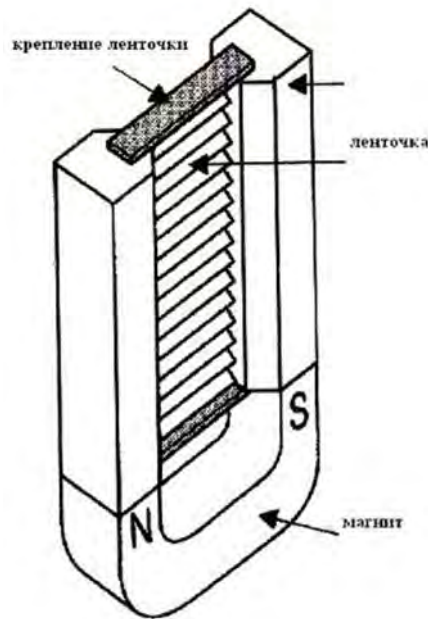


Рис.1.7.Основные элементы электродинамического ленточного микрофона [1]

Между полюсами магнита параллельно силовым линиям располагается гофрированная металлическая ленточка. Под действием звукового давления она начинает колебаться, пересекая силовые магнитные линии и возбуждает ток индукции в присоединенной электрической цепи. Материал ленточки - в основном алюминиевая фольга толщиной 2-4 мкм, шириной 1,5-2 мм, длиной 20-40 мм. Она имеет низкое сопротивление (0,2-0,5 Ом). Длина ленточки намного меньше длины проволоки звуковой катушки в динамическом микрофоне, а ширина ленточки больше диаметра провода, поэтому напряжение на ее концах низкое (10-50 мкВ/Па). Применение ленточной мембраны требует использования в корпусе микрофона повышающего трансформатора для предотвращения влияния помех в кабеле. Наличие трансформатора повышает чувствительность до 1...2 мВ/Па и сопротивление до 200-300 Ом.

Эквивалентная схема ленточного микрофона представлена на рис.1.8.

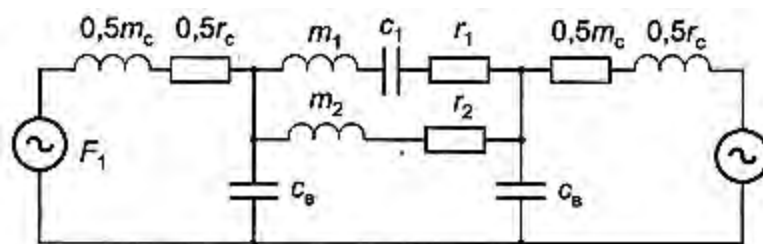


Рис.1.8. Эквивалентная схема ленточного микрофона динамического микрофона-приемника давления (m_1, c_1 — эквивалентная масса и гибкость ленточки, r_1 — активное сопротивление ленточки, m_2, r_2 — масса и

сопротивление трения воздуха в зазорах между ленточкой и полюсными наконечниками, m_c и r_c — присоединенная масса воздуха и сопротивление излучения, c_a — гибкость воздуха в полостях перед и за ленточкой) [1]

В соответствии с [1] ленточные микрофоны имеют малый уровень переходных искажений из-за малой инерционности легкой ленточки. Они чувствительны к механическим воздействиям при транспортировке, к климатическим и механическим воздействиям. Наличие магнита и трансформатора обуславливает большими габариты и высокую стоимость.

Основные элементы **конденсаторного** микрофона схематично показаны на рис. 1.9. Капсюль микрофона состоит из конденсатора, одна пластина которого — неподвижный массивный электрод, вторая — тонкая натянутая мембрана из металлизированной с внешней стороны высокополимерной пленки. Поляризующее напряжение (около 48 В) подается на этот конденсатор через резистор с высоким сопротивлением, что обеспечивает постоянный заряд на обкладках. Под действием звукового давления мембрана начинает колебаться, изменяя расстояние между пластинами и, соответственно, емкость конденсатора.

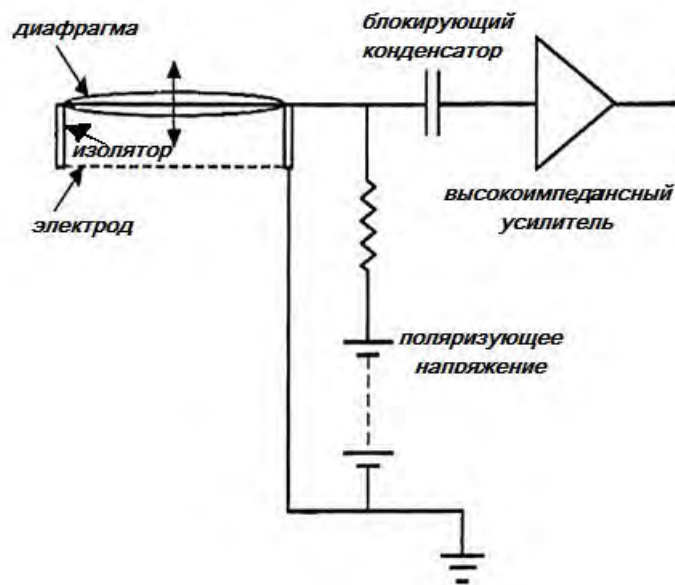


Рис.1.9. Основные элементы конденсаторного микрофона [1]

Переменная составляющая напряжения u пропорциональна смещению x диафрагмы, поляризующему напряжению U_0 и обратно пропорциональна расстоянию d между обкладками:

$$u = \frac{xU_0}{d}$$

Переменное напряжение, обусловленное колебаниями мембраны, через конденсатор, блокирующий от проникновения постоянного поляризующего

напряжения подается на предусилитель, расположенный в корпусе микрофона. Он преобразует высокое емкостное сопротивление капсуля в низкое, чтобы согласовать его с входным сопротивлением последующего микрофонного усилителя.

Кроме представленной на рис. 1.9 низкочастотной схемы, используют высокочастотную. В этом случае микрофонный конденсатор включается в цепь с высокочастотным генератором. Высокая частота модулируется низкочастотной звуковой, затем производится детектирование, т.е. выделение полезной низкочастотной составляющей. Может использоваться фазовая, частотная и амплитудная модуляция. Для схем с модуляцией необходима стабильность частоты генератора и емкости при отсутствии звукового сигнала. Эти величины могут варьироваться при изменении климатических условий. Высокочастотные схемы менее распространены в конденсаторных микрофонах, чем низкочастотные.

На рис 1.10 показана конструкция капсуля конденсаторного микрофона-приемника давления.

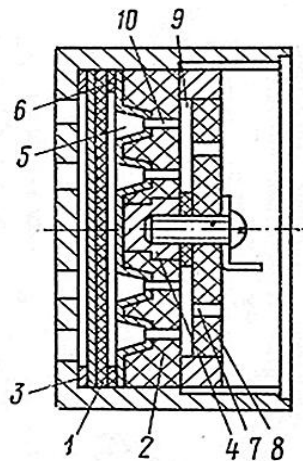


Рис. 1.10. Конструкция капсуля конденсаторного микрофона-приемника давления (1 — мембрана; 2 — неподвижный электрод (НЭ); 3 — кольцо; 4 — втулка; 5 — углубление в НЭ; 6 — изоляционное кольцо; 7 — отверстия; 8 — шайба; 9 — щель; 10 — отверстия в дне НЭ [1])

Капсюль содержит мембрану 1 — натянутую полимерную пленку с внешним металлическим слоем (он нанесен вакуумным напылением). Мембрана соединена с металлическим кольцом посредством электропроводящего клея. Неподвижный электрод 2, являющийся второй обкладкой, представляет собой пластину из металла или металлизированного композиционного диэлектрика. Изоляционные прокладки между мембраной и неподвижным электродом образуют воздушный зазор 5 толщиной около 20-40 мкм. Корпус и неподвижный электрод разделены изолятором. Отверстия 7 в электроде определяют общую гибкость системы. Для создания дополнительной массы и трения, обеспечивающих требуемую форму характеристики направленности, используется шайба с отверстиями 8,

образующая щель 9. Втулка и планка позволяют снять механическое напряжение. Сетка над мембраной предназначена для защиты от электростатических помех и механических повреждений.

Корпус, содержащий капсуль, дополнительно содержит предусилитель, элементы крепления, амортизаторы и прочие элементы.

Так как конденсаторный микрофон нуждается в высоковольтном источнике питания для зарядки капсуля и для предусилителя, постоянное напряжение к микрофону подается по тому же двухканальному кабелю, по которому с микрофона снимается переменное напряжение. Такая подача питания называется "фантомной". Схема подачи «фантомного» питания на конденсаторный микрофон представлена на рис. 1.11.

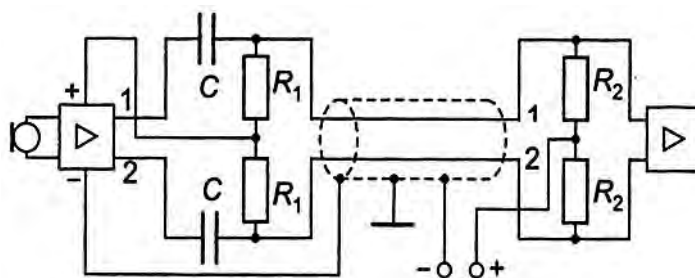


Рис. 1.11. Схема подачи «фантомного» питания на конденсаторный микрофон [1]

Электретные конденсаторные микрофоны способны длительное время сохранять электрический заряд. Его отличие от предыдущего варианта заключается в том, что в качестве одной из обкладок используется тонкая диэлектрическая пленка, сохраняющая заряд. Мембрана и неподвижный электрод металлизуются с наружных сторон. На электризованной пленке заряд сохраняется, поэтому не требуется постоянное напряжение поляризации. Небольшое напряжение питания предусилителя (нескольких вольт) обусловило возможность миниатюризации предусилителей и использования малогабаритных источников питания, размещенных внутри корпуса микрофона. Это сделало возможным уменьшение размеров микрофона, упростило производство и условия эксплуатации. Толщина зазора между пленкой и электродом также уменьшена, потому что (так как заряды находятся в связанной форме, не происходит их перетекания к центру при движении мембраны и потому не происходит "залипания" мембраны к электроду) и вследствие этого увеличить чувствительность.

Существует вариант электретных микрофонов с массивным электретом, у них электретная пленка нанесена на неподвижный электрод, а мембрана состоит из тонкой полимерной пленки, как у обычного конденсаторного микрофона. Это позволило уменьшить толщину мембраны и соответственно увеличить чувствительность микрофона, сохранив малые габариты.

Эквивалентная схема конденсаторного ненаправленного микрофона-приемника давления показана на рис. 1.12

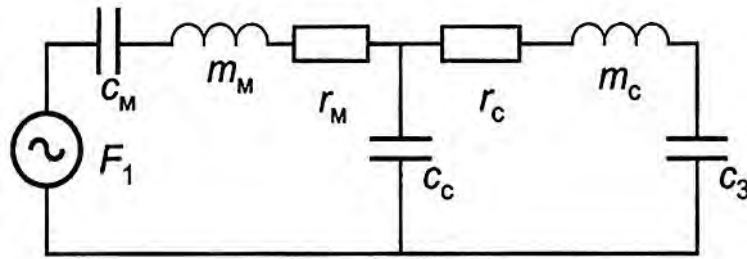


Рис. 1.12. Эквивалентная схема конденсаторного ненаправленного микрофона-приемника давления [1]

Основные преимущества электретных микрофонов: низкий уровень переходных искажений вследствие малой массы диафрагмы, широкие частотный и динамический диапазоны, высокая чувствительность, малая чувствительность к магнитным помехам.

Среди недостатков можно назвать меньшую устойчивость к механической вибрации, климатическим изменениям, более высокий уровень шумов по отношению к динамическим микрофонам.

В *оптических* микрофонах происходит отражение лазерного луча от мембраны (рис. 1.13).

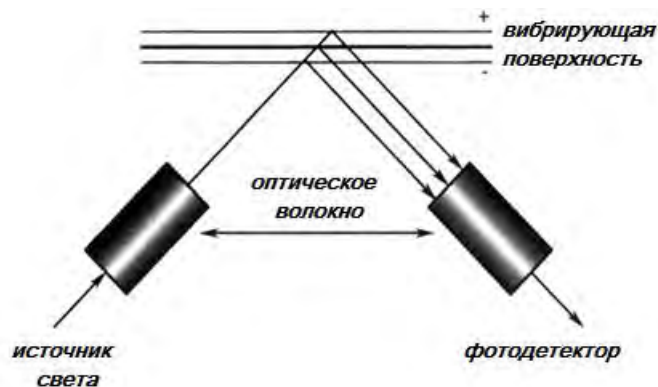


Рис. 1.13. Схема отражения лазерного луча от мембраны микрофона [2]

Луч, направленный по оптоволокну к мембране, освещает ее. Отраженный от мембраны луч изменяет свое направление при ее колебании. Соответственно, с торцом второго оптоволокну совмещается часть отраженного светового пучка, который затем направляется на фотодиод. В нем сигнал преобразуется в переменный ток. В данном случае мембрана может быть значительно удалена на большое расстояние от источника света и фотодиода, так как потери в оптоволокну очень малы. Микрофон не чувствителен к электромагнитным, электростатическим и радиоактивным полями имеет малые габариты.

В *пьезоэлектрических* микрофонах преобразователями являются пьезоэлектрические кристаллы или керамика (в частности, титанат бария).

После поляризации эти материалы могут преобразовывать механические деформации в электрический ток. К достоинствам относится стабильность характеристик.

Миниатюризация конденсаторного и пьезоэлектрического типа преобразования привела к возникновению *MEMS*-микрофонов (*MEMS* — микро-электромеханические системы). Схема *MEMS*-микрофона на одной подложке и на двух склеенных подложках представлена на рис. 1.14.

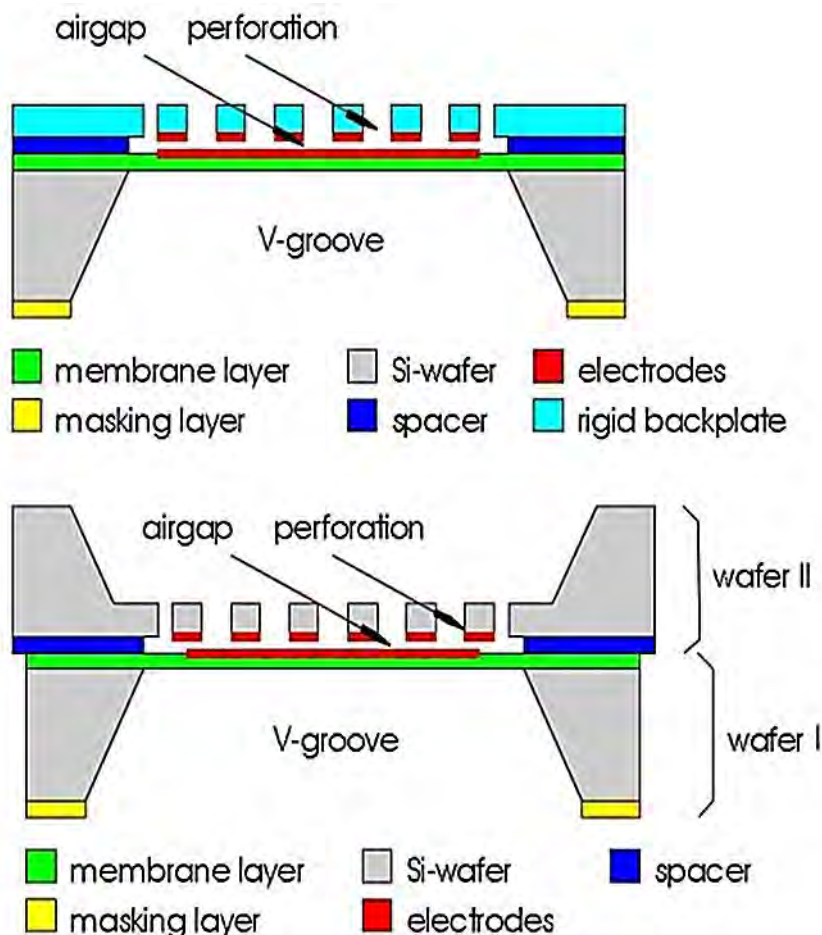


Рис.1.14 – Схема MEMS-микрофона на одной подложке (сверху) и на двух склеенных подложках (снизу)[2]

Мембрану напылили на кремниевую подложку. На заднюю поверхность подложки - защитный слой, в котором сделаны V-образные канавки. На одной кремниевой подложке находится мембрана с металлизированным слоем и V-канавками, на другой выгравированы сплошные отверстия и она служит неподвижным металлизированным электродом. Обе подложки склеены. Между ними находятся прокладки для формирования воздушного зазора. Под действием звуковой волны мембрана колеблется, изменяется емкость конденсатора и создается переменный электрический сигнал. На обкладки микрофона подается постоянное напряжение.

Преимущества MEMS-микрофона микрофонных чипов являются малые размеры (площадь мембраны составляет около 1 мм²) и соответственно

возможность интегрировать в его корпус усилители, АЦП, цифровые процессоры и т.д. Кроме того, матрица таких микрофонов и процессоров может позволить варьировать характеристики направленности этой системы.

Как уже было указано, все микрофоны делятся на приемники давления и приемники градиента давления (рис. 1.4). У микрофонов первой группы чувствительность не зависит от направления воздействия звукового давления, у второй группы присутствует такая зависимость. Поэтому микрофоны – приемники давления называют *ненаправленными*, а микрофоны – приемники градиента давления - *направленными*. Ранее были рассмотрены конструкции и эквивалентные схемы ненаправленных микрофонов.

Для получения требуемой характеристики направленности в *направленных* микрофонах (зависимости чувствительности от направления звукового давления) используют разные конструкторские решения [4].

В одном из исторических первых вариантов два капсюля размещали в одном корпусе и складывали их выходные напряжения. В настоящее время использует один капсюль с двумя или более акустическими входами для доступа звуковой волны к диафрагме, причем в них условия доступа волны к передней и задней части диафрагмы неодинаковы (рис.1.15).

Например, в модели Sennheiser MD441 (рис. 1.16) три отверстия для доступа звукового давления со стороны тыльной поверхности диафрагмы располагаются на разном расстоянии: 3,8 см для высокочастотного входа, 5,6 см для среднечастотного, 7 см для низкочастотного.

В конденсаторных микрофоны с *двойными мембранами* используются капсюли, имеющие две мембраны и общий неподвижный электрод. Схема такого микрофона приведена на рис.1.17.

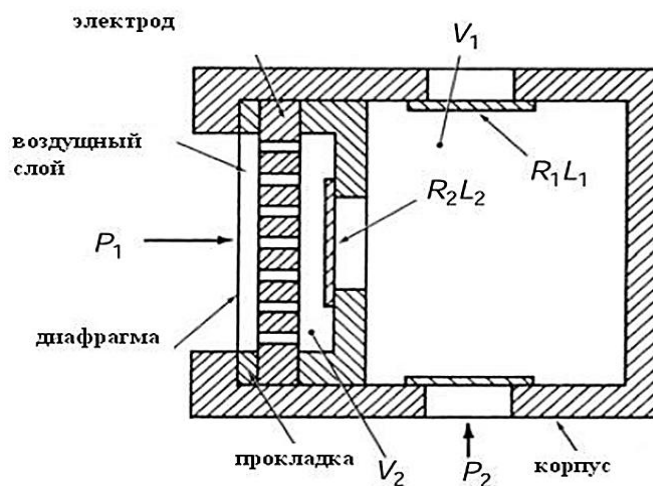


Рис. 1.15. Основные элементы направленного микрофона [4]



Рис. 1.16. Микрофон Sennheiser MD441 с тремя отверстиями для доступа звукового давления со стороны тыльной поверхности диафрагмы [4]

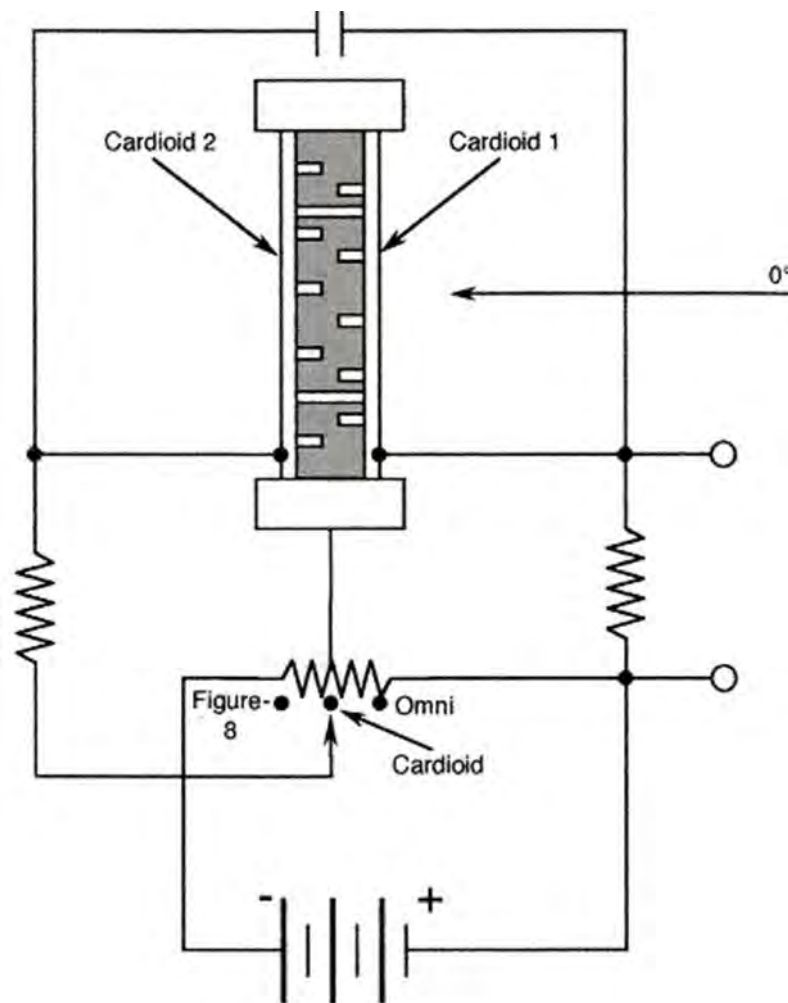


Рис. 1.17. Схема конденсаторного микрофона с двойными мембранами [4]

В нем есть замкнутые полости и сквозные отверстия, соединяющие зазоры под мембранами. В таких микрофонах существует возможность управлять характеристикой направленности. Складывая напряжения с двух микрофонов, можно получить ненаправленную характеристику, вычитая — "восьмерку", а меняя соотношение напряжений можно получить другие виды характеристик направленности: кардиоиду и т. д.

Технически это осуществляется с помощью подачи поляризующего напряжения на потенциометр, который и является регулятором подаваемого напряжения (рис. 1.17): неподвижный электрод подключается через резистор к середине потенциометра, левая мембрана — к положительному полюсу источника питания, правая подключается в различных точках: при подключении в правой точке (Оmnі) получается круговая характеристика, в средней точке (Cardioid) — кардиоидная (мембрана имеет тот же потенциал, что и неподвижный электрод, и, следовательно, не является электрически активной), при подключении в левой точке (Figure 8) характеристика направленности имеет вид восьмерки.

Сток воздуха в микрофонах с двойными мембранами может быть раздельным и совмещенным. Соответствующие конструкции представлены на рис.1.18.

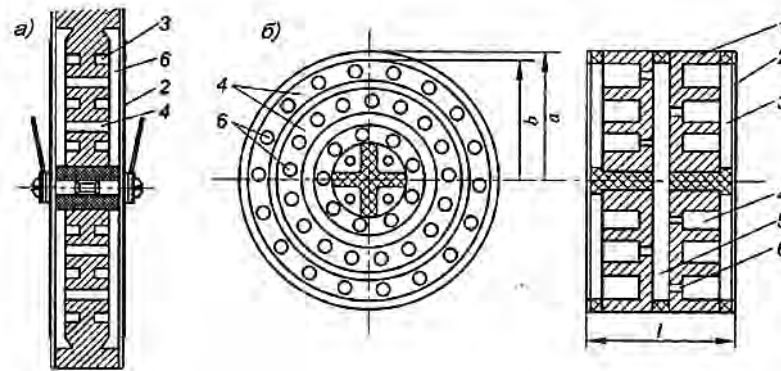


Рис. 1.18. Основные элементы микрофона с двумя мембранами и с раздельным (а) и совмещенным (б) стоком воздуха: 1 — неподвижные электроды, 2 — мембраны, 3 — подмембранный зазор, 4 — подмембранные полости в виде концентрических пазов, 5 — межэлектродный зазор (щель), 6 — отверстия, соединяющие объем 4 с щелью 5 [4]

Особую группу направленных микрофонов образуют *остронаправленные* микрофоны, так называемые «shotgun». В них односторонне направленный капсюль соединен с трубкой, имеющей отверстия или прорезы, закрытые тканью (рис. 1.19), а его внешний вид — на рис.1.20.

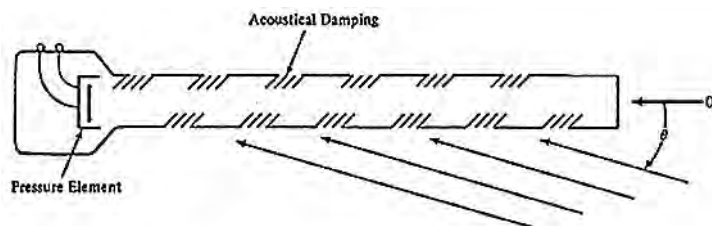


Рис. 1.19. Основные элементы остронаправленного микрофона [4]



Рис. 1.20. Внешний вид остронаправленного микрофона [4]

Области применения микрофонов - радиовещание, телевидение, звукозапись, озвучение и звукоусиления, концертно-театральная аппаратура, медицина, измерительная техника и т.д.

1.2 Параметры микрофонов

Одной из основополагающих характеристик микрофонов является **номинальный диапазон частот** [3]. Это частотный диапазон, в котором определяются параметры микрофона. Для современных конденсаторных микрофонов, может достигать 20 - 20000 Гц.

Чувствительность S определяется отношением сигнала на выходе микрофона, то есть напряжения U , к сигналу на входе микрофона, то есть звуковому давлению p :

$$S = \frac{U}{p}$$

Учитывая, что напряжение на выходе микрофона мало, чувствительность обычно задается в единицах мВ/Па.

Очевидно, что чувствительность зависит от частоты акустических колебаний, подаваемых на вход микрофона, от направления вектора звукового давления, т.е. является не параметром, а многомерной функцией. Кроме того, чувствительность может определяться в помещениях с разными акустическими свойствами (чувствительность *по свободному или по диффузному полю*).

Методика измерений чувствительности изложена в [3]. Измерение чувствительности *по свободному полю* производится в заглушенной камере. Это специальное помещение, в котором обеспечено отсутствие отражений за

счет размещения на стенках большого количества звукопоглощающего материала.

При этом возможны две методики измерения: *замещения и сравнения*.

Метод *замещения* заключается в следующем. На измерительный громкоговоритель подается синусоидальный сигнал, напряжение которого выбирается так, чтобы обеспечить постоянный уровень звукового давления в заданной точке поля. Уровень давления измеряется специальным измерительным микрофоном малого размера, чтобы не вносить искажений в структуру звукового поля.

Затем на это место устанавливается измеряемый микрофон и определяется его выходное напряжение. Чувствительность определяется как отношение выходного напряжения на измеряемом микрофоне к звуковому давлению, измеренному измерительным микрофоном в точке размещения испытуемого микрофона.

При измерениях методом *сравнения* измерительный и испытуемый микрофон сразу устанавливаются в одну точку поля. Измеренная методом *сравнения* чувствительность называется *чувствительностью по давлению*. Она отличается от чувствительности, измеренной методом *замещения*, так как микрофон сам вносит определенные искажения в структуру звукового поля.

Если измерения звукового давления выполняются на шумовом сигнале в реверберационных камерах, обеспечивающих равномерное и изотропное звуковое поле за счет большого количества отражений, то отношение выходного напряжения к звуковому давлению называется *чувствительностью по диффузному полю*.

По отсутствию и наличию электрического сопротивления на выходе исследуемого микрофона чувствительность классифицируется на две группы: чувствительность *на холостом ходу*, если сопротивление на выходе микрофона отсутствует, и чувствительность *на номинальной нагрузке*, если измерения напряжения проводятся на номинальном выходном сопротивлении микрофона, указываемом в технической документации.

Уровень чувствительности L – это 20 логарифмов отношения чувствительности микрофона S_m к постоянному значению S_0 , равному 1В/Па:

$$L=20\lg S_m/S_0$$

Величина L измеряется в децибелах (дБ). Так как чувствительность микрофонов мала (несколько милливольт на 1 Па), то значения уровня чувствительности микрофонов отрицательны.

Частотная характеристика чувствительности или амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) микрофона $S(f)$ или $L(f)$ - зависимость чувствительности S или уровня чувствительности L от частоты f в номинальном диапазоне частот.

Традиционным способом экспериментального определения этой характеристики являлось измерение амплитуды электрических косинусоидальных колебаний звукового давления на выходе микрофона при

подаче на его вход косинусоидальных колебаний давления с различными частотами. Современный метод определения АЧХ микрофона является более оперативным и заключается в измерении его импульсной реакции при подаче на вход импульса, имитирующего дельта-функцию Дирака, а затем в пересчете импульсной реакции в АЧХ. При этом вначале в данной точке помещения с помощью измерительного микрофона выравнивается частотная характеристика измерительного громкоговорителя, подающего на вход испытуемого микрофона акустический сигнал. Затем короткий электрический импульс подается на измерительный громкоговоритель, импульс от громкоговорителя поступает на испытуемый микрофон, а полученный на выходе микрофона сигнал обрабатывается в компьютерной измерительной станции. Графики импульсной реакции конденсаторного (емкостного) и динамического микрофонов представлены на рис.1.21.

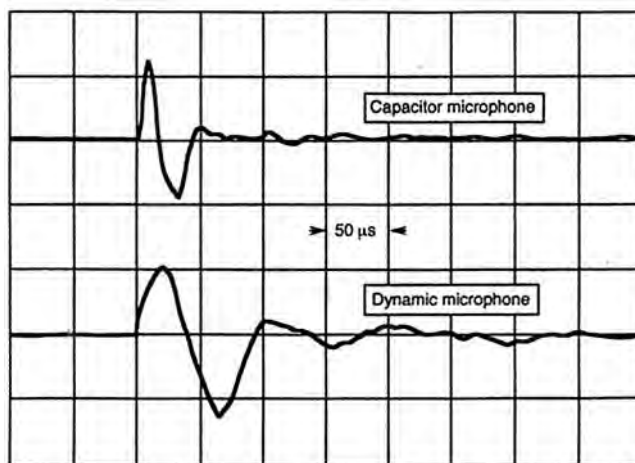


Рис. 1.21. Графики импульсной реакции конденсаторного и динамического микрофонов [5]

Из графиков видно, что импульсная реакция конденсаторного микрофона более близка к форме короткого импульса линейчатой формы, описываемого дельта-функцией Дирака, чем динамического, т.е. первый имеет характеристику, более равномерную частотную характеристику.

В измерительной станции с помощью преобразования Фурье производится расчет АЧХ микрофона, зависимость АЧХ от времени (трехмерный спектр) и фазовая характеристика.

Пример графика АЧХ микрофона с возможностью ее коррекции на низких частотах представлена на рис.1.22.

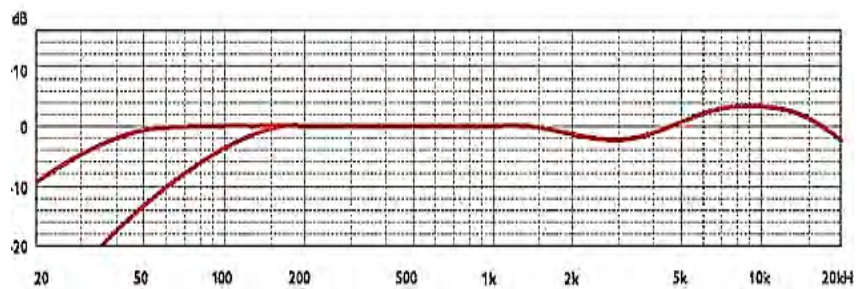


Рис.1.22. Пример графика частотной характеристики чувствительности с возможностью ее коррекции на низких частотах [3]

Неравномерность частотной характеристики — разность максимального и минимального значений уровня чувствительности в номинальном диапазоне частот.

АЧХ микрофонов должны обладать минимальной неравномерностью, чтобы обеспечить передачу минимально искаженного сигнала в последующие звенья звукового тракта. Исключения предусмотрены для микрофонов записывающих речь и пение. В этом случае обеспечивается подъем АЧХ в области 2-8 кГц, чтобы увеличить разборчивость (рис. 1.22).

Характеристика направленности $S_M(f, \alpha, \beta)$ — зависимость чувствительности микрофона на заданной частоте в свободном поле от угла падения звуковой волны. Частотные характеристики направленности можно определить, как семейство АЧХ микрофона, измеренных при разных углах падения звуковой волны в свободном поле. Так как угол падения в пространстве задается двумя проекциями, меридиональной α и азимутальной β , то в с учетом направленности АЧХ микрофона является функцией трех переменных (временной частоты f и двух углов α и β). Информацию о функциях трех переменных можно представить в виде совокупности графиков зависимости значения АЧХ от угла в определенном пространственном сечении в полярных координатах. Пример такой совокупности графиков характеристик направленности микрофона в определенном пространственном сечении представлен на рис. 1.23.

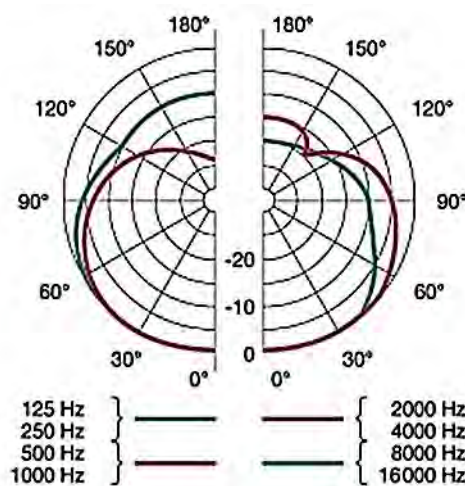


Рис. 1.23. Пример совокупности графиков характеристик направленности микрофона в определенном пространственном сечении [5]

На основании информации, полученной из характеристики направленности, возможно определить **комплекс параметров направленности микрофона**. К ним относятся коэффициент направленности, индекс направленности, коэффициент осевой концентрации, перепад чувствительности (отношение "фронт-тыл").

Коэффициент направленности $\Gamma(\alpha)$ — отношение чувствительности $S_M(\alpha)$ микрофона на данной частоте при падении звуковой волны под углом α к чувствительности $S_M(0)$ при угле падения звуковой волны вдоль оси микрофона (под углом 0 градусов):

$$\Gamma(\alpha) = \frac{S_M(\alpha)}{S_M(0)}$$

Индекс направленности D равен двадцати десятичным логарифмам от коэффициента направленности $\Gamma(\alpha)$:

$$D = 20 \lg \Gamma(\alpha)$$

Коэффициент осевой концентрации Ω на частоте f есть отношение звуковой энергии, падающей на микрофон вдоль оси, к энергии со всех остальных направлений. Он определяется как отношение квадратов чувствительности, измеренной по свободному полю S_{M0} и по диффузному полю $S_{M\text{диф}}$ при использовании третьоктавного шумового сигнала с центральной частотой f Гц:

$$\Omega = \frac{S_{M0}^2}{S_{M\text{диф}}^2}$$

Индекс осевой концентрации Q — десятикратный логарифм коэффициента осевой концентрации Ω :

$$Q=10\lg\Omega$$

Перепад чувствительности, "фронт-тыл" $Q_{0/180}$ — разность между уровнями чувствительности микрофонов, измеренными при углах приема 0 L_0 и 180 градусов L_{180} на данной частоте в свободном поле:

$$Q_{0/180} = L_0 - L_{180} = 20\lg \frac{S_M(0)}{S_M(180)}$$

Коэффициент расстояния равен отношению расстояний от источника до направленного микрофона и от источника до ненаправленного микрофона, на которых обеспечивается одинаковое значение выходного сигнала.

Например, кардиоидный микрофон может быть отодвинут на расстояние в 1,7 раза большее, чем ненаправленный, при сохранении того же выходного сигнала.

Угол максимального подавления - угол, в направлении которого микрофон наименее чувствителен к окружающему звуку.

Как упоминалось ранее, микрофоны можно классифицировать по форме характеристик направленности. Возможные формы характеристик направленности и их ориентация относительно капсуля микрофона представлены на рис. 1.24, а численные значения этих параметров, соответствующие данным характеристикам, - в таблице 1.1.

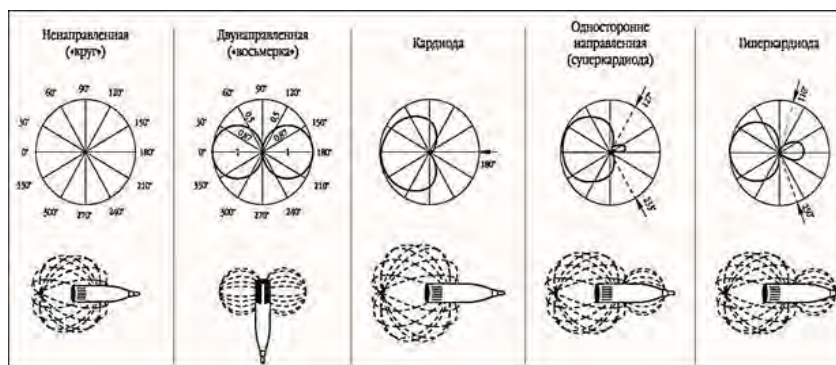


Рис. 1.24. Возможные формы характеристик направленности и их ориентация относительно капсуля микрофона [3]

Микрофон является источником нелинейных искажений, т.е. при подаче на его вход гармонического сигнала определенной частоты на выходе дополнительно появляются гармонические составляющие с другими частотами. Для оценки нелинейных искажений микрофона используется **полный коэффициент гармонических искажений** K_{Γ} гармоник на выходе с частотами, кратными частоте U_1 на входе, к амплитуде U_1 гармоники на входе:

$$K_{\Gamma} = \frac{\sum_{i=2}^n U_i^2}{U_1}$$

Таблица 1.1

Численные значения параметров направленности для микрофонов с различными характеристиками направленности [3]

| Характеристика | Ненаправленная | Кардио-ида | Суперкардиоида | Гиперкардиоида | Восьмерка |
|---------------------------------------|----------------|------------|----------------|----------------|-----------|
| Ширина диаграммы направленности, град | 360 | 131 | 115 | 105 | 90 |
| Угол максимального подавления, град | - | 180 | 126 | 110 | 90 |
| Отношение фронт-тыл, дБ | 0 | 25 | 12 | 6 | 0 |
| Коэффициент расстояния | 1 | 1,7 | 1,9 | 2 | 1,7 |

Обычно величина коэффициента гармонических искажений для современных микрофонов составляет меньше 0,5% [3], т.к. микрофон первое звено записи сигнала и требования к его параметрам максимально жесткие.

Возникновение **шумов** происходит при использовании всех типов микрофонов. Микрофонные шумы обычно разделяются на внутренние, наводимые и внешние, их характеристика приведена в [1].

Внутренние (собственные) шумы возникают в капсулях в результате случайных колебаний молекул воздуха в слое между мембраной и неподвижным электродом и в элементах электрической схемы микрофона за счет случайных тепловых процессов в сопротивлении нагрузки, в интегральных схемах предусилителя и т.д. В результате появляется ток на выходе микрофона при отсутствии внешнего звукового воздействия. В конденсаторных микрофонах предусилители используются всегда, а в динамических катушечных микрофонах их обычно нет (в них собственные шумы возникают в основном в активном сопротивлении звуковой катушки), поэтому уровень внутренних шумов у конденсаторных микрофонов выше, чем у динамических.

Наводимые шумы появляются за счет воздействия внешних электромагнитных и электрических полей на элементы микрофонных конструкций: на выходные трансформаторы ленточных микрофонов, звуковые катушки динамических микрофонов и т.д. Источниками электромагнитных помех, которые проявляются в виде низкочастотного фона, являются кабели мощных осветительных приборов, электропитающих устройств и др. Для их предотвращения трансформаторы защищают экранами из низкоуглеродистой стали, пермаллоя и других материалов. В профессиональных динамических микрофонах применяют антифонные катушки, наматываемые на корпус, в котором находится капсуль.

Индуктивность антифоновой катушки равна индуктивности звуковой катушки, но с целью компенсации помех намотка проводится в противоположном направлении. В микрофонах возникают также электростатические помехи, которые проявляются как в виде фона, так и в виде щелчков, шорохов и др. при резком перемещении микрофона и его кабеля. Защита от них осуществляется с помощью симметрирования микрофонных цепей и электростатической экранировки кабелей (с помощью чулка из гибкой металлизированной заземляемой оплетки).

Внешние шумы производятся находящимися в помещении *оборудованием* (вентиляция, осветительные приборы, видеокамеры и др.) и людьми (публика, операторы и т. д.). Такие шумы создают в помещении, как правило, диффузное звуковое поле, энергия которого распределена равномерно. Учитывая, что полезные источники звука имеют точную локализацию в помещении, для отстройки от этих шумов применяются направленные и остронаправленные микрофоны, выбирается оптимальное расположение микрофона по отношению к источнику и т. д. Кроме того, к внешним шумам относятся *аэродинамические* шумы, то есть помехи, возникающие вследствие обтекания микрофона потоками воздуха (из-за ветра, резкого перемещения, дыхания вокалиста при произнесении взрывных и фрикативных согласных и др.). Защитой от этих помех служат ветровые экраны ("ветрозащита") из травяного поролоната или многослойных металлических сеток, рассекающих поток воздуха. Эффективность экранов увеличивается с увеличением их размеров. Однако поскольку экраны оказывают существенное влияние на форму частотной характеристики в области высоких частот, оптимальный выбор их параметров имеет большое значение. Внешние *вибрационные и структурные* шумы, обусловленные низкочастотными колебаниями, действующими через элементы конструкции на капсулю, из-за колебаний опор (стойки, пола и др.), тряски микрофона в руках исполнителя, случайных ударов, толчков и др. Защитой от такого типа шумов служит применения амортизаторов внутри корпуса, с целью уменьшения передачи колебаний корпуса микрофона на капсулю. Структурный шум возникает вследствие трения микрофона об одежду (для петличных микрофонов), сжимания и трения в руках исполнителя и др. Для его снижения необходимо уменьшать шероховатость корпуса, увеличивать его толщину, разделять металлические части корпуса и капсулю резиновыми и полимерными прокладками и т.д.

Существует несколько **критериев** для оценки **шумовых параметров**: отношение сигнал/шум, уровень собственных шумов микрофонов.

Отношение сигнал/шум рассчитывается двумя способами. По стандарту IEC 60268-1 это отношение измеряется как разница между опорным уровнем звукового давления 94 дБ (1 Па) и уровнем эквивалентного звукового давления, измеренного с взвешиванием по кривой А из стандарта IEC 60268-1. По стандарту CCIR 468-3 отношение измеряется как разница между опорным уровнем звукового давления 94 дБ (1 Па) и уровнем напряжения,

соответствующего собственному шуму, измеренному с фильтром по ССIR 468-3.

Уровень эквивалентного звукового давления, обусловленного помехами, определяется по ГОСТ Р 53576-2009 (МЭК 60268-4:2004) как величина, равная двадцати десятичным логарифмам отношения напряжения на выходе микрофона, вызванного воздействием внешних помех или собственным шумом к напряжению, вызванному опорным звуковым давлением 2×10^{-5} Па.

Максимальное звуковое давление, которое может воспринимать микрофон, ограничивается амплитудой возникающих нелинейных искажений.

Уровень максимального звукового давления — это такой уровень звукового давления, при котором коэффициент гармонических искажений не превосходит заданного значения. В настоящее время этот показатель может достигать значений этот уровень составляет 140-150 дБ (при этом коэффициент гармонических искажений не превышает 0,5% на частоте 1000 Гц) [3].

Разность между максимальным и минимальным значением воспринимаемого звукового сигнала оценивается **динамическим диапазоном**), представляющим собой разность между максимальным уровнем звукового давления, при котором нелинейные искажения на выходе микрофона не превышают допустимое значение, и эквивалентным уровнем шумов.

Номинальный электрический импеданс $[Z]$ - это модуль полного электрического сопротивления микрофона. Значение $[Z]$ является функцией частоты поступающего на микрофон сигнала. Измерения выполняют в номинальном диапазоне частот испытуемого микрофона. **Полное электрическое сопротивление** есть отношение величины напряжения на выходе микрофона к результирующему току.

В соответствии с ГОСТ Р 53576-2009 (МЭК 60268-4:2004) определение частотной характеристики модуля полного электрического сопротивления для динамического микрофона может производиться как электрическим, так и электроакустическим методом.

Схема измерения модуля полного электрического сопротивления микрофона электрическим методом показана на рис. 1.25.

Активное сопротивление Z и входное сопротивление регистрирующего устройства должны не менее чем в 20 раз превышать сумму ориентировочного максимального значения модуля полного электрического сопротивления микрофона в номинальном диапазоне частот и модуля выходного сопротивления генератора.

Выполняют запись частотной зависимости уровня напряжения на выходе микрофона. Затем вместо микрофона подключают постоянное сопротивление Z и на том же бланке записывают уровень напряжения, снимаемого с сопротивления Z , которое выбирают приблизительно равным сопротивлению микрофона.

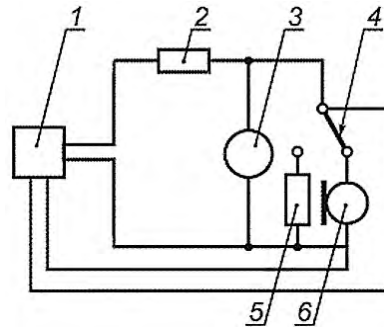


Рис.1.25. Схема измерения модуля полного электрического сопротивления динамических микрофонов электрическим методом: 1 - установка для автоматической записи частотной характеристики; 2 и 5 - сопротивления; 3 - вольтметр; 4 - переключатель; 6 - испытуемый микрофон

Модуль полного электрического сопротивления микрофона на данной частоте определяют, как произведение сопротивления 5 на разность уровней напряжения на выходе испытуемого микрофона и снимаемого с сопротивления 5.

Допускается измерять модуль полного электрического сопротивления микрофона на дискретных частотах по схеме, на рис. 1.25, где установка для автоматической записи частотной характеристики 1 может быть заменена звуковым генератором.

Измерения электроакустическим методом выполняют в условиях свободного поля по схеме на рис. 1.26.

Испытуемый микрофон подключают к микрофонному усилителю, входное сопротивление которого обеспечивает режим холостого хода. Измеряют напряжение на выходе микрофонного усилителя при разомкнутых контактах переключателя 9 (режим холостого хода). Затем при замкнутых контактах переключателя 9 подбирают сопротивление магазина, при котором напряжение на выходе микрофонного усилителя равно половине напряжения холостого хода. При этом модуль полного электрического сопротивления испытуемого микрофона равен сопротивлению, установленному на магазине.

Для конденсаторных микрофонов в соответствии со стандартом ГОСТ Р 53576-2009 (МЭК 60268-4:2004) используется метод, где микрофон замещается конденсатором равной емкости.

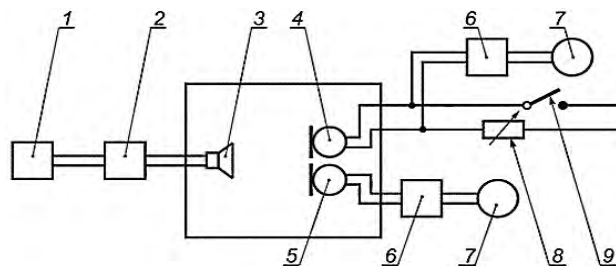


Рис.1.26.Схема измерения модуля полного электрического сопротивления динамических микрофонов электроакустическим методом: 1

- звуковой генератор; 2 - усилитель мощности; 3 - громкоговоритель; 4 - испытуемый микрофон; 5 - рабочий измерительный микрофон; 6 - микрофонный усилитель; 7 - вольтметр; 8 - магазин сопротивлений; 9 - переключатель

Модуль полного электрического сопротивления в большинстве современных конденсаторных микрофонов находится в диапазоне 50 - 200 Ом, у динамических микрофонов до 600 Ом [3].

В соответствии с ГОСТ Р 53566-2009 микрофоны в зависимости от условий эксплуатации, указанных в ТУ, должны выдерживать следующие виды механических и климатических испытаний по ГОСТ 11478: на прочность при воздействии синусоидальной вибрации, на прочность при транспортировании, на воздействие повышенной температуры, на воздействие пониженной температуры среды, на воздействие повышенной влажности.

1.3 Системы записи звука группами микрофонов

В соответствии с [6] восприятие объемности звукового образа происходит в первую очередь благодаря способности слуха к бинауральной локализации звуков в трехмерном пространстве: а) *в горизонтальной плоскости* - за счет оценки временной и интенсивностной разности сигналов; б) *в вертикальной плоскости* - за счет учета изменений спектральных составляющих звука из-за дифракции на голове и ушной раковине; в) *по глубине* - за счет изменения уровня сигнала, изменения спектральных характеристик и оценки соотношений уровней прямого и отраженного сигналов.

Для создания пространственного звукового образа в системе записи и воспроизведения аудиоинформации, идентичного восприятию от реального звукового источника, необходимо не только оптимально размещать в пространстве системы звуковоспроизведения, но и системы записи звука (микрофоны). Исторически первым способом для решения этой задачи явилось использование стереосистем, основу которых составляет пара микрофонов. Совершенствование методов обработки сигнала позволило перейти к более сложным системам для пространственной звукозаписи, объединяемым названием «системы объемного звучания» (surround sound system).

1.3.1 Стереосистемы микрофонов

Большинство промышленно выпускаемых в настоящее время микрофонных стереосистем можно разделить на следующие группы:

- отдельные стереосистемы (*AB, DIN, NOS, ORTF, Baffled*);
- совмещенные стереосистемы (*XY, MS, Blumlein*);
- "верхние" стереосистемы (*Overhead*);
- системы типа "искусственной головы" (*Head related*);

- бинауральные стереосистемы (*Binaural*).

При использовании *раздельных микрофонных стереосистем* перед исполнителями на некотором расстоянии друг от друга устанавливаются два одинаковых по чувствительности и направленности микрофона. Акустические оси микрофонов могут быть параллельными или развернутыми а сами микрофоны - как ненаправленными, так и направленными. В данном случае используется временная стереофония - сдвиг по времени прихода к микрофонам между звуками от различных источников. Для направленных микрофонов дополнительно имеет место разность по интенсивности, за счет не изотропной формы характеристики направленности. На рис. 1.27 представлены микрофоны, объединенные в систему *AB*.

Обычно применяемое в *AB* расстояние между микрофонами составляет 50-60 см [6]. С уменьшением этого расстояния угол охвата для сохранения стереоэффекта увеличивается, однако для расстояния меньше 40 см стереоэффект практически исчезает.



Рис. 1.27. Микрофоны, объединенные в систему *AB* [6]

К недостаткам системы *AB* следует отнести передачу информации о позиции первичного источника звука при его перемещении и о скорости его движения в узкой зоне. Кроме того, запись системой *AB* не позволяет получить высокое качество при переводе сигнала в одну монофоническую фонограмму, т.к. временные сдвиги между канальными сигналами при совмещении создают интерференционные искажения.

Системы *DIN*, *NOS* и *ORTF* построены по такому же принципу, что и *AB*, отличие заключается в значениях расстояний между микрофонами, углов их относительного разворота и типах характеристик направленности. Например, в *ORTF stereo technique* два кардиоидных микрофона разнесены на 17,5 см и повернуты между собой на угол 110 градусов. Расстояние соответствует расстоянию между ушами [3,7], а угол разворота моделирует теневой эффект человеческой головы. В данном случае используется как различие между сигналами по времени, так и по интенсивности поэтому стереообраз записывается с качественной локализацией источников в пределах угла охвата 95 градусов.

В системах типа *Baffle* два разнесенных микрофона дополняются акустическим поглощающим экраном между ними. Примером системы является *Jecklin Disk* с двумя ненаправленными микрофонами, размещенными на расстоянии 16,5 см, и специальным акустически обработанным диском диаметром 28 см, размещенным между ними (рис. 1.28).

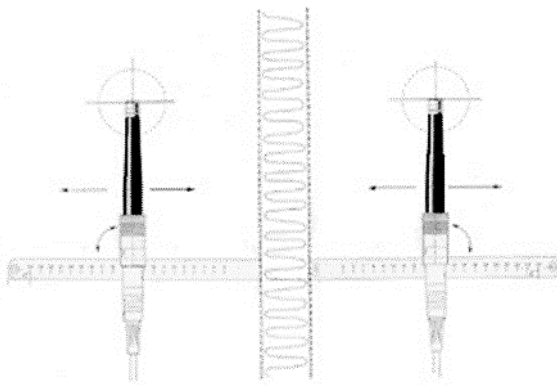


Рис. 1.28. Система *Jecklin Disk* [3]

В **совмещенных микрофонных стереосистемах** используют два направленных микрофона, расположенных в одной точке под углом друг к другу, фактически они устанавливаются один над другим (рис. 1.29).

В системе *XU* используются два направленных микрофона (две кардиоиды, либо две суперкардиоиды, либо две восьмерки), установленные на одной оси. Акустические оси микрофонов образуют угол, обычно в диапазоне 60-130 град. Так как в обоих каналах отсутствует относительный временной сдвиг, система *XU* хорошо совместима с монофонической системой. Но этой системе присущи искажения пространственного распределения звука по глубине и по фронту.

Система *MS* также содержит два совмещенных микрофона, имеющих разные характеристики направленности (часто круг-восьмерка или кардиоида-восьмерка). Сигналы на их выходе подвергаются суммарно-разностному преобразованию. Если один из микрофонов ненаправленный (*M*), то напряжение на его выходе неизменно при любом положении источника. Напряжение с другого микрофона (*S*) определяется формой его характеристики направленности. Если это восьмерки, то при положении источника слева или справа оно будет максимальным, при положении в центре равно нулю. Поэтому при расположении источника под углом $+90$ градусов выходное напряжение будет равно сумме напряжений с микрофонов *M* и *S*.



Рис.1.29.Совмещенные микрофоны в системе XY [6]

При положении источника под углом 0 градусов напряжение будет равно только напряжению с *M*-микрофона, а при положении -90 градусов оно равно разности напряжений с *M*- и *S*-микрофонов. К достоинствам системы следует отнести точную локализацию источников внутри ансамбля и движущихся источников звука, а также обеспечивает хорошую моносовместимость и широкие возможности микширования. Недостатки - искажения в передаче фронтального движения источника.

Часто используется комбинация систем *AB* и *XY* или *AB* и *MS*, т.к. недостатки одной из двух систем компенсируются достоинствами другой.

Blumlein — разновидность системы *XY*, использующая два микрофона с характеристикой направленности типа "восьмерка", установленных в одной точке под углом 90 градусов. Ее недостаток - за пределами определенного угла охвата смещение реального источника не сопровождается соответствующим смещением мнимого источника.

В системах *Overhead* ("верхние") микрофоны размещают намного выше музыкальных инструментов. При этом звуки от разных индивидуальных инструментов достигают микрофонов с более реальным распределением по времени, чем при их близком расположении, что приближает тембр

записанного звука к естественному. Несколько записанных первых отражений имитируют эффект звучания в реальном помещении.

Например, в системе *Spaced Omni* — ненаправленные микрофоны устанавливаются на стойках перед исполнителем на высоте 1,2-2,4 м, иногда 3 м или выше. Достоинство – высокое качество стереоэффекта, недостаток – может вносить фазовые искажения.

В системе *Decca Tree* три ненаправленных микрофона размещаются на стойках на 3-3,7 м выше и слегка позади головы дирижера. Они наклонены приблизительно на 30 град вниз по направлению к оркестру и установлены под определенным углом друг к другу: один направлен в центр, два других — под 45 градусов от центра. Достоинства – высокое качество стереоэффекта и возможность отдельно записывать центральный канал, что может быть необходимо при микшировании.

В системах **"искусственная голова"** два ненаправленных микрофона размещаются на твердой сфере диаметром 20 см, моделирующей акустическое поле вокруг человеческой головы. Диафрагмы микрофонов совмещены с поверхностью сферы. На рис. 1.30 показана система *Neumann KFM100* (одна из разновидностей "искусственной головы").



Рис. 1.30. Система *Neumann KFM100* (одна из разновидностей "искусственной головы") [6]

Появление этой системы обусловлено попыткой имитировать естественные условия прослушивания, при которых разница по времени и интенсивности двух сигналов, приходящих на левое и правое ухо, формируется за счет расстояния между приемниками, равному диаметру головы, а также за счет дифракции на голове, ушных раковинах и торсе.

Пространственное распределение звукового поля, записанного этой системой, подобно воспроизводится в стереотелефонах, но искажается при воспроизведении через акустические системы.

Другой попыткой имитации естественных условий прослушивания является *бинауральные стереосистемы*. В них, используется модель искусственной головы с микрофонами, расположенными внутри слуховых каналов (рис. 1.31).



Рис. 1.31. Модель искусственной головы [6]

На рис 1.32 показано крепление микрофонов внутри искусственной головы. Чтобы осуществить имитацию дифракции на торсе, отдельные модели искусственной головы дополняются торсом (рис.1.33).

В устройствах этого типа точно копируется форма головы и ушных раковин, а физико-механические параметры материалов выбираются таким образом, чтобы моделировать костную проводимость. Звуковой сигнал поступает на мембрану микрофона после обработки в раковине и слуховом канале. Если передать записанную информацию по двум каналам и воспроизвести через стереотелефоны, слушатель получает достаточно точное пространственное ощущение записанной звуковой картины. Но при прослушивании через акустические системы пространственные ощущения искажаются, что можно компенсировать использованием специальных процессоров.

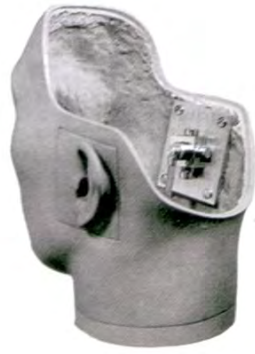


Рис. 1.32. Крепление микрофонов внутри искусственной головы [6]



Рис.1.33. Модель искусственной головы, дополненная торсом [6]

1.3.2 Микрофонные системы объемного звучания (surround sound system)

Системы объемного звучания обеспечивают подобие звуковой картины в помещениях записи и воспроизведения, недоступное стереофоническим системам. Все системы этой группы делятся на 2 типа: *совмещенные* и *разнесенные* [8].

В *совмещенных системах объемного звучания* микрофоны располагаются на близком расстоянии, аналогично совмещенным стереосистемам, но в отличие от последних, содержат более двух микрофонов. К этому типу можно отнести системы *Soundfield*, *Surround Sphere*, *DoubleMS*.

Система *Soundfield* использует четыре кардиоидных микрофона, размещенных в форме тетраэдра, и соответствующий процессорный блок. (рис. 1.34). Внешний вид системы представлен на рис. 1.35.

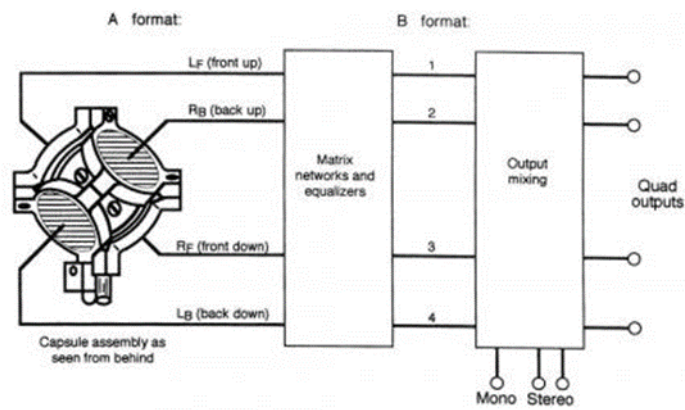


Рис.1.34.Расположение микрофонов и схема обработки в системе Soundfield [8]

Первичные сигналы, получаемые от этих микрофонов (L_F , R_B , R_F , L_B) образуют *A*-формат. Затем с помощью специального цифрового процессора из них формируются четыре новых сигнала W , X , Y , Z (*B*-формат), из которых сигнал W соответствует сигналу от ненаправленного микрофона, а сигналы X , Y и Z — сигналам от микрофонов с характеристикой направленности типа "восьмерка", ориентированным влево-вправо, вперед-назад и вверх-вниз.



Рис. 1.35.Внешний вид четырех кардиоидных микрофонов, размещенных в форме тетраэдра, системы Soundfield

Четыре компонента *B*-формата могут быть электрически скомбинированы в разных пропорциях таким образом, что можно имитировать ряд кардиоидных или других характеристик направленности, ориентированных в любом направлении в пространстве, причем можно менять направление и наклон этих характеристик как в процессе записи, так и при последующей обработке. Сигналы *B*-формата конвертируются в любые варианты сигналов для моно-, стерео- и *surround*-систем, вплоть до 10.1.

Если микрофонная система, состоит из одного ненаправленного микрофона и трех микрофонов с характеристикой направленности типа "восьмерка", закрепленных очень близко друг к другу, то можно сразу записывать сигналы В-формата [8]. В этой системе, предложенной фирмой *Schoeps*, несколько проще процессорная обработка, можно использовать микрофоны разных фирм.

В системе *Surround Sphere* используются два направленных микрофона, установленными на поверхности сферы, и два микрофона с характеристикой направленности «восьмерка», расположенные ниже и направленные прямо по оси (рис.1.36).

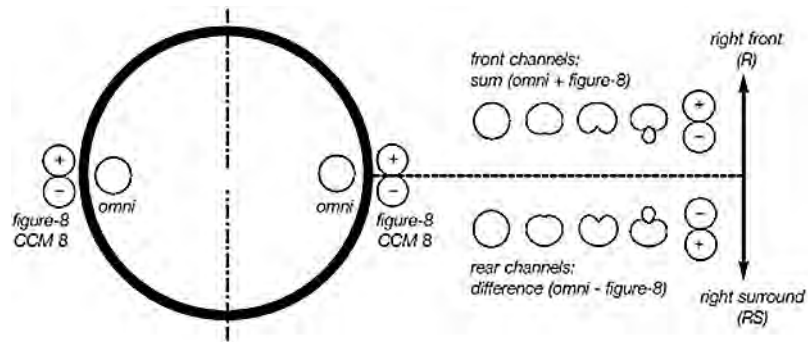


Рис. 1.36. Расположение микрофонов и формы имитируемых характеристик направленности в системе *Surround Sphere* [8]

Суммируя электрические сигналы на выходах микрофонов в разных пропорциях, можно получить различные виды характеристик направленности как во фронтальной, так и в тыловой плоскости (круг, кардиоида, суперкардиоида, восьмерка и т.д.). Система имеет большой угол охвата (120 градусов). Цифровая обработка сигнала может обеспечить формат 5.1.

Система *DoubleMS* получена дополнением стереосистемы *MS* четырехканального звука обычная дополняется еще одним *M*-микрофоном (ненаправленным или кардиоидным). Характеристики направленности микрофонов и их расположение в *DoubleMS* приведены на рис. 1.37.

S-микрофон с характеристикой направленности "восьмерка" расположен выше заднего *M*-микрофона. Используя различные варианты характеристик направленности *M*-микрофонов и соответствующую обработку электрических сигналов, можно сформировать воспроизведение для формата 5.1. Системы с адаптивным цифровым управлением представляют собой микрофонные антенны, в которых с помощью цифровых фильтров синтезируются диаграммы направленности различной формы, ширины и ориентации, адаптированные к различным условиям окружающего пространства и задачам обработки. Схема расположения микрофонов в одной из таких систем, состоящей из центрального остронаправленного микрофона и четырех кардиоидных микрофонов, приведена на рис. 1.38.

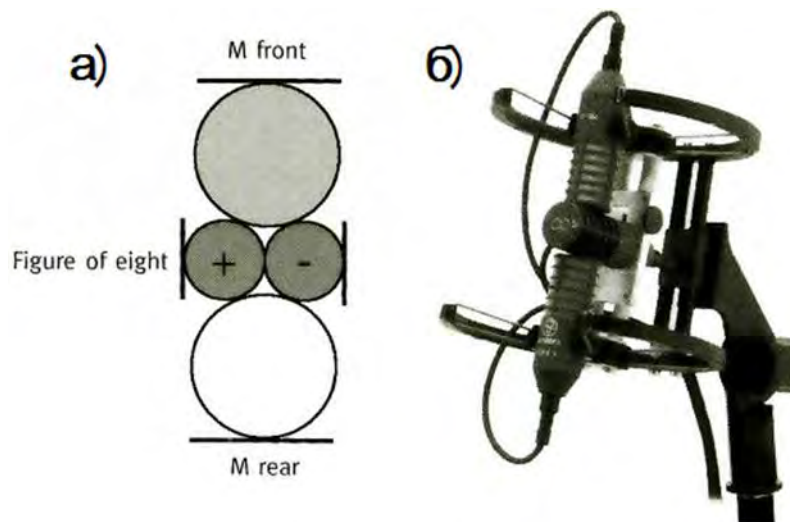


Рис.1.37. Характеристики направленности микрофонов (а) и их расположение (б) в *DoubleMS* [8]

Группа *разнесенных систем* объемного звучания содержит системы двух типов: *пятиканальные системы главных микрофонов* и системы с *разделением фронтальных и задних микрофонов*.

Пятиканальные системы главных микрофонов обычно включают в себя пять близко расположенных микрофонов, каждый из которых создает сигнал для левого, правого, центрального и двух тыловых громкоговорителей. Пример схемы расположения в микрофонов в одной из таких систем приведен на рис. 1.39, а ее внешний вид – на рис. 1.40.

Эта система имитирует в помещении воспроизведения наличие вторичных источников, распределенных в горизонтальной плоскости. Из-за малых расстояний между отдельными микрофонами эффект подобия объемного распределения проявляется недостаточно хорошо. Поэтому такая данная конфигурация дополняется другими микрофонами.

Система с *разделением фронтальных и задних микрофонов* содержит три передних микрофона для создания точного мнимого фронтального образа, и задние микрофоны для записи звуков в окружающем пространстве. Одной из лучших по субъективной оценке качества записи в этой группе является система *Fukada Tree* (рис.1.41).

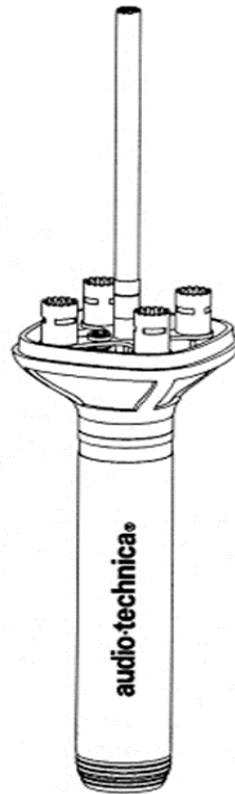


Рис. 1.38. Расположение микрофонов в одной из систем с адаптивным цифровым управлением [8]

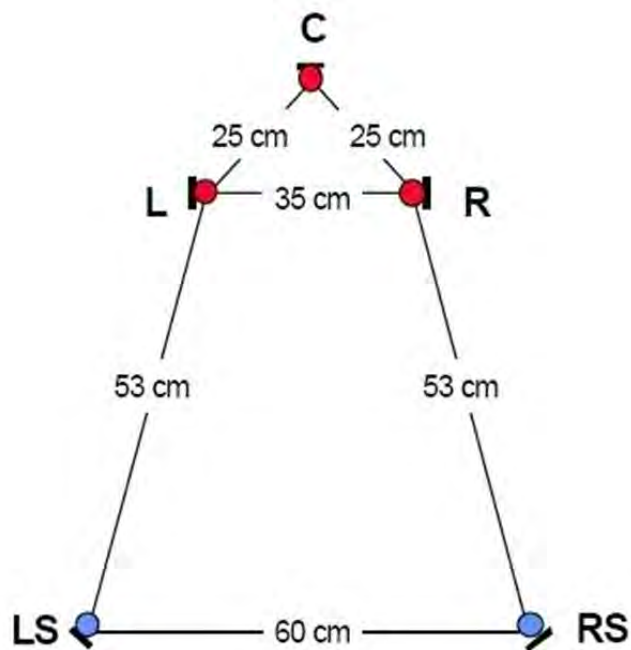


Рис.1.39. Схема расположения в микрофонов в пятиканальной системе главных микрофонов INA-5 [8]



Рисунок 1.40 – Внешний вид пятиканальной системы главных микрофонов *INA-5* [8]

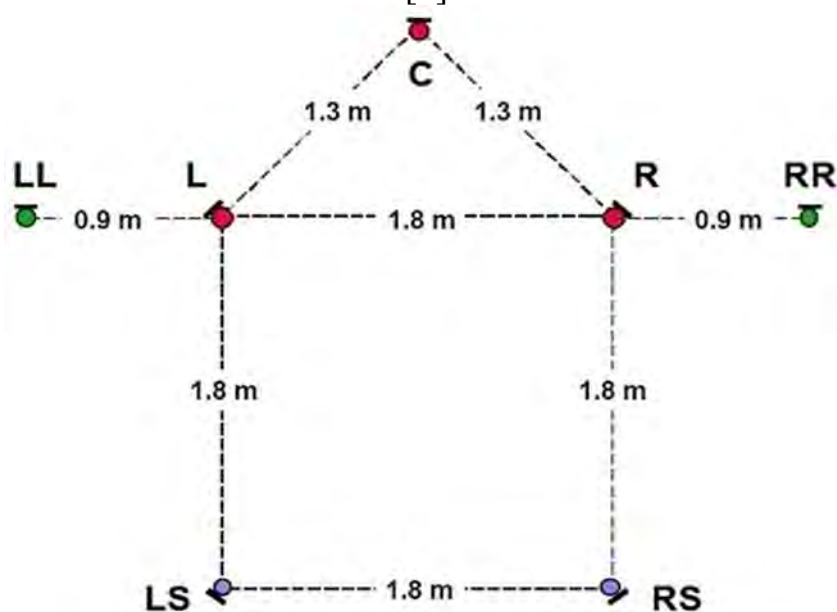


Рис. 1.41. Схема расположения микрофонов в пятиканальной системе с разделением фронтальных и задних микрофонов *Fukada Tree* [8]

Ее конфигурация создана на основе стереосистемы Десса Трее, в которой ненаправленные микрофоны заменяются на кардиоидные, чтобы уменьшить поступление отраженного звука в передние микрофоны. В отдельных случаях система дополняется двумя ненаправленными микрофонами *LL* и *RR* с целью увеличения ширины охвата пространства. Задние микрофоны также имеют кардиоидные характеристики и располагаются на *критическом* для данного помещения расстоянии (критическим называется расстояние, на котором величины прямой и отраженной энергии равны друг другу, его значение зависит от времени реверберации и объема зала).

2 АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ. ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

Акустическая система - устройство, предназначенное для эффективного излучения звука в воздушной среде, включающее один или несколько звуковых излучателей в акустическом оформлении и электрические устройства. Тип акустической системы определяется в зависимости от

наличия усилителя: если акустика оснащена усилителем, то она считается активной, без него - пассивной. В ГОСТ Р 53575— 2009 [9] используется термин **громкоговоритель**: пассивный электроакустический преобразователь, предназначенный для излучения звука в окружающее пространство, содержащий одну или более излучающую головку, имеющий необходимое акустическое оформление и необходимые пассивные электрические устройства (фильтры, трансформаторы, регуляторы и т. п.).

Акустические системы могут содержать несколько элементов: сателлиты, фронтальные, мониторные, центральный и тыловой громкоговорители, твитер и сабвуфер [10].

Сателлитами называются небольшие громкоговорители в недорогих акустических системах. *Фронтальные громкоговорители* используются как автономно в стереосистемах, так и в составе многоканальной акустической системы. *Мониторный громкоговоритель* представляет собой громкоговоритель универсального типа, которая может с максимальной точностью передавать все детали звукового оформления. При его использовании наряду с полезным звуковым сигналом могут слышимо воспроизводиться и шумы электрических элементов системы. Мониторы используются для контроля фонограммы, а также для прослушивания коллекционных записей. *Центральный громкоговоритель* предназначен для функционирования в многоканальных системах 5.1 или 7.1. *Тыловой громкоговоритель* предназначен для создания эффекта нахождения слушателя внутри звукового пространства и обычно располагается за спиной слушателя, либо высоко над его головой. *Твитер* - громкоговоритель, который используется для воспроизведения высоких и ультравысоких частот. *Сабвуфер* – это громкоговоритель для передачи звуков низких частот до 100 Гц.

Акустическое оформление громкоговорителей определяется особенностями конструкции корпуса акустической системы. Существует четыре типа акустического оформления: фазоинверторного, открытого, закрытого типов, либо с пассивным излучателем [10].

Акустическая система *с фазоинвертором* имеет закрытый корпус, в котором выведен порт для подключения фазоинвертора. Последний представляет собой трубку определённых размеров. Проходя через нее, звук меняет фазу, выходя через порт. При этом звуковые сигналы из фронтальной и тыльной плоскостей диффузора громкоговорителя соединяются для увеличения громкости. Достоинства таких систем – высокая чувствительность, хорошее качество воспроизведения низких частот и сравнительно небольшие размеры. Недостатки - невысокий уровень качества переходных характеристик, оценивающих моменты возникновения и исчезновения звукового сигнала.

В акустической системе *открытого типа* корпус является панелью с установленными в ней динамиками. Звук в таких системах распределяется по помещению как с фронтальной стороны, так и с тыловой. Отсутствие корпуса в колонках открытого типа минимизирует колебания, возникающие при

резонансе. Системы можно располагать почти вплотную к стене, так как отсутствуют боковые распространения звука. Недостатком является низкое качество воспроизведения низких частот. Для его компенсации необходимо использовать низкочастотные динамики больших размеров.

Акустические системы *закрытого типа* – это герметичный блок, на фронтальной панели которого выведен звуковой излучатель (диффузор громкоговорителя). Акустические системы этого типа отличаются низкой чувствительностью, при этом имеют низкий уровень искажений и хорошие переходные характеристики, простую конструкцию.

Акустические системы *с пассивным излучателем* аналогичны системам с фазоинвертором, где вместо фазоинвертора и отверстие корпуса вставляется пассивный излучатель (элемент низкочастотного динамика, лишённый магнитной системы и катушки). Резонансная частота пассивного излучателя должна быть равна нижней частотной границе громкоговорителя. Это обеспечивает значительное улучшение воспроизведения низких частот. В пассивном излучателе по сравнению с фазоинвертором отсутствуют воздушные шумы в резонаторной трубе.

2.1 Классификация громкоговорителей

Информация о классификации громкоговорителей и элементах их конструкции содержится в [11]. Громкоговорители возможно классифицировать по полосе воспроизводимых частот, по принципу действия, по способу излучения.

По полосе воспроизводимых частот различают низкочастотные, среднечастотные, высокочастотные и широкополосные громкоговорители.

Низкочастотные громкоговорители имеют более низкую чувствительность из-за более тяжелой подвижной системы. В связи с этим для обеспечения необходимого звукового давления в области низких частот они должны быть рассчитаны на значительную подводимую мощность (200 Вт и более). Сравнительно низкая резонансная частота (16...30 Гц), необходимая для обеспечения эффективного воспроизведения низкочастотных составляющих сигнала, требует высокой линейности упругих характеристик гибких элементов, вплоть до больших смещений подвижной системы (до $\pm 12...15$ мм). Низкочастотные громкоговорители должны иметь гладкую амплитудно-частотную характеристику до верхней границы воспроизводимого ими диапазона частот (1500...3000 Гц).

Среднечастотные громкоговорители воспроизводят частоты от 200...800 Гц до 5...8 кГц, где чувствительность слуха ко всем видам искажений максимальна. Субъективные пороги восприятия практически всех видов искажений достигают минимума в области 1 – 3 кГц. Кроме того, именно на область средних частот приходится максимум спектральной плотности мощности музыкального сигнала. Поэтому требования к качеству воспроизводимого ими звука максимальны.

Широкополосные громкоговорители имеют два конструктивных исполнения: а) полностью бумажный диффузор с дополнительным высокочастотным рупором, прикрепленным к основному диффузору; б) коаксиальный громкоговоритель, в котором высокочастотный излучатель находится в центре основного низкочастотного диффузора. (Диффузор — часть громкоговорителя, преобразующая механические колебания электромагнитных катушек в акустические колебания в воздухе.)

По способу излучения громкоговорители бывают прямого действия, рупорные, ненаправленные.

В громкоговорителях *прямого действия* диффузор непосредственно преобразует колебания электромагнитной катушки в движение воздушной массы.

Рупорный громкоговоритель излучает звук через предрупорную камеру и рупор. Излучателем является диффузор. В рупорном громкоговорителе происходит согласование акустических сопротивлений головки громкоговорителя и воздуха. Поэтому излучаемая акустическая мощность велика, и коэффициент полезного действия (к.п.д.) рупорного громкоговорителя достигает 20%, в отличие от громкоговорителя прямого излучения с к.п.д. не выше нескольких единиц процентов. Но при этом рупорные громкоговорители имеют высокий уровень нелинейных искажений при больших уровнях сигнала, искажения тембра за счет появления отраженных волн в рупоре. Кроме того, для эффективного воспроизведения низких частот необходимо значительно увеличивать размеры конструкции, что заставляет использовать свернутые рупоры.

В *ненаправленных* акустических системах два абсолютно идентичных излучателя направлены навстречу друг другу попарно для каждой группы частот. При встрече одинаковых звуковых волн они начинают распространяться в радиальном направлении. В упрощенных ненаправленных акустических системах низкочастотные излучатели обычно направлены вниз, а средние и высокочастотные вверх, но не на такой же излучатель, а на шаровидной или конической рассеиватель. При встрече с ним звуковые волны также распространяются в радиальном направлении. В этих системах не требуется определять угол разворота излучателей относительно слушателя вследствие отсутствия у них направленности. Недостатком является необходимость акустической подготовки помещений к их установке, чтобы предотвратить большое количество отражения и «размывание» акустической картины.

По принципу действия громкоговорители классифицируют на 4 основные группы: электродинамические, электростатические, электромагнитные и использующие другие принципы преобразований. Принцип действия *электродинамического диффузорного* излучателя основывается на движении помещенного в постоянное магнитное поле проводника с протекающим через него током под действием силы Лоренца. Конструкция классического электродинамического излучателя включает следующие основные элементы (рис.2.1): диффузор, звуковая катушка с

гибкими выводами, гибкий подвес диффузора, пылезащитный колпачок, центрирующая шайба, магнитные цепи, диффузородержатель.

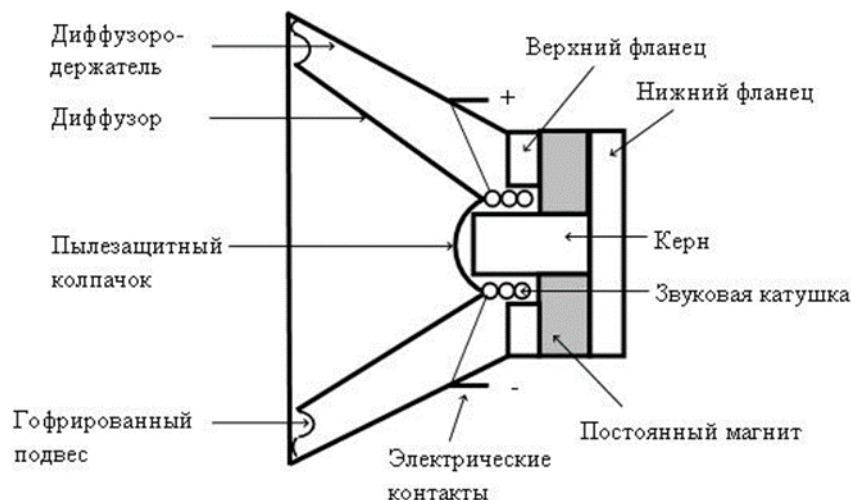


Рис. 2.1. Основные элементы конструкции электродинамического излучателя [12]

Принцип действия электродинамического излучателя заключается в следующем [12]. Основным рабочим узлом электродинамического громкоговорителя является диффузор, который осуществляет преобразование механических колебаний в акустические. Диффузор громкоговорителя приводится в движение силой, действующей на жестко скрепленную с ним катушку, находящуюся в радиальном магнитном поле. В катушке течет переменный ток, соответствующий аудио-сигналу, который должен воспроизвести громкоговоритель. Магнитное поле в громкоговорителе создается кольцевым постоянным магнитом и магнитной цепью из двух фланцев и керна. Катушка под действием электродвижущей силы свободно движется в пределах кольцевого зазора между керном и верхним фланцем, а ее колебания передаются диффузору, который, в свою очередь, создает акустические колебания, распространяющиеся в воздушной среде.

Катушка находится во взвешенном состоянии в зазоре постоянного магнита и через гибкие выводы подключается к усилителю мощности. При протекании переменного тока она совершает поршневые колебания, амплитуда которых пропорциональна амплитуде протекающего переменного тока. Диффузор на гибком подвесе прикреплен к катушке и, поэтому совершает те же поршневые движения, вызывая колебания воздуха.

Диффузор должен обеспечивать поршневой характер колебаний в требуемом диапазоне воспроизводимых частот, а также малые амплитуды резонансов. Эффективное демпфирование этих резонансов на частотах, где они появились, достигается выбором соответствующей конфигурации диафрагмы и материала, из которого она изготовлена.

Диффузоры низкочастотных (НЧ) громкоговорителей должны быть жесткими и в то же время легкими. С целью повышения конструктивной жесткости, их часто изготавливают в виде криволинейных конусообразных фигур или в виде дуг окружностей, плавно переходящих одна в другую. Иногда, для уменьшения амплитуд резонансных колебаний диафрагмы, на ее поверхности используют радиальные и кольцевые ребра жесткости. В настоящее время диафрагмы низкочастотных динамиков изготавливаются из различных сложных композиций на основе натуральной длинноволокнистой целлюлозы с различными добавками, повышающими ее прочность, жесткость и демпфирующие свойства, например, волокна шерсти, льна, углестекловолокна, графитовые чешуйки, металлические волокна, влагозащитные и демпфирующие пропитки. Некоторые производители при производстве НЧ диффузоров применяют различные композиционные материалы, как правило, разработанные ранее для аэрокосмической и военной техники. К таким материалам можно отнести многослойные сотовые и вспененные металлы и др. Все чаще используются синтетические пленочные материалы на основе полиолефинов (полипропилена и полиэтилена) и композиционные материалы на основе высокомодульной ткани "кевлар". Применение таких диафрагм позволяет обеспечивать постоянство АЧХ до 1500...2500 Гц.

Диффузоры среднечастотных (СЧ) громкоговорителей изготавливаются в виде криволинейных конусообразных рупоров или в виде куполов: либо из "мягких" (пропитанные ткани, синтетические пленки, целлюлоза и т. п.), либо из "жестких" материалов (алюминиевая, титановая, бериллиевая фольга, различные их высокомодульные сплавы, например, с бором, и т. п.). «Мягкие» диффузоры отличаются меньшей чувствительностью и обеспечивают естественное по тембру звучание. Но при больших уровнях сигнала, в них может возникнуть потеря динамической устойчивости и, соответственно, слышимые искажения. «Жесткие» купольные СЧ диффузоры обеспечивают расширенный диапазон частот (до 12 кГц) при практически поршневом характере колебаний, что обеспечивает малые уровни переходных искажений и чистое звучание.

В высокочастотных (ВЧ) громкоговорителях используются купольные диафрагмы диаметром 15 - 40 мм, так как применение конусных диафрагм в этой области частот сопровождается появлением собственных резонансных колебаний, значительно ухудшающих как объективные характеристики, так и звучание. Диффузоры ВЧ громкоговорителей изготавливаются из тех же "мягких" или "жестких" материалов, как и СЧ громкоговорителей – соответственно, горячим прессованием или штамповкой, с электронно-вакуумным напылением. В качестве материалов используются алюминий, титан (иногда даже с напыленным слоем золота), бериллий и др. Номинальная подводимая мощность некоторых ВЧ-излучателей достигает 100 Вт и более, а чувствительность – 100 дБ. Для улучшения теплоотвода в некоторых конструкциях купол и каркас звуковой катушки изготавливаются как единая деталь из одного материала (например, алюминиевой фольги). Наряду с

купольными диффузорами в ряде моделей применяются плоские или U-образные кольцевые диффузоры. Такие излучатели применяются, например, в концертно-театральной аппаратуре.

В ВЧ громкоговорителях для выравнивания АЧХ и диаграммы направленности дополнительно используются так называемые "акустические линзы" (эквализаторы, концентраторы), устанавливаемые перед диффузором.

Параметры *звуковых катушек* должны быть выбраны по значениям требуемого входного электрического сопротивления и подводимой мощности, так как имеется количественная связь между диаметром катушки и рассеиваемой ею тепловой энергией. Например, звуковые катушки диаметром 25 мм способны без применения особо термостойких и теплоотводящих материалов выдерживать долговременную электрическую мощность до 25 Вт, а катушки диаметром 50 мм – до 100 Вт. Для увеличения термической прочности применяются термостойкие материалы (клеи, изоляция проводов, каркасы) и различные конструктивные меры для более эффективного отвода выделяющегося тепла в окружающую среду. К таким мерам относятся вентиляционные отверстия в каркасах катушек и магнитных цепях, тепловые трубки, теплопроводящие каркасы, и даже полупроводниковые холодильники.

Часто в НЧ громкоговорителях для уменьшения нелинейных гармонических искажений, возникающих из-за нелинейности и несимметричности магнитного поля, применяются звуковые катушки, высота которых в 2 раза превышает высоту рабочего зазора магнитной цепи. Обычно звуковые катушки наматываются в два слоя, хотя встречаются конструкции и с четырьмя слоями. При этом для намотки используются кабели как круглого, квадратного и даже плоского сечения. Последние две формы обеспечивают более высокую плотность заполнения рабочего зазора проводом, что повышает КПД громкоговорителя.

Если учесть, что подвижная система СЧ громкоговорителя имеет меньший ход по сравнению с НЧ-динамиком, то для уменьшения нелинейных искажений, возникающих из-за нелинейности и несимметричности магнитного поля, напротив, применяются катушки с меньшей высотой рабочего зазора магнитной цепи. Это позволяет катушке все время находиться в процессе работы в наиболее равномерном и однородном поле внутри магнитного зазора.

Звуковые катушки ВЧ громкоговорителей часто наматываются более легким, по сравнению с медным, алюминиевым или серебряным плоским проводом. Это позволяет увеличить уровень звукового давления на несколько децибел в области верхней граничной частоты.

Гибкие выводы предназначены для подвода электрических сигналов к звуковой катушке. Они подвергаются значительным переменным механическим нагрузкам. Одновременно их гибкость должна быть выше гибкости подвеса и центрирующей шайбы, чтобы не влиять на резонанс громкоговорителя и не являться источником призвуков. Выводы изготавливают из многожильных медных или серебряных проводов, в состав нитей которых вплетаются хлопчатобумажные или синтетические

составляющие. Крепление гибких выводов к диффузору осуществляется пришиванием нитками, припаиванием к металлическим заклепкам на диффузоре с последующей заливкой мест соприкосновения с диффузором различными вибродемпфирующими материалами, в том числе натуральными латексами. Места пайки гибких выводов к клеммам необходимо защитить амортизаторами.

Подвес должен обладать достаточной гибкостью, низкой резонансной частотой, устойчивостью к различным климатическим условиям, обеспечивать плоскопараллельный характер движения всей подвижной системы в обе стороны во всем диапазоне возможных амплитуд и поглощение энергии собственных резонансных колебаний подвижной системы.

В низкочастотных и среднечастотных излучателях преимущественно используются подвесы с полутораидальным, синусоидальным или *S*-образным профилем. Их изготавливают из резины, пенополиуретана, прорезиненных тканей. При этом специальные демпфирующие пропитки и покрытия. Подвесы высокочастотных громкоговорителей обычно изготавливают из того же материала, что и диффузор. Их профиль плоский или синусоидальный. Чтобы избежать возникновения резонансных колебаний объема под диафрагмой, подвес ВЧ диффузоров заполняется демпфирующим материалом.

Колпачок защищает рабочий зазор магнитной цепи от попадания пыли. Он также выполняет функции кольцевого ребра жесткости и излучающего элемента для формирования высокочастотной части АЧХ громкоговорителя. Жесткость колпачков обеспечивается в основном куполообразной формой. Их изготавливают из композитных материалов, содержащих целлюлозу, синтетических пленок, тканей с пропитками. В мощных НЧ громкоговорителях часто используют колпачки из алюминиевой фольги для отвода тепла от звуковой катушки.

Центрирующие шайбы должны удерживать звуковую катушку в центре магнитного зазора. Они должны обеспечивать стабильность резонансной частоты в условиях больших динамических и температурных нагрузок, линейность упругих характеристик при больших смещениях подвижной системы, предотвращать смещения звуковой катушки в радиальном направлении, "провисание" подвижной системы и т.д.

Форма шайб плоская, с косинусоидальным профилем, содержащим от 5 до 11 периодов, тангенциальная или более сложная. Материалом являются натуральные ткани (миткаля, бязи и т.д.), пропитанные бакелитовым лаком, а также синтетические, основа которых содержит полиамид, полиэстер, нейлон и т.д. Для теплоотвода в материал шайб возможно вплетать алюминиевые или медные нити, соединенные с каркасом звуковой катушки и диффузородержателем. В мощных громкоговорителях центрирующие шайбы могут отсутствовать.

Магнитные цепи должны обеспечивать максимально возможный к.п.д. громкоговорителя и минимизацию нелинейных искажений, обусловленных

несимметричностью и неоднородностью магнитного поля в рабочем зазоре и за его пределами. Они включают магнит, керн, нижний и верхний фланцы.

В магнитных цепях высококачественных динамиков для снижения нелинейных искажений используют следующие способы:

- достижение симметрии магнитного поля за пределами рабочего зазора за счет применения кернов Т-образной формы;
- уменьшение влияния переменного магнитного поля от звуковой катушки на постоянное магнитное поле цепи за счет применения фланцев и кернов с многослойными вставками;
- короткое замыкание цепей за счет наличия колпачков или колец на керне и на внутренней поверхности верхнего фланца;
- уменьшение неоднородности магнитного поля за счет специальных профилей рабочего зазора и т. д.

Магнитные цепи изготавливают из феррит-бариевых, кобальтосодержащих сплавов, сплава неомакс, содержащего неодим-железо-бор. Для уменьшения полей рассеивания магнитная цепь может помещаться в металлический экран или дополняться вторым магнитом, имеющим противоположную намагниченность.

Для эффективного отвода тепла и повышения демпфирования звуковой катушки используют ферромагнитную жидкость (суспензию с магнитными частицами). При воздействии постоянного магнитного поля упорядоченное положение магнитных частиц предотвращает вытекание жидкости из зазора. Так как магнитная жидкость имеет теплопроводность почти в пять раз большую, чем воздух, поэтому тепло от катушки отводится более интенсивно, в результате чего возможно увеличить подводимую мощность. Ферромагнитная жидкость также обеспечивает механическое демпфирование и уменьшение искажений.

Диффузородержатель предназначен для поддержания, соединения элементов подвижной системы и магнитной цепи, а также для закрепления громкоговорителя в корпусе. Он обеспечивает не только устойчивость громкоговорителя к механическим воздействиям, не допускает смещения массивной магнитной цепи относительно основной оси (нарушения симметричности), устраняет собственные резонансы в области 200 - 600Гц.

Чтобы предотвратить появление воздушной подушки позади диффузора, в нем должны быть окна соответствующих размеров между ребрами. Диффузодержатели изготавливают главным образом из алюминиевых сплавов.

Согласно [12] электродинамические громкоговорители имеют широкую диаграмму направленности, широкий частотный диапазон, приемлемый уровень звукового давления, что позволяет применять их для решения самого широкого класса задач – от музыкальной трансляции до аварийного оповещения. Недостаток – низкий к.п.д.: единицы в процентном выражении.

Электростатический громкоговоритель - это громкоговоритель, в котором преобразование электрического сигнала в колебания воздуха осуществляется с помощью мембраны, помещённой в электростатическое

поле. Известны три разновидности электростатических громкоговорителей: конденсаторные, электретные и пьезоэлектрические.

Конденсаторный громкоговоритель (рис. 2.2) имеет две обкладки, разделенные диэлектриком, одна из которых - массивное основание, а другая – легкая и подвижная пленка [11]. При подаче постоянного напряжения осуществляется первоначальное натяжение пленки. При подаче переменного напряжения на обкладки, пленка начинает натягиваться и ослабляться, создавая вместе с тем колебания воздуха.

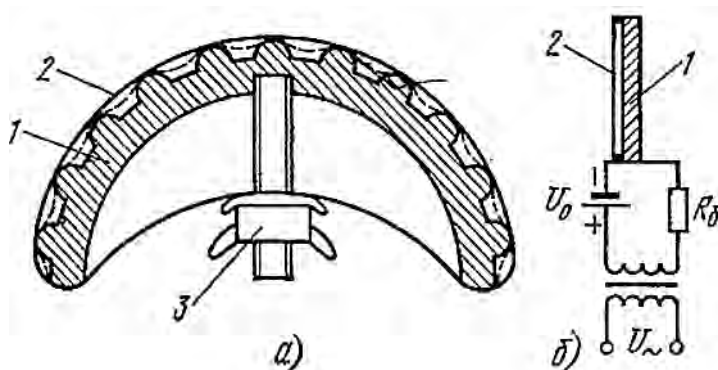


Рис. 2.2. Конденсаторный громкоговоритель: а) конструкция; б) схема подключения; 1 – массивный электрод, 2 – гибкий электрод с изоляцией; 3 – натягивающий винт [13]

Конденсаторные громкоговорители излучатели обладают очень высокой линейностью всех характеристик, что обеспечивает ровную амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) и гораздо меньший, по сравнению с электродинамическими излучателями, коэффициент нелинейных искажений. Однако, такой излучатель должен иметь большую емкость для эффективного воспроизведения низких частот, а емкость напрямую связана с размерами его обкладок. Конструкции низкочастотных электростатических излучателей имеют большие размеры и соответственно стоимость. Поэтому конденсаторные громкоговорители их, используют в основном для воспроизведения высокочастотных составляющих.

Электретные громкоговорители отличаются от конденсаторных. Они отличаются наличием заранее наэлектризованной электретной пленки, поэтому им не требуется поляризующего напряжения. Со временем электретная пленка теряет свои свойства и требует замены либо повторной поляризации.

В *пьезоэлектрических* громкоговорителях используются пьезокерамические или сегнетовые пластины, край которых соединяется с диффузором. Наличие диффузора приводит к увеличению неравномерности АЧХ и нелинейных искажений. Пьезокерамические громкоговорители имеют низкую чувствительность, а содержащие сегнетовую соль чувствительны к климатическим условиям и воздействиям внешней среды.

Нижняя частотная граница АЧХ электростатических громкоговорителей определяется геометрическими размерами излучателя, а верхняя может превышать 20 кГц.

Достоинством электростатических громкоговорителей является высокое качество звука, а недостатками – высокая стоимость, большие размеры и масса.

На рис.2.3 представлен внешний вид электростатической акустической системы *ElectroMotion ESL*.

Принцип действия **электромагнитного громкоговорителя**, как и электродинамических систем, основан на перемещении проводника в переменном магнитном поле, но в нем колеблется не катушка с диффузором, а ферромагнитный элемент. При этом магнитное поле создается системой, содержащей постоянный магнит с надетыми на магнитопровод катушками.

Варианты схем электромагнитного громкоговорителя представлены на рис. 2.4.

Недостатком электромагнитных громкоговорителей является значительное рассеивание магнитного потока и малое значение магнитной индукции, обусловленное замыканием потока через тело постоянного магнита с невысокой проницаемостью. Эти громкоговорители имеют ограниченную область применения (звонки, гудки), так как по своим качественным показателям значительно уступают электродинамическим.

Четвертая классификационная по принципу действия группа громкоговорителей (объединяющая громкоговорители **других принципов действия**) включает ленточный, изодинамический, ортодинамический громкоговорители, излучатель Хейла, ионофон, пневматический излучатель, NXT излучатель и излучатель на основе нанотрубок.



Рис. 2.3. Внешний вид электростатической акустической системы ElectroMotion ESL [14]

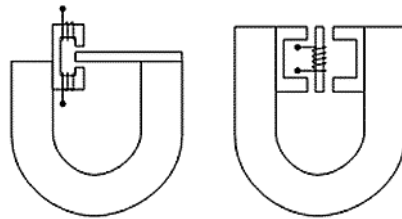


Рис. 2.4. Варианты схем электромагнитного громкоговорителя [11]

Принцип действия ленточного излучателя заключается в колебании под действием силы Лоренца легкой металлической ленты, обычно гофрированной, помещенной между полюсами постоянного магнита при протекании через нее переменного тока (рис.2.5).

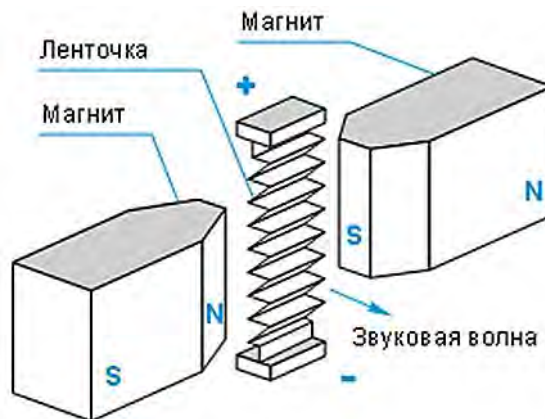


Рисунок 2.5 – Схема ленточного громкоговорителя [11]

Громкоговорители обладают большой чувствительностью, так как легкая лента значительно смещается при малом протекающем в ней токе. Входное электрическое сопротивление ленточного громкоговорителя мало из-за большой ширины ленты. Поэтому их надо применять совместно с трансформаторами для согласования с усилителями мощности. Ленточка обычно гофрируется для увеличения гибкости и устранения нежелательных резонансных колебаний. Для уменьшения резонансов воздушной полости позади ленты производится ее заполнение поглощающими материалами.

Достоинствами ленточных громкоговорителей являются равномерную АЧХ (отсутствие резонансов), малый уровень нелинейных искажений, возможность подвода значительной мощности (большая площадь ленточки обеспечивает быстрое охлаждение), а также широкая диаграмма направленности в горизонтальной плоскости и узкая в вертикальной (последнее помогает избежать нежелательных отражений от потолка и пола).

Недостаток – сложность изготовления магнитов с требуемой однородностью и симметричностью магнитного поля в зазоре.

На рис. 2.6 показан внешний вид ленточного громкоговорителя в акустической системе *ELAC*.



Рис. 2.6. Внешний вид ленточного громкоговорителя в акустической системе *ELAC* [15]

Принцип действия *изодинамического* громкоговорителя заключается в колебании мембраны из майлара с нанесенными на нее проводящими дорожками под действием силы Лоренца. Магнитная система для таких излучателей имеет сложную форму и представляет две перфорированные пластины, на которых установлены стержневые магниты (рис. 2.7).

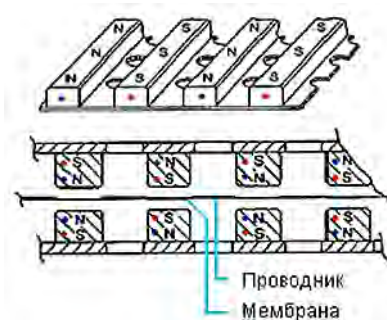


Рис. 2.7. Схема изодинамического громкоговорителя [16]

Полюса на пластинах чередуются, поэтому между соседними фрагментами пластины создается магнитный зазор. На тонкую майларовую мембрану нанесены проводящие дорожки в форме меандра. Переменный ток, протекающий по этим дорожкам, создает электромагнитное поле, которое взаимодействует с магнитным полем в зазоре и вызывает колебание мембраны. Звук распространяется в окружающее пространство через перфорации в пластинах.

Преимущество изодинамических громкоговорителей - малые нелинейные искажения, высокая чувствительность и большой динамический диапазон.

На рис. 2.8 показан внешний вид изодинамического громкоговорителя.



Рис.2.8. Внешний вид изодинамического громкоговорителя [16]

Принцип действия ортодинамических громкоговорителей аналогичен принципу действия изодинамических. Отличие заключается в конструкции магнитной системы и мембраны. Магнитная система состоит из двух перфорированных дисковых магнитов, которые намагничены таким образом, что образуют на поверхности концентрические кольца с чередующимися полюсами (рис. 2.9).

В магнитный воздушный зазор помещается круглая майларовая мембрана с нанесенной на нее в виде спирали, проводящей дорожкой. Один ее контакт находится по центру, а другой – на краю излучателя. При протекании переменного тока создается электромагнитное поле, которое взаимодействует с полем в магнитном зазоре и вызывает колебания мембраны. Иногда для увеличения чувствительности мембрана гофрируется (рис. 2.10).

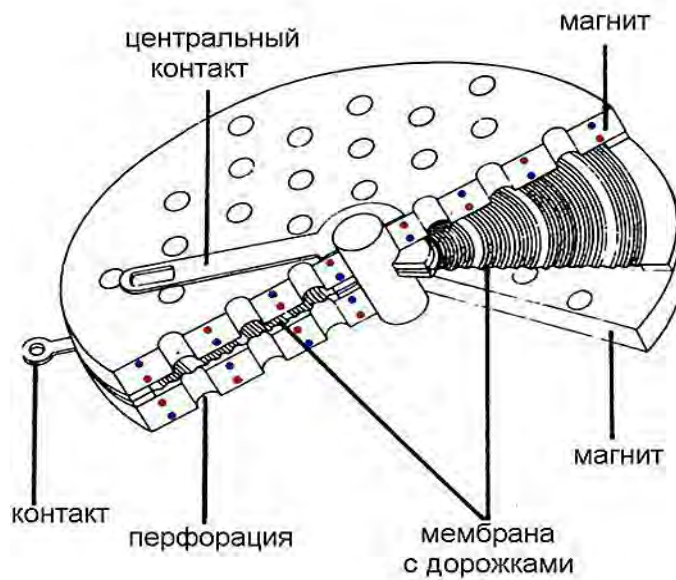


Рис.2.9. Схема ортодинамического громкоговорителя [17]



Рис. 2.10. Внешний вид гофрированной майларовой мембраны в ортодинамическом громкоговорителе [17]

Ортодинамические громкоговорители обладают теми же достоинствами, что и изодинамические, и дополнительно отличаются более широким диапазоном воспроизводимых частот.

Внешний вид ортодинамического излучателя представлен на рис.2.11.



Рис.2.11. Внешний вид ортодинамического излучателя [17]

По принципу действия *громкоговоритель Хейла* аналогичен изодинамическому, так как имеет такую же магнитную решетку. Отличие заключается в ориентации гофрированной мембраны с проводящими дорожками относительно магнитной решетки (рис.2.12).

Эти дорожки на мембране, по сравнению с изодинамическим громкоговорителем, находятся в другой плоскости. Поэтому, сила Лоренца (зеленый горизонтальный вектор на рис. 2.12), действующая на них, перемещает складки мембраны не вертикально, а вдоль горизонтальной плоскости. Поскольку направление тока для соседних складок противоположное, то при протекании тока, они с одной стороны притягиваются, а с другой – отталкиваются. При изменении знака приложенного напряжения начинается обратный процесс. Поэтому полости между складками то засасывают, то выталкивают воздух, образуя звуковую волну. Этот процесс аналогичен возникновению звукового сигнала в гармонии.

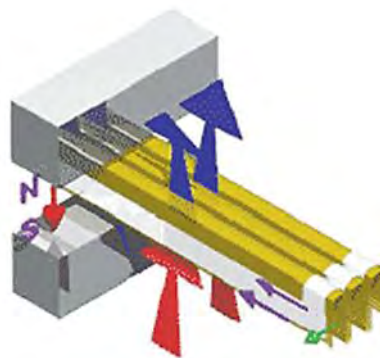


Рис. 2.12. Схема громкоговорителя Хейла [18]

Такая конструкция дает возможность увеличить площадь мембраны и, как следствие, повысить чувствительность громкоговорителя Хейла по отношению к чувствительности изодинамического громкоговорителя.

Составные элементы конструкции громкоговорителя Хейла представлены на рис. 2.13.

Преобразователем электрического сигнала в колебания воздуха в *ионофоне* являются электроды с воздушным зазором между ними. При приложении высокого переменного напряжения около 10 кВ с частотой 20-30 МГц между электродами происходит ионизация. Объем ионизированного воздуха изменяется в соответствии с амплитудой переменного напряжения, что приводит к возникновению звукового сигнала. Схема ионофона представлена на рис. 2.14.

Преобразователем электрического сигнала в колебания воздуха в *ионофоне* являются электроды с воздушным зазором между ними. При приложении высокого переменного напряжения около 10 кВ с частотой 20-30 МГц между электродами происходит ионизация. Объем ионизированного воздуха изменяется в соответствии с амплитудой переменного напряжения, что приводит к возникновению звукового сигнала. Схема ионофона представлена на рис. 2.14.

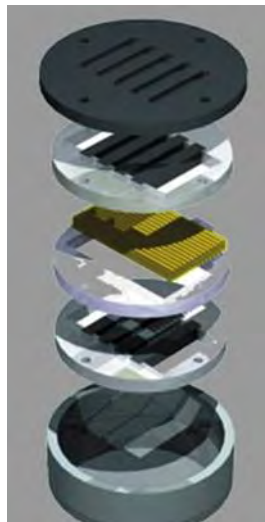


Рис. 2.13. Составные элементы конструкции громкоговорителя Хейла [18]

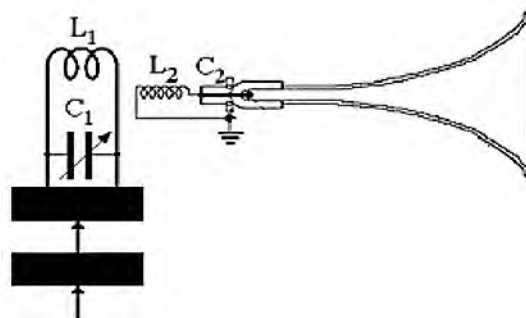


Рис. 2.14. Схема ионофона [19]

В ионофоне отсутствует подвижной системой является воздух, поэтому в нем отсутствуют переходные искажения и резонансы. Амплитудно-частотная характеристика равномерна в области широкого диапазона частот. Применение ионофона ограничивают существенные недостатки: во-первых, при его эксплуатации используется высокое напряжение, во-вторых, ионизация приводит к синтезу озона, который является канцерогеном.

В *пневматическом* громкоговорителе звук создается модуляцией потока сжатого воздуха. Его конструкция содержит компрессор, емкость со сжатым газом, модулятор и рупор. Громкоговоритель обеспечивает высокую акустическую мощность (до 2000 Вт), узкий диапазон частот (2,5-3,5 кГц), а значительный уровень собственных шумов и нелинейных искажений. Это обусловило ограниченность области применения пневматических громкоговорителей воспроизведением специальных сигналов.

NXT громкоговоритель представляет собой комбинацию плоской панели и одного или нескольких электродинамических, пьезокерамических, пневматических или других преобразователей «электрический сигнал – перемещение». Подробная информация о *NXT*-технологии содержится в [20].

Вместо динамика используется достаточно плотная панель, мембрана. Если к ней приложить источник возбуждения акустического диапазона, то в материале мембраны от места приложения силы распространяются колебания. Волна колебаний, распространившись до края мембраны, отражается, возвращается, образуя стоячие волны. Процесс определяется скоростью распространения волны в материале мембраны. Различные частоты вынуждающих колебаний приводят к возникновению стоячих волн с разными частотами и разным пространственным расположением максимумов и минимумов. В результате каждая зона панели начинает излучать в определенном частотном диапазоне, причем мембрана синфазно и когерентно излучает одинаковые сигналы в обе стороны.

NXT громкоговоритель обладает двумя достоинствами. Во-первых, акустическое короткое замыкание (эффект взаимного подавления встречных звуковых волн) отсутствует, т.е. не требуется большой корпус для размещения громкоговорителя. Во-вторых, падение акустического давления обратно пропорционально расстоянию до акустической системы, а не квадрату расстояния, как в традиционных системах, т.е. *NXT* может создать в определенной точке пространства требуемый уровень звука при меньшей подводимой электрической мощности.

Недостатки - узкая полоса воспроизводимых частот и отсутствие локализовать источник звука.

В настоящее время ведутся разработки излучателей *на нанотрубках*.

В 2008-м году китайские исследователи под общим руководством Кайли Цзян обратили внимание на то, что лист из нанотрубок издает звук под воздействием переменного тока [21]. Звук появлялся в следствии быстрого нагревания листа, т.е. термоакустического процесса, использованная в качестве излучателя пленка не двигалась. Максимальная температура листа

при подаче сигнала номинальной мощностью 12 Вт составила 80 градусов Цельсия. По утверждениям Кайли Цзян, существует возможность создать аналогичные громкоговорители с менее высокой температурой, но это не было реализовано в рамках эксперимента.

В ходе описанных экспериментов было зафиксировано, что излучатель позволяет генерировать звук с диапазоном частот и уровнем звукового давления, достаточным для применения в современной портативной и стационарной акустической технике. Кроме того, прототип обладал впечатляюще низким уровнем гармонических искажений.

Кроме того, прозрачный и гибкий лист из нанотрубок, что его можно деформировать без существенного ущерба для качества звукоизлучения. По экспериментальным данным, при растяжении плёнки на 200% от исходной площади сигнал практически не изменился. Плёнка из нанотрубок, размещенная на цилиндрическом каркасе, позволяет излучать звук одинаковой интенсивностью во все стороны.

Внедрение акустических систем в практику пока ограничивается высокой стоимостью нанотрубок.

Используя пленку из нанотрубок в качестве мембраны, американский исследователь русского происхождения М. Козлов из Техасского университета разработал громкоговоритель, который использовал термоакустический эффект и традиционный принцип динамического драйвера [21]. Лист углеродной нанотрубки размещен между проводящими стержнями рядом с постоянным магнитом. При электрическом возбуждении тепловой отклик материала сочетается с колебаниями листа, вызванными электромагнитным действием силы Лоренца. В результате система позволяет получить гибридное термомагнитное излучение звуковых волн с хорошими амплитудными характеристиками и невысоким уровнем искажений.

Цифровые громкоговорители непосредственно преобразуют цифровой сигнал в акустический [22]. В этом случае возможно упростить электрическую схему, убрав из нее цифроаналоговый конвертор, фильтр, усилитель, кроссовер и увеличить к.п.д. за счет отказа от традиционного преобразователя «электрический сигнал – звук». Общая концепция этих громкоговорителей заключается в дифференциации поверхности излучателя или обмотки катушки индуктивности и возбуждении этих дифференцированных участков таким образом, чтобы площади участков, длина обмотки либо количество участков излучателя или катушки зависело от разрядности сигнала. В 2002 году на выставке в Лас-Вегасе компания *1.limited* продемонстрировала систему *The Digital Sound Projector* с цифровым громкоговорителем [22]. Система обеспечивала воспроизведение 8-битного бинарного сигнала и к.п.д. 10%.

В настоящее время информация о серийном выпуске акустических систем с цифровым громкоговорителем отсутствует.

2.2 Параметры громкоговорителей

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) громкоговорителя - зависимость напряжения на выходе громкоговорителя в звуковом давлении на его входе в номинальном диапазоне частот. По графику АЧХ громкоговорителя определяются параметры, позволяющих количественно оценить его качество. На рис. 2.15 приведена схема измерений АЧХ громкоговорителя традиционным аналоговым способом.

Методы измерений громкоговорителей с использованием цифровой техники основаны на прямых измерениях их импульсных реакций с последующей цифровой обработкой, что дает возможность с помощью преобразования Фурье получить расчетным путем амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики.

Обзор информации о нормируемых параметрах акустических систем содержится в [23 - 25].

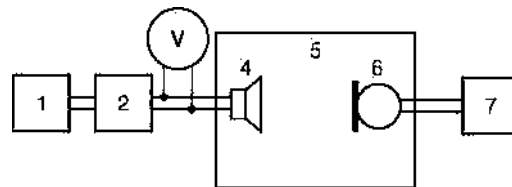


Рис.2.15. Схема измерений АЧХ громкоговорителя:

1 - установка автоматической записи; 2 – усилитель низких частот; 3 - вольтметр; 4 - испытуемый громкоговоритель; 5 - заглушенная камера; 6 - измерительный микрофон; 7 - микрофонный усилитель [23]

Эффективно воспроизводимый диапазон частот - диапазон, в пределах которого уровень звукового давления снижается на некоторую заданную величину по отношению к уровню среднего звукового давления, усредненному в некотором диапазоне частот. В современной студийной аппаратуре и аппаратуре высшего класса *High-End* спад составляет 3 дБ в частотном диапазоне 20 - 20 000 Гц.

Неравномерность АЧХ - разница между максимальным значением уровня звукового давления и минимальным или между максимальным и средним внутри эффективно воспроизводимого диапазона частот. В лучших моделях она составляет +/-2 дБ.

В акустической аппаратуре для стереовоспроизведения нормируется расхождение АЧХ в стереопаре (обычно 2 дБ в диапазоне 250 - 8000 Гц).

Для оценки фазочастотных искажений используется **групповое время задержки**, представляющее собой производную фазочастотной характеристики по частоте.

Переходные искажения определяют характер процесса нарастания и спада воспроизводимых сигналов. Методика измерений этих искажений в заглушенной камере практически совпадает с методами измерения АЧХ, только выполняется на других видах испытательных сигналов. По осциллограммам на резонансной частоте можно определить такие параметры

переходного процесса, как *логарифмический декремент затухания* (логарифм отношения амплитуд предыдущей волны к последующей) и *время затухания*, в течение которого амплитуда сигнала падает до 0,1 начального значения.

В настоящее время для более полной оценки акустических систем используют *кумулятивный спектр*, характеризующий процесс затухания амплитуды звукового сигнала на разных частотах в разные моменты времени. Эта характеристика иллюстрирует процесс затухания амплитуды звукового сигнала на разных частотах в разные моменты времени и позволяет определить наличие задержанных резонансов в системе. Его рассчитывают, применяется преобразование Фурье к отдельным частям импульсной характеристики. Графически он представляет собой зависимость уровня звукового давления от временной частоты и от времени. Пример графика кумулятивного спектра показан на рис. 2.16.

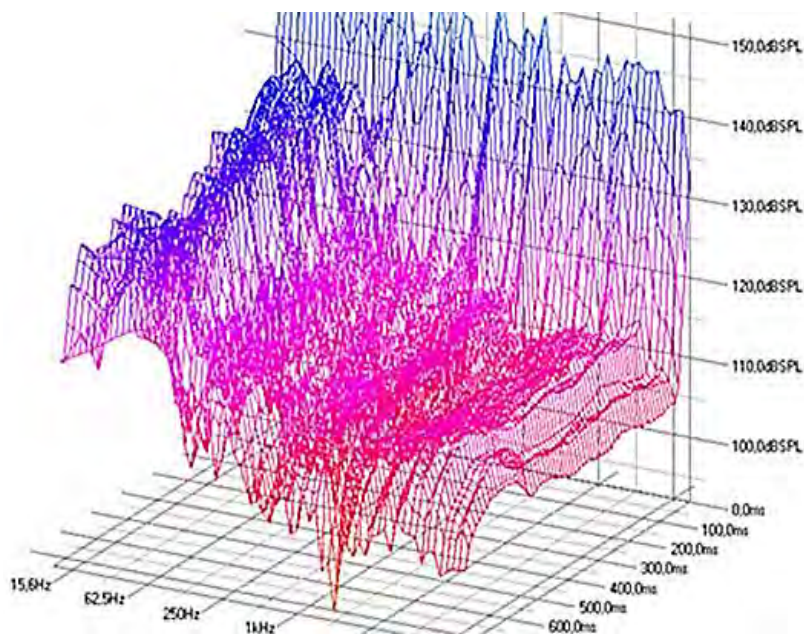


Рис.2.16.Пример графика кумулятивного спектра [26]

Для оценки зависимости параметров громкоговорителя в функции направления излучения используются *характеристика направленности* и *частотная характеристика акустической мощности*.

Характеристика направленности - это зависимость уровня звукового давления от частоты и от угла между опорной осью и измеряемой осью в условиях свободного поля в различных заданных плоскостях (измеряемой ось - линия, соединяющая микрофон и измеряемый источник звука). Измерение этой характеристики возможно ранее описанными аналоговым и цифровым методами при относительном повороте громкоговорителя и измерительного микрофона. С учетом направленности АЧХ громкоговорителя является функцией трех переменных: частоты и двух углов (азимутального и меридионального). В этом случае графики АЧХ возможно представить тремя

способами: в виде полярной диаграммы построенной в определенной плоскости для фиксированного значения АЧХ (рис. 2.17, а), двумерного графика АЧХ в определенной плоскости (рис. 2.17, б), трехмерной диаграммы для фиксированного значения АЧХ (рис. 2.17, в).

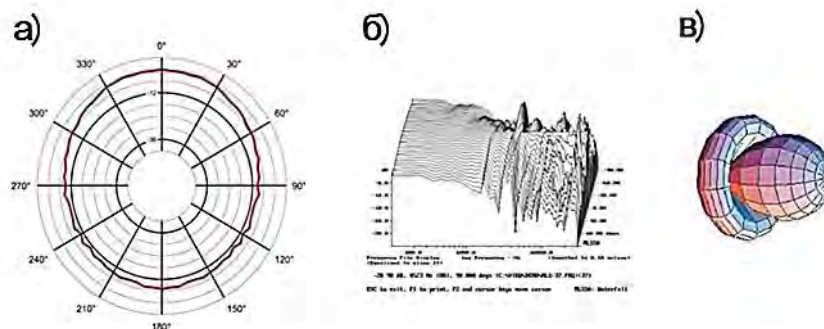


Рисунок 2.17 - Примеры графиков АЧХ громкоговорителя с учетом направленности: а) в виде полярной диаграммы построенной в определенной плоскости для фиксированного значения АЧХ; б) двумерного графика АЧХ в определенной плоскости; в) трехмерной диаграммы для фиксированного значения АЧХ [24]

На основании характеристики направленности возможно определить ряд параметров.

Коэффициент направленности - отношение звукового давления, измеренного под заданным углом относительно рабочей оси, к звуковому давлению на рабочей оси для одной и той же частоты (полосы частот) и при одном и том же расстоянии от рабочего центра громкоговорителя.

Индекс направленности - 20-кратный десятичный логарифм коэффициента направленности;

Угол излучения - угол, в пределах которого значение индекса направленности спадает менее чем на 10 дБ.

Угол покрытия или *ширина луча при спаде 6 дБ* определяется по записанной полярной диаграмме как угол, в пределах которого уровень звукового давления у главного лепестка диаграммы снижается на 6 дБ по отношению к уровню на оси.

Обычно индекс направленности существенно возрастает с частотой, а угол покрытия уменьшается, при этом их значения и характер зависимости от частоты существенно различаются в вертикальной и горизонтальной плоскостях [24].

Акустическая мощность на определенной частоте определяется как функция, пропорциональная квадрату усредненного звукового давления, измеренному в разных точках пространства. В зависимости от методики измерения могут производиться как в свободном, так и в заглушенном поле.

С использованием акустической мощности рассчитываются еще два параметра, характеризующие пространственное распределение звуковой энергии, генерируемой громкоговорителем.

Коэффициент осевой концентрации пропорциональна отношению квадрата звукового давления, измеренного на оси системы, к ее акустической мощности на этой же частоте (давление должно измеряться в тех же условиях, что и акустическая мощность, т. е. в свободном или реверберирующем поле).

Индекс осевой концентрации в одной из двух методик определения рассматривается как 10-кратный десятичный логарифм коэффициента осевой концентрации.

На основании измеренных или рассчитанных значений акустической мощности можно определить *коэффициент полезного действия* (к.п.д.), т.е. отношение излучаемой акустической мощности к подводимой электрической мощности при измерениях на заданной частоте или полосе частот. Все электродинамические громкоговорители прямого излучения и соответственно акустические системы с ними имеют чрезвычайно низкий к.п.д. (<1%). Исключение составляют узкогорлые рупорные громкоговорители с к.п.д. до 10% [24].

В громкоговорителях имеют место нелинейные искажения, проявляющиеся как новые спектральные составляющие, отсутствующие в исходном сигнале, возникающие за счет нелинейного взаимодействия приложенного напряжения со звуковым давлением. Источниками колебаний могут являться нелинейные колебания в гофрированных подвесах и диафрагме громкоговорителей, нелинейные процессы взаимодействия звуковой катушки с магнитным полем, нелинейные процессы в фазоинверторе при больших давлениях и т.д.

Чтобы оценить *нелинейные искажения* в громкоговорителях, на их вход подают *однотональные* сигналы (гармоники определенной частоты), *двухтональные* (содержащие две частоты) и *многотональные*. Каждой группе тестовых сигналов соответствуют различные количественные критерии для оценки нелинейных искажений.

При подаче на вход электрического *однотонального* сигнала с частотой F_0 на вход громкоговорителя на его выходе могут образоваться акустические ложные составляющие с частотами nF_0 , как высокочастотные (n больше 1), так и низкочастотные (n меньше 1). АЧХ сигнала на выходе громкоговорителя с искажениями обоих типов представлена на рис. 2.18.

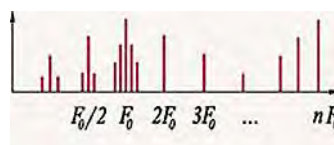


Рис.2.18. АЧХ сигнала на выходе громкоговорителя с высокочастотными и низкочастотными искажениями [25]

В случае использования *однотонального* сигнала для количественной оценки нелинейных искажений используются 4 коэффициента. Первые два

позволяют оценить вклад отдельных частотных составляющих, а два последующих – общий вклад всех ложных составляющих в совокупности.

Коэффициент гармонических искажений i -того порядка определяется как отношение, выраженное в процентах (или децибелах) эффективного значения звукового давления i -той гармоники к эффективному (среднеквадратичному) значению звукового давления сигнала, содержащего частоту возбуждения и все ее гармоники.

Характеристический коэффициент гармонических искажений i -того порядка: отношение, выраженное в процентах (или децибелах) эффективного значения звукового давления i -той гармоники к среднему значению звукового давления, сигнала в заданном диапазоне частот.

Полный коэффициент гармонических искажений k_r может определяться как среднеквадратичная сумма коэффициентов k_i i -того порядка:

$$k_r = \sqrt{\sum_2^{\infty} k_i^2}$$

Аналогично определяется *полный характеристический коэффициент*, отличие состоит в том, что под знаком суммы используются не коэффициенты гармонических искажений i -того порядка, а характеристические коэффициенты гармонических искажений i -того порядка.

Двухтональные входные сигналы применяют для оценки интермодуляционных и разностных искажений.

Методы измерений интермодуляционных искажений являются часто более информативными, чем измерения на однотональных сигналах, поскольку их можно измерять в более широком диапазоне частот, что важно для высокочастотных излучателей заметнее на слух (поскольку могут создавать ощущения диссонансов звучания) [25].

Интермодуляционные искажения определяются как отношение арифметической суммы среднеквадратичных значений давлений всех боковых составляющих на частотах $f_2 \pm (n-1) f_1$ к среднеквадратичному значению давления на частоте f_2 . При этом на вход излучателя подаются два сигнала с соотношением частот f_1 и f_2 , равным 1/8, и с соотношением амплитуд на частотах f_1 и f_2 , равном 1:4.

Для измерения *разностных искажений* на громкоговоритель подаются два тональных сигнала с разностью частот 80 Гц. Их используют для оценки высокочастотных громкоговорителей в области высоких частот. Для этого при измерениях узкополосным фильтром вырезаются только значения разностных компонент в выходном сигнале и коэффициент разностных искажений определяется как отношение звукового давления на частоте 80 Гц к сумме давлений на двух исходных частотах.

Применение *многотоновых* сигналов представляет собой более информативный инструмент для оценки как гармонических, так и интермодуляционных искажений всех порядков одновременно. Применение многотонового импульса дает возможность оценить все виды искажений в полном диапазоне за одно измерение.

Новые методы измерения нелинейных искажений включают функцию когерентности, ряды Вольтерра, а также теорию нейронных сетей и *NARMAX*.

Значение функции когерентности дает общее описание всех нелинейных продуктов в выходном сигнале, она характеризует степень «подобия» выходного и входного сигналов. *Функция когерентности* на определенной частоте - отношение квадрата кросспектра (взаимного энергетического спектра) между входным и выходным сигналами на этой частоте к квадратам автоспектров (энергетических спектров) входного и выходного сигналов на этой же частоте. Если преобразователь - строго линейная система, то функция когерентности равна единице. Если входные и выходные сигналы вообще не связаны друг с другом, то функция когерентности равна нулю. Если акустическая система производит нелинейное преобразование входного сигнала или вносит шумы, то функция когерентности имеет значения между нулем и единицей

Подавая на акустическую систему сигналы шумовой или многотоновой сигнал, можно с использованием *рядов Вольтерра* рассчитать ядра (т.е. импульсные характеристики разных порядков) и, сделав их спектральный анализ, определить гармонические и интермодуляционные компоненты нелинейных искажений. Метод обеспечивает наглядность представления только для нелинейностей первого и второго порядков (рис 2.19), так как уже для третьего порядка требуются четырехмерные поверхности. Кроме того, он принципиально применим лишь к малым уровням нелинейности, что не всегда выполняется, особенно в рупорных громкоговорителях.

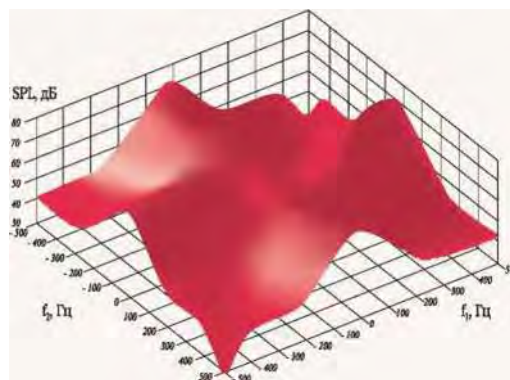


Рис.2.19. Нелинейные искажения, определенные с помощью рядов Вольтерра второго порядка [25]

Для оценки громкоговорителей в области низких частот введен ряд электромеханических параметров (*параметры Small-Thiele*, названные по фамилиям разработавших их ученых): активное сопротивление звуковой катушки, частоты основного резонанса, полная, электрическая и механическая добротности, эквивалентный объем, эффективная площадь излучения, максимальное смещение звуковой катушки и т.д. Некоторые из этих параметров можно определить из частотной характеристики входного электрического сопротивления [27].

Неискаженная передача динамического диапазона сигналов оценивается *динамическим диапазоном* сигнала и *пик-фактором*.

Динамический диапазон сигнала - это разность между максимальным и минимальным уровнем звукового давления.

Пик-фактор - разность между максимальным и средним уровнем звукового давления.

Под **максимальным уровнем** понимается уровень звукового давления, выше которого значения сигнала могут находиться не более 2% времени для музыки и 1% - для речи [27].

В соответствии с нормативными документами для акустических систем указываются следующие виды **мощностей** [27]:

- **характеристическая**, при которой акустическая система (АС) обеспечивает заданный уровень звукового давления;

- **паспортная**, при которой АС может работать на специальном шумовом сигнале длительное время (обычно 100 ч) без механических и тепловых повреждений; это самый распространенный вид мощности, указываемый в технической литературе;

- **максимальная синусоидальная**, обеспечивающая возможность проведения измерений на синусоидальном сигнале в течение 1 ч.

Для согласования с усилителями введено еще два вида мощностей: **долговременная** и **кратковременная максимальная мощность** (в немецком стандарте DIN 45500 введена близкая к последней по определению мощность «музыкальная»), где испытания с шумовым сигналом продолжаются соответственно по 1 мин 10 раз с интервалом 2 мин и по 1 с 60 раз с интервалом 1 мин.

Значения этих мощностей могут для одной и той же акустической системы отличаться в несколько раз. Например, характеристическая мощность - 35 Вт, максимальная синусоидальная - 50 Вт, паспортная - 90 Вт, долговременная - 100 Вт, кратковременная - 150 Вт [27].

Для согласования акустических систем с усилителями мощности важное значение имеет ее полное входное электрическое сопротивление (импеданс), являющееся функцией частоты (рис.2.20).

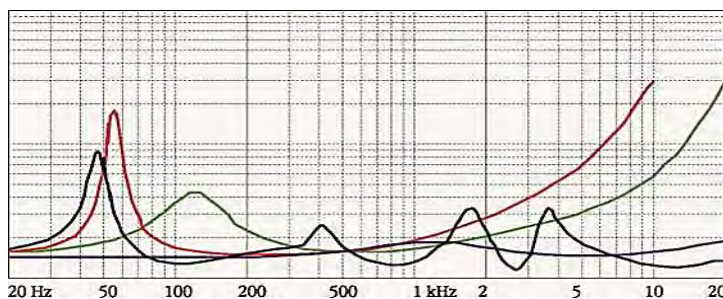


Рис. 2.20. Зависимость импеданса от частоты для акустической системы и отдельных громкоговорителей [27]

3 СТЕРЕОТЕЛЕФОНЫ

Определения телефона в аспекте акустики и связанных с ним терминов приведены в [28]. *Телефоном* называется электроакустический преобразователь, с помощью которого электрические сигналы преобразуются в акустические колебания, предназначенный для работы в условиях акустической связи с ухом. *Головным телефоном* называется один или два телефона на оголовье, *стереофоническим* - двухканальный головной телефон, предназначенный для индивидуального прослушивания стереофонических записей [28]. Таким образом стереотелефон состоит из двух телефонов, каждый из которых включает в себя преобразователь, заключенный в корпус, амбушюр, оголовье, кабель и соединитель.

Основной частью телефона является *преобразователь электрического сигнала в акустический*. *Корпус* предназначен для защиты преобразователя телефона от повреждений, обеспечения необходимой акустической нагрузки на него и для закрепления оголовья при наличии последнего. *Амбушюром* называется деталь телефона, обеспечивающая акустическую связь телефона с ухом, которая представляет собой кольцевую прокладку из упругого материала. *Оголовье* предназначено для соединения двух телефонов и закрепления их на голове слушателя.

3.1 Классификация стереотелефонов

Стереотелефоны классифицируются по принципам преобразования электрической энергии в акустическую в используемых в них излучателях, по видам акустической нагрузки, по областям применения, по способам передачи к ним сигнала, по видам процессорной обработки и т.д. [28].

По принципам преобразования применяемые в современных телефонах излучатели могут быть разделены на следующие типы: электродинамические, электростатические, пьезоэлектрические и арматурные (с уравновешенным якорем). Принципы преобразования «электрический сигнал - звук» в первых трех группах аналогичны этим принципам в громкоговорителях.

Электродинамические преобразователи делятся на две группы: катушечные, цилиндрическая катушка которых находится в воздушном зазоре магнитной системы, и орто- и изодинамические.

Катушечные преобразователи имеются двух видов: а) с миниатюрной магнитной системой и легкой подвижной системой, б) на основе обычных головок громкоговорителей. Схема электродинамического катушечного преобразователя с миниатюрной магнитной системой и с легкой подвижной системой показана на рис. 3.1.

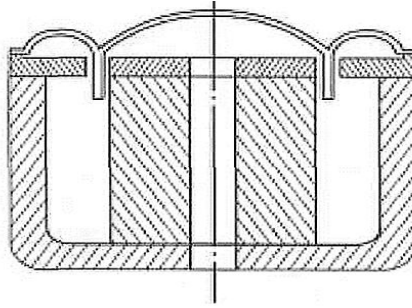


Рис. 3.1. Схема электродинамического катушечного преобразователя с миниатюрной магнитной системой и с легкой подвижной системой [28]

Арматура в *арматурных* телефонах - это ферромагнитная пластина П-образной формы (рис.3.2).

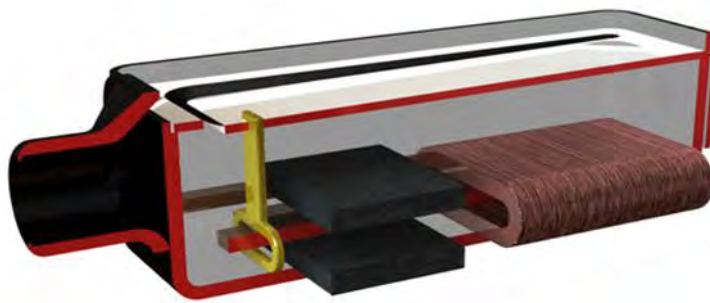


Рис. 3.2. Схема арматурного преобразователя [29]

Вокруг нее установлена катушка, под действием тока изменяющая силу притяжения арматуры к постоянным магнитам. Арматура соединена рычагом с диафрагмой, которая, совершая колебания, создает звук.

При одинаковой площади мембраны у арматурного и динамического излучателя, ход мембраны меньше у арматурного, поэтому у него возможны акустические шумы на высокой громкости. Кроме того, узкая горловина, необходимая для крепления звуковода в органе слуха, увеличивает низкочастотные искажения. В настоящее время в один телефон может быть вмонтировано несколько (до 12) арматурных преобразователей [29] (рис.3.3).



Рис. 3.3.Стереотелефоны Custom с 8-ю излучателями [29]

Это рационально в концертных мониторах стараются за счет большого количества излучателей для поднятия чувствительности стереотелефонов, чтобы обеспечить слышимость слабых источников. В бытовой аппаратуре это увеличивает слышимость фоновых помех от источника.

Чтобы повысить качество воспроизведения арматурных телефонов на низких частотах, были созданы *гибридные* системы (рис.3.4), где низкие частоты воспроизводятся электродинамическим излучателем, а высокие – арматурным. В гибридной системе требуется отдельная камера для динамика, поэтому эргономика такого телефона напоминает электродинамическую.



Рис. 3.4 Составляющие элементы гибридных телефонов (комбинация электродинамических и арматурных излучателей) [29]

По *виду акустической нагрузки* телефоны разделяются на два типа: закрытые и открытые [29] (рис.3.5).

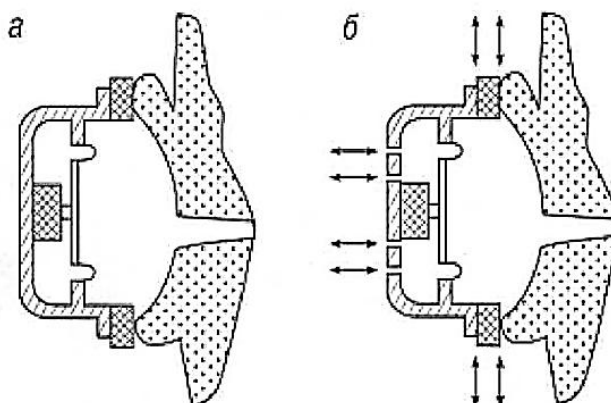


Рис. 3.5. Закрытые (а) и открытые (б) телефоны [29]

Тип акустической нагрузки определяется способом акустической связи преобразователя с ухом слушателя и окружающей средой. **Закрытые** телефоны (рис.3.5, а) имеют плотные амбушюры и корпус без отверстий, т. е. они нагружены на замкнутый объем. В зависимости от формы амбушюра закрытые телефоны могут быть либо охватывающими, либо прижимными, либо вкладными. Охватывающим называется телефон, амбушюр которого охватывает ушную раковину и прижимается к голове; прижимным - телефон, прижимаемый снаружи к ушной раковине; вкладным - непосредственно вводимый в ушную раковину или слуховой канал.

Открытыми называются телефоны, электроакустический преобразователь которых сообщается с открытым пространством как со стороны уха, так и с обратной стороны. Эта связь с передней стороны обеспечивается пористым амбушюром, а сзади - отверстиями в магнитопроводе и корпусе телефона (рис.3.5, б).

По областям применения стереотелефоны можно разделить на студийные для контроля качества записи, для работы с телевизионными и другими приемниками со встроенными регуляторами громкости и баланса, специальные конструкции, совмещенные с микрофоном, миниатюрные для плееров и мобильных телефонов и т.д.

По способам передачи сигнала к стереотелефонам они классифицируются на проводные и беспроводные (инфракрасные и радиотелефоны).

Классификация по видам процессорной обработки определяется функцией обработки, например, воссоздание пространственной панорамы звука и вынос звукового образа из головы, уменьшение уровня шумов с использованием активного шумоподавления, увеличение субъективного ощущения низких частот и т.д.

3.2 Параметры стереотелефонов

Стереотелефоны, как и громкоговорители, являются преобразователями «электрический сигнал — звук», поэтому они оцениваются теми же параметрами, что и громкоговорители.

Основными указываемыми в документации параметрами стереотелефонов являются:

чувствительность - уровень звукового давления, развиваемого телефоном при 1 мВт входной мощности;

суммарный коэффициент гармоник при уровне звукового давления 94 дБ;

максимальная шумовая (паспортная) входная мощность;

модуль полного электрического сопротивления (импеданс).

В отличие от громкоговорителей, где измерение звукового давления на выходе системы с использованием измерительного микрофона не вызывает затруднений, в стереотелефонах необходимо производить измерения этого

параметра внутри слухового аппарата человека, что затруднительно. Поэтому измерения звукового давления на выходе стереотелефона производятся либо тремя прямыми способами: а) с помощью зонда, помещенного в слуховой канал слушателя, б) на «искусственном ухе», в) на «искусственной голове», либо методами сравнения громкости как в свободном, так и в диффузном звуковом поле сигналов от громкоговорителя и стереотелефона, надетого на уши слушателя.

Зонд – это измерительный микрофон с насадкой в виде тонкой трубки, плотно примыкающей к приемной части микрофона. Он помещается у входа в слуховой канал испытуемого, между амбушюром телефона и выемкой ушной раковины (см. рис. 3.6). Его использование обеспечивает наиболее точные измерения амплитудно-частотной характеристики стереотелефонов.

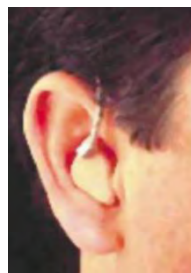


Рис. 3.6. Зонд для измерения звукового давления на выходе стереотелефона, помещенный в слуховой канал слушателя [29]

«Искусственное ухо» (рис. 3.7) представляет собой камеру, состоящую из трех полостей, соединенных между собой через узкие щели и отверстия. Объемы полостей соответственно равны: $V_1 = 2,5 \text{ см}^3$, $V_2 = 1,8 \text{ см}^3$, $V_a = 7,5 \text{ см}^3$ [29]. В «Искусственное ухо» входит измерительный конденсаторный микрофон (приемник звукового давления). Модуль полного входного сопротивления ИУ в диапазоне частот 50 -10000 Гц соответствует модулю входного сопротивления среднего человеческого уха. В зависимости от типа стереотелефона (охватывающие, прижимные или вкладные) они по-разному устанавливаются на «Искусственное ухо». Звуковое давление, развиваемое телефоном в камере ИУ, преобразуется микрофоном в регистрируемое напряжение. Конструкция и акустические свойства установки «Искусственное ухо», несмотря на удобство ее использования при серийном производстве телефонов, лишь приблизительно соответствуют реальным условиям размещения стереотелефонов на голове, поэтому корреляция между измеренными таким образом параметрами и субъективной оценкой качества телефонов относительно невелика [29].

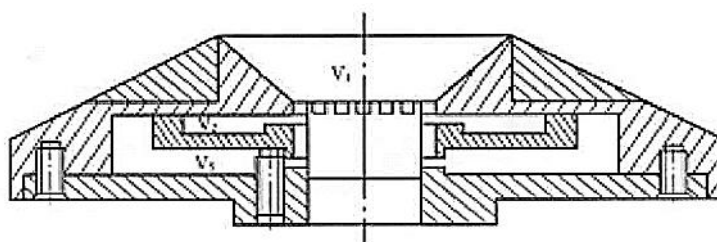


Рис. 3.7. «Искусственное ухо» для измерения звукового давления на выходе стереотелефона [29]

Измерения с использованием «Искусственной головы» (рис.1.27) являются более точными, т.к. ее геометрические параметры и физико-механические свойства ее материалов являются более близкими к голове человека, чем в «Искусственном ухе», однако стоимость искусственной головы намного выше стоимости «Искусственного уха».

В ряде нормативных документов предложены методы определения амплитудно-частотных характеристик стереотелефонов путем сравнения громкости сигналов от громкоговорителей и стереотелефонов как в свободном, так и в диффузном звуковом поле приведенные в [29]. Схема измерения амплитудно-частотной характеристики телефонов в свободном поле методом сравнения громкостей приведена на рис. 3.8

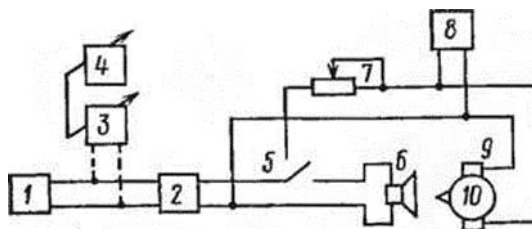


Рис. 3.8. Схема измерения АЧХ стереотелефона методом сравнения громкостей в свободном поле: 1 - генератор электрических колебаний, 2 - усилитель мощности, 3 - генератор розового шума, 4 - переключаемый узкополосный фильтр, 5 - переключатель, 6 - измерительный громкоговоритель, 7 - регулятор уровня, 8 - вольтметр, 9 - телефон, 10 - эксперт [29]

В точку, расположенную на расстоянии 2 м от рабочей плоскости громкоговорителя по его рабочей оси, устанавливают измерительный микрофон и градуируют громкоговоритель при подведении к нему испытательного сигнала, т. е. записывают величины напряжения, при которых громкоговоритель в точке установки микрофона обеспечивает на всех частотах уровень давления 70 дБ. На телефоне эксперт устанавливает значение напряжения, чтобы различие уровней громкости, полученных воздействием звукового давления от громкоговорителя и от телефона, было минимальным. В диапазоне частот 20 - 630 Гц используется синусоидальный сигнал, а в диапазоне частот 630 - 20 000 Гц – треть-октавные полосы розового шума.

За результат измерений принимают чувствительность телефона по свободному полю, равную отношению звукового давления, создаваемого измерительным громкоговорителем на расстоянии 2 м, к напряжению, подводимому к телефону.

Кроме *прямого метода* сравнения громкости, используется еще *метод замещения*, в котором вместо громкоговорителя применяется головной

телефон, заранее отградуированный по свободному полю. Методика измерения аналогична методике прямого измерения. К эталонному телефону подводят напряжения, величины которых были установлены при сравнении последнего с громкоговорителем в свободном поле. Эксперт, попеременно надевая эталонные и испытуемые телефоны, добивается равенства громкостей обоих телефонов, регулируя подведение напряжения к испытуемому телефону.

Измерение АЧХ телефонов в диффузном поле, так же как и в свободном, может производиться двумя методами. Прямой метод основан на сравнении звуковых давлений, создаваемых в слуховом канале эталонным звуковым полем и головным телефоном. Косвенный метод использует вместо звукового поля громкоговорителя эталонный головной телефон, калиброванный по прямому методу, при котором измерения производятся сравнением уровней напряжения на выходе зонда, введенного в слуховой канал испытуемого, при попеременном измерении сигналов от головного телефона и громкоговорителя.

Требования к АЧХ стереотелефонов зависят от области их применения. Если стереотелефоны используются для снятия аудиограмм, их частотная характеристика должна быть максимально плоской. Если они используются для передачи обычных программ или контроля качества записей, предназначенных для передачи через стереосистемы громкоговорителей, то они должны обеспечивать такое же качество звучания, как и громкоговорители в помещении прослушивания. Чтобы стереотелефоны создавали такое же качество звука, как громкоговорители, звуковое давление у барабанной перепонки, создаваемое стереотелефоном и акустическими системами, должно быть не одинаковым на всех частотах; эксперименты показали, что в этом случае для стереотелефонов оптимальной является не плоская АЧХ, а имеющая неравномерность до 20 - 22 дБ [29].

4 ВИДЕОКАМЕРЫ

Современная цифровая видеокамера представляет собой сложную электронно-оптическую систему, выполняющую ряд функций. Основной функцией видеокамеры является преобразование оптического изображения и звука в изменение состояния носителя информации (флэш-карты, диска, магнитной ленты). Кроме того, видеокамера в настоящее время еще выполняет и вспомогательные функции: например, перенос информации с носителя в компьютер или сеть, преобразование информации из одного формата в другой и т.д. Основными элементами видеокамеры являются: объектив, светочувствительная матрица, микрофон, устройство для записи информации, носитель информации, источник питания, устройство визирования, источник освещения, стабилизатор изображения, корпус. Отдельные элементы, например, объективы и некоторые устройства записи содержат привод. Управление всей камерой осуществляется посредством процессорной системы.

4.1. Объективы

Объективы в современных цифровых камерах – это совокупность групп подвижных и неподвижных линз. Блоки подвижных линз делятся на несколько групп. Первая выполняет функцию трансфокации, т.е. изменяет фокусное расстояние объектива, при этом изменяется масштаб изображения, увеличение в кадре, глубина пространства и расстояние между границами резко изображаемого пространства. Вторая группа обеспечивает фокусировку, т.е. оптически сопрягает плоскость резкой наводки в пространстве объектов с плоскостью светочувствительной матрицы в пространстве изображений. Кроме того, осуществляется перемещение линз в поперечном направлении и/или их наклон для осуществления оптической стабилизации, а также иногда для обеспечения tilt- и shift-функций. Эти две последние функции используются для компенсации искажений масштаба по глубине кадра и чтобы предотвратить наклон высоких объектов в изображении при съёмке у подножия этих объектов.

Объективы в первых моделях видеокамер содержали всего два блока подвижных линз: один - трансфокационный, второй - фокусирующий (рис. 4.1).

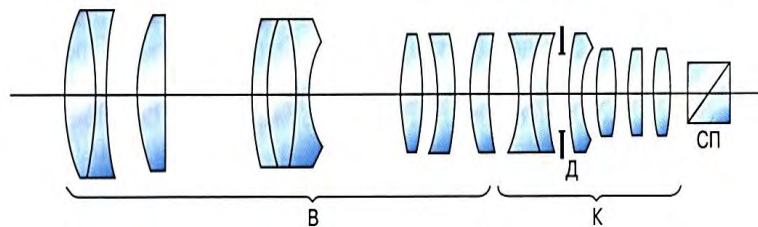


Рис. 4.1. Объектив с двумя блоками подвижных линз

Такая схема имеет определенные недостатки : при значительном изменении фокусного расстояния возрастает диапазон перемещения линз, что увеличивает длину объектива и изменение максимального относительного отверстия. Кроме того, требуется увеличить оптическую силу фокусирующей группы и соответственно в большей степени корректировать ее aberrации. Поэтому современные объективы, например, компании Canon, имеют большее число подвижных линз (рис.4.2).

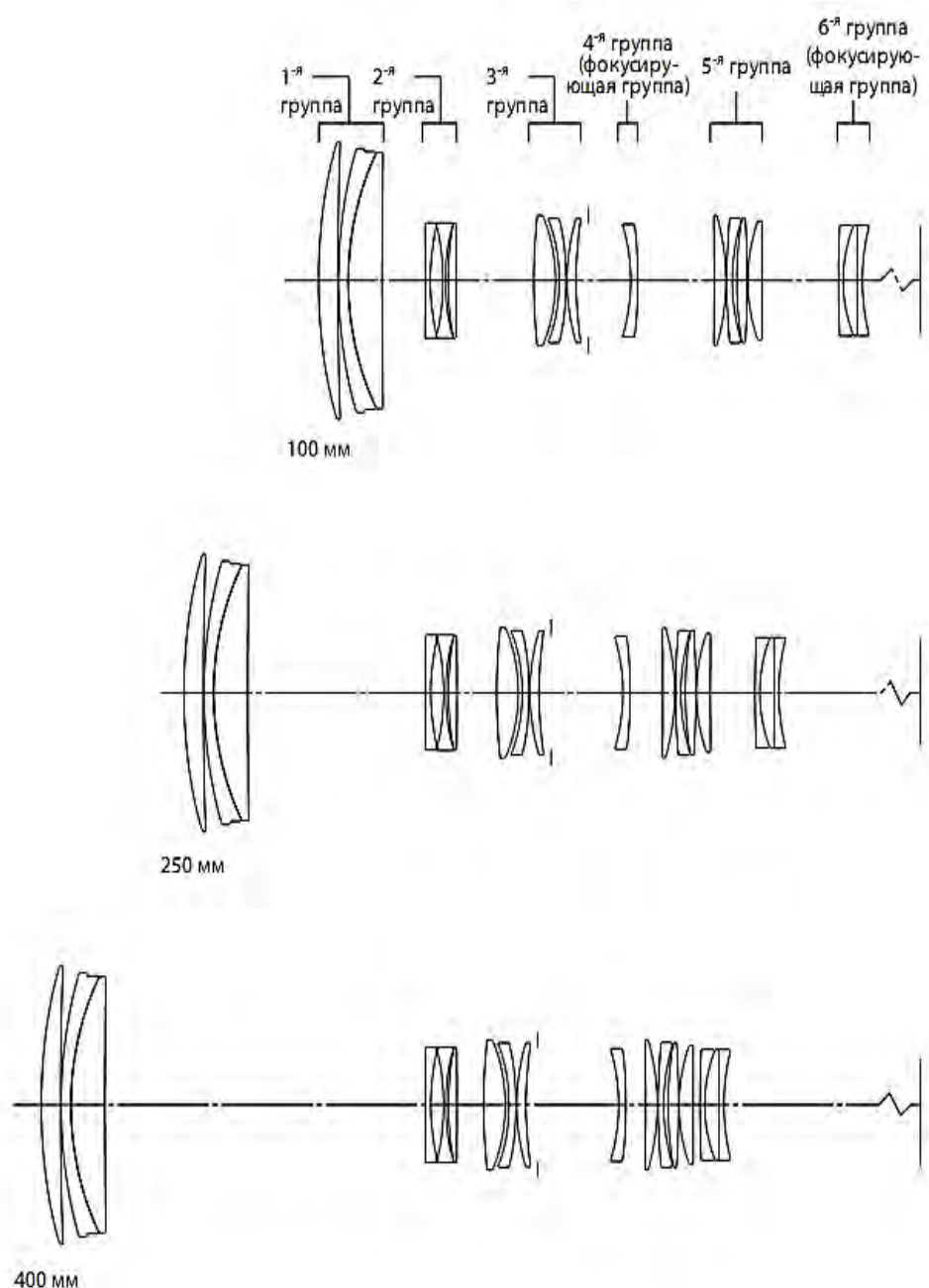


Рис.4.2. Схема объектива с несколькими группами подвижных линз при различных фокусных расстояниях

Схема с несколькими группами имеет следующие преимущества:

1. Так как для изменения фокусного расстояния перемещается несколько групп линз, диапазон перемещения каждой группы линз можно сделать небольшим, что позволяет создать компактную конструкцию объектива. Необходимые изменения относительного отверстия в данном случае возможно выполнять без использования сложных механизмов диафрагм.

2. Благодаря тому, что зумирование распределено между несколькими группами линз, каждая группа может иметь относительно слабое преломление, позволяя компенсировать aberrации с использованием сравнительно небольшого числа линз.

3. Так как используется несколько групп линз, возрастает степень свободы выбора оптической схемы, и для компенсации aberrаций можно использовать большее число вариантов, например разрабатывать группы линз, которые совместно нейтрализуют соответствующие aberrации (кросс-компенсация).

Для автоматической фокусировки при трансфокации в память процессора закладывается зависимость между положениями трансфокаторных и фокусирующих групп в режиме автофокусировки. Характер этой зависимости меняется при изменении расстояния до объекта, на который осуществляется фокусировка. Поэтому в процессорной памяти заложено большое, но не бесконечное количество таких зависимостей для разных расстояний до объекта. На незапрограммированном значении расстояния до объекта положение фокусирующей группы определяется интерполяцией.

При ручной фокусировке, как правило, при повороте управляющего кольца происходит не непосредственное перемещение фокусирующей группы, а изменение длины активной части реостата и соответствующее изменение режима работы двигателя, управляемого этим реостатом. Реостаты двигателя параллельно расположены, но имеют разные «мертвые» зоны, чтобы обеспечить широкий диапазон фокусировки.

В последних моделях объективов привод линз и диафрагмы находится не в корпусе видеокамеры, а непосредственно в самом объективе. Это позволяет увеличить скорость перемещения линз, уменьшить массу привода, шум при перемещении линз.

Для привода используют ультразвуковые двигатели. Они классифицируются по способу преобразования энергии колебаний в крутящий момент на три группы: стоячая волна, бегущая волна и вибрирующий язычок. В объективах сейчас используют разновидности двигателя «стоячая волна». Известны несколько вариантов конструкторских решений для таких двигателей: кольцевой USM и Micro USM (рис.4.3).

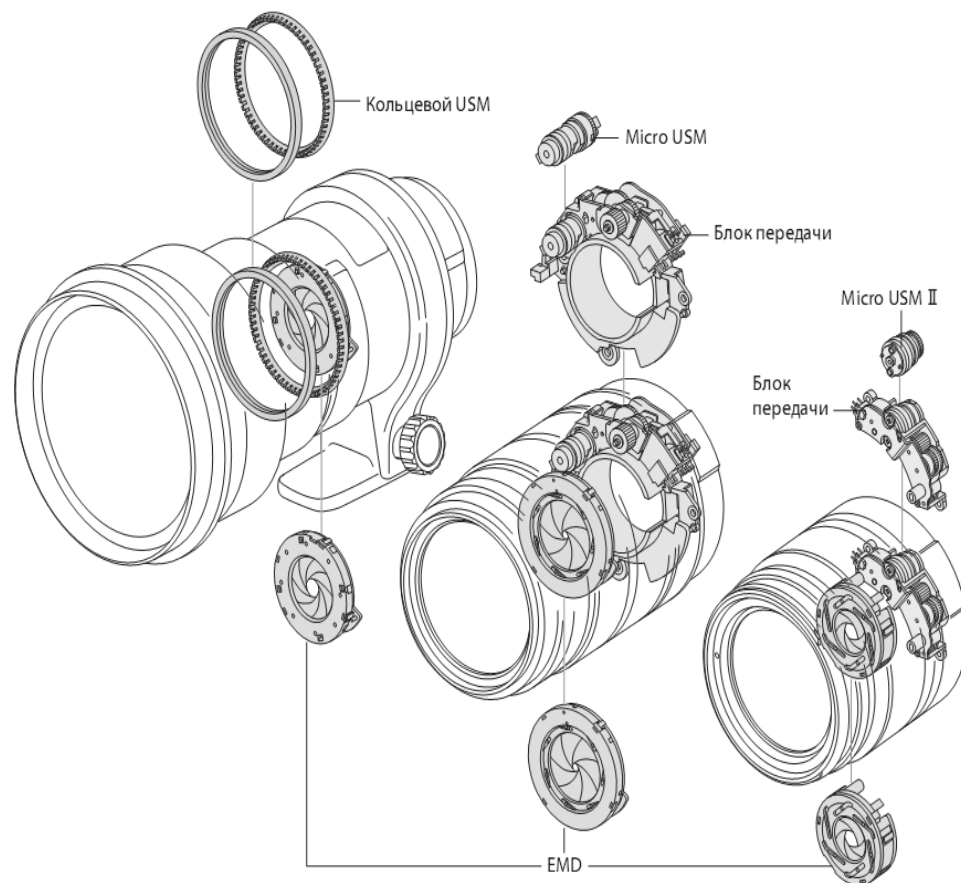


Рис.4.3. Схемы USM-двигателей [30]

В [30] приведено описание устройства и принципа работы таких двигателей. Двигатель состоит из эластичного статора и вращающегося ротора. Нижняя часть статора состоит из эластичного металлического кольца с прикрепленным к нему пьезоэлектрическим керамическим элементом, а верхняя часть состоит из множества равноотстоящих выступов с поперечным сечением трапецевидной формы. Статор изготовлен из особого материала с коэффициентом теплового расширения, близким к коэффициенту теплового расширения пьезоэлектрического керамического элемента, что минимизирует искривления кольца, возникающие при изменении температуры. Этим обеспечивается стабильная работа в широком диапазоне температур. Ротор представляет собой алюминиевое кольцо с пружиной в форме фланца в месте контакта со статором, поэтому ротор прижат к статору. Так как алюминий – довольно мягкий материал, в месте контакта ротора со статором поверхность покрыта особым износостойким материалом. Двигатель работает следующим образом. Вибрация воздействует на статором, возбуждая в нем вибрации. В статоре возникает бегущая волна. Через механический контакт движение передается ротору.

Еще одним важным достижением в конструкциях некоторых современных объективов является возможность сохранить постоянство максимального относительного отверстия при изменении фокусного

расстояния. Это позволяет сохранить постоянной освещенность матрицы при трансфокации.

4.2. Устройства и методы автоматической фокусировки при видеосъемке

По наличию или отсутствию исходящего от видеокамеры сигнала все автоматические способы фокусировки делятся на две группы: активные и пассивные. Активные предусматривают генерацию сигнала из камеры, возвращение этого сигнала назад и регистрацию изменения этого сигнала после отражения от объекта фокусировки. В качестве исходящих сигналов используются инфракрасный и ультразвуковой.

4.2.1. Активные методы автофокусировки

Инфракрасный способ От инфракрасного излучателя через линзу лучи поступают на объектив, отражаются и возвращаются через другую линзу на движущийся перпендикулярно оптической оси фотоприемник.

При движении этого приемника определяется интенсивность снимаемого с него сигнала. Когда сигнал максимален, принимается, что на приемник попало отражение от объекта. Процессор определяет, насколько сдвинулся приемник относительно базового положения и пересчитывает сдвиг приемника в расстояние до объекта, а затем в необходимое перемещение фокусирующей группы.

Способ обладает следующими недостатками.

1. Механическая и оптическая системы громоздки и массивны.
2. Способ параллаксный, то есть определение расстояния до объекта происходит из точки пространства, смещенной по отношению к объективу, из-за чего имеет место погрешность фокусировки на близких расстояниях.
3. Способ плохо работает на темных объектах и не работает вблизи постоянных источников инфракрасного излучения.

Максимальное расстояние автофокусировки этим способом составляет 10-15 метров.

Ультразвуковой способ На объект фокусировки направляется ультразвуковой излучатель-приемник. Измеряется время излучения от первого импульса до его возвращения от объекта. Измерения производятся высокочастотным генератором прямоугольных импульсов. Рассчитывается количество этих импульсов за время ухода – прихода сигнала и умножается на период следования этих импульсов. После определения времени ухода – прихода импульса процессор умножает это время на скорость ультразвука в данной среде, делит пополам, и определяется расстояние до объекта. Часть объектива смещается на рассчитываемое процессором расстояние.

Способ обладает следующими недостатками.

1. Невозможность фокусирования через прозрачные преграды.
2. Расходящийся ультразвуковой пучок может «зацепить» не только точку фокусировки, но и объекты, находящиеся на других расстояниях, то есть возможна фокусировка на другом объекте.

4.2.2. Пассивные методы автофокусировки

SST Лучи от фокусирующего объекта попадают на два зеркала, отражаются на две грани отражающей призмы и на дополнительной матрице возникает раздвоенное изображение объекта. Расстояние между этими изображениями по законам геометрии пропорционально расстоянию до объекта. Процессор производит пересчет расстояния между раздвоенными элементами расстояния до объекта, в необходимое перемещение фокусирующей группы линз и система управления передает в двигатель соответствующую команду.

Способ обладает следующими недостатками.

1. Так как фокусировка осуществляется не через основной объектив, имеет место большая погрешность на малых расстояниях до объекта из-за параллакса.

2. Способ не чувствителен для малоконтрастных объектов (не хватает чувствительности матрицы для обнаружения раздвоенного объекта).

TCL Изображение строится одновременно в плоскости основной матрицы и плоскости вспомогательной матрицы, имеющие необычную структуру. Вспомогательная матрица состоит из 24 микролинз, за каждым элементом. Левые выходы ПЗС сенсоров собраны в первый электрический канал, правые - во второй. Если изображение на вспомогательной матрице (и на основной) резкое, то освещенности на левых и правых сенсоров микролинз одинаковы. Сигналы с первой группы сенсоров равны сигналам со второй группы сенсоров, и не происходит перемещение фокусирующей линзы. Если изображение на матрицах не резкое, то сигналы с левой и правой группы сенсоров разные в двух каналах, наличие этой разности инициирует сигнал в системе управления для перемещения двигателя. 70% света попадает на основную матрицу, 30% - на вспомогательную.

Способ обладает следующими недостатками.

1. Отсутствуют недостатки, связанные с параллаксом, но слабо работает на малоконтрастных объектах.

2. Метод не работает для вертикальной регулировки структуры («расческа»). Недостаток устраняется изменением ориентации элементов за микролинзой.

TTL Способ не требует дополнительных оптических и электрических элементов. Используется только программное обеспечение.

Сканируется сигнал с матрицы и процессор рассчитывает его АЧХ. При перемещении объектива АЧХ объекта на матрице изменяется. Если изображение резко сфокусировано, то амплитуда высокочастотной составляющей максимальна. Если изображение не резкое, амплитуда мала.

Процессор сравнивает амплитуды для разных положений фокусирующей линзы и определяет такое положение линзы, при котором амплитуда максимальна. В результате определяется максимальное положение фокусирующей группы.

Способ обладает следующим недостатком.

Фокусировка не эффективна при отсутствии высокочастотных составляющих в сигнале, то есть при отсутствии мелких элементов, а также при низком контрасте крупных составляющих сигнала.

Процесс автофокусировки включает несколько фаз.

Фаза старта – изображение с фокусного расстояния на бесконечное. Датчик определяет расстояние перемещения фокусной группы. Скорость обработки операции велика.

Фаза возврата – если фокусировка начала ухудшаться, то направление движения фокусирующей линзы меняется на противоположное.

Медленный поиск – снижение скорости, чтобы не проскочить оптимальное положение фокусирующей линзы.

Сверхмедленный поиск – переход к остановке либо другой фазе в зависимости от показаний датчика.

Сверхбыстрый поиск – переход к ней при новом объекте фокусировки или масштабировании (зум).

Фаза фокусировки при использовании операции зум – выполняется предыдущая фаза до остановки.

4.3. Матрицы

Существует 3 типа цифровых матриц: ПЗС (CCD); КМОП (CMOS); liv CMOS.

Известны три типа преобразователей свет-сигнал.

1. Светочувствительные фотоматериалы (пленки и пластины) с покрытием галогенида серебра. Этот элемент совмещает две функции: преобразование «свет-сигнал» и хранение информации.
2. Электронно-оптическая мишень (ЭОМ) – аналоговый преобразователь «свет-сигнал».
3. Цифровые матрицы преобразуют оптического изображения в совокупность дискретных последовательных электрических импульсов в дискретные электрические заряды.

К основным характеристикам матрицы относятся: расположение пикселя (ортогональное, треугольное, соты), отношение сигнал-шум, динамический диапазон.

Отношение сигнал-шум – отношение усреднённого сигнала к усреднённому значению шума. Чем больше пиксель матрицы (или ячейки), тем выше отношение сигнал-шум.

Фотографическая широта – диапазон экспозиций светочувствительного материала (фотоплёнки матрицы), которому соответствует однозначная

зависимость между входной экспозицией H и выходным сигналом q . У плёнок этот диапазон велик (рис. 4.4).

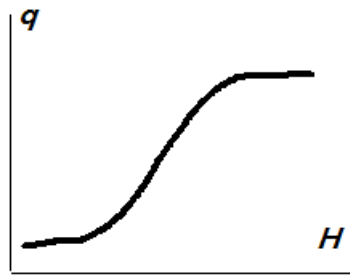


Рисунок 4.4. Зависимость между входной экспозицией H и выходным сигналом q

У цифровых матриц, кроме матриц Фуджифильм 4-го поколения, этот диапазон мал (рис. 4.5).

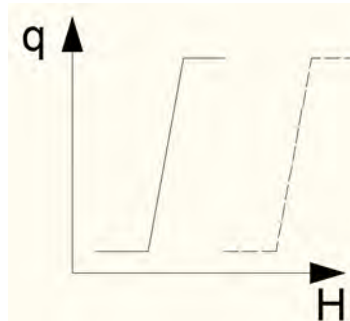


Рис. 4.5. Зависимость между входной экспозицией H и выходным сигналом q для цифровых матриц

Экспозиция H – это количество световой энергии, упавшей на светочувствительный материал в течение времени. Она пропорциональна средней освещенности во времени и времени экспонирования материала.

Существует 3 типа цифровых матриц: ПЗС (CCD); КМОП (CMOS); liv CMOS.

ПЗС – матрицы Ячейка ПЗС - матрицы представлена на рис. 4.6.

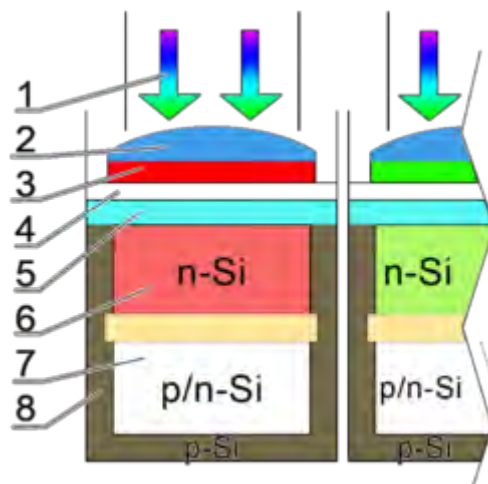


Рисунок 4.6. Схема субпикселей ПЗС-матрицы с карманом n-типа (на примере красного фотодетектора); 1 - падающий свет; 2 - микролинза; 3 – светофильтр; 4 - прозрачный электрод (поликристаллический кремний или состав индия и оксида олова); 5 - защитная пластина (оксид кремния); 6 - зона генерации носителя (кремниевый канал n-типа); 7 - зона потенциальной ямы, где собираются элементы из зоны генерации носителей; 8 - кремневая подложка p-типа.

Передача заряда со накопительной ячейки на ячейку сброса заряда происходит под воздействием напряжения подаваемого на электроды ячейки, а также под воздействием того же напряжения происходит движение зарядов по вертикальным регистрам ячеек сброса.

Заряд, образованный на накопительных ячейках матрицы, одновременно сбрасывается в ячейки сброса. Первые начинают накапливать заряд для нового кадра, а вторые по алгоритму в это время сбрасывают заряды матрицы в одномерный канал обработки сигнала.

В вертикальном регистре (рис. 4.7) происходит смещение заряда на одну ячейку вниз (по команде процессора). Таким образом заполняется горизонтальный регистр. Информация из последнего подается в канал обработки сигналов. Затем Происходит следующий сдвиг зарядов в вертикальных регистрах, и снова освобождается заполненный горизонтальный регистр и т.д.

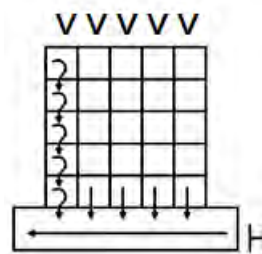


Рис.4.7. Схема перемещения зарядов в ПЗС - матрице

Основной недостаток ПЗС – матрицы: при таком алгоритме медленный сброс зарядов. Электроды занимают 30% поля ячейки.

Матрица с ортогональным расположением элементов (Байера) представлена на рис. 4.8.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| К | З | С | З | К |
| С | З | К | З | С |
| К | З | С | З | К |
| С | З | К | З | С |
| К | З | С | З | К |

Рис. 4.8. Матрица Байера: К – красный сетофильтр, С - синий, З – зеленый

При таком традиционном расположении светофильтров разрешение зеленого цвета по горизонтали в два раза больше, чем разрешение синего и красного. По вертикали такое же соотношение разрешений, но общее разрешение в два раза выше. Форма пикселя ПЗС – квадрат или прямоугольник с соотношением сторон 4:3.

КМОП - матрица В КМОП - матрице используется полевые транзисторы с изолированным затвором и каналами (рис. 4.9).

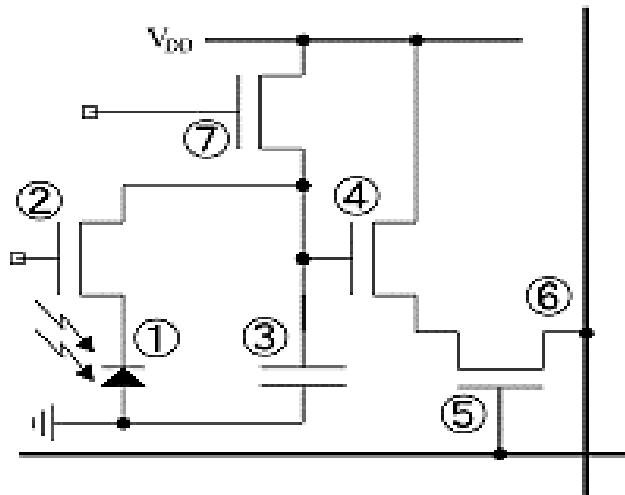


Рис. 4.9. Эквивалентная схема ячейки КМОП-матрицы: 1 — светочувствительный элемент (диод); 2 — затвор; 3 — конденсатор, сохраняющий заряд с диода; 4 — усилитель; 5 — шина выбора строки; 6 — вертикальная шина, передающая сигнал процессору; 7 — сигнал сброса

После накопления заряда светочувствительный элемент 1 затвор замыкает электрическую цепь ячейки, на конденсаторах 3 накапливается заряд пропорционально освещенности ячейки 1. При срабатывании сброса 7 заряд через усилитель 4 попадает на шину 6 и в процессор. Процессор в случае необходимости записи определяет строки, замыкает затвор выбора строки 3 и происходит передача заряда одновременно с информацией кодированной ячейки, с которой был снят заряд.

Этот тип матрицы обладает следующими достоинствами:

1. Низкое потребление электроэнергии в статическом состоянии.
2. Технология одинаковая с другими цифровыми элементами камеры, что позволяет разместить электронику пикселей в одном месте всей камеры. Отсюда следует возможность минимизировать аппаратуру.
3. Можно считывать выбранные группы пикселей. Растет оперативность работы с изображением.
4. Так как усилитель может располагаться в любом месте цепи прохождения сигнала, то возможно усиливать чувствительность при малой освещенности. Сравнительно высокое качество по показателю «сигнал-шум».

5. Коэффициент усиления каждой цветовой ячейки (к, с, з) можно регулировать индивидуально, т.е. возможно улучшение качества цветопередачи.

Матрице присущи следующие недостатки.

1. Площадь светочувствительного элемента пропорциональна чувствительности, а первая площадь светочувствительной части в первых моделях матрицы была мала, поэтому первые модели были менее чувствительными, чем ПЗС – матрицы.
2. У каждого пикселя своя электрическая цепь, и, вследствие некоторого разброса параметров электрических элементов, у каждого пикселя своя зависимость между экспозицией и выходным зарядом (эта зависимость называется характеристической кривой). Такой разброс характеристических кривых вызывает шум на картинке.
3. Наличие большого количества электрических элементов вызывает возможность перегрева матрицы и возможность возникновения теплового шума.

Live-MOS матрица Live-MOS матрица – усовершенствованная КМОП матрица.

Отличия от последней заключаются в следующем.

1. Малое расстояние между диодом и микролинзой, растёт светочувствительность за счёт широкого захвата лучей, падающих на каждую ячейку.
2. Упрощена передача сигнала, из-за чего выросла скорость сборки данных.
3. Вместо трёх управляющих сигналов как у КМОП, два как у ПЗС. Меньше места занимает электроника, больше места занимает светочувствительная поверхность.
4. Усилитель имеет низкий уровень шума.
5. Низковольтное питание уменьшает перегрев и шум.

Матрица Fujifilm 3-го поколения В матрицах Fujifilm 3-го поколения (рис.4.10) пиксели имеют восьмиугольную форму. Это сделано для увеличения плотности расположения пикселей на матрице. Кроме увеличения разрешения (число пикселей на мм), повышено также качество относительно искажений первого рода в цвете (уменьшается цветной муар-эффект).

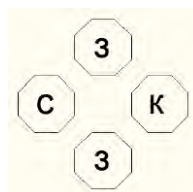


Рис. 4.10. Схема матрицы Fujifilm 3-го поколения

Матрица Fujifilm 4-го поколения Матрица Fujifilm 4-го поколения (рис.4.11) имеет два отличия от матрицы 3-го поколения:

1. Меньший размер ячейки при сохранении прежней светочувствительности.
2. В каждой «соте» расположены два пикселя: большой сильно чувствительный и малый слабо чувствительный.

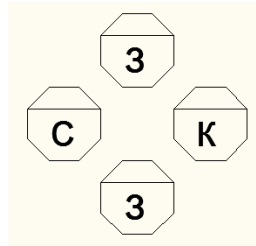


Рис.4.11. Матрица Fujifilm 4-го поколения

На основе этой архитектуры существуют две разновидности 4-го поколения:

1. Fujifilm Super CCD – HR с высоким разрешением.
2. Fujifilm Super CCD – SR с широким динамическим диапазоном.

Модели различаются не архитектурой, а обработкой сигнала. В матрицах первого типа (HR) сигнал с каждого пикселя снимается отдельно и обрабатывается отдельно. Поэтому разрешение матрицы увеличивается вдвое, по сравнению с числом сотов. На фотографии видны мелкие детали.

На рис. 4.12 представлена зависимость между входной экспозицией и выходным сигналом для обычной цифровой матрицы (а) и для матрицы Fujifilm 4-го поколения (б).

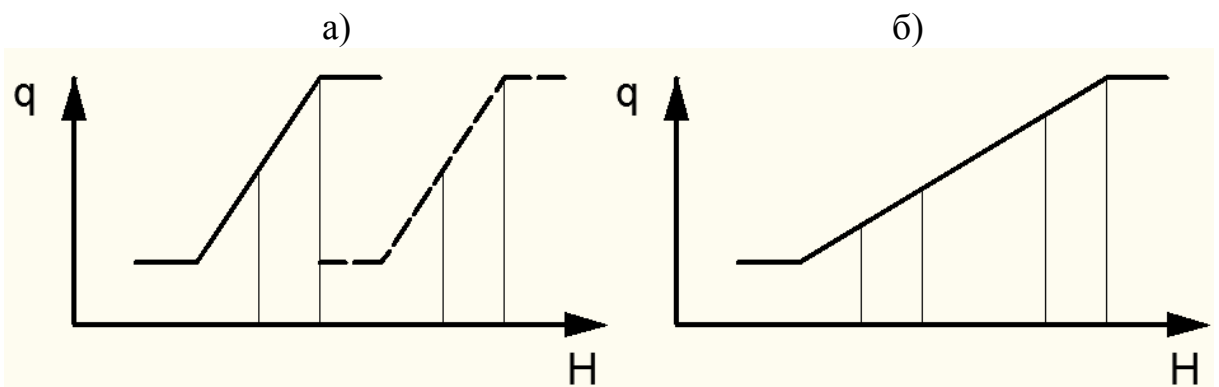


Рис.4.12. Зависимость между входной экспозицией и выходным сигналом для обычной цифровой матрицы (а) и для матрицы Fujifilm 4-го поколения (б)

Во второй разновидности матрицы 4-го поколения сигналы с большим и малым пикселем одной ячейки суммируются в общий канал (рис. 4.13).

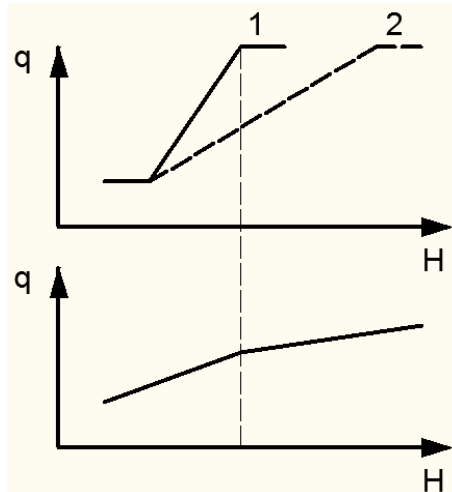


Рис. 4.13. Зависимость между входной экспозицией и выходным сигналом для матрицы Fujifilm Super CCD – SR (1 – для большого пикселя, 2 – для малого пикселя, нижний график – суммарный сигнал обоих пикселей)

За счет сложения сигналов с различным расположением возрастающего участка зависимости между входным сигналом (экспозицией) и выходным (зарядом из матрицы) можно качественно записать очень яркие и очень темные детали.

Матрица Fujifilm EXR Схема матрицы Fujifilm EXR представлена на рисунке 4.14. Матрица обеспечивает три различных режима работы.

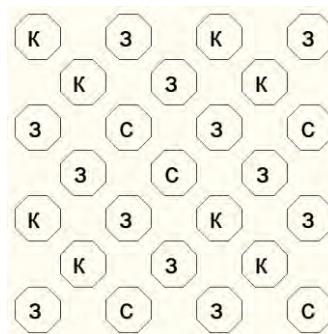


Рис. 4.14. Матрица Fujifilm EXR

Первый режим работы - увеличение динамического диапазона. Одновременно делаются два снимка: с большей и меньшей чувствительностью, которые в дальнейшем объединяются в один снимок. Ячейки все одинаково крупные. Отсюда следует, что качество снимков выше,

чем в матрицах 4-го поколения второй модели. Половина пикселей обрабатывается в режиме высокой чувствительности для темных участков изображения. Вторая половина обрабатывается в режиме низкой светочувствительности для светлых участков. Информация складывается в общем изображении, где происходит синтез картины с проработкой деталей в ярких и темных местах.

Второй режим работы - увеличение отношения сигнал-шум при высокой чувствительности (работает в темноте). Происходит объединение сигнала с 2-х соседних ячеек в общий сигнал. Сохраняется высокое соотношение «сигнал-шум». Так как две соседние ячейки расположены по диагонали ближе, чем в матрицах Байера, то изображение дополнительно имеет неплохое разрешение и меньшие искажения (цветной муар-эффект).

Третий режим работы - режим высокого разрешения. Каждая ячейка посылает отдельный сигнал, и он обрабатывается отдельно. Динамический диапазон невелик, но разрешение высокое.

Матрицы Foveon Матрица представляет из себя «колодец», в котором три пикселя расположены один над другим, причем они являются прозрачными для света и одновременно окрашены, чтобы выполнить функцию светофильтров. Используется в фотоаппаратах Sigma

Этот тип матрицы обладает следующими достоинствами:

1. Высокое разрешение.
2. Вследствие этого муар-эффект имеет место для более мелких предметов, чем в обычных матрицах.

Матрице присущ следующий недостаток - сложная конструкция матрицы.

4.4. Ирисовая диафрагма

Качество изображения по светопередаче определяется экспозицией H матрицы:

$$H = E \cdot t,$$

E – освещенность,

t – длительность экспонирования (выдержка).

Освещенность матрицы определяется работой диафрагмы, конструктивно ограничивающей отверстие для прохождения светового потока в объективе. В режиме автоматики по умолчанию выдержка постоянна (1/50 с), а диафрагма регулируется так, чтобы освещенность давала оптимальную, сохраненную в процессоре для каждой светочувствительности, экспозицию $H_{\text{опт}}$ (рис. 4.15).

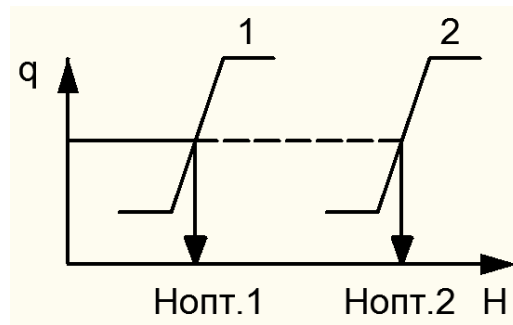


Рис. 4.15. Зависимости между входной экспозицией H и выходным сигналом q для режимов работы матрицы с разными светочувствительностями

При ручной установке экспозиции процессор отключают, и оператор сам выбирает размер отверстия диафрагмы при заданной выдержке либо при выдержке, заданной самим оператором.

При ручной установке ирисовой диафрагмы сигнал о среднем уровне яркости поступает на вход операционного усилителя и блокируется в случае ручной установки. На первый вход операционного усилителя подается сигнал с резистора ручной установки (информация требуемого отверстия диафрагмы). На второй вход подается информация о существующем отверстии диафрагмы. Оно определяется с помощью датчика Холла, который расположен рядом с магнитным элементом лепестка диафрагмы.

При автоматической установке ирисовой диафрагмы сигнал после матрицы усиливается, выбирается его максимальное значение через эмиттерный повторитель (используется для согласования сопротивлений), подается на один из входов операционного усилителя. На второй вход подается сигнал об оптимальной экспозиции матрицы, переменное сопротивление перед этими входами информирует о светочувствительности матрицы. Если сигнал на входе не равен оптимальной экспозиции, усилитель изменяет значение тока, и катушка индуктивности через сердечник поворачивает диафрагму на такое значение угла поворота, который выравнивает действительную экспозицию с оптимальной, после чего на выходе усилителя сигнал становится равным нулю. Тормозящая катушка вырабатывает ЭДС противоположный по значению, препятствуя вибрации лепестков диафрагмы при низком значении освещенности.

На практике часто встречаются сложные условия освещенности, в том числе съемка во встречном свете (лучи направлены на матрицу). За счет процесса обработки поле матрицы делится на несколько участков. Процессор, исходя из заданного алгоритма (например сюжетно важный объект в центре кадра), определяет оптимальную экспозицию не по средней освещенности матрицы, а по среднему участку, где находится сюжетно важный объект.

Если освещенность кадра ниже пороговой (порог на первом входе операционного усилителя устанавливается регуляцией переменного резистора), включается **усилитель слабого света**. Сигнал, прошедший

пиковый детектор, эмиттерный повторитель (для согласования выходного сопротивления в последующей цепи) и фильтр низких частот, попадает на второй вход усилителя, который вырабатывает следующие команды: поставить диафрагму на максимум; отключить цветокоррекцию (баланс белого); максимально возможно усилить сигнал.

4.6. Баланс белого (ББ)

Цвет любого объекта является функцией двух составляющих: спектрального коэффициента отражающей поверхности объекта, который определяется химическим составом поверхности, спектрального состава, падающего на объект цвета.

Принято, что если белый цвет воспроизводится как белый на экране, то и остальные цвета воспроизводятся в правильной тональности. Из-за несовершенство источников освещения при видеосъемке, объекты съемки, в том числе и белые, за счет освещенности могут иметь немного другую окраску.

Операции по установке правильной цветопередачи в камере называется балансом белого. Функцией системы ББ является установление параметров обработки сигналов цветности с целью воспроизведения истинного цвета всех объектов.

Существует два метода установки ББ: автоматический (АББ) и ручной.

Алгоритм АББ заключается в следующем. В памяти процессора заложены коэффициенты усиления для каждого сигнала цветности при передаче белого цвета. В процессоре заложен постулат, что при смешении цветов всех изображений, попавших в кадр, образуется белый цвет. Чтобы приблизить это утверждение ближе к истине, происходит автоматическое изменение фокусного расстояния объектива до минимального фокусного расстояния (самый широкий угол поля зрения). В этом случае в кадре подается максимально возможное число объектов и большая вероятность, что средний цвет этого кадра действительно белый. После установки АББ фокусное расстояние возвращается к значению, заказанному пользователем.

Если освещение не вносит искажения белого цвета, то коэффициенты усиления цвета должны иметь заложенные в памяти значения. Если же значения не совпадают, то причиной этого является спектральный состав источника освещения. В этом случае процессор производит коррекцию коэффициентов усиления в каналах цветности.

Недостаток АББ - невозможность корректировать ошибку при наличии в кадре больших цветных объектов. При этом сумма всех цветов в кадре фактически не эквивалента белому цвету даже при корректном освещении, а процессор принимает решение, что причиной отклонения значений сигналов цветности является не наличие больших цветных объектов, а спектральный состав источника излучения, и не корректно изменяет коэффициенты усиления сигналов цветности.

Для ручной установки ББ на объектив надевают полупрозрачный белый колпачок или перед камерой помещают белый или серый лист, заполняя весь кадр изображением белого или серого. Коэффициент усиления от красного, синего, зеленого процессор сравнивает с коэффициентом усиления этих сигналов записанных в память, как если бы лист освещался белым светом. Если какой-нибудь коэффициент усиления не совпадает с полученным при ручной настройке, то процессор меняет коэффициент усиления не соответствующий до уравнивания его с записанным в процессор. В результате обеспечивается воспроизведения белого (серого) цвета при различном спектральном составе освещения, как белый (серый). При этом все остальные цвета тоже воспроизводятся корректно.

К недостатку способа следует отнести необходимость ручной перенастройки при изменении спектрального состава излучения.

4.7. Система стабилизации изображения

Нестабильное положение кадра при воспроизведении может быть обусловлено следующими причинами:

1. Перемещение видеокамеры за счет естественного тремора рук оператора. Максимальная частота колебаний в этом случае не более 15 Гц.
2. Перемещение видеокамеры за счет движения транспорта с операторам.
3. Перемещение видеокамеры за счет совместному перемещения транспорта и тремора рук оператора в совокупности

Существуют два способа стабилизации: оптический и электронный.

Оптический метод имеет 4 разновидности.

1. *Стабилизация с шарнирной подвеской* На подвеске установлен объектив, жестко закрепленный с матрицей, и подвеска колеблется в противофазе общей тряске матрицы (рис.4.16). Так как метод предусматривал вибрации больших масс, он оказался бесперспективным (требует больших затрат энергии).

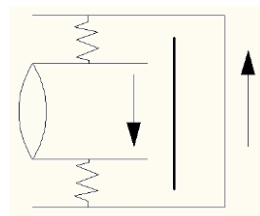


Рис. 4.16. Стабилизация с шарнирной подвеской

2. *Стабилизация перемещением элемента объектива* Перемещающаяся масса меньше, чем в предыдущем случае. Необходимо введение дополнительного двигателя и системы управления (рис. 4.17).

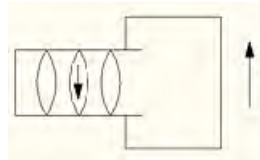


Рис. 4.17. Метод стабилизации перемещением элемента объектива

3. *Стабилизация с перемещением матрицы* Матрица колеблется в противофазе движению камеры. Вибрационная масса невелика, но требуется высокая точность перемещения. Это самый прогрессивный способ оптической стабилизации (рис. 4.18).

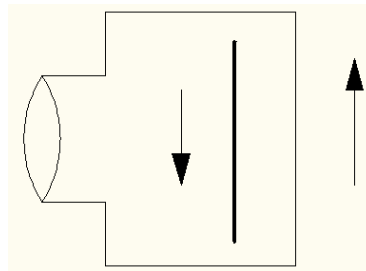


Рис. 4.18. Стабилизация с перемещением матрицы

4. *Стабилизация с активной призмой* При необходимости стабилизации на объект помещается призма, состоящая из двух стеклянных пластинок-призм, соединенные гибкими мехами (гармошкой). Внутри гармошки силикон с коэффициентом преломления 1,33. Обе призмы за счет гармошки имеют 6 степеней свободы. При наличии сигнала датчика вибраций стеклянные пластинки по команде процессора поворачиваются таким образом, что оптическая ось системы «призма-объектив» ломается, и изображение остается неподвижным относительно матрицы. Система громоздка (около 1,6 кг), требует аккумуляторного питания 12 В, но удобна возможность ее оперативного удаления.

Для измерения вибраций видеокамеры используется треугольная призма. На одном ее конце на нижней грани установлен пьезогенератор для создания вертикальных вибраций с частотой 25 кГц, на двух других гранях - 2 измерительных пьезоэлемента. Такая же комбинация их трех пьезоэлементов располагается и на другом конце призмы.

При отсутствии вибрации камеры колебания пьезогенератора с частотой 25 кГц вызывает одинаковые вибрации на двух пьезодатчиках. В операционный усилитель идут одинаковые сигналы, и перемещение элементов стабилизации в камере отсутствует. Если камера вибрирует с частотой ниже 25 Гц, сигналы модулируют несущую 25 кГц на двух датчиках не одинаково, так как низкочастотные вибрации не строго вертикальны. На операционный усилитель поступают не равные сигналы. Процессор по ним

определяет все 6 составляющих пространственного перемещения камеры (три линейных и три поворота), и посылает команду на перемещение элементов стабилизации.

5. ДИСПЛЕИ

Дисплей преобразует цифровой сигнал в изменение яркости и цветности излучающих элементов, либо в изменение коэффициента отражения элементов.

5.1. Жидкокристаллические (ЖК) дисплеи

Ячейка содержит два поляроида, у которых оси поляризации перпендикулярны (вертикальны и горизонтальны). Между ними расположено ЖК-вещество, которое за счет закрученности своих молекул по винтовой линии поворачивает ось поляризации проходящего излучения на 90^0 . Поэтому в выключенном состоянии свет проходит через оба поляризатора. При подаче напряжения на ячейку молекулы ЖК-вещества распрямляются, и в результате ось поляризации излучения не изменяется, и поляризованный свет не проходит через второй поляроид с перпендикулярной поляризацией.

К недостаткам этого дисплея следует отнести следующие.

Даже в случае выключенной ячейки, когда свет проходит, то за счет процесса поляризации на входе теряется 50% световой энергии, превращаясь в тепло. Чтобы эти потери не происходили после источника света ставят конвектор, который из S-поляризации делает P-поляризацию, и весь свет входит в первый поляроид.

Первые ЖК-ячейки (TN) характеризовались отсутствием абсолютного черного цвета, так как черный цвет образовывался при подаче на ячейку напряжения и молекулы раскручивались. Молекулы раскручивались по-разному, из-за чего полное запираение ячейки не происходило.

Чтобы ликвидировать эти недостатки, был предложен IPS-пиксель, где оси поляроидов не перпендикулярны, а параллельны, поэтому в выключенном состоянии скручивающие молекулы поворачивали свет на 90^0 и он не проходил через ячейку. Получался сочный черный цвет. Во включенном состоянии напряжение выпрямляет (раскручивает молекулу) и в результате происходит пропускание света ячейкой.

5.2. Дисплей «крыло бабочки» (iridigm)

Дисплей (рис.5.1) состоит из трех типов пикселей. В каждом типе есть верхняя неподвижная поверхность и нижняя отражающая поверхность (подвижная). Если нижняя поверхность поднялась и соединилась с верхней, пиксель не отражает цвет (черный). Если нижняя поверхность удалена от верхней, то падающие и отраженные световые волны складываются. Три значения расстояния между двумя поверхностями в раздвинутом состоянии подобраны так, чтобы не происходило вычитание соответственно красных, синих и зеленых излучений соответственно для каждого расстояния. Перемещение нижней поверхности осуществляется подачей напряжения

между нижней и верхней поверхностями. Расстояние между обкладками, на которые подается напряжение, меньше одного микрометра. Возможные размеры пикселей 10-100 мкм.

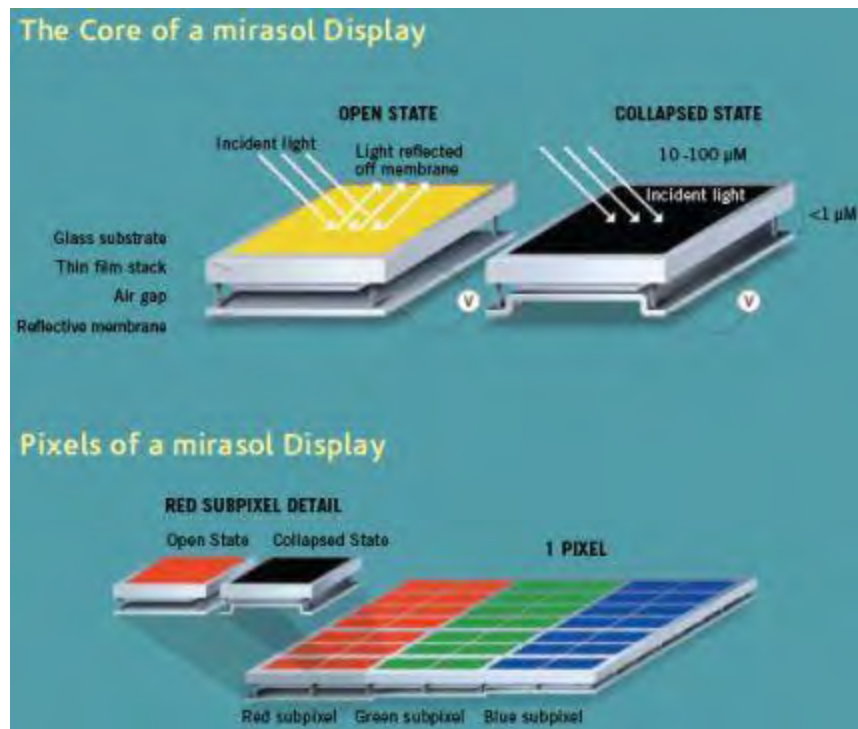


Рис.5.1. Устройство дисплея «крыло бабочки»

5.3. Плазменные панели

Каждый пиксель представляет собой колбу, в которой расположены три электрода. Поверхность колбы покрыта люминофором разных цветов. При подаче напряжения на управляющий электрод и на два базовых возникает плазма, то есть возникает поток электронов и ионов, сопровождаемый выделением ультрафиолетового излучения. Ультрафиолетовое излучение возбуждает люминофор. Он начинает светиться. Напряжение на ячейках несколько киловольт.

Имеет следующие недостатки: Большой расход энергии, достаточно крупные ячейки. Кроме того, только 98% ультрафиолета задерживается защитным экраном, и при ультрафиолетовом излучении образуется озон, опасный для здоровья. В настоящее время применяются вне помещений, т.к. обеспечивают большую яркость и контрастность.

5.4. Светодиодные экраны

Пикселями являются светодиоды. Экран собирается из отдельных модулей (рис. 5.2), например размером 0,8x0,8 м, каждый из которых управляется индивидуально. Модули могут быть информационно соединены с сетью. Возможна регулировка параметров изображения: яркости, контраста, баланса белого, а также ручная и автоматическая регулировка параметров в

зависимости от внешней освещенности. Так как пиксели достаточно крупные, дисплеи используются в больших помещениях.

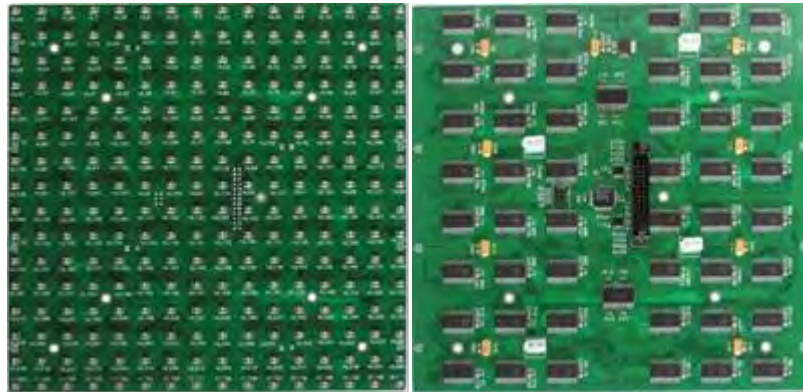


Рис. 5.2. Лицевая и задняя поверхности модуля светодиодного экрана

5.5. OLED-дисплеи

Organic light-emitting diode (OLED) - это полупроводниковый прибор (рис.5.3), созданный на основе органических соединений, которые при пропускании электрического тока излучают видимый свет [31].

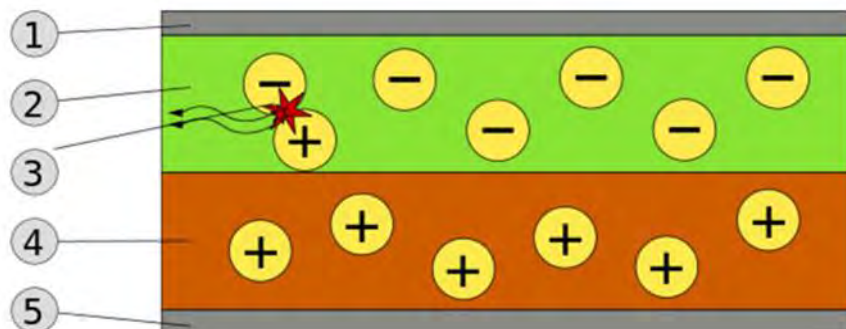


Рис.5.3. Схема двухслойной OLED-панели: 1 - катод, 2 - эмиссионный слой, 3 - испускаемое излучение, 4 – проводящий слой, 5 – анод [31]

Два полимерных слоя находятся между электродами (анодом и катодом), на которые подают напряжение соответствующей полярности. При этом верхний (эмиссионный) слой наполняется электронами, испускаемыми катодом, которые устремляются к границе с нижним (проводящим) слоем. Одновременно с этим проводящий слой получает положительный заряд от анода, направляя дырки к границе с верхним слоем. Граница двух полимеров напоминает р-п-переход обычного полупроводника, где происходит процесс рекомбинации. Но в данном случае заряженные частицы рекомбинируют в эмиссионном слое, что достигается за счет большей скорости дырок в

органических структурах. Так же как и в обычных светодиодах, потеря энергии электроном сопровождается эмиссией фотонов в видимом волновом спектре. По этой причине верхний слой назван эмиссионным. Органический светодиод излучает свет только при соблюдении полярности питающего напряжения. Если к электродам приложить обратное напряжение, то электроны и дырки рекомбинировать не будут. Материалом для анода, как правило, служит плёнка из прозрачного оксида индия, а для катода – из алюминия или кальция.

Органические светодиоды самостоятельно излучают свет и для формирования изображения им не нужен дополнительный источник света. Другими важными преимуществами являются их прозрачность и гибкость (рис. 5.4). К недостаткам можно отнести эффект выжигания экрана, который возникает за счёт длительного отображения статического изображения.



Рис. 5.4. OLED- дисплеи

5.6. Дисплеи работающие в отраженном свете

Принцип действия таких дисплеев заключается в изменении цвета пигмента пикселя. Существует два варианта устройств.

В первом случае используется принцип поворачивающейся ячейки (рис.5.5). Ячейка имеет вид бусинки, у которой одна половина белая, вторая черная.

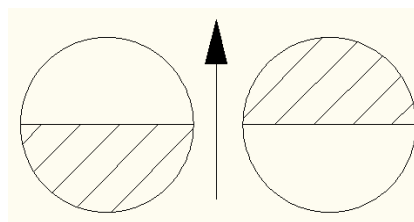


Рис.5.5. Поворачивающаяся ячейка

Каждая ячейка поворачивается под воздействием небольшого электрического поля, и цвет пикселя меняется от черного до белого при повороте.

Второй вариант ячейки предусматривает наличие темных частиц пигмента внутри пикселя (рис.5.6). Под действием электрического поля частицы пигмента могут перемещаться на дно ячейки или вверх.

Дисплеи обладают низким электропотреблением, но являются инерционными.

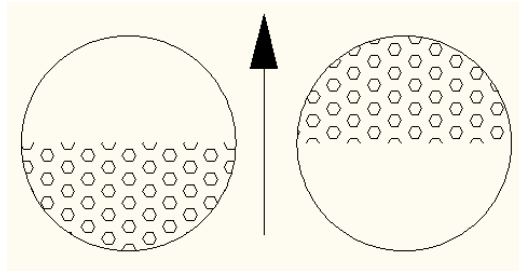


Рис. 5.5. Перемещающийся пигмент в неподвижной ячейке

6. ВИДЕОПРОЕКТОРЫ

Видеопроектор преобразует цифровой сигнал в отраженное световое излучение, сформированное матрицей и проецируемое на экран объективом. В видеопроекторах используются обычные и зеркальные ЖК-матрицы, а также микро-зеркальные матрицы. Существует два основных типа видеопроекторов на основе ЖК-матрицы и DLP-матрицы

6.1. ЖК-проекторы

6.1.1 ЖК-проекторы с модуляцией пропускаемого светового потока (LCD)

Для сопряжения круглого тела излучения и прямоугольной матрицы используются отражатели 1 (рис. 6.1) специальной формы, превращающие круглое тело свечения в прямоугольное световое пятно. Первый узел, содержащий фильтры, поляризаторы 2, 3, 4 выполняет охлаждение, конвертирование неполяризованного света в поляризованный с целью увеличения яркости экрана и КПД проектора. Световой поток делится полупрозрачными зеркалами 4, 5 на три части. Каждая часть проходит через свой светофильтр 7 и отражаясь от зеркал 6, поступает на ЖК-матрицы 8, где создается красно, синее и зеленое изображения. Три световых потока складываются с помощью дихроичной призмы 9. Объектив оптически сопряжен с каждой матрицей и строит ее изображение в плоскости экрана 10.

Чтобы побольше света падало на каждый пиксель, перед ним располагают маленькую линзу, увеличивающую угол захвата светового луча. Проекторы могут управляться с помощью карты памяти и дистанционно.

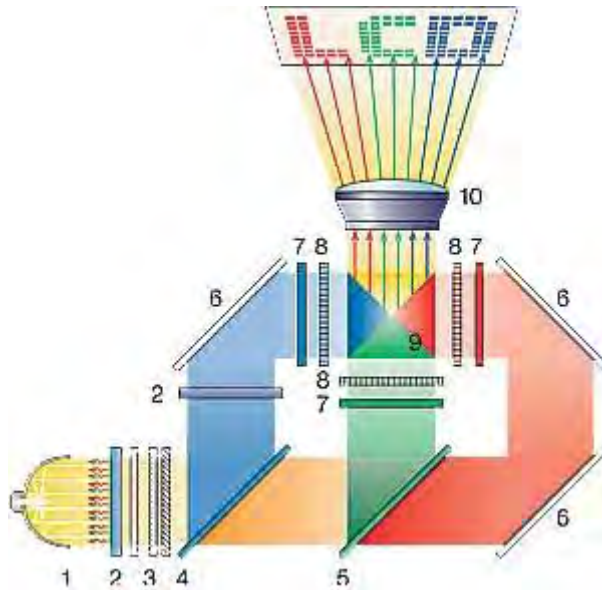


Рис.6.1. Оптическая схема LCD-проектора

6.1.2 ЖК-проекторы с модуляцией отражаемого светового потока (D-ILA)

В этом типе дисплея излучение дважды проходит через оптическую матрицу, отражаясь через ее зеркальную подложку (рис.6.2).

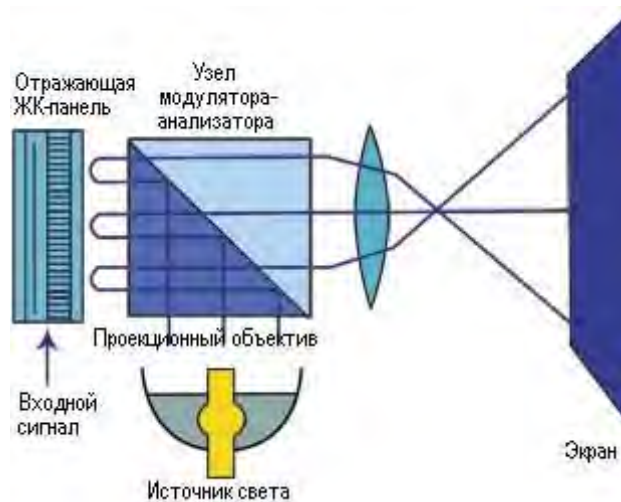


Рисунок 6.2. Оптическая схема одного канала D-ILA

Световое излучение от источника поляризуется на полупрозрачном зеркале, часть светового потока поступает на матрицу, пиксели которой в зависимости от состояния ЖК отражают либо не отражают излучение обратно к зеркалу. Прошедший через полупрозрачное зеркало световой поток с матрицы проецируется объективом на экран, где формируется изображение с матрицы. В проекторах LCOS используется три зеркальных матрицы, но каждая из трех матриц формирует пиксели своего цвета.

6.2. DLP-проекторы (микрзеркальные проекторы)

Матрицей является совокупность маленьких зеркал, которые могут поворачиваться на небольшой ($\pm 10^0 \dots \pm 15^0$) за счет пьезоэлементов. Если надо получить белый цвет, зеркало проецирует на экране отраженный фрагмент источника света. Если надо получить черный цвет, зеркало поворачивается, направляя свет в специальную световую ловушку. Для получения серого оттенка зеркало поворачивают несколько раз в течение проекции кадра, чтобы получить требуемую интенсивность серого. Для получения цветного изображения существует два метода.

Первый метод (рис.6.3) заключается в следующем.

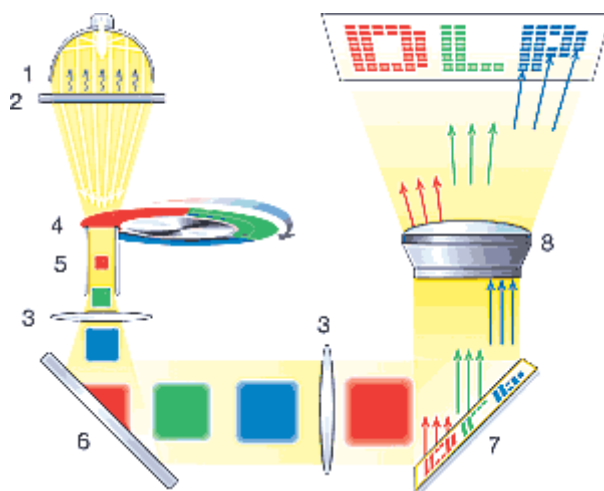


Рис.6.3. Оптическая схема DLP-проектора с одним DMD-модулятором: 1 — источник света; 2 — УФ-фильтр; 3 — конденсор; 4 — вращающийся диск; 5 — диафрагма; 6 — зеркало; 7 — микрзеркальная матрица; 8 — объектив

Цвет получается за счет проекции вращающегося с утроенной частотой диска с цветовыми секторами. Для увеличения яркости добавляют четвертый прозрачный сектор.

Во втором методе суммируются изображения, полученные с трех микрзеркальных матриц.

Кроме ламп, в DLP-проекторах используются полупроводниковые и лазерные источники света (рис.6.4). В последнем случае к вредным действиям мигающих микрзеркал добавляется действие лазеров.

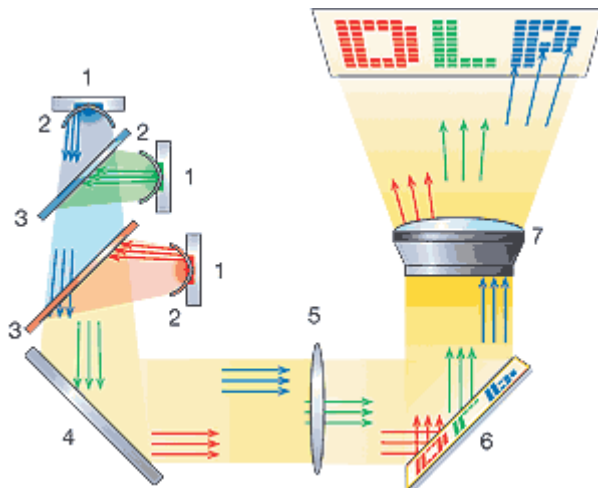


Рис. 6.4. Оптическая схема DLP –проектора со светодиодными или лазерными источниками излучения

7. ЗАПИСЬ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ 3D - ИЗОБРАЖЕНИЙ

Известны два принципа записи и воспроизведения объемного изображения: стереоскопия и создание оптических моделей (рис.7.1).

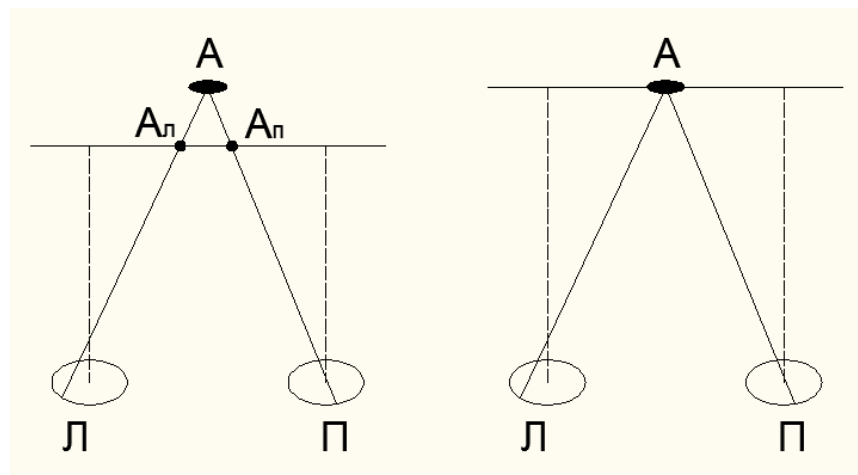


Рис. 7.1. Схемы восприятия стереоскопического изображения (слева) и объемной модели (справа)

При разглядывании оптической модели напряжение мышц, обеспечивающие конвергенцию (поворот осей) и аккомодацию («наводку на резкость») преобразуется в сигналы, поступающие в головной мозг. Сочетание этих напряжений и соответственно сигналов для мозга являются естественным для человека. При воспроизведении стереоизображения глаза аккомодируются на плоскость экрана, но, т.к. каждый глаз видит только свое изображение точки на экране, оптические оси глаз пересекаются за или перед экраном, образуя расстояние аккомодации, не равное расстоянию до экрана.

Следовательно, мышцы, обеспечивающие аккомодацию и конвергенцию, посылают в мозг не совпадающие между собой сочетания сигналов, не присущие естественному восприятию. Поэтому при большом расхождении этих расстояний у человека возникает головная боль, такие расхождения вызывают отклонения в районе пороговых значений, которые практически не изучены. Механизм аккомодации работает примерно до расстояния 6 м, которое можно считать минимально приемлемым для наблюдения стереоизображения.

Известно несколько вариантов получения стереоизображения.

1. Сепарация с помощью очков с временными ЖК-затворами. Глаза по очереди перекрываются ЖК-фильтрами, соответственно на дисплее поочередно появляются изображения для левого и правого глаз. Очевидно дополнительное отрицательное воздействие за счет сложения во времени изображения для левого и правого глаза.
2. Очки с перпендикулярной поляризацией. Одновременно предъявляется два изображения с перпендикулярной поляризацией, снятые из разных точек. Каждый глаз за счет поляризационного фильтра (очки) воспринимает одно из двух изображений. Дополнительная неестественность за счет поступления света на два глаза с разной поляризацией. Влияние восприятия изображений с разной поляризацией на каждом глазе не изучено.
3. Растровый экран. За счет наличия линз или ЖК-жалюзи каждый глаз видит предназначенное ему изображение (изображение для другого глаза перекрывается растровым элементом). Недостатки: при цифровой записи изображения может возникать муар-эффект, и нужно следить за положением головы, чтобы в левый глаз попадало «левое» изображение, в правый – «правое», а не наоборот.

Известно несколько способов получения оптических моделей: голографический; с перемещающимися элементами; с рассеивающей средой; многослойный; с эластичным экраном; на основе интегральной фотографии.

Наиболее перспективным является голографический метод. Его совершенствование требует увеличения скорости переработки больших массивов цифровой информации и оперативного изменения содержания голограммы.

II. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Лабораторная работа № 1

Исследование параметров звуковой информации с помощью ПК

Теоретическая часть

Цель работы: приобретение теоретических знаний и практического опыта в области обработки звуковых сигналов.

Уровень акустического сигнала непрерывно изменяется во времени. Интервал таких изменений может быть довольно широким. Разность между

максимальным и минимальным уровнями (по мощности) называют динамическим диапазоном (рис.1). Обычно единицей измерения динамических диапазонов является децибел (дБ). Диапазон в децибелах определяют как 20 десятичных логарифмов от квадрата максимального размаха (разности уровней) сигнала.

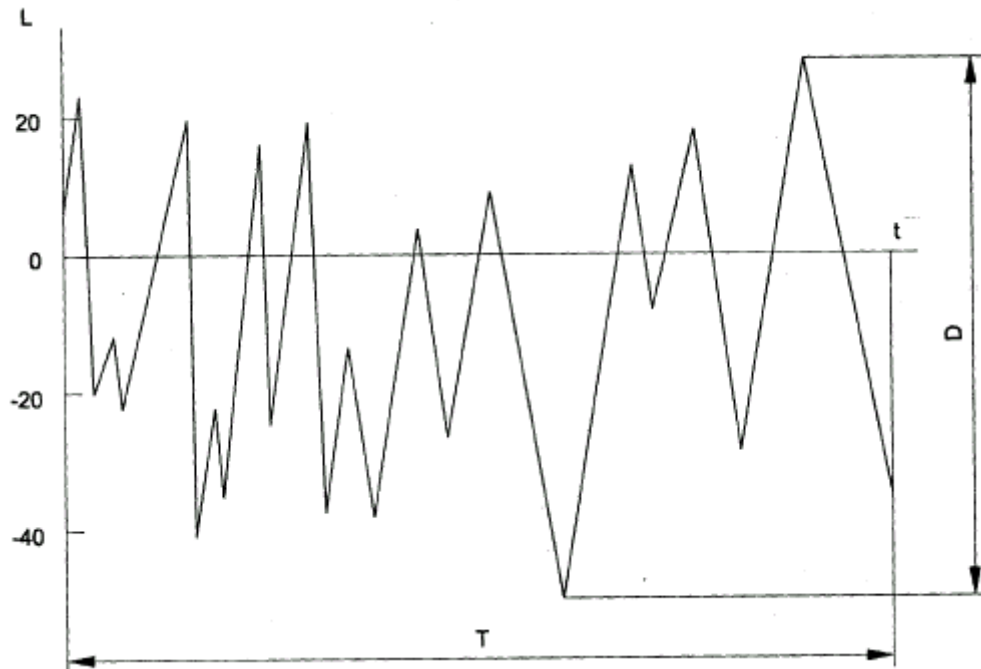


Рис. 1. Зависимость уровня сигнала от времени: L - уровень сигнала; t - время; T - длительность сигнала; D - динамический диапазон

Сама по себе громкость звука определяется только как субъективный параметр. Но на практике уровни громкости также измеряют в децибелах. Динамические диапазоны разных акустических сигналов существенно различаются.

Спектры акустических сигналов (форма и относительные мощности отдельных компонентов, полоса частот) для разных источников звука сильно отличаются. Любой сигнал можно представить в виде значений его уровня в любой момент времени. Такое представление называют импульсным. Другая форма представления сигнала - частотная. В этом случае сигнал – это совокупностью звуковых гармонических колебаний.

Зависимость амплитуды гармонического сигнала от частоты называют частотной характеристикой. Частотные характеристики с ростом частоты спадают. Под полосой пропускания понимают тот интервал, где уровень частотных компонентов некоторое заданное значение, например – 60дБ. За пределами этого интервала значения уровня частотных составляющих принимаются за 0.

К современным характеристикам относятся форма сигнала и время корреляции. Корреляция – это достаточно сложный и важный параметр, заимствованный из теории вероятности. Любой несущий информацию сигнал следует рассматривать как случайный процесс. Белым шумом называют такой

случайный сигнал, в котором все последующие значения уровня никак не зависят от предыдущих. Реальные сигналы отличаются от белого шума тем, что последующие значения зависят от предыдущих. Такая зависимость и называется корреляцией, а среднее значение интервала времени, в пределах которого эта зависимость сохраняется, называется временем корреляции. Время корреляции, в частности, важно учитывать потому, что оно определяет время взаимодействия (интерференции) с отраженными сигналами, а следовательно, и интенсивность интерференционных помех.

Волновая форма сигнала дает возможность определить резкие переходы интенсивности звукового сигнала.

Возможны самые разнообразные нарушения точности передачи сигнала через электроакустические тракты. Основные из них: потеря акустической перспективы, смещение уровней, ограничение динамического и частотного диапазонов сигнала, помехи и искажения. Поэтому основной задачей электроакустических систем, в частности систем обработки звука, является максимальное достижение идентичности характеристик первичных.

Преобразование аналогового (непрерывного во времени) сигнала в цифровой происходит в три приема: выборка, квантование и кодирование,

Сначала аналоговый сигнал преобразуется в последовательность аналоговых же выборок, полученных через равные промежутки времени. Квантование аналогового сигнала представляет собой выбор конечного числа уровней, которые, как правило, равномерно распределены в диапазоне от $-U$ до $+U$ шкалы входного сигнала аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Количество уровней квантования почти однозначно связывается с выходным цифровым сигналом посредством кодирования. Наиболее распространенным является прямое двоичное кодирование.

Если спектр преобразуемого аналогового сигнала располагается в полосе частот от 0 до F , то частота выборки (или частота дискретизации) не должна быть менее $2F$. Таким образом, если реальный аналоговый сигнал содержит частотные компоненты от 0 Гц до 20 кГц, то частота дискретизации такого сигнала должна быть выбрана не меньше 40 кГц.

Известна теорема Шеннона-Котельникова и частота Найквиста (F) как следствие из данной теоремы. Однако теорема не содержит утверждения о точном восстановлении аналогового сигнала при указанном условии ($> 2F$). На самом деле восстановленный сигнал имеет произвольные амплитуду и фазу (в конкретных пределах). Статистически достоверное восстановление исходного аналогового сигнала имеет место при частоте выборки не менее $5F$.

Отношение сигнал/шум на выходе N -разрядного АЦП в идеальном случае равно $(6N-6)$ дБ, поскольку существует неустранимая погрешность квантования (так называемый шум квантования) равная половине разности между соседними уровнями квантования, что эквивалентно потере 6 дБ в отношении сигнал/шум. Повышение частоты преобразования существенно снижает интермодуляционные искажения, обусловленные наложением спектров - aliasing (совмещение, алиазинг), - и повышает достоверность восстановления аналогового сигнала. Реальный музыкальный сигнал далек от

белого шума (близок к розовому - шуму дождя, прибоя, ветра - то есть шуму, плотность которого спадает с ростом частоты), но шум квантования не зависит от сигнала, если число уровней квантования неизменно и распределение их равномерно. Другое дело – погрешность преобразования, которая действительно зависит от амплитуды и частоты входного сигнала и

выражается в реальных нелинейных и интермодуляционных искажениях, то есть паразитных спектральных составляющих.

На слух такие ошибки воспринимаются как «зернистость» во фрагментах записи с низким уровнем сигнала. При этом возникает ощущение «грязного» звука; Оно же появляется при изменении разрядности записи, например когда 20-разрядную запись приводят к 16-разрядной или последнюю - к 8-разрядной.

Операции редактирования можно условно разделить на четыре группы:

- простейшее редактирование;
- звуковые процессы;
- звуковые эффекты;
- дополнительные инструменты.

К группе простейшего редактирования относят операции, которые не затрагивают внутренней структуры звука, то есть не изменяют его акустических, частотных характеристик и пр.

Большинство из них используют буфер обмена, который представляет собой временную область для хранения. Буфер обмена может применяться также для перемещения данных из одного окна в другое.

Чаще всего используются операции, перечисленные ниже.

Cut (Отрезать). Выделенная часть данных удаляется из звуковой волны и копируется в буфер обмена,

Clear/Delete (Очистить/Удалить). Выделенный фрагмент данных удаляется без копирования в буфер обмена.

Trim/Crop (Вырезать/Обрезать). Удаляются все данные из окна, за исключением выделенного фрагмента.

Copy (Копировать). Копируется выделенный фрагмент данных в буфер обмена.

Paste (Вставить). Вставляется содержимое буфера обмена в окно данных, начиная с текущей позиции курсора, или заменяется выделение.

Mix (Смешать). Смешивается содержимое буфера обмена с данными в окне, начиная с текущей позиции курсора или с начала выделения.

Crossfade (Плавно заместить). Данные в окне плавно замещаются содержимым буфера обмена, начиная с позиции курсора (громкость одного сигнала плавно затухает, а другого нарастает).

Технология выполнения описываемых операций в программе Samplitude 2496 несколько отличается. Для временного хранения используется не отвлеченный буфер обмена, а две конкретные области: Clip для аудиоданных из Wave Projects (Волновые проекты) и VirtClip для Virtual Projects (Виртуальные проекты).

Clip - это область памяти для хранения выборок из Wave projects, которые копируются из окна волнового проекта и могут быть вставлены в тот же самый или в другой волновой проект. Кроме того, содержимое Clip может также быть смешано с содержимым окна другого волнового проекта. Clip всегда создается с атрибутами из проекта (разрядность в битах, частота

дискретизации, моно/стерео режим, левый/правый канал) и представлен на экране окном, которое содержит слово «Clip» в своем названии.

Другими словами, Clip выглядит как любой другой проект, который можно воспроизвести, редактировать и сохранить с любым именем.

В то время как Clip служит для пересылки звукового материала между окнами волновых проектов, VirtClip делает то же самое с данными из виртуальных проектов.

При этом фактически VirtClip не содержит аудиоинформации, а хранит только ссылки на аудиофайлы, и в нем присутствует столько каналов, сколько их содержит скопированный фрагмент.

Практическая часть

Записать необходимые звуки с помощью ПУСК→ Программы → Стандартные→ Развлечения→ Звукозапись.

Сохранить этот файл в папке «Мои документы» → «Спекторграм»

Он должен иметь расширение *.wav

Работа с программой:

1. Для запуска программы на рабочем столе активизировать ярлык Gram. Эта программа имеет следующий вид (рис.2):

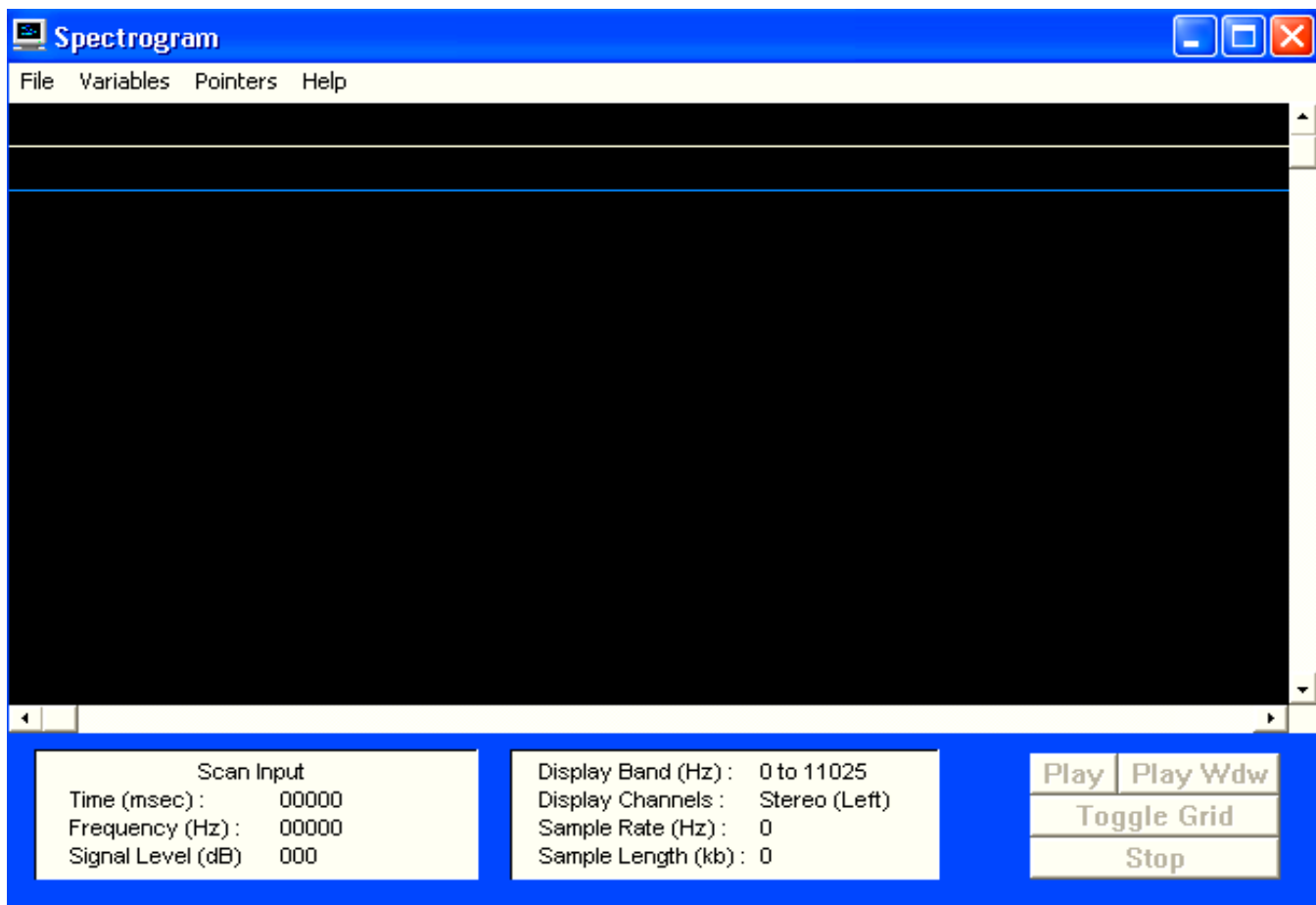


Рис.2. Рабочее окно программы Gram

2. Для анализа записи необходимо открыть сохранённый файл через File → Analyze File → «Мои документы» → «Спектрограмм» → *.wav
3. В меню произвести настройки, показанные на рис.3.

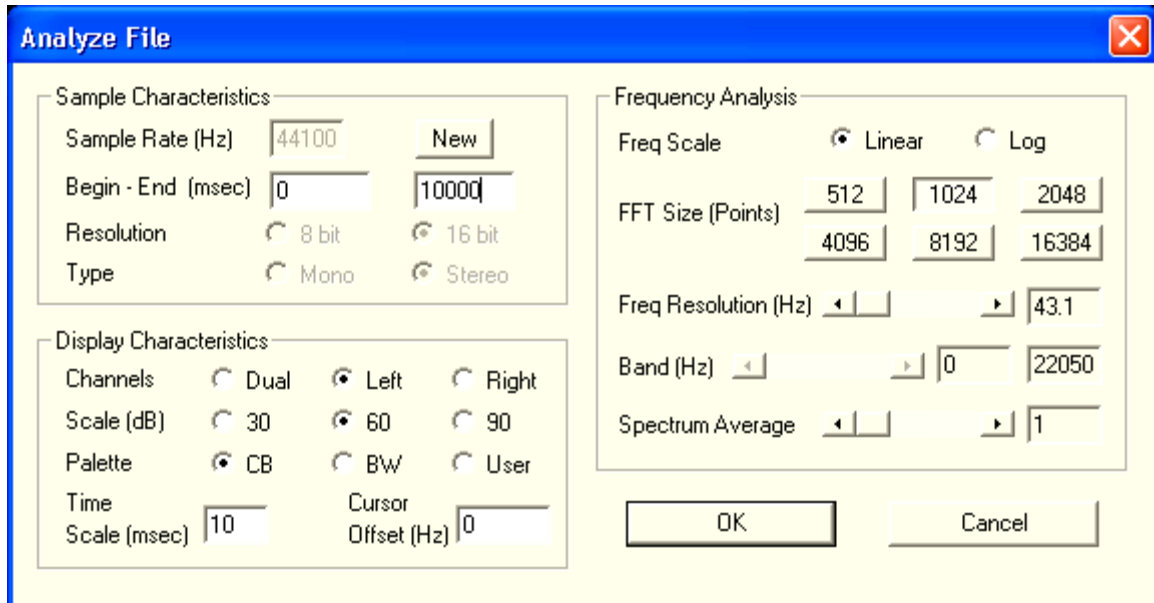


Рис.3 – Настройки меню

4. При необходимости можно активировать сетку координат нажатием кнопки Grid, расположенной внизу окна программы.
5. В полученной записи необходимо определить участок, на котором звучание происходит на большем количестве частот.
6. Далее необходимо поместить курсор на участок с наибольшим количеством частот и нажать левую кнопку мыши. В появившемся диалоговом окне нажать «ОК». На экране должна возникнуть картинка, подобная рис.4.

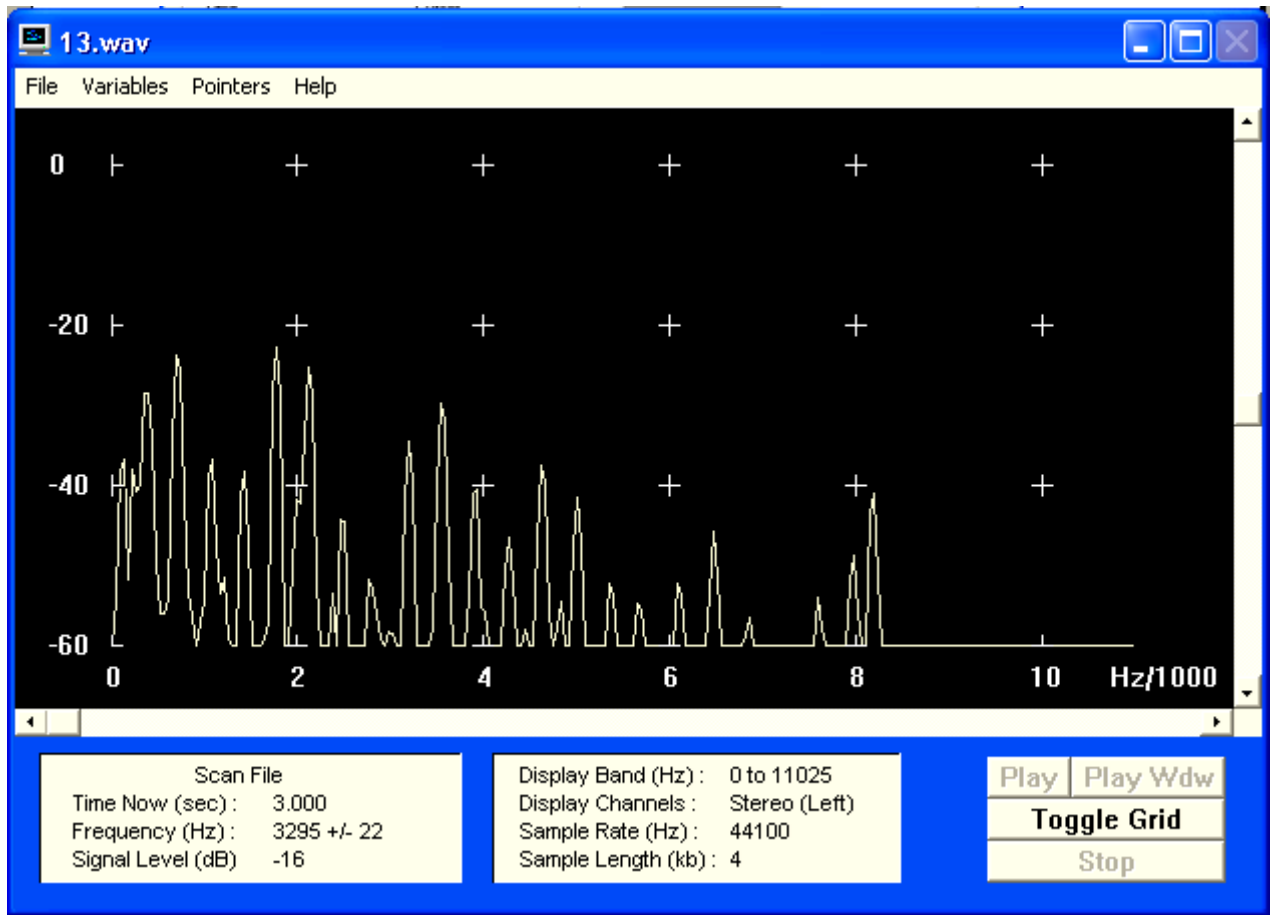


Рис.3. Спектральное распределение сигнала

7. Затем через File→ Log Data, сохранить текстовый файл (*.txt) (Не забудьте куда сохранили :-)).
8. Запустить этот текстовый файл. Он должен быть подобным рис.4.

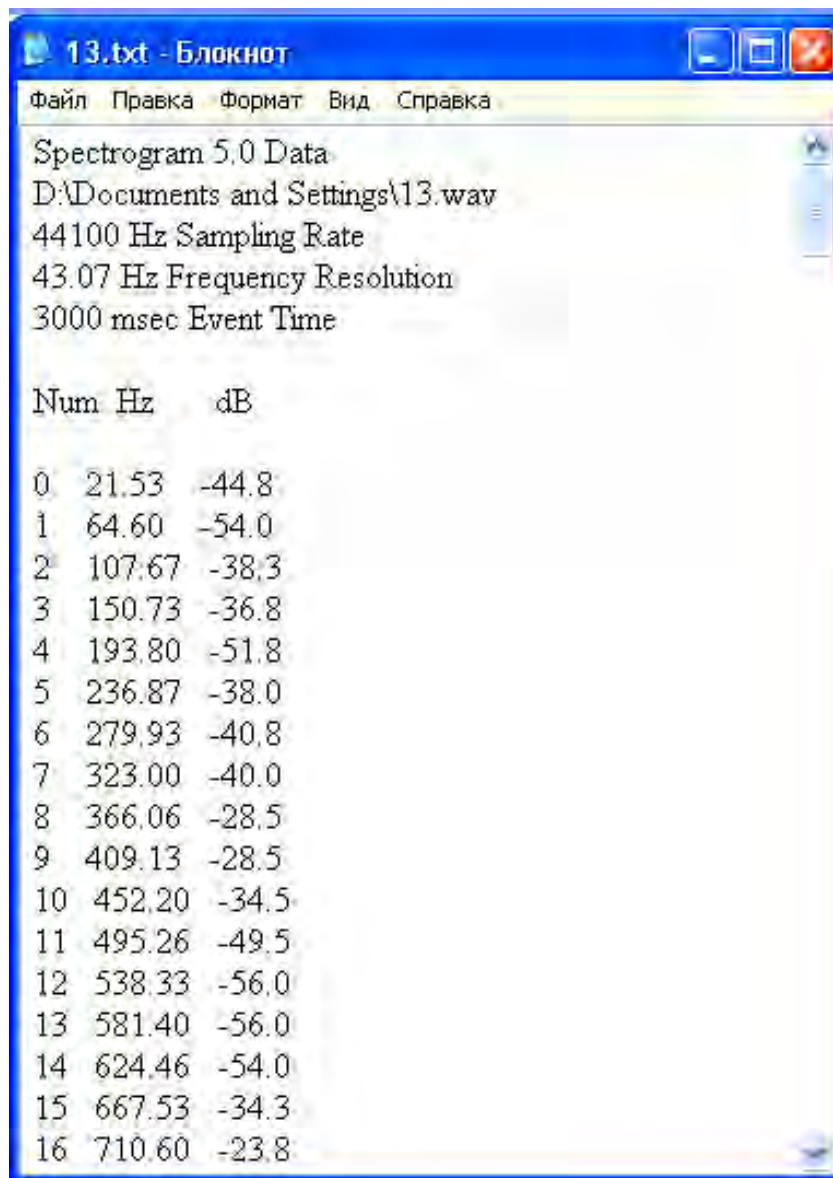
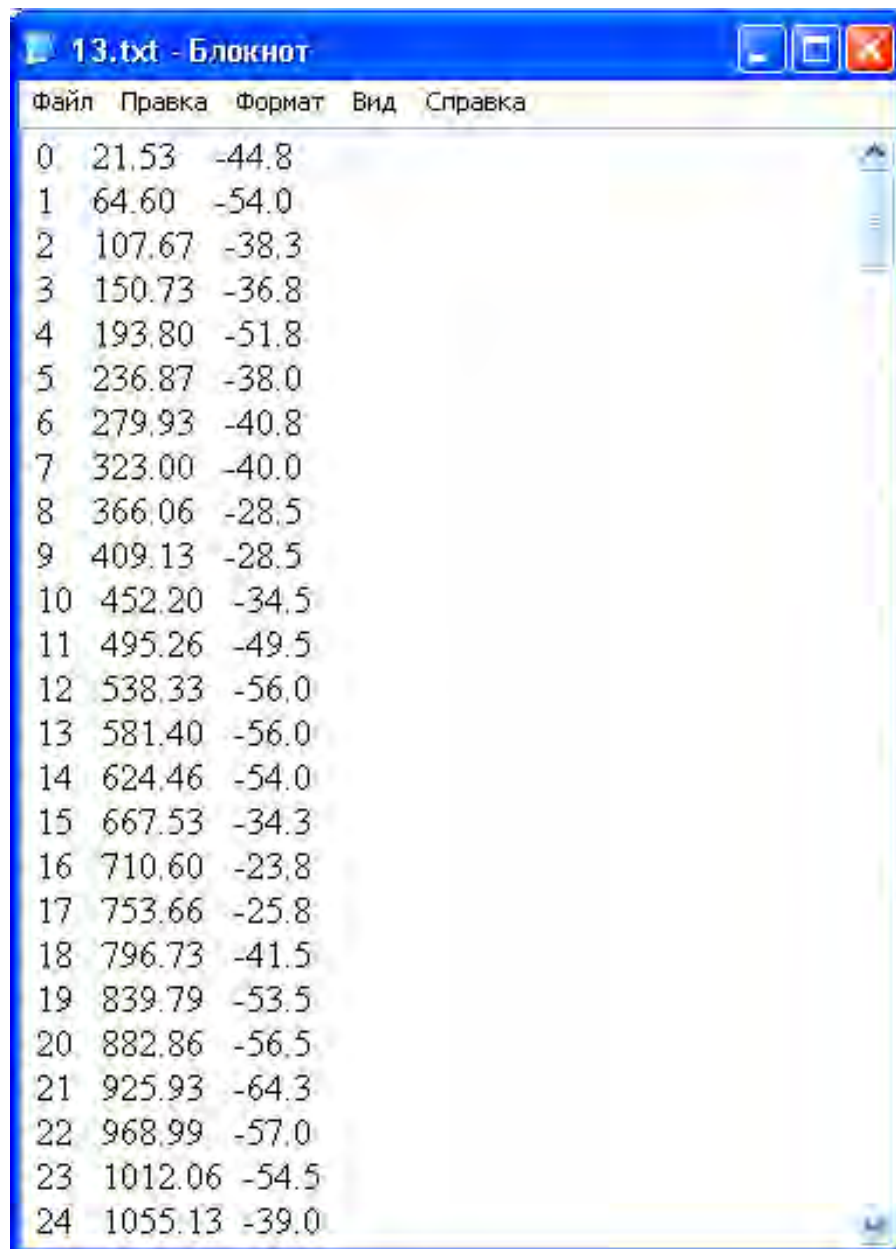


Рис.4. Спектральное представление в численной форме

9. Необходимо убрать ВСЕ!!! Буквенные!!! Записи из этого файла. И привести его к виду, показанному на рис.5. Сохранить изменения. Это необходимо для нормальной работы MathCAD.



The image shows a screenshot of a Notepad window titled "13.txt - Блокнот". The window contains a table of numerical data representing a spectral representation. The table has three columns: an index from 0 to 24, a positive numerical value, and a negative numerical value. The data is as follows:

| Index | Value 1 | Value 2 |
|-------|---------|---------|
| 0 | 21.53 | -44.8 |
| 1 | 64.60 | -54.0 |
| 2 | 107.67 | -38.3 |
| 3 | 150.73 | -36.8 |
| 4 | 193.80 | -51.8 |
| 5 | 236.87 | -38.0 |
| 6 | 279.93 | -40.8 |
| 7 | 323.00 | -40.0 |
| 8 | 366.06 | -28.5 |
| 9 | 409.13 | -28.5 |
| 10 | 452.20 | -34.5 |
| 11 | 495.26 | -49.5 |
| 12 | 538.33 | -56.0 |
| 13 | 581.40 | -56.0 |
| 14 | 624.46 | -54.0 |
| 15 | 667.53 | -34.3 |
| 16 | 710.60 | -23.8 |
| 17 | 753.66 | -25.8 |
| 18 | 796.73 | -41.5 |
| 19 | 839.79 | -53.5 |
| 20 | 882.86 | -56.5 |
| 21 | 925.93 | -64.3 |
| 22 | 968.99 | -57.0 |
| 23 | 1012.06 | -54.5 |
| 24 | 1055.13 | -39.0 |

Рис.5. Спектральное представление в численной форме без буквенных записей

10. Далее необходимо запустить MathCAD и войти в следующее окно (рис.6).

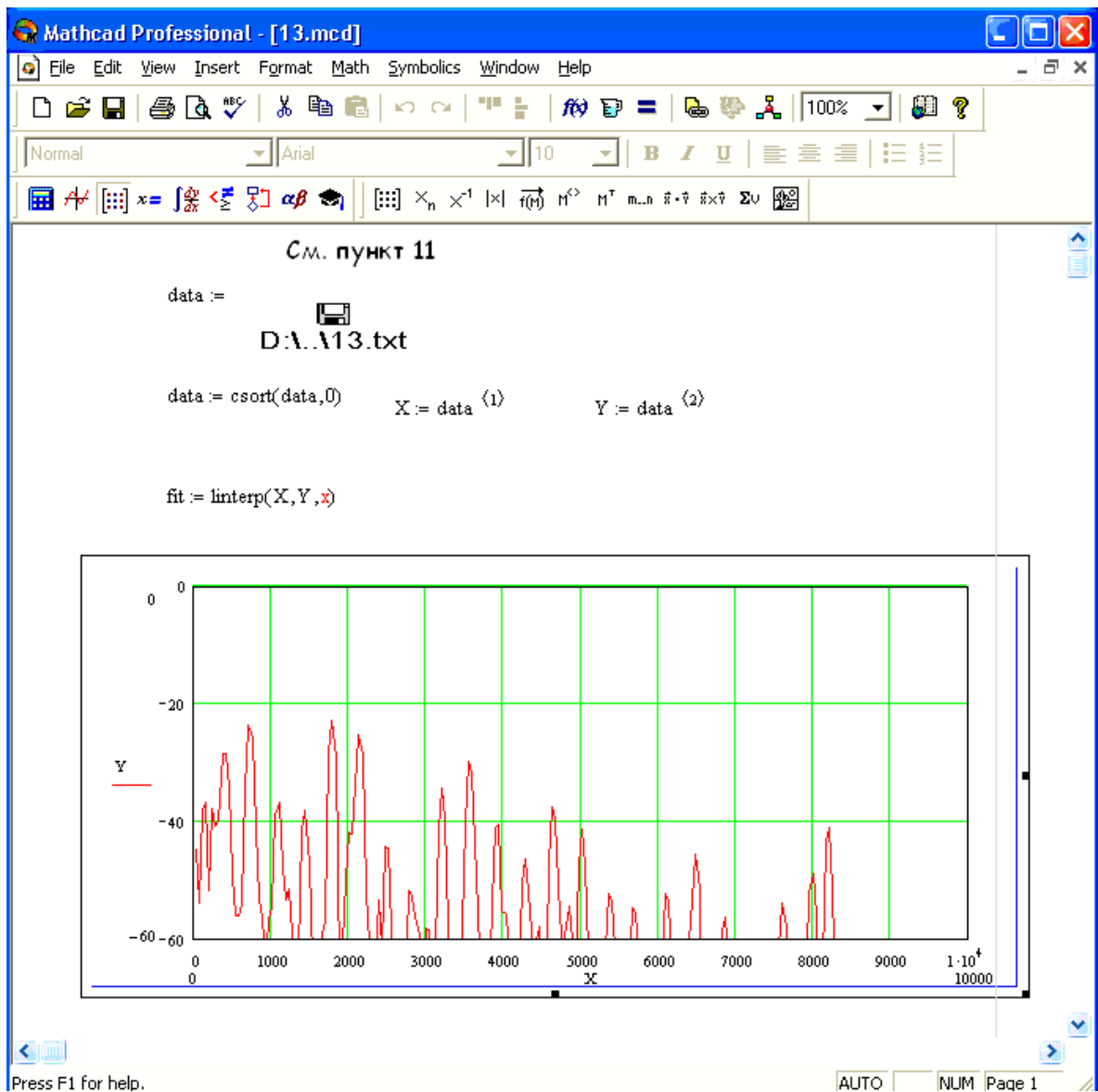



Рис.6. Окно программы MathCAD

Этот график должен соответствовать графику на рис.3.

11. Для того чтобы получить, результаты расчетов, необходимо в программе MathCAD открыть меню Вставка → Данные → Ввод файла.

- ✓ В диалоговом окне выбрать «Текст».
- ✓ Через кнопку «Обзор» указать путь к файлу *.txt.

= 
D:\..\13.txt

- ✓ Оставить пометку только на «родственный путь».
- ✓ Нажать кнопку «Готово».

!Сначала нажать Вставка →, а затем, когда появится D: /.../ (или что-то подобное) набрать слово data. !

12. Для того чтобы набрать $X := \text{data}^{(1)}$ $Y := \text{data}^{(2)}$ надо на панели инструментов «Матрицы» нажать кнопку $M^{(2)}$.
В итоге получено значение площади под АЧХ (рис.7)

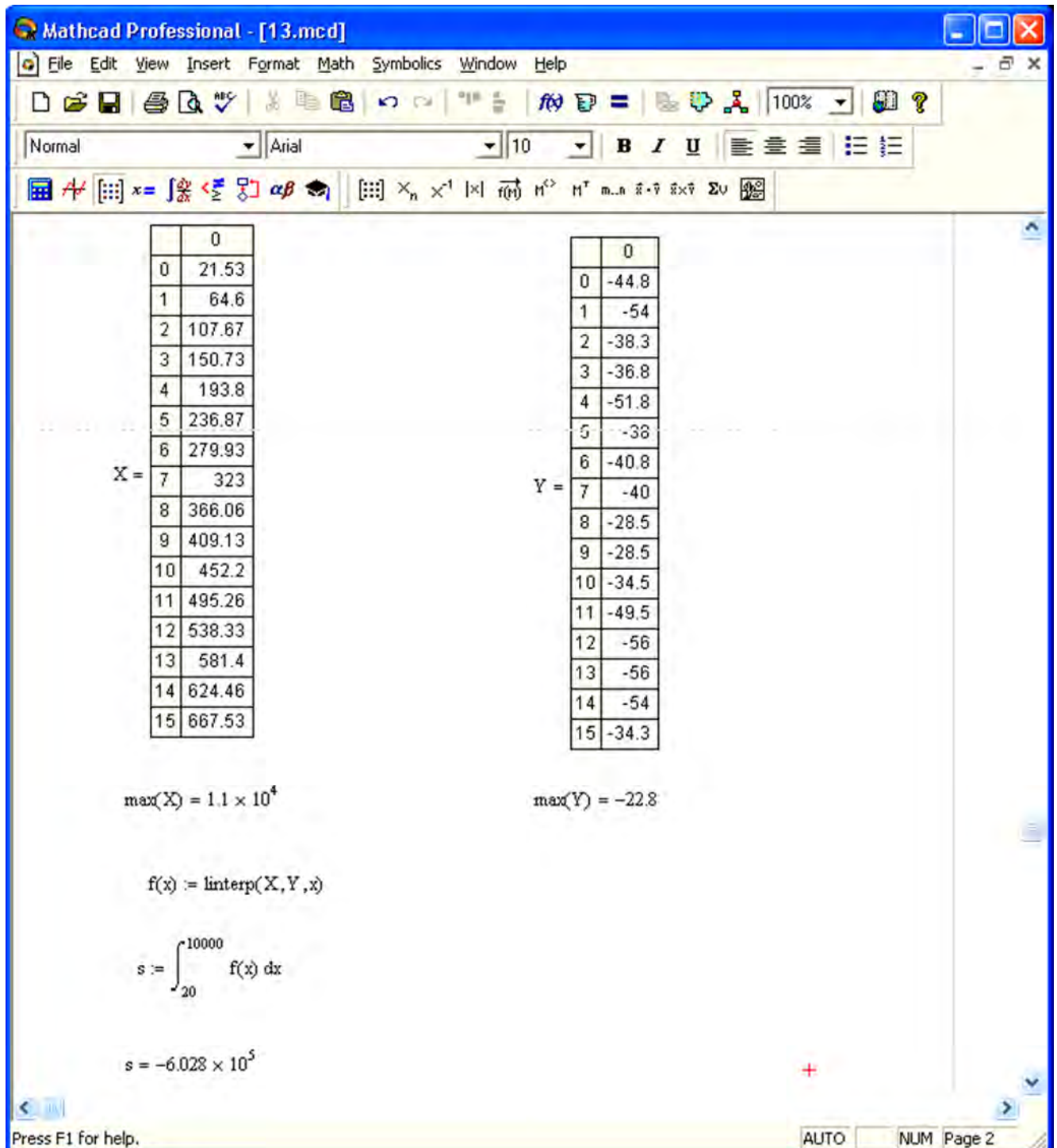


Рис.7. Окно результатов расчета площади под АЧХ

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Теоретические данные (кратко)
3. Спектральное распределение сигнала в GRAM
4. Продемонстрировать результат расчета площади под АЧХ, полученный в окне MathCAD

Контрольные вопросы

1. Классификация звуковых сигналов
2. Количественная оценка звуковых сигналов
3. Какие отличия между аналоговыми и цифровыми сигналами?
4. Порядок работы с программой GRAM
5. Порядок работы с программой MathCAD

Лабораторная работа №2**Сравнение характеристик микрофонов и ларингофонов*****Теоретическая часть***

Цель работы: изучить и сравнить характеристики микрофонов и ларингофонов.

Микрофон — электроакустический прибор, преобразовывающий звуковые колебания в колебания электрического тока, устройство ввода. Служит первичным звеном в цепочке звукозаписывающего тракта или звукоусиления. Микрофоны используются во многих устройствах, таких как телефоны и магнитофоны, в звукозаписи и видеозаписи, на радио и телевидении, для радиосвязи, а также для ультразвукового контроля и измерения. [1]

Принцип работы микрофона

Он заключается в том, что давление звуковых колебаний воздуха, воды или твердого вещества действует на тонкую мембрану микрофона. В свою очередь, колебания мембраны возбуждают электрические колебания; в зависимости от типа микрофона для этого используются явление электромагнитной индукции, изменение ёмкости конденсаторов или пьезоэлектрический эффект (рис. 1) [1].

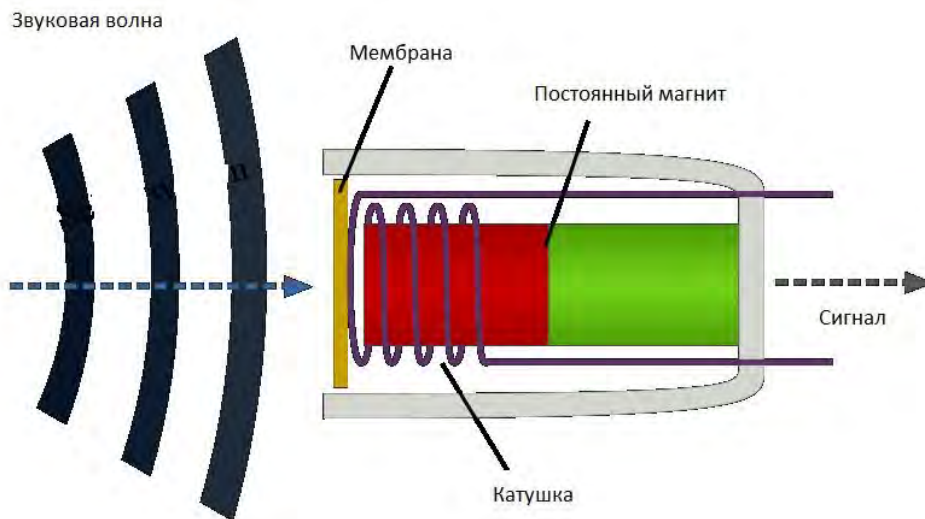


Рис. 1 Принцип действия микрофона с подвижной катушкой

Свойства акустико-механической системы сильно зависят от того, воздействует ли звуковое давление на одну сторону диафрагмы (микрофон давления) или на обе стороны, а во втором случае от того, симметрично ли это воздействие (микрофон градиента давления) или на одну из сторон диафрагмы действуют колебания, непосредственно возбуждающие её, а на вторую — прошедшие через какое-либо механическое или акустическое сопротивление или систему задержки времени (асимметричный микрофон градиента давления).

В 1856 году француз Дю Монсель (Du Moncel) опубликовал результаты своих исследований, из которых следовало, что графитовые электроды обладают способностью отвечать значительным изменением электрического сопротивления при небольшом изменении площади соприкосновения проводников. Данное свойство стало основой для различных вариантов конструкций микрофонов.

Первый угольный микрофон построил американский изобретатель Эмиль Берлинер 4 марта 1877 года. Однако, развитие получил микрофон американского изобретателя Дэвида Юза (англ. David Hughes) в мае 1878 года. Микрофон Юза содержал угольный стержень с заострёнными концами, упирившийся в две угольные же чашечки, и соединённый с подвижной мембраной. Площадь контакта угольного стержня с чашечками сильно менялась при колебаниях мембраны, соответственно менялось и сопротивление угольного микрофона, а с ним и ток в цепи. Микрофон Юза совершенствовался многими изобретателями. Весьма значительно усовершенствовал этот тип микрофонов Эдисон (в частности, он предложил использовать угольный порошок вместо угольного стержня, то есть изобрёл новый вид угольного микрофона с угольным порошком). Автор наиболее прижившейся конструкции угольного микрофона — Энтони Уайт (1890).

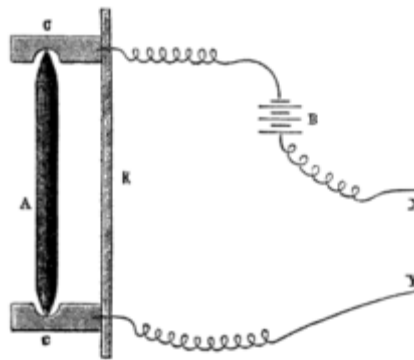


Рис. 2 Микрофон Юза

В начале наибольшее распространение получил угольный микрофон Берлинера, об изобретении которого также независимо заявляли Г.Махальский в 1878 и П. М. Голубицкий в 1883. Угольный микрофон до сих пор используется в аппаратах аналоговой телефонии. Действие его основывается на изменении сопротивления между зёрнами угольного порошка при изменении давления на их совокупность.

Конденсаторный микрофон был изобретён американским учёным Э. Венте в 1917 году. В нём звук воздействует на тонкую металлическую мембрану, изменяя расстояние между мембраной и металлическим корпусом. Тем самым образуемый мембраной и корпусом конденсатор меняет ёмкость. Если подвести к пластинам постоянное напряжение, изменение ёмкости вызовет ток через конденсатор, тем самым образуя электрический сигнал во внешней цепи.

Более массовыми стали динамические микрофоны, отличающиеся от угольных гораздо лучшей линейностью характеристик и хорошими частотными свойствами, а от конденсаторных — более приемлемыми электрическими свойствами.

Первым динамическим микрофоном стал изобретённый в 1924 году немецкими учёными Э. Герлахом и В. Шоттки электродинамический микрофон ленточного типа. Они расположили в магнитном поле гофрированную ленточку из очень тонкой (ок. 2 мкм) алюминиевой фольги. Такие микрофоны до сих пор применяются в студийной записи благодаря чрезвычайно высоким частотным характеристикам, однако их чувствительность невелика, выходное сопротивление очень мало (доли Ома), что значительно осложняло проектирование усилителей. Кроме того, достаточная чувствительность достижима только при значительной площади ленточки (а значит, и размерах магнита), в результате такие микрофоны имеют большие размеры и массу по сравнению со всеми остальными типами.

Пьезоэлектрический микрофон, сконструированный советскими учёными С. Н. Ржевкиным и А. И. Яковлевым в 1925 году, имеет в качестве датчика звукового давления пластинку из вещества, обладающего пьезоэлектрическими свойствами. Работа в качестве датчика давления

позволила создать первые гидрофоны и записать сверхнизкочастотные звуки, характерные для морских обитателей.

В 1931 году американские учёные Э. Венте и А. Терас изобрели динамический микрофон с катушкой, приклеенной к тонкой мембране из полистирола или фольги. В отличие от ленточного, он имел существенно более высокое выходное сопротивление (десятки Ом и сотни кило Ом), мог быть изготовлен в меньших размерах и является обратимым.

Совершенствование характеристик именно этих микрофонов, в сочетании с совершенствованием звукоусилительной и звукозаписывающей аппаратуры, позволило развиваться индустрии звукозаписи. Создание малых по размеру (даже несмотря на массу постоянного магнита, необходимого для работы микрофона), а также чрезвычайно чувствительных и узконаправленных динамических микрофонов в заметной степени изменило представление о приватности и породило ряд изменений в законодательстве (в частности, о применении подслушивающих устройств).

Тогда же разработанные электромагнитные микрофоны, в отличие от электродинамических, имеют закреплённый на мембране постоянный магнит и неподвижную катушку. Благодаря отсутствию жёстких требований к массе катушки (характерном для динамических микрофонов) такие микрофоны делались высокоомными, а также порой имели многоотводные катушки, что делало их более универсальными. Такие микрофоны, наряду с пьезоэлектрическими, позволили создать эффективные слуховые аппараты, а также ларингофоны.

Электретный микрофон, изобретённый японским учёным Ёгути в начале 20-х гг. XX века по принципу действия и конструкции близок к конденсаторному, однако в качестве неподвижной обкладки конденсатора и источника постоянного напряжения выступает пластина из электрета. Долгое время такие микрофоны были относительно дороги, а их очень высокое выходное сопротивление (как и конденсаторных, единицы мегаом и выше) заставляло применять исключительно ламповые схемы.

Создание полевых транзисторов привело к появлению чрезвычайно эффективных, миниатюрных и лёгких электретных микрофонов, совмещённых с собранным в том же корпусе предусилителем на полевом транзисторе [1].

Классификация микрофонов по принципу действия

- динамический
 - катушечный
 - ленточный
- конденсаторный микрофон
 - электретный микрофон (разновидность конденсаторного)
- угольный микрофон
- пьезомикрофон

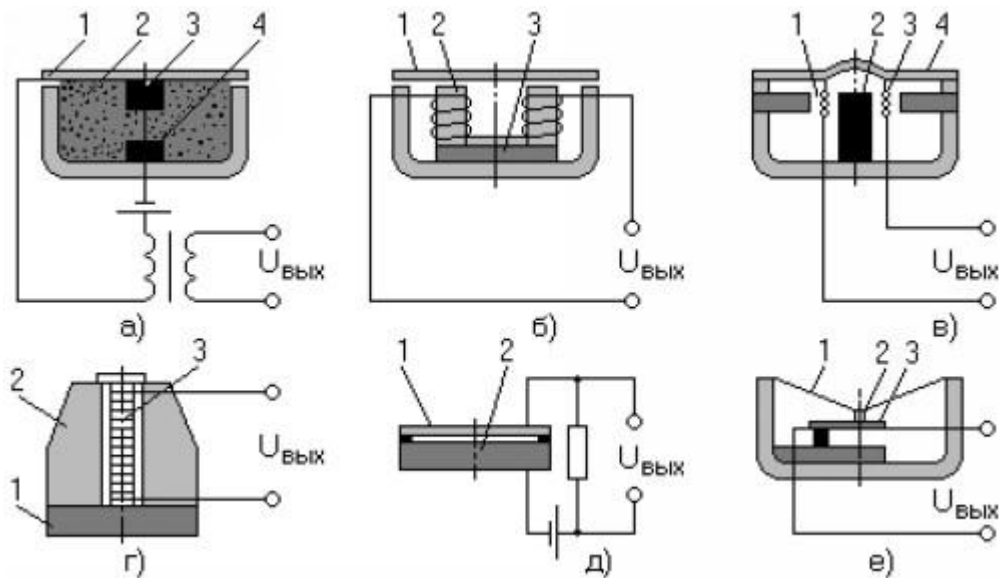


Рис. 3. Устройство различных типов микрофонов: а – угольного (1 – мембрана, 2 – уголь, 3,4 – магниты); б – электромагнитного (1 – мембрана, 2 – электромагнит, 3 – подложка); в – электродинамического; г – ленточного; д – конденсаторного; е – пьезоэлектрического.

Наибольшее применение в профессиональной сфере находят динамические и конденсаторные микрофоны. Многие типы микрофонов – уже история, можно встретить такие названия, как электретные, транзисторные, ленточные, пьезоэлектрические PZM-микрофоны (граничного слоя), ламповые, лавалье, поверхностные, стерео, бинауральные и множество других. Что-то в этих названиях, безусловно, связано с маркетингом, однако, если игнорировать маркетинговую классификацию совсем – можно запутаться окончательно.

Транзисторные микрофоны почти не применяются. В них мембрана воздействует на острие-эмитер и сопротивление перехода полупроводникового триода. Они сравнительно чувствительны, но нестабильны и частотная характеристика их неравномерна.

Пьезоэлектрические микрофоны получили ограниченное распространение. Они основаны на пьезоэлектрическом эффекте: вследствие воздействия переменного звукового давления, на обкладках деформируемого пьезоэлектрика возникает переменное напряжение, представляющее собой выходной сигнал такого микрофона. Ограничения применения связаны с усталостью пьезоэлектрических материалов и т.д.

Порошковые (угольные) микрофоны – самые старые, это они со времен Бэлла и до недавнего времени использовались в телефонии. Действие основано на изменении сопротивления угольного порошка от изменения звукового давления.

Ленточные микрофоны (рис. 4) – наиболее ранние коммерческие микрофоны, отличающиеся большой чувствительностью. Они применяются до сих пор и являются разновидностью электродинамических микрофонов.

Лента может быть повреждена воздухом при перемещении микрофона в студии. Ветрозащита связана с определенными трудностями.



Рис. 4. BLUE Woodpecker – ленточный микрофон

Динамический микрофон (рис. 5) имеет динамическую головку, подобную динамике громкоговорителя. Это заметно, когда ди-джеи, обходясь без микрофона, переключают наушники в микрофонное гнездо микшера, чтобы представиться или попрощаться. Динамические микрофоны – самые распространенные виды микрофонов, если не считать сотовые телефоны и другие портативные цифровые устройства. По сравнению с другими типами микрофонов, большинство динамических отличаются прочностью, они отлично подходят для работы на сцене.



Рис. 5. Shure SM58 – классический динамический микрофон

Диафрагма динамического микрофона связана с катушкой, находящейся в поле постоянного магнита. Осевые колебания воздуха перемещают диафрагму с катушкой относительно магнита, что приводит к

наведению в обмотке переменного электрического потенциала с напряжением и частотой, пропорциональными звуковому давлению и частоте, воздействующими на диафрагму. Масса и инерция диафрагмы, связанной с катушкой, довольно велики. Динамические микрофоны не отличаются чувствительностью в сравнении с конденсаторными, но могут работать при гораздо больших уровнях звукового давления без перегрузки.

Мембрана или диафрагма конденсаторного микрофона (рис. 6) более легкая и является одновременно обкладкой конденсатора. Второй обкладкой служит так называемая задняя пластина, она же обычно более тяжелая. Конденсатор включен последовательно в цепь с постоянным питанием, диафрагма под воздействием звуковых волн колеблется, обеспечивая пропорциональное изменение емкости, и, как следствие, преобразует постоянное напряжение питания в переменное. Конденсаторные микрофоны всегда имеют согласующий усилитель между входом нагрузки и выходом конденсаторного электроакустического преобразователя.



Рис. 6. Neumann U 87 Ai - классический конденсаторный микрофон

Микрофонные предусилители обычно выполняются на твердотельных транзисторах, но ламповые предусилители получают все большее распространение. «Ламповый микрофон» (рис. 7) в данном случае абсолютно маркетинговое название, потому что лампа, как правило, используется лишь в утепляющем контуре и питается пониженным напряжением. Большинство современных конденсаторных микрофонов рассчитаны на фантомное питание напряжением 48 В от специализированного источника либо с микшерного пульта со встроенным отключаемым фантомным питанием. Профессиональные видеокамеры, репортерские рекордеры и компьютерные аудиоинтерфейсы также имеют источники фантомного питания для использования конденсаторных микрофонов при видеосъемке, репортажной записи или компьютерной звукозаписи.



Рис. 7. Berliner U77 – ламповый микрофон

Среди конденсаторных микрофонов различают микрофоны с большой (рис.8) и с маленькой (рис. 9) мембранами.



Рис. 8 AKG C 414 B-XL II – конденсаторный микрофон с большой диафрагмой

Частным случаем конденсаторных микрофонов, не требующих фантомного питания либо использующих пониженное напряжение питания, являются электретные микрофоны. В них пластины конденсатора (задняя пластина или мембрана) сделаны из материалов, способных постоянно держать заряд. Имеющийся в электретных микрофонах источник питает только согласующий усилитель, необходимый в любом конденсаторном микрофоне. Батарейка в проводном микрофоне как раз и является одним из второстепенных признаков электретного микрофона. Преимущество электретных микрофонов перед динамическими – высокая чувствительность при достаточной мобильности, благодаря возможности обходиться без 48 В фантомного питания.



Рис. 9. Neumann KM 184 - конденсаторный микрофон с малой диафрагмой

Основные параметры

К основным параметрам акустических систем для записи звука относятся:

- частотный диапазон
- диапазон чувствительности
- уровень нелинейных искажений
- индикатрисы направленности
- и другие

Частотный диапазон — полоса излучаемых источником частот, которой зачастую присвоено условное наименование, одно из важнейших понятий радиотехники, а также физико-технических дисциплин в целом. Это понятие имеет общий характер, то есть можно говорить или о диапазоне частот какого-либо конкретного излучателя (природного или искусственного происхождения), или о диапазоне, выделенном какой-то радиослужбе, или, например, об обобщённой разбивке всей полосы радиочастот.

Диапазоны в акустике:

- инфразвуковой — ниже 20 гц
- звуковой — от 20 гц до 20 кгц (в него полностью укладывается диапазон слышимых человеческим ухом частот)
- ультразвуковой — от 20 кгц до 1 ггц
- гиперзвуковой — свыше 1 ггц

Чувствительность микрофона определяется отношением напряжения на выходе микрофона к звуковому давлению P_0 , как правило, в свободном звуковом поле[1], то есть при отсутствии влияния отражающих поверхностей[2]. При распространении синусоидальной звуковой волны в направлении рабочей оси микрофона, это направление называется осевой чувствительностью:

$$M_0 = U/P_0 \text{ (мВ/Па).}$$

Рабочей осью микрофона является направление его преимущественного использования и обычно совпадает с осью симметрии микрофона. Если конструкция микрофона не имеет оси симметрии, то направление рабочей оси указывается в технических условиях. Чувствительность современных микрофонов составляет от 1–2 (динамические микрофоны) до 10–15 (конденсаторные микрофоны) мВ/Па.

Коэффициент нелинейных искажений (КНИ) — величина для количественной оценки нелинейных искажений, равная отношению среднеквадратичной суммы спектральных компонентов выходного сигнала, отсутствующих в спектре входного сигнала, к среднеквадратичной сумме спектральных компонентов входного сигнала. КНИ — безразмерная величина, выражается обычно в процентах. Кроме КНИ, уровень нелинейных искажений можно выразить с помощью коэффициента гармонических искажений.

Коэффициент гармонических искажений — величина, выражающая степень нелинейных искажений устройства (усилителя и др.), равная отношению среднеквадратичного напряжения суммы высших гармоник сигнала, кроме первой, к напряжению первой гармоники при воздействии на вход устройства синусоидального сигнала.

$$K_{\Gamma} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots + U_n^2}}{U_1}$$

Индикатрисы направленности Пространственная характеристика микрофонов делит их на направленные и ненаправленные. Направленностью называют значительные изменения чувствительности микрофона при смещении источника относительно оси, вдоль которой происходят наибольшие перемещения диафрагмы (колебания имеют наибольшую амплитуду). Ненаправленный микрофон имеет равномерную (круговую) характеристику чувствительности. Равномерную кривую направленности со значительным спадом в задней полусфере, вдоль оси, перпендикулярной к мембране называют «кардиоидной» (cardio – сердце) (рис. 10).

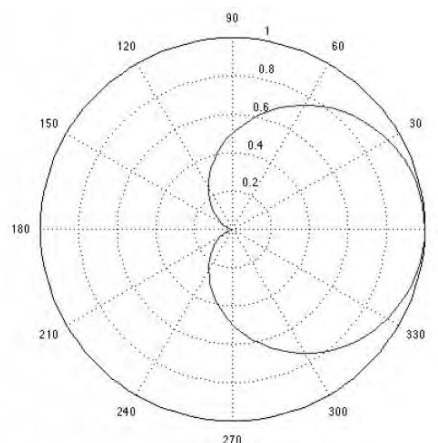


Рис. 10. Кардиоида

Для описания такого вида характеристики у односторонне направленных микрофонов используется параметр «перепад чувствительности фронт/тыл». Если такая диаграмма вытянута вдоль акустической оси (перпендикулярной к диафрагме), а перепад чувствительности больше, чем у кардиоидного микрофона, мы говорим о суперкардиоиде (рис. 11). В случае резкого уменьшения чувствительности микрофона при отклонении от акустической оси, мы говорим о гиперкардиоиде (рис. 12) и остронаправленном микрофоне. Существуют также двусторонне направленные микрофоны с характеристикой чувствительности в виде 3D-восьмерки (рис. 13), расположенной вдоль акустической оси. Направленность в большей степени проявляется в отношении высоких частот и меньше – низких.

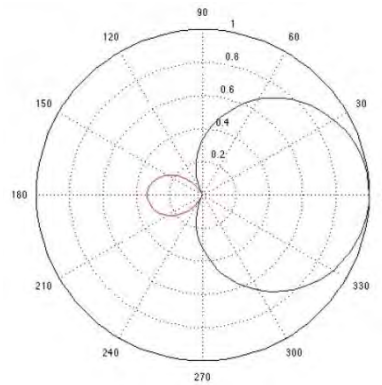


Рис. 11. Суперкардиоида

Большинство профессиональных микрофонов имеют переключатели направленности. Это делается применением нескольких обмоток и даже нескольких капсул в одном корпусе. Чувствительные элементы располагаются акустически различным образом и по-разному коммутируются так, что характеристика меняется в зависимости от включения. Можно выбрать одну из характеристик: от ненаправленной до противоположно направленной, односторонне направленной и направленной остро (противоположные фазы, сигнал складывается или вычитается и т.д.).

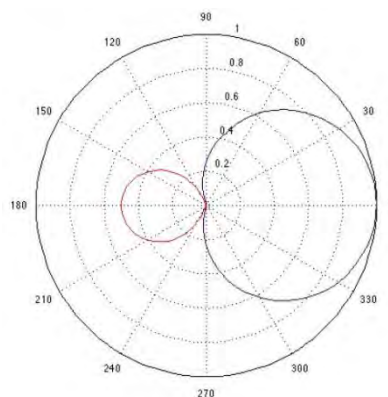


Рис. 12. Гиперкардиоида

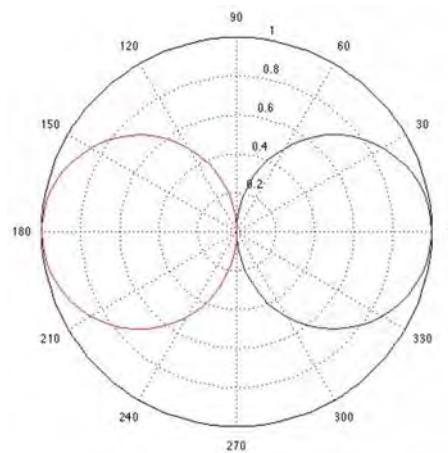


Рис. 13. Двусторонне направленная характеристика

Переключатели располагаются на корпусе или на блоке питания микрофона. За счет применения нескольких капсул в некоторых случаях расширяется частотный диапазон микрофона, для обратных целей используют обрезные фильтры и встроенные аттенюаторы для «завала» низких частот и защиты от низкочастотной вибрации.

Чувствительность микрофона выражается соотношением выходного напряжения к звуковому давлению в милливольтках на паскаль (мВ/Па). Измерение чувствительности производится на частоте 1 кГц.

Разница между максимальной и минимальной чувствительностями микрофона в номинальном диапазоне частот описывает неравномерность частотной характеристики.

Коммутация профессиональных микрофонов осуществляется с применением электрической развязки – т. н. симметричным соединением – аналоговым (XLR) или цифровым (AES/EBU). [3]

Сравнительные характеристики основных типов микрофонов приведены в табл. 1

Таблица 1.

Сравнительные характеристики основных типов микрофонов

| Тип микрофона | Диапазон воспроизводимых частот, Гц | Неравномерность частотной характеристики, дБ | Осевая чувствительность на частоте 1 000 Гц, мВ/Па |
|--------------------------------------|-------------------------------------|--|--|
| Угольный | 300—3 400 | 20 | 1 000 |
| Электродинамический катушечного типа | 100—10 000 (1 класса) | 12 | 0,5 |
| | 30—15 000 (высшего класса) | | ~1,0 |
| Электродинамический ленточного типа | 50—10 000 (1 класса) | 10 | 1 |
| | 70—15 000 (высшего класса) | | 1,5 |
| Конденсаторный | 30—15 000 | 5 | 5 |
| Пьезоэлектрический | 100—5 000 | 15 | 50 |
| Электромагнитный | 300—5 000 | 20 | 5 |

Ларингофон — устройство, аналогичное микрофону, но использующее механические колебания кожи в области гортани, возникающие при разговоре. Применяется в составе гарнитур для передачи речи в условиях повышенного акустического шума, в частности, в танковых и авиационных шлемах, шлем, совмещённый с гарнитурой, называется шлемофоном. Для работы прибор должен быть плотно закреплён на шее [2].

В зависимости от принципа преобразования механических колебаний в электрические различают угольные, пьезоэлектрические и электромагнитные ларингофоны.

Старые модели ларингофонов представляли собой угольные микрофоны (иногда микрофоны других типов) небольшого размера, соединённые попарно в кожаном чехольчике с эластичным ремешком. В настоящее время ларингофон обычно представляет собой сложную конструкцию из микрофона (цифрового или др.), гибкого полого звукопровода и элемента, улавливающего звук, с устройством для крепления на шее [2].

Схема пьезоэлектрического ларингофона представлена на рис.14.

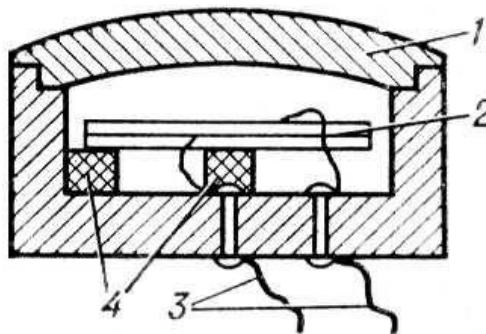


Рис. 14. Устройство пьезоэлектрического ларингофона: 1 — сторона корпуса, плотно прилегающая к гортани; 2 — пьезоэлемент; 3 — выводы электрического напряжения звуковой частоты; 4 — опора пьезоэлемента

Технические характеристики ларингофонов

- Обеспечение работоспособности в условиях:
 - акустических шумов с уровнем до 133 дБ
 - температуры: от -50 °С до +60 °С
 - относительной влажности воздуха до 100% при температуре до +35 °С
- Рабочий диапазон частот от 300 до 3400 Гц
- Модуль полного сопротивления на частоте 1000 Гц - 20...185 Ом
- Отдача ларингофона на частоте 500 Гц на нагрузке 40 Ом не менее 0,75 мВ

- Коэффициент гармоник на частоте 1000 Гц на нагрузке 40 Ом при напряжении:
 - 0,75 мВ – не более 3 %
 - 3,75 мВ – не более 7 %
- Максимальное напряжение питания не более 7 В
- Средняя наработка на отказ – 15000 часов

Практическая часть

1. Вставить в разъем для аудиозаписи штекер микрофона.

2. Запустить программу Adobe Audition (на рабочем столе компьютера).
3. Далее нажать File – New. Выбираем Sample rate 48000, канал Mono, 16-bit.
4. Записываем любую мелодию на расстоянии 10-15 см.
(Звуки находятся: Диск D, папка «Звуки»).
- Для записи одновременно включаем воспроизведение мелодии и запись.
5. Просмотреть записанные характеристики: Амплитуда (Window – Amplitude statistics. General и Histogram), частота (Window – Frequency Analysis) и фаза (Window – Phase Analysis).
- Полученные данные сохраняем. Для этого нажимаем клавишу Prt Sc и копируем изображения в программе Microsoft Word.
6. Вставить в разъем для аудиозаписи штекер ларингофона.
7. Повтор п.п. 3,4,5.
8. Сравнить характеристики микрофона и ларингофона.
9. Сделать вывод о качестве записи микрофона и ларингофона.

Содержание отчета

- 1 Цель работы
- 2 Теоретическая часть
- 3 Сравнение характеристик микрофона и ларингофона.
- 4 Выводы

Контрольные вопросы

1. Что такое микрофон, ларингофон?
2. Назовите основные этапы развития устройства микрофонов.
3. Перечислите основные параметры акустических систем и их количественные показатели.
4. Классификация микрофонов по принципу устройства.
5. Классификация микрофонов и ларингофонов по методу использования.

Список источников к лабораторной работе

1. Алдошина, И.Д. Микрофоны. Часть 3. Классификация микрофонов / И.Д. Алдошина // Дата первой публикации: март 2011. – Режим доступа: <http://www.moinf.info/articles/mics-3>. – Дата доступа: 05.07.2022
2. Алдошина, И.Д. Микрофоны. Термины и определения. История / Дата первой публикации: октябрь 2010. – Режим доступа: <http://www.moinf.info/articles/mics>. – Дата доступа: 05.07.2022
3. Алдошина, И.Д. Стереомикрофоны и микрофоны для систем Surround Sound. Часть 1 / И.Д. Алдошина // Install-Pro, 2005, № 4 (34), с.82-89
4. Алдошина, И.Д. Микрофоны. Часть 4. Классификация микрофонов по видам характеристик направленности / И.Д. Алдошина // Дата первой публикации: апрель 2011. – Режим доступа: <http://www.moinf.info/articles/mics-4>. – Дата доступа: 05.07.2022
5. Алдошина, И.Д. Микрофоны. Часть 2. Параметры. Методы измерения / И.Д. Алдошина // Дата первой публикации: декабрь 2010. – Режим доступа: <http://www.moinf.info/articles/mics-2>. – Дата доступа: 05.07.2022
6. Алдошина, И.Д. Микрофоны. Часть 5. Стереосистемы микрофонов / И.Д. Алдошина // Дата первой публикации: сентябрь 2011. – Режим доступа: <http://www.moinf.info/articles/mics-5>. – Дата доступа: 05.07.2022
7. Никитин, Б. Техника съема / Б. Никитин // Дата первой публикации: октябрь 2006. – Режим доступа: <http://www.moinf.info/articles/pickup-tech>. – Дата доступа: 05.07.2022
8. Алдошина, И.Д. Микрофоны. Часть 6. Системы микрофонов для пространственной звукозаписи / И.Д. Алдошина // Дата первой публикации: февраль 2012. – Режим доступа: <http://www.moinf.info/articles/mics-6>. – Дата доступа: 06.07.2022.
9. ГОСТ Р 53575 — 2009 Громкоговорители. Методы электроакустических испытаний
10. Словарь терминов: Акустические системы. – Режим доступа: <https://digital.1k.by/audio-acousticssystem-terms/>. – Дата доступа: 06.07.2022
11. Классификация и конструкция акустических систем. - Режим доступа: https://www.arstel.com/details/proektirovanie/sound/statya-po-ozvuchivaniyu_02.php. – Дата доступа: 06.07.2022
12. Особенности использования громкоговорителей в системах оповещения. - Режим доступа: <https://www.escortpro.ru/page/article/article103.htm>. – Дата доступа: 06.07.2022
13. Сапожков, М. А. Электроакустика / М. А. Сапожков. - Режим доступа: https://scask.ru/j_book_ela.php?id=51. – Дата доступа: 06.07.2022
14. Напольная акустика Martin Logan ElectroMotion ESL Gloss Black. - Режим доступа: https://hifidesign.ru/catalog/akustika/napolnaya_akustika/napolnaya_akustika_martin_logan/napolnaya_akustika_martin_logan_electromotion_esl_gloss_black/. – Дата доступа: 06.07.2022
15. Семейкин, М. Твитер — купольный или ленточный? Плюсы и минусы этих решений. // М. Семейкин // Дата публикации: 14.07.2017. - Режим доступа:

- [https:// https://blog.barnsly.ru/pt/wiki/tweeter-dome-or-ribbon/](https://blog.barnsly.ru/pt/wiki/tweeter-dome-or-ribbon/). – Дата доступа: 06.07.2022
16. Излучатели звука. Типы и виды излучателей. - Режим доступа: <http://techadviser.ru/articles/izluchатели-zvuka-tipy-i-vidy-izluchatelej/>. – Дата доступа: 06.07.2022
 17. Савчук, А. Ортодинамические излучатели / А.Савчук // Создано 11.04.2011. Обновлено 04.01.2022. - Режим доступа: <https://audiportal.su/diy/articles/obzory/izluchатели-hejla.html>. – Дата доступа: 06.07.2022
 18. Излучатели Хейла. - Режим доступа: <https://blog.barnsly.ru/pt/wiki/tweeter-dome-or-ribbon/>. – Дата доступа: 06.07.2022
 19. Пение плазмы: туманные перспективы ионофонов. - Режим доступа: <https://www.pvsm.ru/diy/250690>. – Дата доступа: 06.07.2022
 20. «Физика процесса наукой не объяснена»: история акустики в России. Режим доступа: <https://yandex.by/turbo/techinsider.ru/s/gadgets/494572-fizika-processa-naukoj-ne-obyasnena-unikalnaya-rossiyskaya-akustika/>. – Дата доступа: 06.07.2022
 21. Карапузов, Д. Акустическое будущее нанотрубок: новая жизнь термоакустики / Д.Карапузов // Дата публикации: 27.03.2020. - Режим доступа: <https://www.pult.ru/articles/interesting/akusticheskoe-budushchee-novaya-jizn/>. – Дата доступа: 06.07.2022
 22. Панада, В. Цифровые громкоговорители / В.Панада // Компьютерные вести. - 2004. - №11 - 18.03. - С.20. Режим доступа: <https://www.kv.by/archive/index2004110701.htm>. – Дата доступа: 30.07.2022
 23. Алдошина, И.Д. Акустическая метрология. Часть 1. Электроакустические параметры излучателей / И.Д. Алдошина // Install-Pro, 2001, № 5, с.36-41
 24. Алдошина, И.Д. Акустическая метрология. Часть 2. Электроакустические параметры излучателей / И.Д. Алдошина // Install-Pro, 2001, № 6, с. 64-69
 25. Алдошина, И.Д. Акустическая метрология. Часть 3. Электроакустические параметры излучателей. Нелинейные искажения / И.Д. Алдошина // Install-Pro, 2002, № 1, с. 84-89
 26. Методология настройки аудиосистем в автостудии "Эргономика" // Режим доступа: <https://ergonomika-auto.ru/diagnostika-i-nastroyka-audiosystem/10-uslugi/105-metodologia-nastroyki.html>. – Дата доступа: 30.07.2022
 27. Алдошина, И.Д. Акустическая метрология. Часть 4. Электроакустические параметры излучателей / И.Д. Алдошина // Install-Pro, 2002, № 2, с. 86-90
 28. Алдошина, И.Д. Акустическая метрология. Часть 6. Электроакустические параметры излучателей / И.Д. Алдошина // Install-Pro, 2002, № 4-5, с. 88-94
 29. Арматурные наушники со сбалансированным якорем – отличия и особенности против других типов излучателей в наушниках // Блог компании Soundpal Гаджеты Звук. – Дата публикации: 23.04. 2015. // Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/soundpal/blog/378671/>. – Дата доступа: 30.07.2022
 30. Технологии объективов EF // Режим доступа: http://www.lancer.com.ua/DOCs/Photographer/Manuals/Canon_book

s/EF_LENS_WORK_III/EF_Lens_Work_Book_9_RU.pdf. – Дата доступа: 09.10.2022

31. Технология OLED и дисплеи на её основе // Режим доступа: <http://ledjournal.info/byt/oled.html>. – Дата доступа: 09.10.2022

Лабораторная работа №3 **Исследование процесса фокусировки объектива цифрового фотоаппарата**

Теоретическая часть

Цель работы: Ознакомиться с конструкцией и принципом функционирования объективов в цифровой видеотехнике.

Объектив — оптическое устройство, проецирующее изображение объекта на плоскость. Обычно объектив состоит из набора линз (в некоторых объективах — из зеркал), собранных в единую систему внутри оправы.

В зависимости от назначения и устройства, в конструкцию объектива могут входить вспомогательные элементы: диафрагма для управления количеством проходящего света, система фокусировки, фотографический затвор, внутренние и встроенные бленды.

Фокусным расстоянием объектива называется расстояние от главной плоскости объектива до соответствующего фокуса.

Фокусом называется точка, в которой пересекаются после преломления все лучи, падающие на объектив параллельно оптической оси. Если параллельный пучок лучей идет из пространства предметов и образует фокус в пространстве изображений, то такой фокус называется задним. Если, наоборот, пучок из пространства изображений собирается в пространстве предметов, то такой фокус называется передним. В оптике принято считать, что световые лучи идут слева направо, то есть слева находится пространство предметов, а справа - пространство изображений.

Использование понятий «передняя и задняя главные плоскости объектива» позволяет упростить расчет хода лучей через оптическую систему. В промежутке между передней (в пространстве предметов) и задней (в пространстве изображений) плоскостями все оптические лучи параллельны оптической оси.

Фокусное расстояние от передней главной плоскости до переднего фокуса называется передним фокусным расстоянием. Так как по определению оно отсчитывается слева направо (против обычного хода лучей в оптике), его считают отрицательным. Фокусное расстояние от задней главной плоскости до заднего фокуса называется задним фокусным расстоянием. Оно отсчитывается справа налево (по ходу лучей в оптике) и является положительным. В технических характеристиках кино- и видеообъективов указывается заднее фокусное расстояние. Если показатели преломления среды в пространстве объектов и в пространстве изображений одинаковы, например,

воздух при обычной видеосъемке, то заднее и переднее фокусные расстояния равны между собой. Если оптические среды до и после объектива имеют разные показатели преломления, например, вода и воздух, то абсолютные значения фокусных расстояний (переднего и заднего) обратно пропорциональны соответствующим показателям преломления.

При одном и том же расстоянии до снимаемого объекта объективы с разным фокусным расстоянием обеспечивают разный масштаб съёмки и по-разному передают глубину пространства. В зависимости от этих параметров их делят на 3 группы: нормальные, короткофокусные и длиннофокусные. Границы между этими тремя группами определяются соотношением фокусного расстояния и диагонали кадра. Диагональ кадра в цифровых видеокамерах равна диагонали матрицы. Это значение указано в паспорте видеокамеры, как правило, в дюймах, необходимо перевести его в миллиметры, умножив его на коэффициент 25,4.

Нормальным считается объектив, у которого фокусное расстояние равно удвоенной диагонали кадра. Нормальные объективы дают изображения с естественной, неискаженной перспективой, ими часто снимают средние планы, а при съемке нормальным объективом крупных планов появляются искажения, обусловленные нарушением пропорций деталей объекта съемки, находящихся на разном расстоянии от кинокамеры (например, непропорциональное увеличение протянутой к аппарату руки актера).

Длиннофокусные объективы, у которых фокусное расстояние больше удвоенной диагонали кадра, сокращают глубину снимаемого пространства. Все предметы кажутся сплюснутыми по глубине. Скорость движения вглубь кадра и обратно замедляется. Увеличение фокусного расстояния объектива уменьшает глубину резко изображаемого пространства. Глубина резко изображаемого пространства - это расстояние вдоль оптической оси объектива между двумя плоскостями в пространстве предметов, в пределах которого предметы изображаются на светочувствительном слое фотоматериала достаточно резко. Таким образом, фокусное расстояние влияет на резкость в изображении самых близких и самых далеких предметов в кадре.

На рис. 1 представлена фотография, где из-за малой глубины резко изображаемого пространства верхняя и нижняя часть наклонного пня с грибами получились не резко, а центральная часть пня, по которой осуществлялась наводка на резкость, имеет хорошее качество по резкости.



Рис.1. Фотография объекта с малой глубиной резко изображаемого пространства

Нестабильность положения видеокамеры при использовании длиннофокусных объективов вызывает значительное смещение изображения на светочувствительной матрице. Это может привести к нерезкости изображения на кадре, а при определённом сочетании частот колебаний камеры и съёмки - и к неустойчивости («тряске») изображения при воспроизведении. Поэтому необходимо осуществлять стабилизацию посредством штативов либо использовать стабилизационные возможности видеокамеры или специальной насадки на объектив.

Масштаб при съёмке длиннофокусными объективами максимален, т.е. снимаемые предметы на светочувствительном носителе получаются максимально крупными. Длиннофокусными объективами обычно снимают крупные планы.

У короткофокусных объективов фокусное расстояние меньше удвоенной диагонали кадра. Их также называют широкоугольными, так как угловой охват снимаемого пространства у них больше, чем у нормальных. Масштаб при съёмке короткофокусными объективами минимален, и снимаемые предметы на светочувствительном носителе получаются мелкими. С другой стороны, эти объективы увеличивают глубину пространства, поэтому небольшие предметы на заднем фоне воспринимаются зрителем крупнее, чем

они были на самом деле. Короткофокусные объективы имеют большую глубину резко изображаемого пространства. При их использовании темп движения вглубь кадра и обратно воспринимается на экране увеличенным. Широкоугольные объективы позволяют осуществлять съемку с малых дистанций, поэтому могут использоваться в тесных помещениях. Недостаток короткофокусных объективов - значительные геометрические искажения, проявляющиеся как искривление прямолинейных контуров в изображении (дисторсия), при панорамировании искривляются вертикальные линии по краям кадра.

Иногда дисторсия используется как художественный эффект. Широкоугольные объективы с намеренно неисправленной бочкообразной дисторсией называются «рыбий глаз». Оптическая схема объектива типа МС Зенитар-М типа «рыбий глаз» представлена на рис.2.

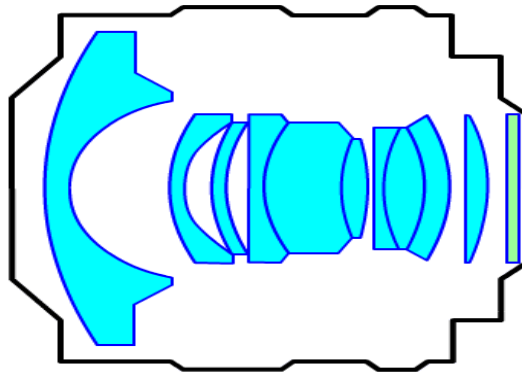


Рис. 2. Оптическая схема объектива типа «рыбий глаз»

В настоящее время для видеосъемки преимущественно используют объективы с переменным фокусным расстоянием. Отношение максимального фокусного расстояния к минимальному (так называемый «оптический зум») может достигать 80 при применении конвертера – специальной оптической насадки, увеличивающей фокусное расстояние объектива. Конвертер, как правило, увеличивает фокусное расстояние в 1,4 - 2 раза и во столько же уменьшает относительное отверстие объектива. В некоторых моделях видеокамер регулируется скорость изменения фокусного расстояния.

Анализ соотношений диагонали матрицы и диапазона фокусных расстояний свидетельствует, что в основном объективы с переменным фокусным расстоянием в камере работают как длиннофокусные со всеми присущими этой группе достоинствами и недостатками.

Так как положение главных плоскостей объектива относительно оправы или поверхности крайних линз приводится только в практически недоступных операторам и другим пользователям оптических схемах объектива, то определить при необходимости положение фокуса возможно по заднему вершинному фокусному расстоянию. Указанный параметр вместе с рабочим отрезком и торцовым расстоянием определяют положение объектива относительно корпуса видеокамеры и соответственно относительно

светочувствительной матрицы, а также возможность при замене «штатного» объектива другим осуществлять автофокусировку.

Заднее вершинное фокусное расстояние (задний отрезок) – это расстояние от "вершины", т.е. точки пересечения главной оптической оси с внешней поверхностью задней линзы объектива, до заднего главного фокуса. Обычно задний отрезок меньше главного фокусного расстояния. Объективы с одинаковым фокусным расстоянием могут иметь разные задние отрезки, что необходимо учитывать при комплектации видеокамеры набором объективов.

Рабочий отрезок (рабочее расстояние объектива) - это расстояние от опорной плоскости торцевой части оправы объектива до главной фокальной плоскости, показан на рис. 3 как $L_{\text{роб}}$. Главной фокальной плоскостью называется плоскость, перпендикулярная оптической оси, где у идеальной оптической системы располагаются главный и все остальные фокусы – точки пересечения преломленных объективом параллельных лучей.

Рабочий отрезок объектива определяет положение плоскости светочувствительной матрицы. Для сменных объективов его численное значение приводится в паспорте. Важным параметром с точки зрения взаимозаменяемости является также торцовое расстояние - минимальное расстояние от заднего торца оправы объектива до его заднего фокуса.

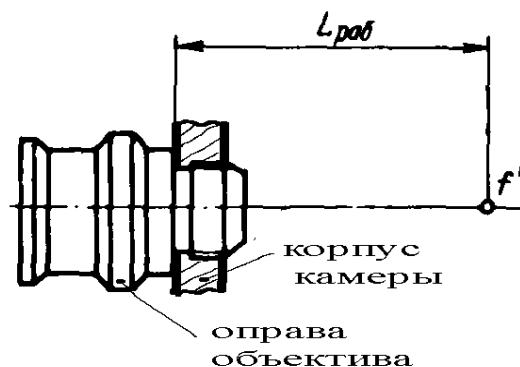


Рис. 3. Рабочий отрезок объектива

Соотношение фокусного расстояния объектива и диагонали матрицы влияют не только на возможный диапазон масштабов съёмки, но и определяют углы поля зрения объектива.

Углы поля зрения определяют угловой охват снимаемого пространства, изображаемого в пределах кадра и ограниченного внутри картинной плоскости на рис. 4. Если углы поля зрения являются угловыми границами в пространстве предметов (левая относительно объектива область на рис. 4), то углы поля изображения определяют угловой охват в пространстве изображений (правая относительно объектива область на рис. 4). Если показатели преломления сред в пространствах предметов и изображений одинаковы, например, «воздух-воздух», то углы в обоих пространствах равны.

Различают диагональный $2\omega'$, горизонтальный $2\omega_{\text{г}}$ и вертикальный $2\omega_{\text{в}}$ углы поля зрения и поля изображения (см. рис. 4).

У многих объективов диаметр поля изображения больше диагонали кадра и, следовательно, используемый угол поля изображения меньше предельно допустимого. При фокусировке объектива на бесконечность значение угла поля изображения может быть определено по формуле:

$$\text{tg } \omega = l / 2f', \quad (1)$$

где ω — половина угла поля изображения по диагонали, горизонтали или вертикали, l — диагональ, ширина или высота кадра; f' — фокусное расстояние объектива.

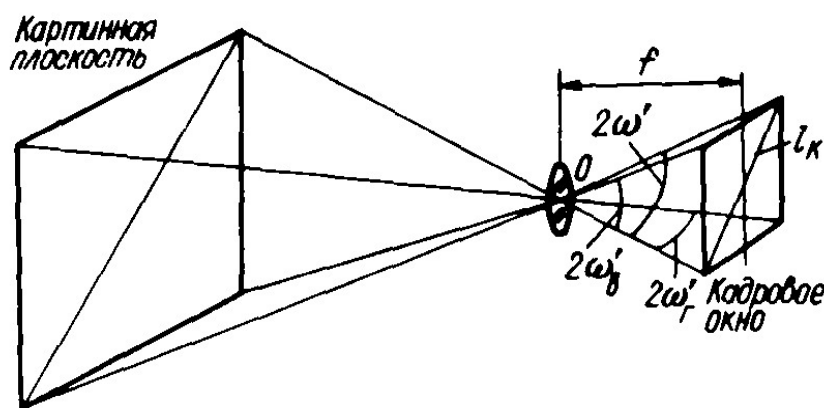


Рис. 4. Углы поля зрения и поля изображения

Этой формулой можно пользоваться для расстояний, присущих обычной видеосъемке, так как дистанция съёмки считается бесконечно большой по сравнению с фокусным расстоянием объектива. Исключением являются макросъемки, где дистанции соизмеримы с фокусным расстоянием. Для таких случаев предлагается формула (2), учитывающая дополнительное выдвижение объектива:

$$\text{tg } \omega = l / 2(f' + x') \quad (2)$$

где x' — дополнительное выдвижение объектива для данной дистанции съёмки.

В случае использования декораций в художественной съёмке угол поля зрения для съёмки определённого плана необходимо знать заранее, чтобы изготовить декорации необходимого размера.

Геометрическое относительное отверстие - это отношение диаметра входного зрачка к заднему фокусному расстоянию. Входной зрачок есть изображение 1 (рис. 5) апертурной диафрагмы 2, сформированное передней частью 3 оптической системы (то есть расположенной левее конструкции диафрагмы) в пространстве предметов при обратном ходе лучей. Апертурная

диафрагма 2 - отверстие, ограничивающее поперечное сечение как осевого, так и наклонных световых пучков, проходящих через объектив.

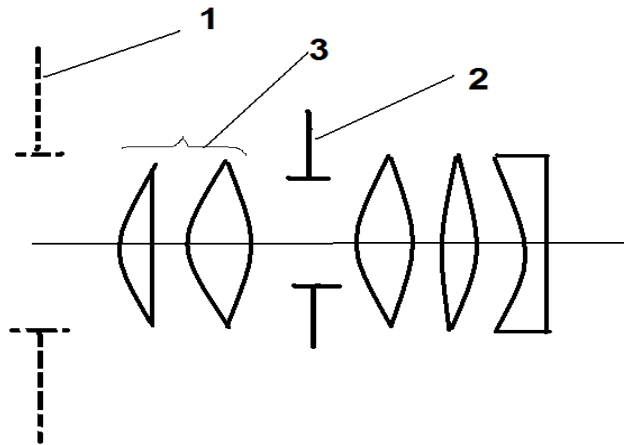


Рис. 5. К определению входного зрачка объектива

На рис. 6 показано, что пучок лучей, выходящих из какой-либо точки предмета (например, из точки O), ограничивается входным зрачком.

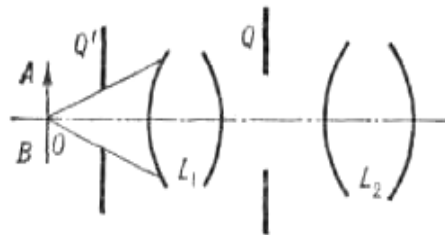


Рис. 6. Взаимное расположение элементов оптической системы и входного зрачка (AB — предмет; O — апертурная диафрагма; O' — входной зрачок; L_1 и L_2 — части оптической системы, расположенные соответственно перед апертурной диафрагмой и за ней)

В видеокамерах максимальное значение геометрического относительного отверстия зависит от параметров оптической схемы объектива. Меньшие значения устанавливаются за счет изменения размера апертурной диафрагмы, обычно конструктивно выполненной в виде совокупности лепестков. Такая лепестковая конструкция получила название ирисовой.

При изменении фокусного расстояния объектива в нём происходит взаимное перемещение оптических элементов, и изображение апертурной диафрагмы в пространстве предметов, являющееся входным зрачком, изменяется. Как правило, при увеличении фокусного расстояния входной зрачок уменьшается. Поэтому и уменьшается относительное отверстие объектива. В техническом паспорте объектива или видеокамеры в таких случаях указывают 2 значения геометрического относительного отверстия:

большее соответствует минимальному фокусному расстоянию, меньшее – максимальному.

Необходимо отметить, что геометрическое относительное отверстие определяет не только освещенность кадра, но и качество формируемого изображения, влияет на глубину резко изображаемого пространства. В сложных многолинзовых объективах значительны потери света в объективе за счет поглощения и отражения оптическими элементами. Для упрощения определения необходимой экспозиции (количества световой энергии, обеспечивающей оптимальный перепад освещенностей на светочувствительной матрице) эти потери «переводят» в уменьшение относительного отверстия, то есть считают, что данный объектив не имеет потерь за счет поглощения и отражения, а обладает уменьшенным относительным отверстием по сравнению с истинным, геометрическим. Такое уменьшенное относительное отверстие называют эффективным.

Эффективное относительное отверстие показывает, какое относительное отверстие имел бы идеальный (без потерь света за счет поглощения и отражения) объектив, создающий в кадре изображения такую же освещенность, как и данный реальный объектив [9].

На оправе объектива вместе с фокусным расстоянием или диапазоном расстояний указывается максимальное геометрическое относительное отверстие или диапазон значений этого отверстия. Если объектив дополнительно имеет шкалу относительных отверстий диафрагм, то на ней указаны эффективные значения. Градуировка этих значений обеспечивает изменение проходящего через объектив светового потока в два раза при изменении эффективного относительного отверстия на одно значение шкалы. Стандартная шкала имеет следующий ряд значений относительного отверстия: 1:0,7; 1:1; 1:1,4; 1:2; 1:2,8; 1:4; 1:5,6; 1:8; 1:11; 1:16; 1:22; 1:32. Знаменатель относительного отверстия называют диафрагменным числом. В современных видеокамерах информация о текущем значении относительного отверстия выводится на дисплей в цифровом виде через меню операций.

Часто имеют место попытки пользоваться вместо понятия «относительное отверстие» понятием «светосила». В литературе существуют различные трактовки этого понятия. Освещенность светочувствительной матрицы пропорциональна площади входного зрачка, то есть квадрату относительного отверстия. Этот квадрат относительного отверстия называется светосилой объектива, геометрической или эффективной. Иногда светосилу рассматривают как синоним относительного отверстия.

Апертура (диафрагма) объектива связана с диаметром группы световых лучей, проходящих через объектив, и определяет яркость изображения объекта, образуемого в фокальной плоскости. На рис. 7 представлена одна из конструкции диафрагм.



Рис. 7. Лепестковая диафрагма

В зависимости от форм различают собирающие (положительные) и рассеивающие (отрицательные) линзы. К группе собирательных линз обычно относят линзы, у которых середина толще их краёв, а к группе рассеивающих — линзы, края которых толще середины. Следует отметить, что это верно только если показатель преломления у материала линзы больше, чем у окружающей среды. Если показатель преломления линзы меньше, ситуация будет обратной. Например пузырёк воздуха в воде — двояковыпуклая рассеивающая линза.

Линзы характеризуются, как правило, своей оптической силой (измеряется в диоптриях), или фокусным расстоянием.

Для построения оптических приборов важны и иные свойства линз и их материалов, например, коэффициент преломления, коэффициент дисперсии, коэффициент пропускания материала в выбранном оптическом диапазоне.

Виды линз представлены на рис.8.

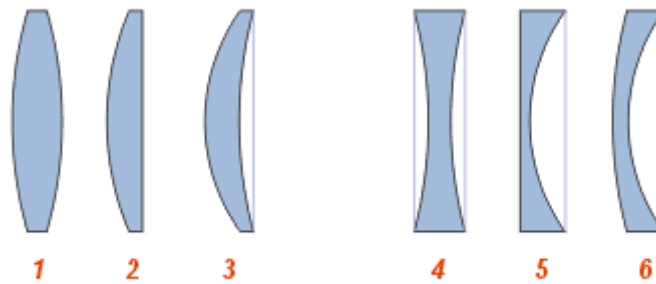


Рис. 8. Виды линз: собирающие (1 — двояковыпуклая, 2 — плоско-выпуклая, 3 — вогнуто-выпуклая или положительный выпуклый мениск); рассеивающие (4 — двояковогнутая, 5 — плоско-вогнутая, 6 — выпукло-вогнутая или отрицательный вогнутый мениск)

Отличительным свойством собирающей линзы является способность собирать падающие на её поверхность лучи в одной точке, расположенной по другую сторону линзы. Основные элементы линзы показаны на рис.9: NN — оптическая ось — прямая линия, проходящая через центры сферических поверхностей, ограничивающих линзу; O — оптический центр — точка, которая у двояковыпуклых или двояковогнутых (с одинаковыми радиусами поверхностей) линз находится на оптической оси внутри линзы (в её центре).

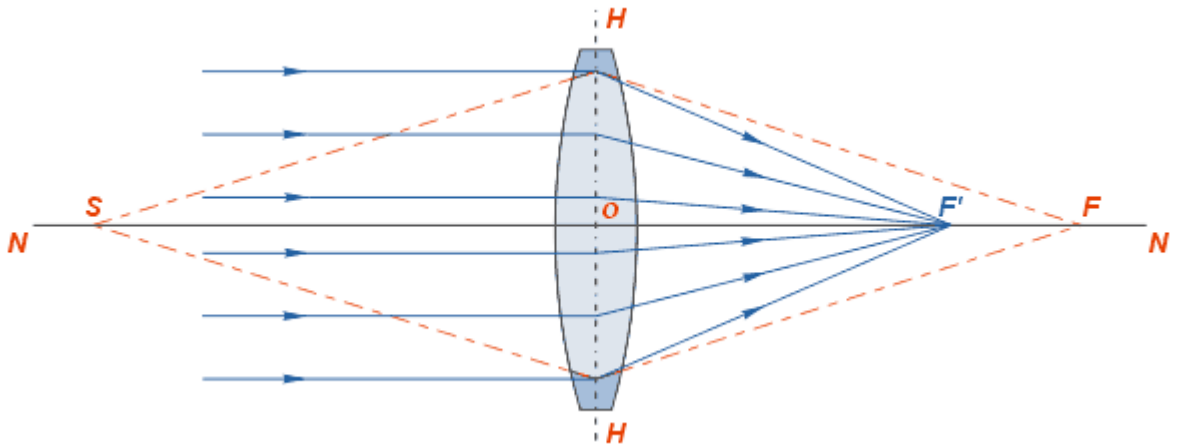


Рис. 9. Ход лучей в собирающей линзе

Если на некотором расстоянии перед собирающей линзой поместить светящуюся точку S, то луч света, направленный по оси, пройдёт через линзу не преломившись, а лучи, проходящие не через центр, будут преломляться в сторону оптической оси и пересекутся на ней в некоторой точке F, которая и будет изображением точки S. Эта точка носит название сопряжённого фокуса, или просто фокуса.

Если на линзу будет падать свет от очень удалённого источника, лучи которого можно представить идущими параллельным пучком, то по выходе из неё лучи преломятся под бóльшим углом и точка F переместится на оптической оси ближе к линзе. При данных условиях точка пересечения лучей, вышедших из линзы, называется фокусом F', а расстояние от центра линзы до фокуса — фокусным расстоянием.

Лучи, падающие на рассеивающую линзу, по выходе из неё будут преломляться в сторону краёв линзы, то есть рассеиваться. Если эти лучи продолжить в обратном направлении так, как показано на рисунке пунктирной линией, то они сойдутся в одной точке F , которая и будет фокусом этой линзы. Этот фокус будет мнимым (рис. 10).

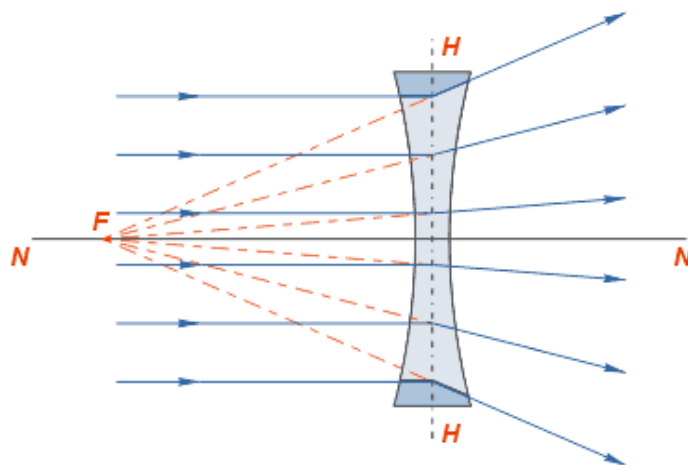


Рис. 10. Ход лучей в рассеивающей линзе

Линза, для которой толщина принята равной нулю, в оптике называется «тонкой». Для такой линзы показывают не две главных плоскости, а одну, в которой как бы сливаются вместе передняя и задняя.

Необходимо рассмотреть построение хода луча произвольного направления в тонкой собирающей линзе. Для этого воспользуемся двумя свойствами тонкой линзы.

Луч, прошедший через оптический центр линзы, не меняет своего направления;

Параллельные лучи, проходящие через линзу, сходятся в фокальной плоскости (рис. 11).

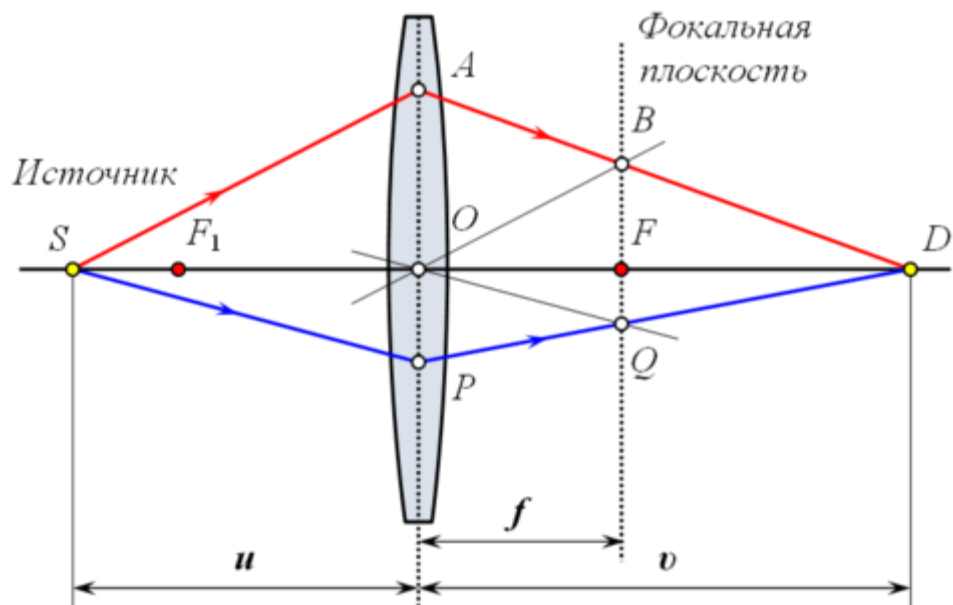


Рис. 11. Ход луча произвольного направления в тонкой собирающей линзе

Рассмотрим луч SA произвольного направления, падающий на линзу в точке A . Построим линию его распространения после преломления в линзе. Для этого построим луч OB , параллельный SA и проходящий через оптический центр O линзы. По первому свойству линзы луч OB не изменит своего направления и пересечёт фокальную плоскость в точке B . По второму свойству линзы параллельный ему луч SA после преломления должен пересечь фокальную плоскость в той же точке. Таким образом, после прохождения через линзу луч SA пойдёт по пути AB .

Аналогичным образом можно построить другие лучи, например луч SPQ .

Обозначим расстояние SO от линзы до источника света через u , расстояние OD от линзы до точки фокусировки лучей через v , фокусное расстояние OF через f . Выведем формулу, связывающую эти величины.

Рассмотрим две пары подобных треугольников: 1) SOA и OBF ; 2) DOA и DFB . Запишем пропорции

$$\frac{OA}{u} = \frac{BF}{f}; \quad \frac{OA}{v} = \frac{BF}{v-f}.$$

Разделив первую пропорцию на вторую, получим

$$\frac{v}{u} = \frac{v-f}{f}; \quad \frac{v}{u} = \frac{v}{f} - 1.$$

После деления обеих частей выражения на v и перегруппировки членов, приходим к окончательной формуле

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

Масштабом изображения m называется отношение линейных размеров изображения к соответствующим линейным размерам предмета. Это отношение может быть косвенно выражено дробью

$$\frac{v}{u} = m$$

где V — расстояние от линзы до изображения; U — расстояние от линзы до предмета.

Здесь m есть коэффициент уменьшения, т. е. число, показывающее во сколько раз линейные размеры изображения меньше действительных линейных размеров предмета.

В практике вычислений гораздо удобнее это соотношение выразить в значениях u или f , где f — фокусное расстояние линзы.

$$m = \frac{f}{u - f}; m = \frac{v - f}{f}$$

Основные параметры при фокусировке объективов показаны на рис.12.

- Съемочное расстояние - расстояние от снимаемого объекта до фокальной плоскости Θ .

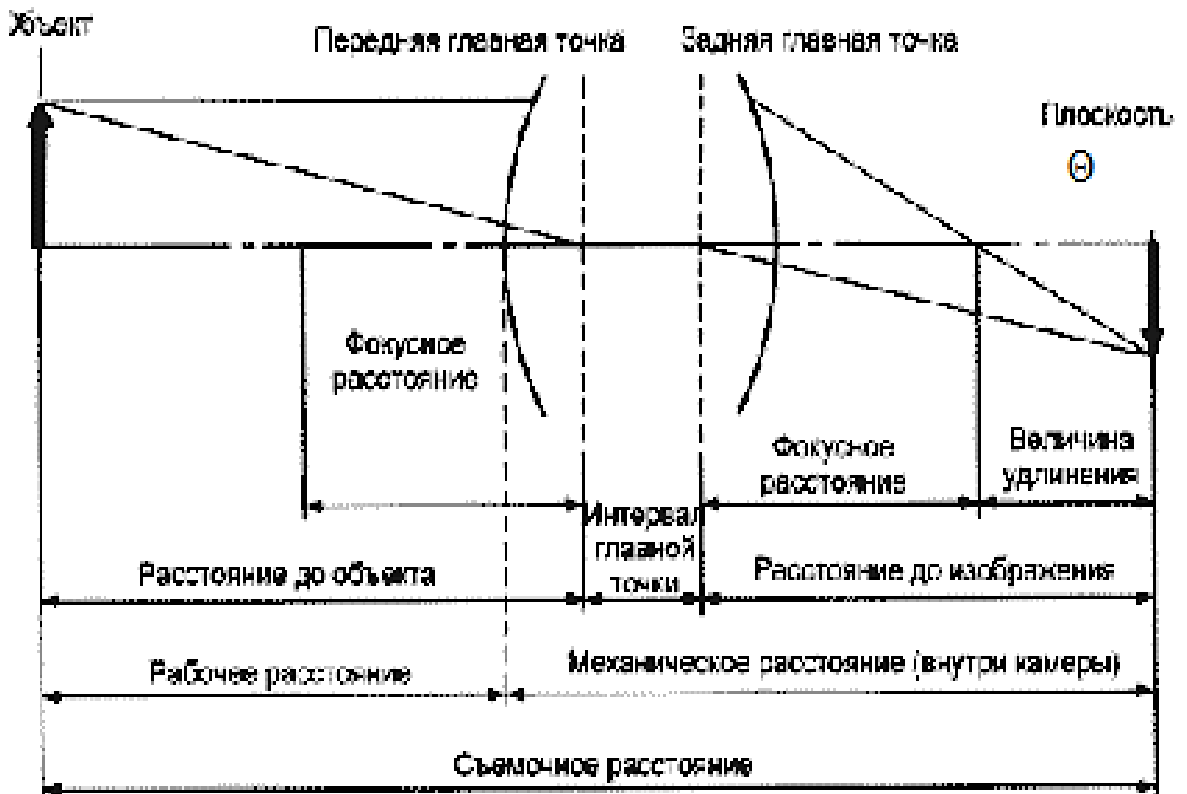


Рис. 12. Основные параметры при фокусировке объективов

- Расстояние до объекта - расстояние от передней главной точки объектива до объекта.

- Расстояние до изображения - расстояние от задней главной точки объектива до плоскости светочувствительной матрицы, когда объектив сфокусирован на объекте, не находящемся бесконечно далеко.

- Величина удлинения – максимальное значение перемещения объектива, необходимое для фокусировки изображения объекта на матрице (для объективов, в которых перемещается при фокусировке вся оптическая система).

- Расстояние внутри камеры - расстояние от переднего края тубуса объектива до плоскости матрицы.

- Переднее рабочее расстояние - расстояние от переднего края тубуса объектива до объекта (важно при съемке крупных планов и с увеличением).

- Увеличение изображений - соотношение (соотношение длины) между фактическим размером объекта и размером изображения, воспроизведенного на пленке. Макросъемочный объектив с показателем увеличения 1:1 может воспроизводить изображение на пленке такого же размера, как первоначальный объект (в натуральную величину). Увеличение обычно выражается как пропорциональная величина, показывающая размер изображения по сравнению с реальным объектом (например, увеличение 1:4 выражается как 0,25X.)

Соотношения между фокусным расстоянием, величиной удлинения (общим удлинением) и увеличением получены из рис. 13:

f =фокусное расстояние

r =величина удлинения

e =интервал главной точки

R =съемочное расстояние

y =размер объекта

y' =размер объекта на плоскости пленки

M =увеличение

$$R = (r+f)^2 / r + e = f(M+1)^2 / M + e$$

$$M = y'/y = r/f$$

где f =фокусное расстояние;

r =величина удлинения;

e =интервал главной точки;

R =съемочное расстояние;

y =размер объекта;

y' =размер объекта на плоскости пленки;
 M =увеличение.

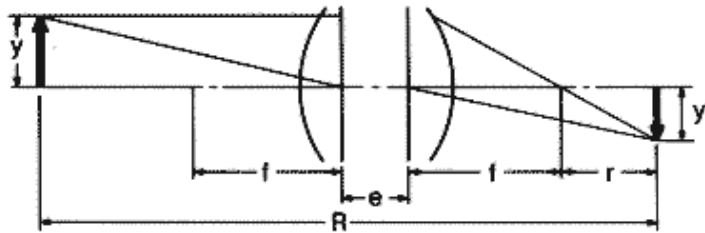


Рис. 13. Схема для расчета съемочного расстояния

Методы перемещения объектива для фокусировки можно в общем разделить на пять типов, описанных ниже.

Общее линейное удлинение Вся оптическая система объектива движется прямо назад и вперед при фокусировке.

Линейное удлинение передней группы Задняя группа остается неподвижной, и только передняя группа двигается прямо назад и вперед во время фокусировки.

Вращательное удлинение передней группы Отдел тубуса объектива, содержащий переднюю группу вращается, перемещая переднюю группу назад и вперед во время фокусировки. Этот тип фокусировки используется только в Зум-объективах и не встречается в объективах с единым фокусным расстоянием. Поскольку кольцо подсоединения фильтра и бленда вращаются вместе с объективом во время фокусировки, при съемке через оконное стекло необходимо внимательно следить за тем, чтобы конец объектива не соприкасался со стеклом.

Внутренняя фокусировка Фокусировка осуществляется путем перемещения одной или нескольких групп линз, расположенных между передней группой линз и диафрагмой.

Задняя фокусировка Фокусировка осуществляется путем перемещения одной или нескольких групп линз, расположенных позади диафрагмы.

Практическая часть

1. Ознакомиться со схемой установки фокусировки объектива и устройством входящих в нее элементов (смотри общую схему установки на рис. 14).

2. Произвести фокусировку, вращением барабана (см. рис. 14) узла 1, т.е. добиться четкого изображения картинка на экране Э.

3. В данном положении измерить размер фрагмента изображения “звездочки” на экране, размер объекта “звездочка” составляет 3 мм.

4. Рассчитать масштаб изображения по формуле из теоретической части

$$M=y'/y,$$

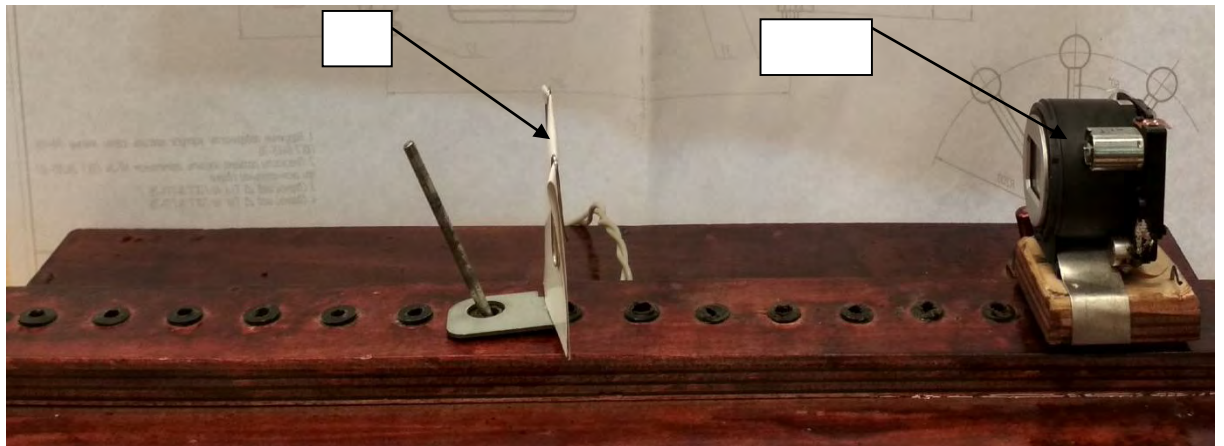


Рисунок 14 – Общая схема установки

5. В данном положении измерить расстояние от объектива (условно от главной плоскости) до изображения «v» (см. рис. 12). Изображением является картина на экране.

6. Рассчитать расстояние от главной плоскости до объекта «звездочка» по формуле

$$U = v \times M$$

7. Найти фокусное расстояние из формулы

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

8. Пункты 2-7 повторить 3 раза, изменяя при этом расстояние до изображения «v».

9. Построить график зависимости изменения фокусного расстояния от расстояния до изображения.

10. Сделать выводы по графику.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема установки.
3. Оптическая схема для использования формулы линзы.
4. Необходимые расчетные формулы.
5. График (п.8 практической части).
6. Выводы по графику.

Контрольные вопросы

1. Что такое фокусное расстояние?
2. Что такое нормальное фокусное расстояние?
3. Как изменяется глубина изображаемого, резко изображаемого пространства, скорости движения при

- осевом движении объекта вдоль оптической оси?
4. Относительное отверстие, геометрическое и эффективное. Что больше для одного и того же объектива и почему?
 5. Как определить масштаб изображения?
 6. Перечислить варианты перемещения оптических элементов в объективе при фокусировке.

Лабораторная работа № 4

Изучение параметров резкости с использованием камеры Lytro

Теоретическая часть

1. Характеристики, определяющие резкость изображения

Цель работы: Изучить принципы функционирования камеры Lytro, теоретически и практически оценить влияние расстояния до плоскости резкой на водку на глубину резко изображаемого пространства.

Резкостью называют различимость линейных границ деталей различной яркости в изображении по сравнению с теми же границами в объекте. Необходимо иметь в виду, что, если пренебречь наличием астигматической кривизны поля изображения, объектив способен максимально резко воспроизвести только плоский объект, плоскость которого перпендикулярна оптической оси. Оценка характеристик объектива, определяющих резкость, как раз и производят для этой плоскости. Все используемые для оценки резкости характеристики (разрешающая способность, амплитудно-частотная характеристика, функции рассеяния линии, точки, края и другие) зависят от расстояния до плоскости, на которую фокусируется объектив. Все остальные элементы неплоского снимаемого объекта, лежащие вне плоскости фокусировки объектива, изображаются на светочувствительной матрице «размытыми». На рис.1.1, показано построение объективом изображения точек лежащих вне и на плоскости фокусировки. Из рисунка видно, что изображение A' точки A на фокусируемой плоскости представляет собой точку, а изображения B' и C' точек B и C превращаются в «размытые» кружки.

Если диаметр «размытых» кружков большой, то зритель будет воспринимать изображения соответствующих точек на экране как нерезкие. Уменьшая этот диаметр, можно достигнуть некоторого порогового значения, когда из-за неидеальности зрения эти кружки будут восприниматься как точки. Эти два пороговых значения допустимых кружков рассеяния B' и C' , образованных точками B и C , лежащими перед и за плоскостью фокусировки, определяют глубину резко изображаемого пространства.

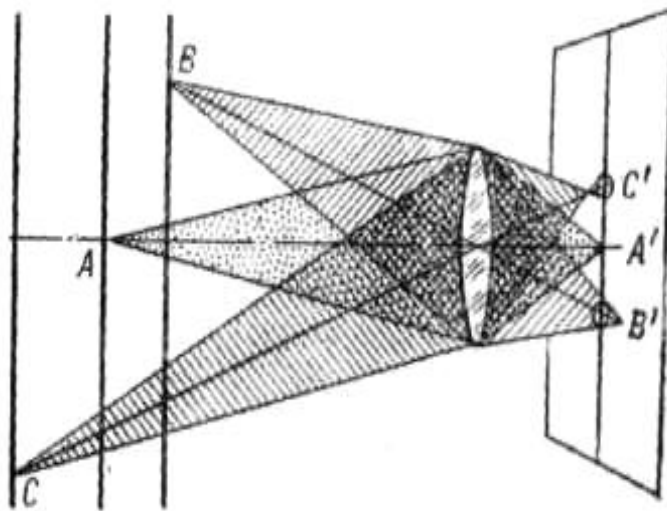


Рис. 1.1. Схема построения изображений точек

A, B, C , лежащих вне и на плоскости фокусировки

Глубиной резко изображаемого пространства называется расстояние, измеренное вдоль оптической оси объектива между двумя плоскостями в пространстве предметов, в пределах которого предметы изображаются на светочувствительном носителе (матрица, фотоматериал) с достаточной степенью резкости (диаметр кружка нерезкости не превышает допустимого значения).

Формула расчета глубины L резко изображаемого пространства имеет вид:

$$\Delta a_{теор} = a \cdot f^2 \cdot \left(\frac{1}{f^2 + f \cdot n \cdot d_{кам}} - \frac{1}{f^2 - f \cdot n \cdot d_{кам}} \right),$$

где a – расстояние от камеры до границы резкой наводки (п.4),

f – фокусное расстояние объектива (минимальное фокусное расстояние объектива камеры, равное 43 мм),

n – знаменатель относительного отверстия объектива, равный 2,

$d_{кам}$ – диаметр допустимого кружка рассеивания в плоскости матрицы камеры, вычисляемый по формуле:

$$d_{кам} = \frac{d_{гл} \cdot l_{дисп} \cdot B_{кам}}{f_{гл} \cdot B_{дисп}},$$

$d_{гл}$ – допустимый кружок рассеивания на сетчатке глаза (равный 0,005 мм),

$l_{\text{дисп}}$ - расстояние между глазом и дисплеем (измерить),

$B_{\text{кам}}$ - ширина изображения на матрице камеры (36 мм),

$f_{\text{гл}}$ - фокусное расстояние глаза (20 мм),

$B_{\text{дисп}}$ - ширина изображения на матрице дисплея (измерить).

На рис. 1.2 представлена зависимость зоны резко изображаемого пространства от дистанции наводки для объектива с фокусным расстоянием 50 мм и относительным отверстием 1:2. Из рис. 1.1 видно, что с увеличением дистанции наводки глубина резко изображаемого пространства значительно возрастает.

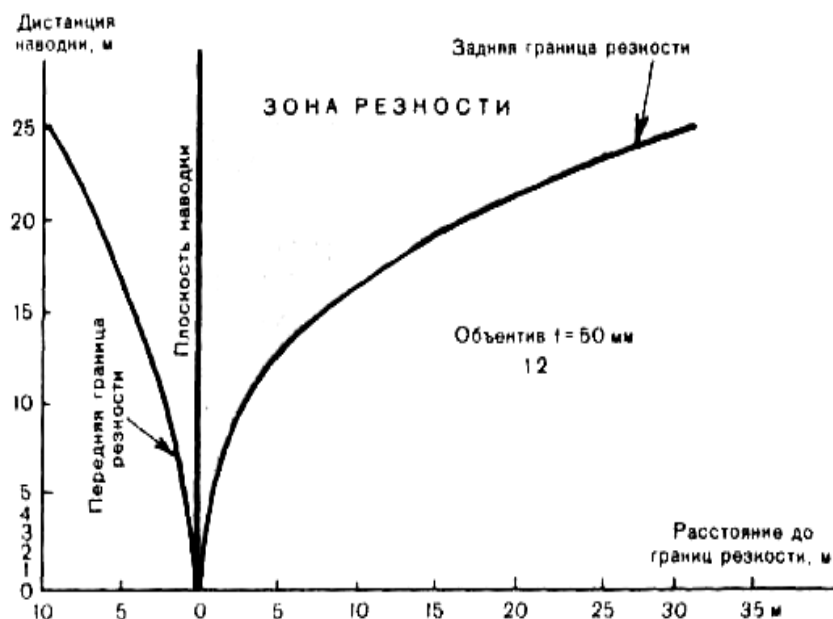


Рис.1.2. Зависимость зоны резко изображаемого пространства от дистанции наводки для объектива с фокусным расстоянием 50 мм и относительным отверстием 1:2

Фокусным расстоянием объектива называется расстояние от главной плоскости объектива до соответствующего фокуса.

Фокусом называется точка, в которой пересекаются после преломления все лучи, падающие на объектив параллельно оптической оси. Если параллельный пучок лучей идет из пространства предметов и образует фокус в пространстве изображений, то такой фокус называется задним. Если, наоборот, пучок из пространства изображений собирается в пространстве

предметов, то такой фокус называется передним. В оптике принято считать, что световые лучи идут слева направо, то есть слева находится пространство предметов, а справа - пространство изображений.

Использование понятий «передняя и задняя главные плоскости объектива» позволяет упростить расчет хода лучей через оптическую систему. В промежутке между передней (в пространстве предметов) и задней (в пространстве изображений) плоскостями все оптические лучи параллельны оптической оси.

Фокусное расстояние от передней главной плоскости до переднего фокуса называется передним фокусным расстоянием. Так как по определению оно отсчитывается слева направо (против обычного хода лучей в оптике), его считают отрицательным. Фокусное расстояние от задней главной плоскости до заднего фокуса называется задним фокусным расстоянием. Оно отсчитывается справа налево (по ходу лучей в оптике) и является положительным. В технических характеристиках кино- и видеообъективов указывается заднее фокусное расстояние. Если показатели преломления среды в пространстве объектов и в пространстве изображений одинаковы, например, воздух при обычной видеосъемке, то заднее и переднее фокусные расстояния равны между собой. Если оптические среды до и после объектива имеют разные показатели преломления, например, вода и воздух, то абсолютные значения фокусных расстояний (переднего и заднего) обратно пропорциональны соответствующим показателям преломления.

При одном и том же расстоянии до снимаемого объекта объективы с разным фокусным расстоянием обеспечивают разный масштаб съёмки и по-разному передают глубину пространства. В зависимости от этих параметров их делят на 3 группы: нормальные, короткофокусные и длиннофокусные. Границы между этими тремя группами определяются соотношением фокусного расстояния и диагонали кадра. Диагональ кадра в цифровых видеокамерах равна диагонали матрицы. Это значение указано в паспорте видеокамеры, как правило, в дюймах, необходимо перевести его в миллиметры, умножив его на коэффициент 25,4.

Нормальным считается объектив, у которого фокусное расстояние равно удвоенной диагонали кадра. Нормальные объективы дают изображения с естественной, неискаженной перспективой, ими часто снимают средние планы, а при съемке нормальным объективом крупных планов появляются искажения, обусловленные нарушением пропорций деталей объекта съемки, находящихся на разном расстоянии от кинокамеры (например, непропорциональное увеличение протянутой к аппарату руки актера).

Длиннофокусные объективы, у которых фокусное расстояние больше удвоенной диагонали кадра, сокращают глубину снимаемого пространства. Все предметы кажутся сплюснутыми по глубине. Скорость движения вглубь кадра и обратно замедляется. Увеличение фокусного расстояния объектива уменьшает глубину резко изображаемого пространства. *Глубина резко изображаемого пространства* - это расстояние вдоль оптической оси объектива между двумя плоскостями в пространстве предметов, в пределах которого предметы изображаются на светочувствительном слое достаточно резко при восприятии. Таким образом, фокусное расстояние влияет на резкость в изображении самых близких и самых далеких предметов в кадре.

На рис.1.3 представлена фотография, где из-за малой глубины резко изображаемого пространства верхняя и нижняя часть наклонного пня с грибами получились не резко, а центральная часть пня, по которой осуществлялась наводка на резкость, имеет хорошее качество по резкости.



Рис. 1.3. Фотография объекта с малой глубиной резко изображаемого пространства.

На рис.1.4 представлена зависимость зоны резко изображаемого пространства от фокусного расстояния объектива. Здесь видна противоположная тенденция: с ростом фокусного расстояния глубина резко изображаемого пространства уменьшается.

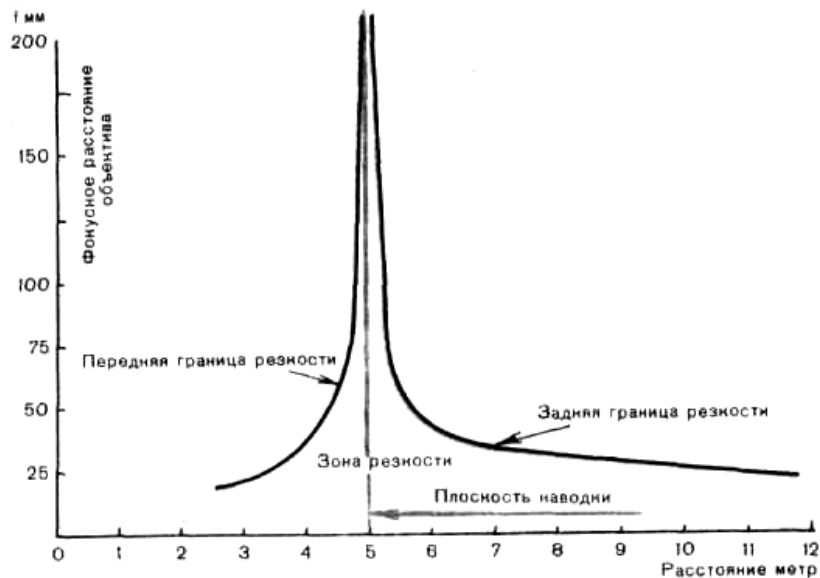


Рис.1.4. Зависимость зоны резко изображаемого пространства от фокусного расстояния объектива при постоянных значениях дистанции наводки (5 м) и относительного отверстия (1:2)

Геометрическое относительное отверстие - это отношение диаметра входного зрачка к заднему фокусному расстоянию. Входной зрачок есть изображение 1 (рис.1.5) апертурной диафрагмы 2, сформированное передней частью 3 оптической системы (то есть расположенной левее конструкции диафрагмы) в пространстве предметов при обратном ходе лучей. Апертурная диафрагма 2 - отверстие, ограничивающее поперечное сечение как осевого, так и наклонных световых пучков, проходящих через объектив.

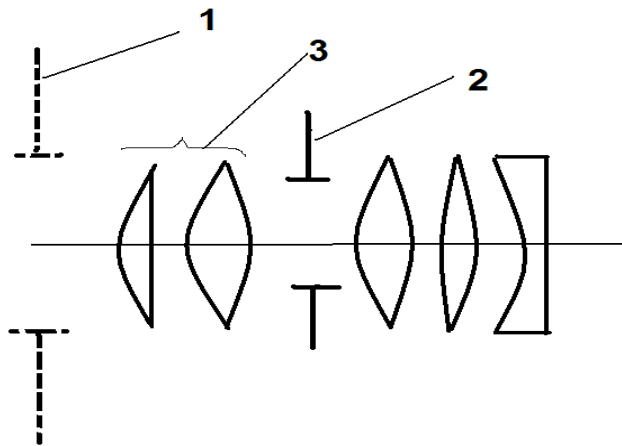


Рис.1.5.К определению входного зрачка объектива

В видеокамерах максимальное значение геометрического относительного отверстия зависит от параметров оптической схемы объектива. Меньшие значения устанавливаются за счет изменения размера апертурной диафрагмы, обычно конструктивно выполненной в виде совокупности лепестков. Такая лепестковая конструкция получила название ирисовой.

При изменении фокусного расстояния объектива в нём происходит взаимное перемещение оптических элементов, и изображение апертурной диафрагмы в пространстве предметов, являющееся входным зрачком изменяется. Как правило, при увеличении фокусного расстояния входной зрачок уменьшается. Поэтому и уменьшается относительное отверстие объектива. В техническом паспорте объектива или видеокамеры в таких случаях указывают 2 значения геометрического относительного отверстия: большее соответствует минимальному фокусному расстоянию, меньшее – максимальному.

Необходимо отметить, что геометрическое относительное отверстие определяет не только освещенность кадра, но и качество формируемого изображения, влияет на глубину резко изображаемого пространства.

В сложных многолинзовых объективах значительны потери света в объективе за счет поглощения и отражения оптическими элементами. Для упрощения определения необходимой экспозиции (количества световой энергии, обеспечивающей оптимальный перепад освещенностей на светочувствительной матрице) эти потери «переводят» в уменьшение относительного отверстия, то есть считают, что данный объектив не имеет потерь за счет поглощения и отражения, а обладает уменьшенным

относительным отверстием по сравнению с истинным, геометрическим. Такое уменьшенное относительное отверстие называют эффективным.

Эффективное относительное отверстие показывает, какое геометрическое относительное отверстие имел бы идеальный (без потерь света за счет поглощения и отражения) объектив, создающий в кадре изображения такую же освещенность, как и данный реальный объектив.

На оправе объектива вместе с фокусным расстоянием или диапазоном расстояний указывается максимальное геометрическое относительное отверстие или диапазон значений этого отверстия. Если объектив дополнительно имеет шкалу относительных отверстий диафрагм, то на ней указаны эффективные значения. Градуировка этих значений обеспечивает изменение проходящего через объектив светового потока в два раза при изменении эффективного относительного отверстия на одно значение шкалы. Стандартная шкала имеет следующий ряд значений относительного отверстия: 1:0,7; 1:1; 1:1,4; 1:2; 1:2,8; 1:4; 1:5,6; 1:8; 1:11; 1:16; 1:22; 1:32. Знаменатель относительного отверстия называют диафрагменным числом. В современных видеокамерах информация о текущем значении относительного отверстия выводится на дисплей в цифровом виде через меню операций.

На рис.1.6 представлена зависимость зоны резко изображаемого пространства от относительного отверстия объектива. Уменьшение относительного отверстия увеличивает глубину резко изображаемого пространства.



Рис. 1.6. Зависимость зоны резко изображаемого пространства от относительного отверстия объектива (фокусное расстояние 50 м, дистанция наводки 5 м)

2. Устройство камеры Lytro

На рисунках 2.1 и 2.2 показан внешний вид камеры Lytro.

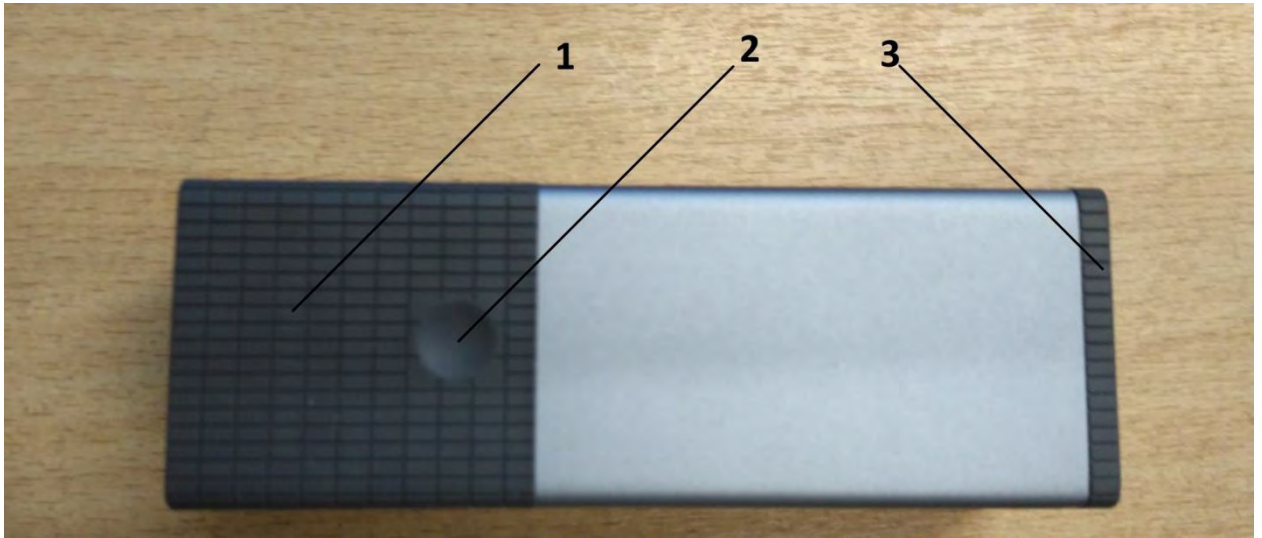


Рис. 2.1. Камера Lytro (вид сверху): 1 – поверхность для приближения кадра, 2 – кнопка фотографирования «снимок», 3 – крышка объектива

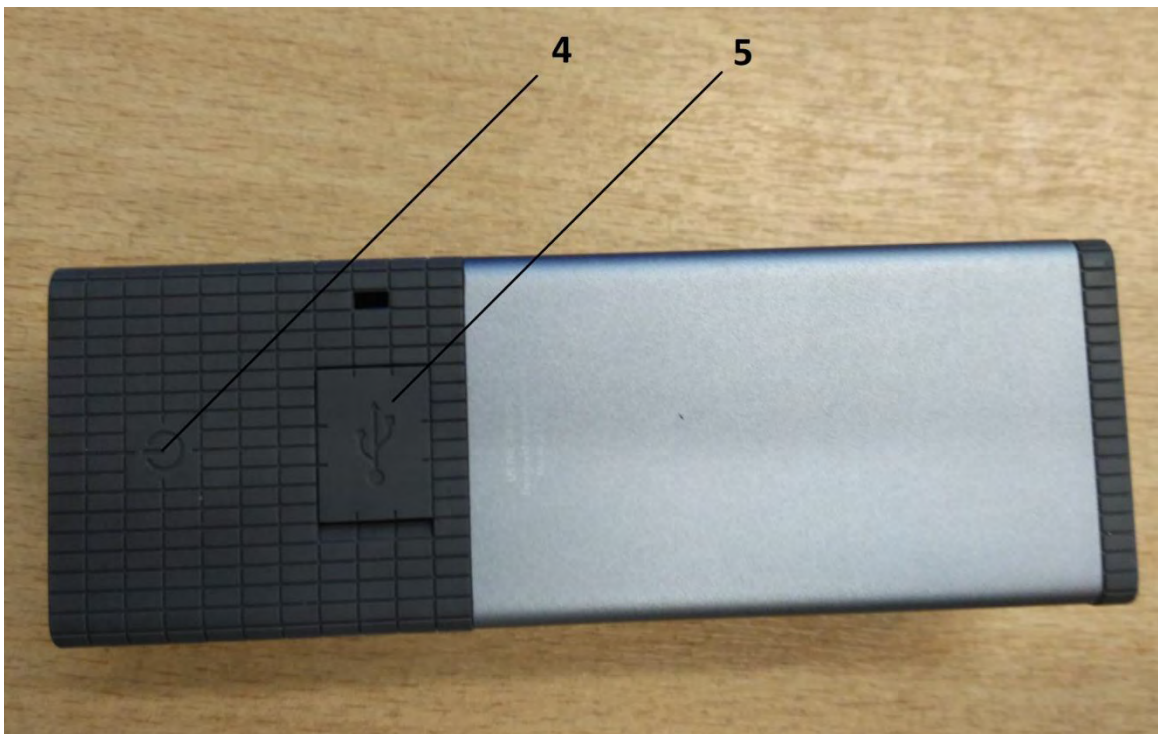


Рис. 2.2. Камера Lytro (вид снизу): 4 – кнопка вкл\выкл камеры, 5 – разъем usb для питания и связи с компьютером

На рис.2.3 показан сенсорный дисплей камеры Lytro.

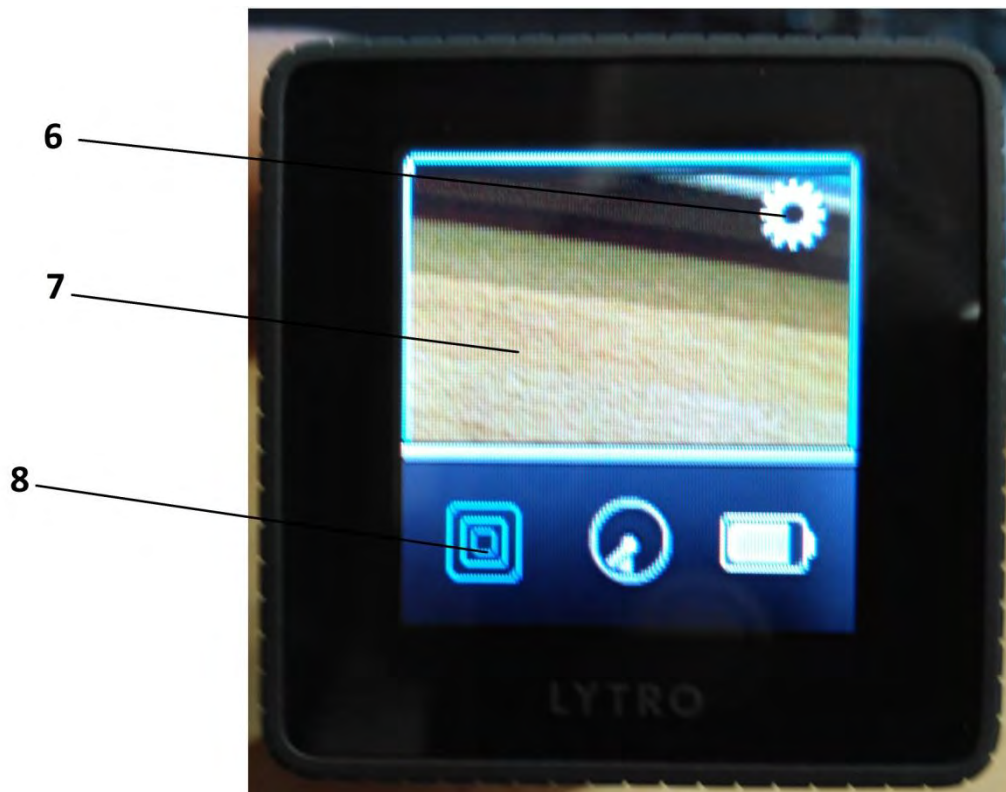


Рис.2.3.Камера Lytro (вид со стороны дисплея): 6 – настройки камеры, 7 – изображение, проходящее через объектив, 8 – режим фокусировки

Для фотографирования изображения необходимо включить камеру, снять крышку с объектива, навести камеру на необходимый предмет и нажать кнопку «снимок».

Для работы с изображением, необходимо подключить камеру через USB к персональному компьютеру. При подключении к ПК появится окно с программой Lytro (рис.2. 4).

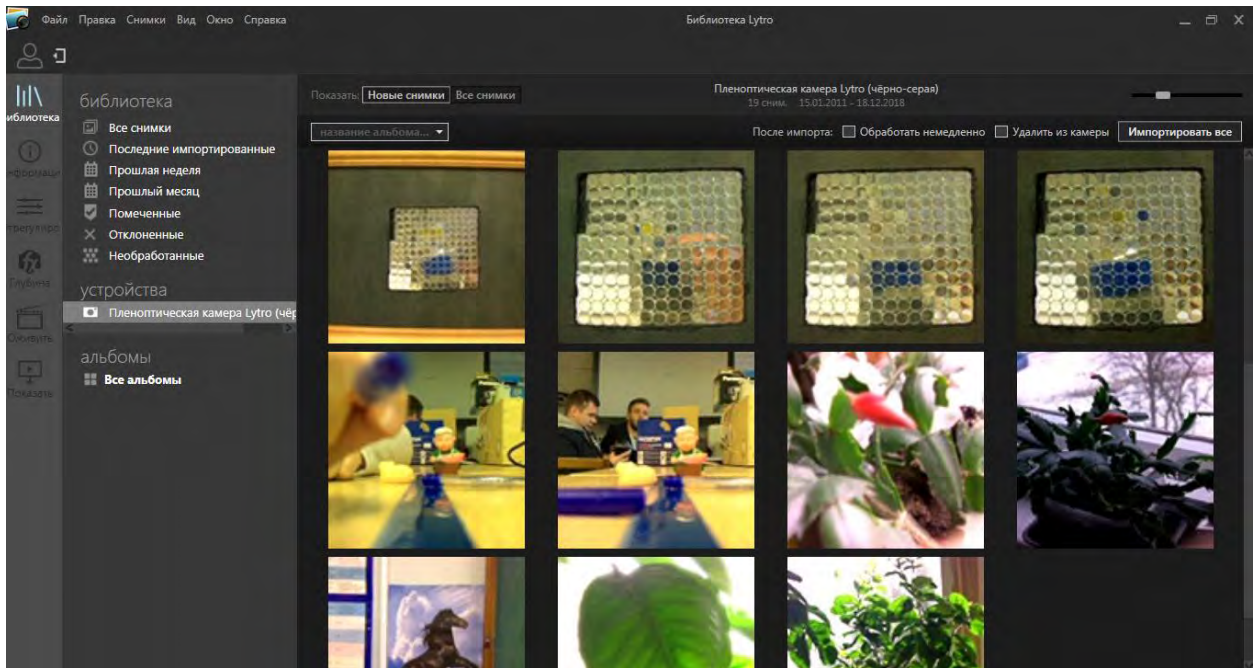


Рис. 2.4.Окно программы Lytro

Выбрав необходимое изображение нужно нажать правую кнопку мыши на этом изображении и выбрать пункт «Импортировать» (рис.2.5).

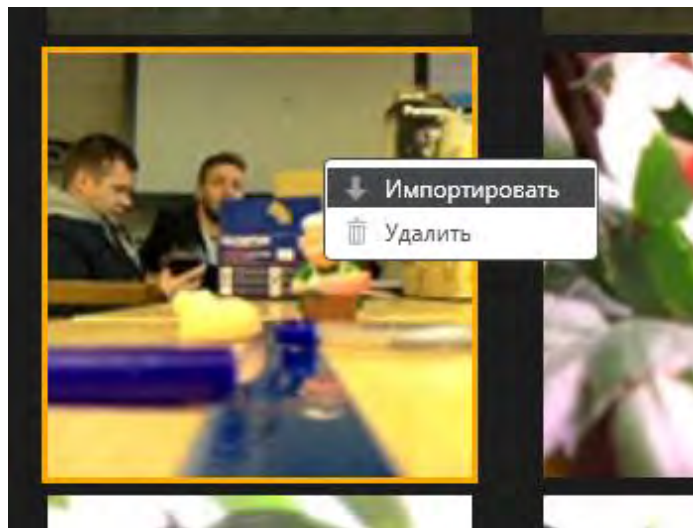


Рис. 2.5. Окно импортирования изображения

После импортирования появится окно, в котором будет видно это изображение (рис.2.6).

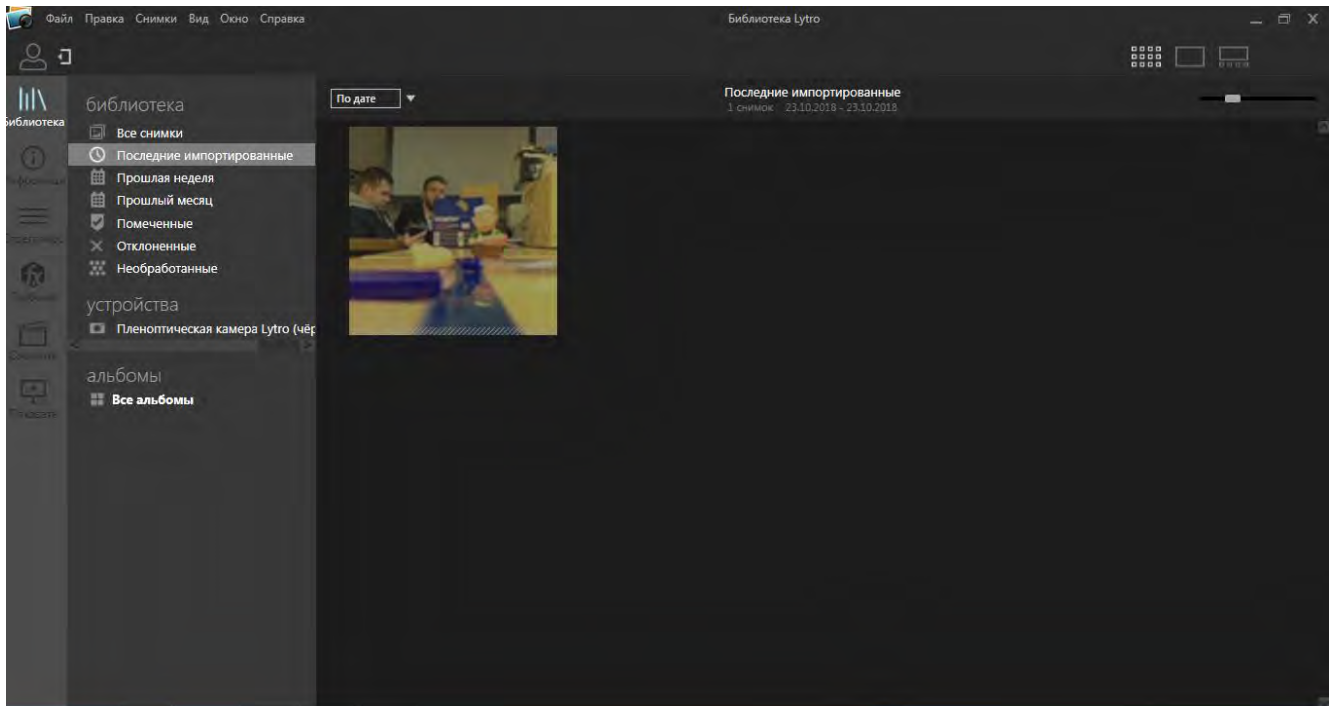


Рис.2.6. Импортированное изображение

Для начала работы с изображением необходимо на этом изображении нажать правую кнопку мыши и выбрать пункт «обработать изображение» (рис.2.7).

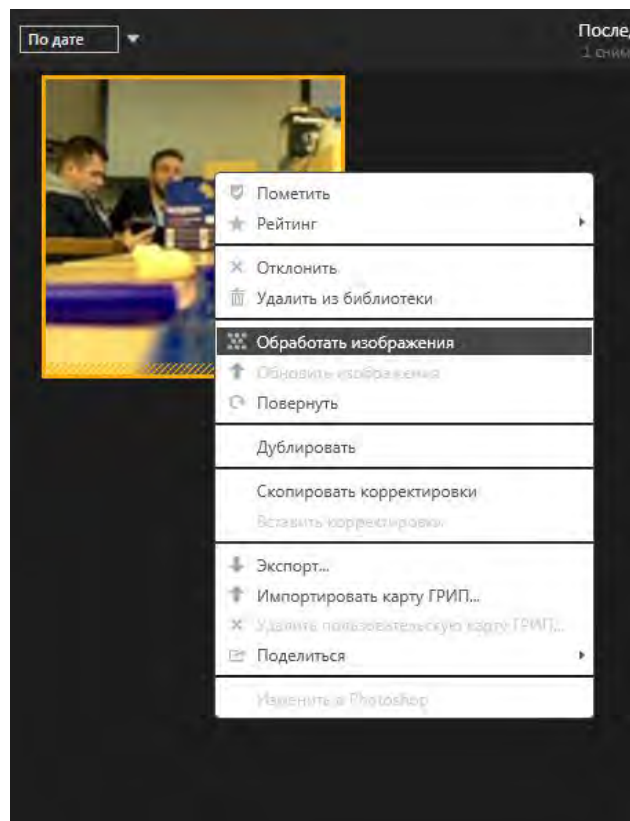


Рис. 2.7. Меню с импортированием изображения

После обработки изображения можно начать работать с этим изображением. Нажав два раза (левой кнопкой мыши) на это изображение, можно сфокусироваться на разные предметы в кадре (рис.2.8, 2.9), нажав левой кнопкой мыши, установив курсор на интересующий предмет.

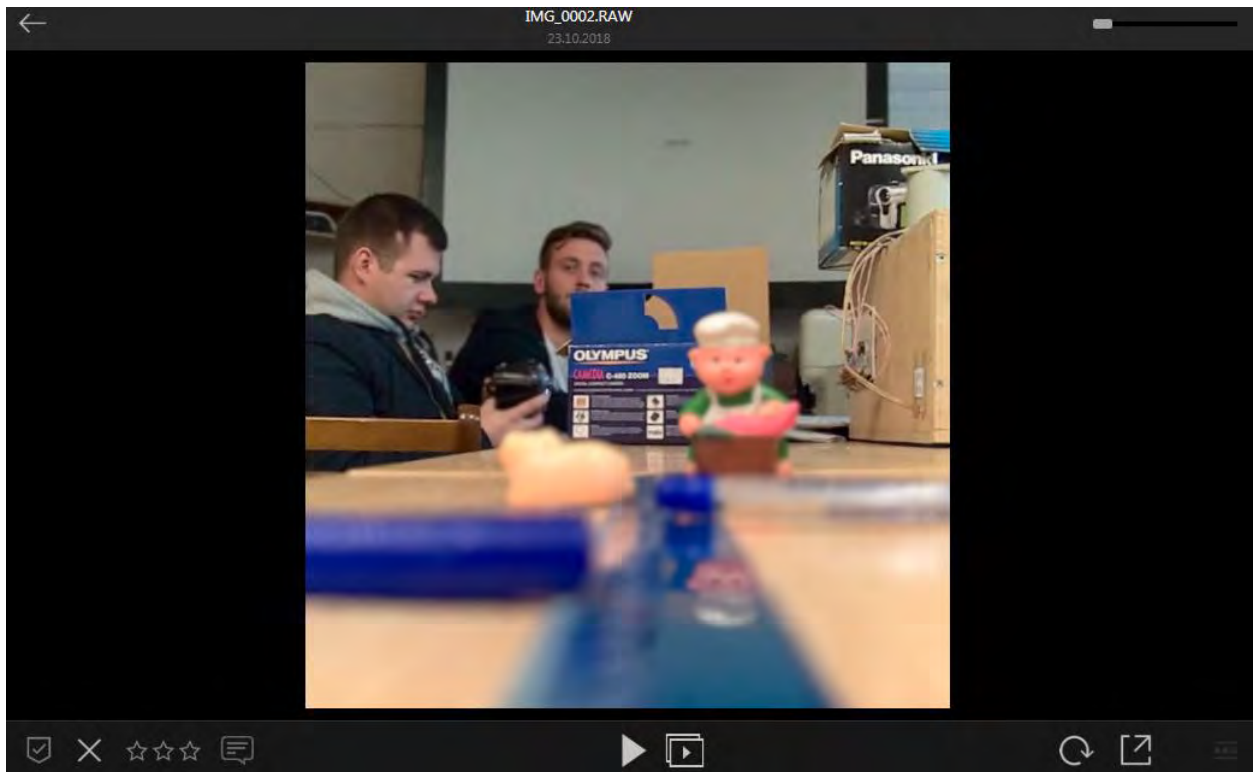


Рис.2.8. Фокусировка на дальний объект

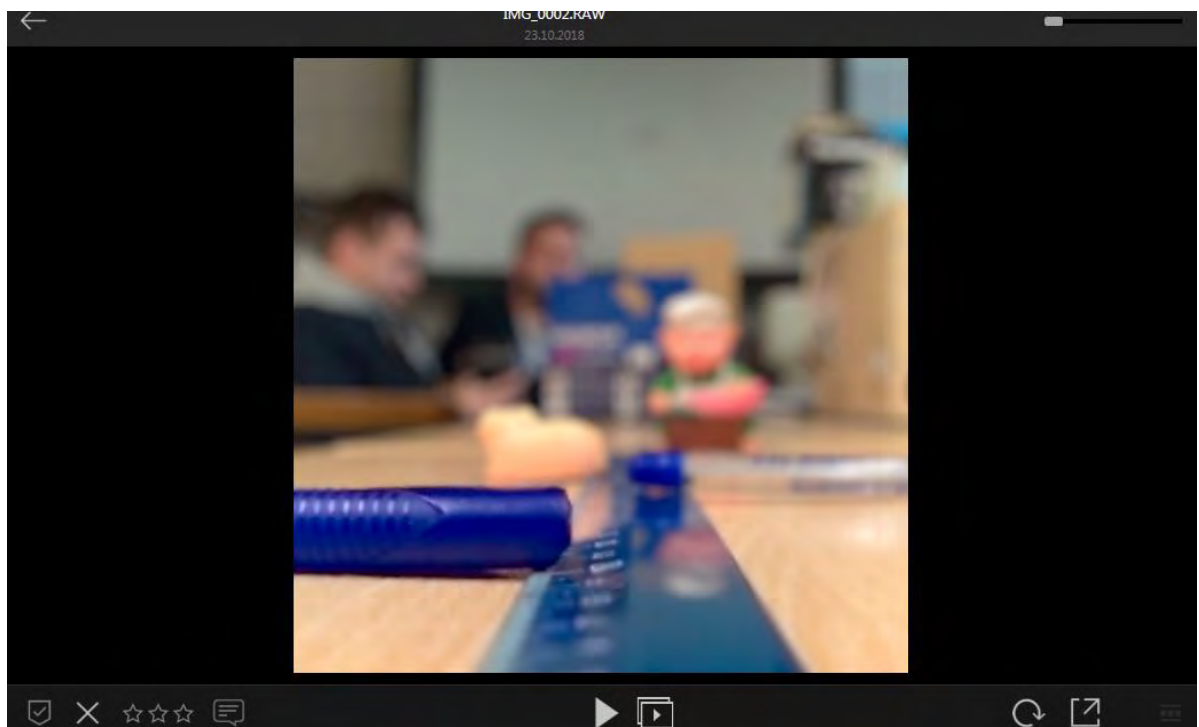


Рис. 2.9 . Фокусировка на ближний объект

Для более глубокого регулирования изображения необходимо в боковом меню выбрать пункт «Отрегулировать» (рис.2.10).

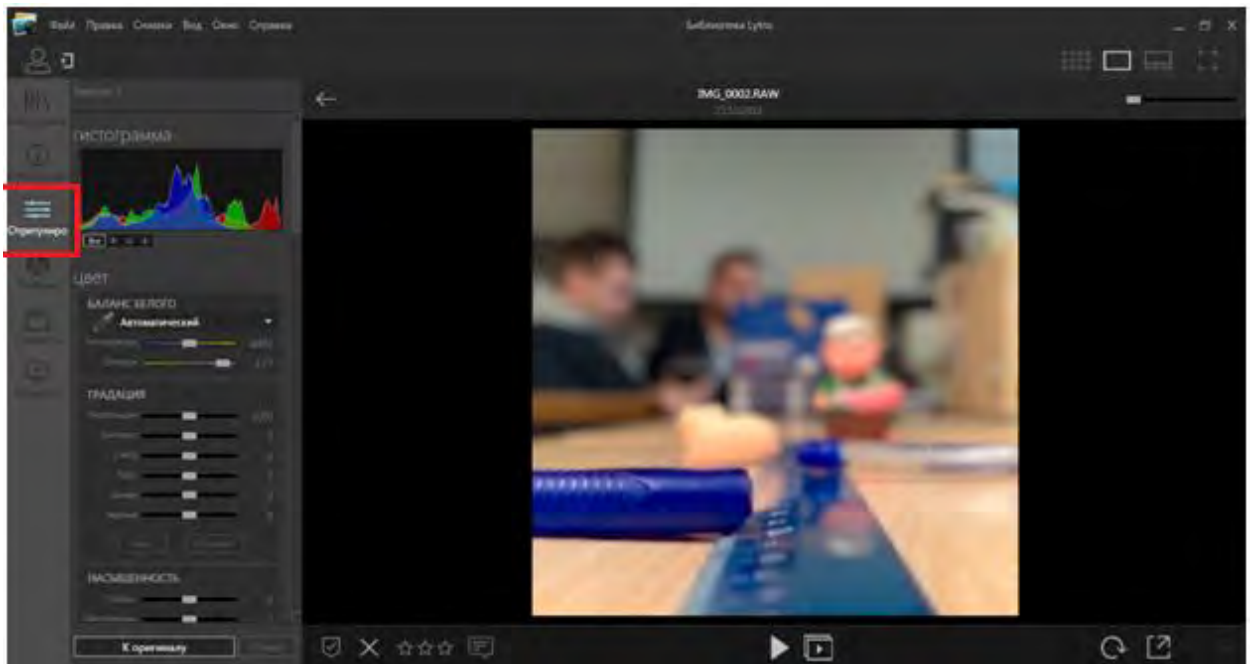


Рис.2.10. Вывод пункта «Отрегулировать»

Практическая часть

Обработку изображений возможно производить с помощью компьютера с операционной 64-разрядной системой Windows 7.

1. Создать макет для съемки в соответствии с рис.2.11.

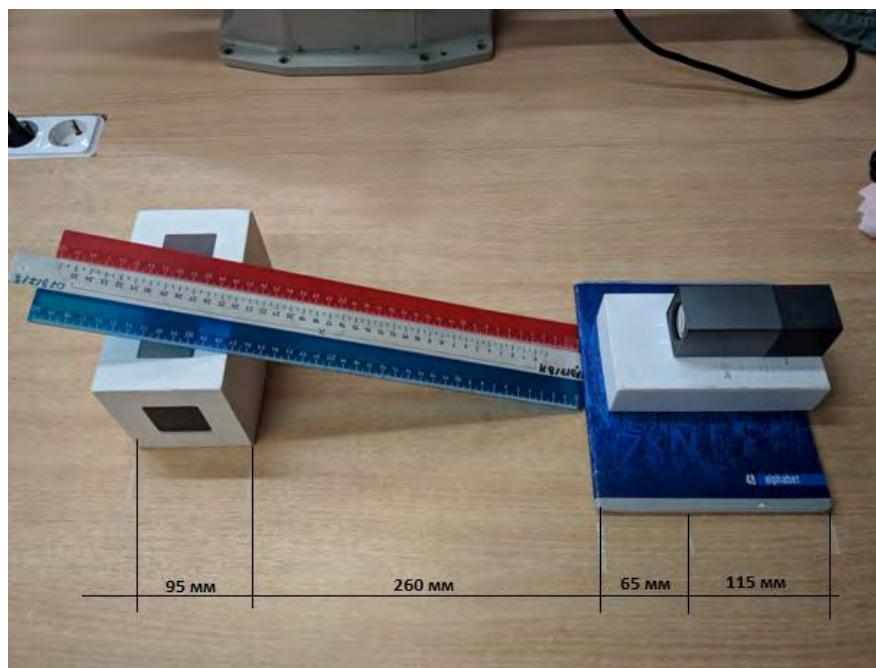


Рис. 2.11. Макет для съемки

2. Сделать снимок при наименьшем фокусном расстоянии. Настроить это расстояние кнопкой фокусировки 8 на камере, при этом поле зрения в изображении будет максимально возможной.

3. Импортировать снимок в соответствии с теоретической частью, обработать.

4. Установить курсором мыши резкую наводку на 4 различных расстояния a вдоль шкалы линейки. Зафиксировать расстояние по шкале линейки, на которое направлен курсор мыши.

5. Экспериментально определить переднюю и заднюю границы резко изображаемого пространства для каждой установки по критерию резкости штрихов на шкале линейки.

6. Рассчитать соответствующую каждому из 4-х расстояний a глубину резкости $\Delta a_{\text{эксп}}$, равную разности расстояний между задней $a_{\text{задн}}$ и передней $a_{\text{пер}}$ границами резко изображаемых штрихов по формуле:

$$\Delta a_{\text{эксп}} = (a_{\text{задн}} - a_{\text{пер}}) \cos \beta,$$

где β – угол наклона линейки к измерительной плоскости.

7. Для каждого из 4-х расстояний a провести теоретический расчет глубины резкости по формуле

$$\Delta a_{\text{теор}} = a \cdot f^2 \cdot \left(\frac{1}{f^2 + f \cdot n \cdot d_{\text{кам}}} - \frac{1}{f^2 - f \cdot n \cdot d_{\text{кам}}} \right),$$

где a – расстояние от камеры до границы резкой наводки (п.4),

f – фокусное расстояние объектива (минимальное фокусное расстояние объектива камеры, равное 43 мм),

n – знаменатель относительного отверстия объектива, равный 2,

$d_{\text{кам}}$ – диаметр допустимого кружка рассеивания в плоскости матрицы камеры, вычисляемый по формуле:

$$d_{\text{кам}} = \frac{d_{\text{гл}} \cdot l_{\text{дисп}} \cdot B_{\text{кам}}}{f_{\text{гл}} \cdot B_{\text{дисп}}},$$

$d_{\text{гл}}$ – допустимый кружок рассеивания на сетчатке глаза (равный 0,005 мм),

$l_{\text{дисп}}$ – расстояние между глазом и дисплеем (измерить),

$B_{\text{кам}}$ – ширина изображения на матрице камеры (36 мм),

$f_{\text{гл}}$ – фокусное расстояние глаза (20 мм),

$B_{\text{дисп}}$ – ширина изображения на матрице дисплея (измерить).

8. Составить таблицу измеренных $\Delta a_{\text{эксп}}$ и рассчитанных $\Delta a_{\text{теор}}$ значений глубины резкости для 4-х различных расстояний a (см. п.4 и п.7).

9. Построить полученные экспериментально $\Delta a_{\text{эксп}}$ и теоретически $\Delta a_{\text{теор}}$ графики зависимости глубины резко изображаемого пространства от расстояния до плоскости резкой наводки a .

9. Сделать выводы по соответствию измеренных и рассчитанных значений глубины резкости.

Содержание отчета.

1. Цель выполнения работы
2. Формула для расчета глубины резко изображаемого пространства.
3. Таблица значений глубины резко изображаемого пространства в зависимости от дистанции резкой наводки, содержащая как результаты эксперимента, так и результаты расчета.
4. Графики зависимости глубины резко изображаемого пространства в зависимости от дистанции резкой наводки, полученные в результате эксперимента и в результате расчета.
5. Выводы по графикам.

Содержание контрольных вопросов

1. Что такое резкость и глубина резко изображаемого пространства.
2. От каких факторов зависит глубина резко изображаемого пространства и каким образом?
3. Что такое фокус, фокусное расстояние, главные плоскости?
4. Что такое входной зрачок, геометрическое относительное отверстие объектива?
5. Чем эффективное относительное отверстие объектива отличается от геометрического?
6. Чем камера Lytro отличается от обычных цифровых фотоаппаратов?

Лабораторная работа № 5

Изучение и настройка параметров видеопроектора

Теоретическая часть

Цель работы: ознакомиться с обзором существующих конструкций LCD, DLP видеопроекторов, ознакомиться с устройством видеопроектора NEC Projector LT30G, произвести анализ равномерности освещённости изображения по получившимся данным.

Проектор — оптический прибор, предназначенный для создания действительного изображения.

LCD-технология Современные LCD-проекторы выполняются на базе трех полисиликоновых жидкокристаллических матриц, размером, в основном, от 0.7 до 1.8 дюймов по диагонали. Структурная схема такого проектора

представлена на рисунке. Световое излучение лампы с помощью конденсора преобразуется в равномерный световой поток, из которого дихроичные зеркала-фильтры выделяют три цветовые составляющие (красную, синюю и зеленую) и направляют их на соответствующие LCD-матрицы. Сформированные ими цветные изображения объединяются в цветосмесительном призматическом блоке в одно полноцветное, которое затем через объектив проецируется на внешний экран (рис.1).

Принцип работы жидкокристаллических матриц, используемых в LCD-проекторах в качестве формирователей изображения, основывается на свойстве молекул жидкокристаллического вещества менять пространственную ориентацию под воздействием электрического поля и оказывать поляризующий эффект на световые лучи. В многослойной структуре матрицы, представляющей собой прямоугольный массив множества отдельно управляемых элементов (пикселей), слой жидких кристаллов помещается между стеклянными пластинами, на поверхности которых нанесены бороздки. Благодаря им, во всех элементах матрицы удается сориентировать молекулы идентичным образом, причем, вследствие взаимно перпендикулярного расположения бороздок двух пластин, ориентация молекул меняется по мере удаления от одной из них и приближения к другой. Находясь под воздействием электрического поля, молекулы жидкокристаллического слоя меняют свою ориентацию, и угол поворота плоскости поляризации светового потока заметно уменьшается. В этом случае большая часть светового потока поглощается выходным поляризатором.

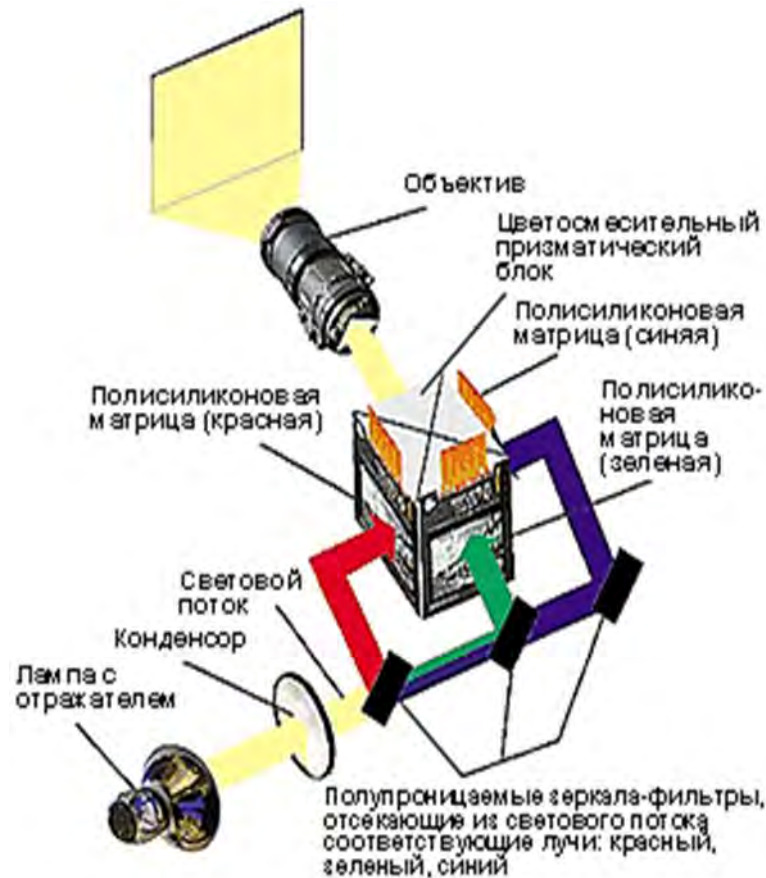


Рис. 1 Схема LCD - проектора

Таким образом, управляя уровнем электрического поля, можно менять прозрачность элементов матрицы. В LCD-панелях с активной адресацией пикселей, выполненных с применением подложек из аморфного кремния, каждый элемент (рис.2) работает под управлением отдельного тонкопленочного транзистора Thin Film Transistor (TFT).

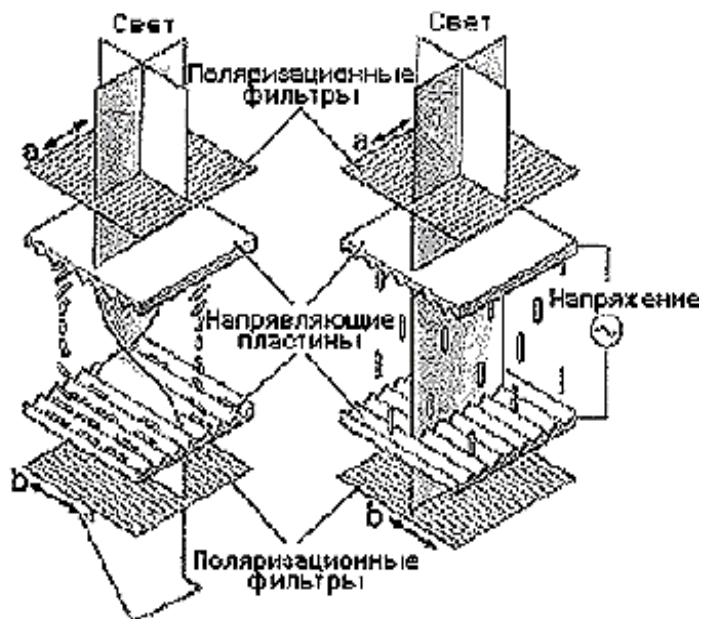


Рис. 2 Элемент LCD – матрицы при работе в открытом и закрытом режимах

Переход на полисиликоновую технологию (p-Si), широко применяемую в современных LCD-проекторах, позволил перенести элементы схемы управления в слой поликристаллического кремния и заметно уменьшить размеры проводников и управляющих транзисторов. Тем самым, удалось повысить световую эффективность матриц и обеспечить условия для увеличения их разрешения.

Дополнительный выигрыш по световому потоку в некоторых LCD-матрицах обеспечивает микролинзовый растр - каждый элемент матрицы снабжается собственной микролинзой, направляющей световой поток через прозрачную область. Подобные матрицы сегодня применяются во многих LCD-проекторах (рис. 3).

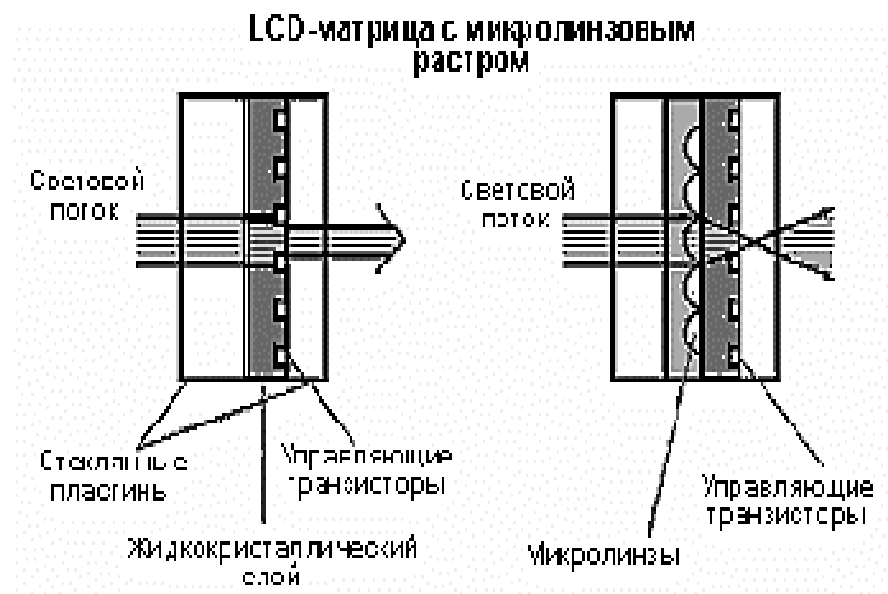


Рис. 3. LCD-матрица с микролинзовым растром

Преимущества трехматричной LCD технологии перед технологией DLP:

- цвета выводятся на экран одновременно, а не по очереди, как это свойственно одночиповой DLP-технологии;
- отсутствует эффект «радуги», при этом количество цветов у 3LCD аппаратов достигает 68,7 млрд;
- достигнуто огромное количество оттенков серого (на сегодня до 10 квинтиллионов);
- недавно достигнут контраст 6000:1, в то время как десятки действующих моделей обеспечивают контраст 1000:1 и более;

- целый ряд 3LCD проекторов имеет световой поток 5000 Ansi лм и более.

DLP-технология Основная DLP-видеопроектора часть DMD-матрица (DMD расшифровывается как Digital Micromirror Device, т.е. цифровое микрозеркальное устройство). Это микросхема небольшого размера, на ее поверхности расположено множество микроскопических алюминиевых зеркал, поворачивающихся под воздействием видеосигнала на определенный угол, что приводит к изменению интенсивности света, отражающегося от зеркала (они освещаются мощной лампой). Зеркала имеют размер 16 x 16 мкм, а расстояние между их центрами составляет всего 17 мкм. Таким образом, активная поверхность занимает 90 % всей площади микросхемы, что увеличивает световую отдачу матрицы. Поворачиваются зеркала под управлением устройства статической памяти с произвольным доступом (SRAM).

Каждое зеркало крепится к жесткой подложке, которая через подвижные пластины соединяется с основанием матрицы. Под противоположными углами зеркал размещены электроды, соединенные с ячейками памяти CMOS SRAM. Под действием электрического поля подложка с зеркалом принимает одно из двух положений, отличающихся точно на 20° благодаря ограничителям, расположенным на основании матрицы. Матрица зеркал вместе с CMOS SRAM и составляют DMD-кристалл — основу технологии DLP.

В DLP-проекторах DMD-кристалл выполняет функции формирователя изображения. В зависимости от положения микрозеркала отраженный им световой поток направляется либо в объектив (на экране формируется светлое пятно), либо в светопоглотитель (соответствующий участок экрана остается затемненным) (рис.4).

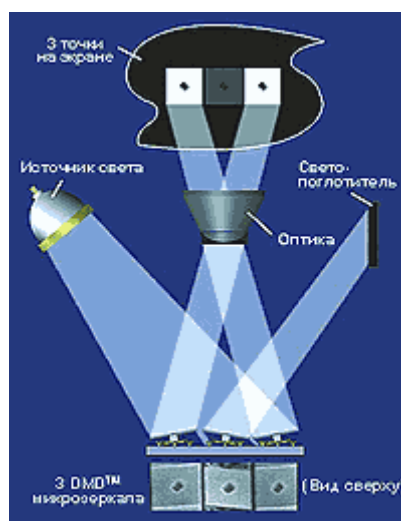


Рис 4. Схема формирования изображения в DLP-проекторе

Одноматричные DLP – видеопроекторы Здесь между источником света и матрицей помещается вращающийся диск с цветными светофильтрами — синим, зеленым и красным. Частота вращения диска определяет привычную нам частоту кадров. Изображение формируется поочередно каждым из основных цветов, в результате получается обычное полноцветное изображение. Дальнейшим развитием этого типа проекторов стало введение четвертого, прозрачного светофильтра, позволяющего ощутимо увеличить яркость изображения. В зависимости от угла поворота фильтра (а, следовательно, и цвета падающего светового потока) DMD-кристалл формирует на экране синюю, красную или зеленую картинку, которые последовательно сменяют одна другую за короткий интервал времени. Усредняя отражаемый экраном световой поток, человеческий глаз воспринимает изображение как полноцветное. По схеме с одним DMD-кристаллом в настоящее время строятся наиболее миниатюрные DLP-проекторы (рис.5).

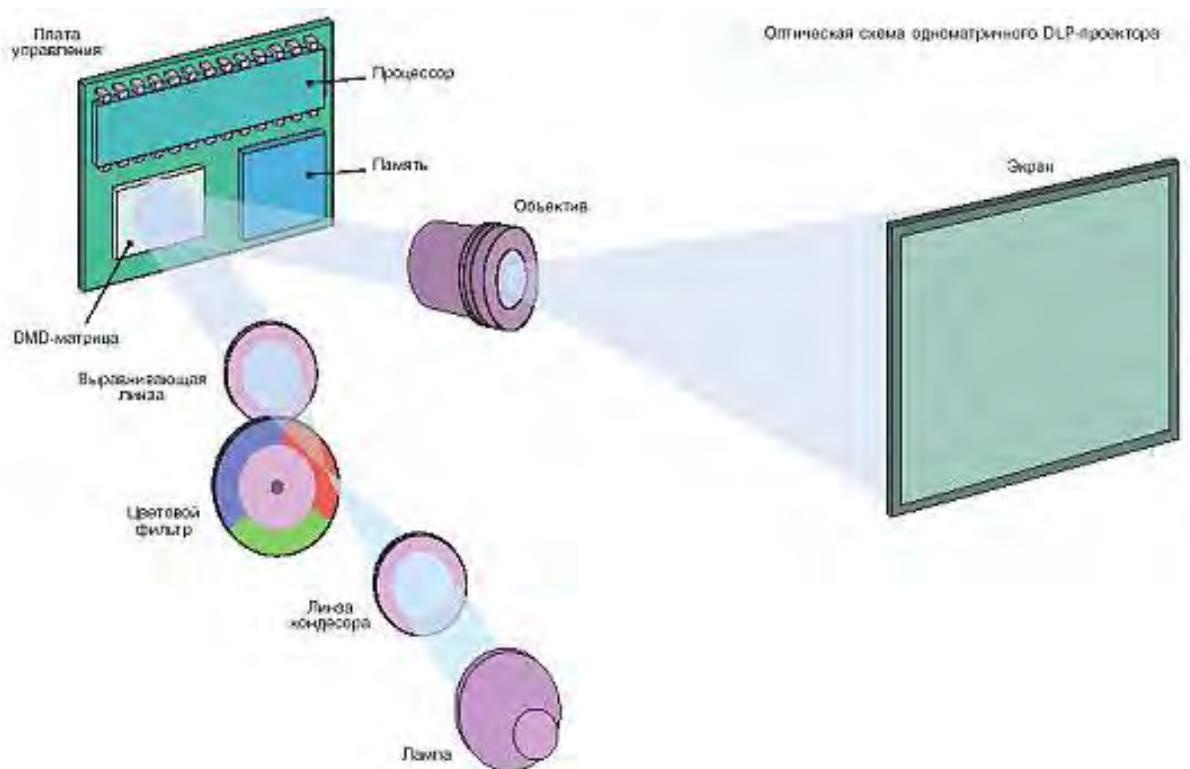


Рис.5. Устройство одно-матричного DLP – видеопроектора

Двух-матричные DLP – видеопроекторы В двух-матричных DLP-проекторах (рис.6) вращающийся цветной фильтр имеет два сектора пурпурного (смесь красного с синим) и желтого (смесь красного и зеленого) цветов. Дихроичные призмы разделяют световой поток на составляющие, при этом поток красного цвета в каждом случае направляется на одну из DMD-матриц. На вторую в зависимости от положения фильтра направляется поток либо синего, либо зеленого цвета. Таким образом, двухматричные проекторы, в отличие от одно-матричных, проецируют на экран картинку красного цвета постоянно, что позволяет компенсировать недостаточную интенсивность красной части спектра излучения некоторых ламп.



Рис.6. Устройство двух-матричного DLP – видеопроектора

Трех-матричные DLP – видеопроекторы В трех-матричных DLP-проекторах световой поток лампы с помощью дихроичных призм расщепляется на три составляющих (RGB), каждая из которых направляется на свою DMD-матрицу, формирующую картинку одного цвета. Объектив аппарата проецирует на экран одновременно три цветных картинки, формируя таким образом полноцветное изображение. Благодаря высокой эффективности использования светового излучения лампы, трех-матричные DLP-проекторы, как правило, характеризуются повышенным световым потоком, достигающим у наиболее мощных аппаратов 18000 ANSI-лм.



Рис.7. Устройство трех-матричного DLP - видеопроектора

Лазерные проекторы В них изображение формируется за счет излучения трех (иногда больше) лазеров (рис.8). Матрица лазеров формирует три луча тех же цветов, которые потом смешиваются и изображение создается очень сложной системой фокусировки и развертки, в которой находится специальная система зеркал. По своей сути, формирование изображения таким проектором подобно картинке на экране ЭЛТ телевизора - лазерный луч «обегает» проекционный экран сверху вниз до 50 раз в секунду, и глаз человека воспринимает получившуюся картину как единое целое. Время жизни лазера заметно превосходит срок службы лампы традиционных проекторов, а энергии при сопоставимых параметрах яркости, расходуется также меньше.



Рис. 8. Излучающая головка лазерного проектора

Проекторы D-ILA Проекторы D-ILA (рис. 9) строятся по трехматричной схеме (каждая матрица формирует изображение одного из базовых цветов RGB-пространства). Матрица D-ILA представляет собой многослойную структуру, размещенную на подложке из монокристаллического кремния. Все компоненты схемы управления выполнены по комплементарной технологии CMOS и располагаются за светомодулирующим слоем жидких кристаллов. Это позволяет существенно увеличить плотность размещения пикселей, размеры которых могут составлять всего несколько микрон, и обеспечить высокую эффективность использования площади кристалла (достигнутый уровень - 93%).

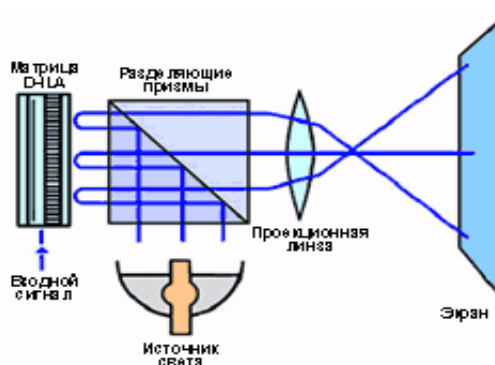


Рис.9. Схематичное изображение устройства D-ILA проектора

Преимуществом технологии является также возможность формирования светомодулирующего слоя и схемы управления в ходе единого технологического процесса.

Отражающие свойства матрицы определяются состоянием слоя жидких кристаллов, меняющегося под воздействием переменного электрического

напряжения, которое формируется между отражающими пиксельными электродами и общим для всех пикселей прозрачным электродом.

D-ILA-матрицы выдерживают существенное повышение температуры, что позволяет применять в проекторах, выполненных на их основе, мощные источники света.

Классификация видеопроекторов

В зависимости от отношения ширины изображения к проекционному расстоянию, проекторы можно классифицировать следующим образом:

- длиннофокусные (значение отношения от 4 до 8)
- среднефокусные (значение отношения 1.8 до 2.2)
- короткофокусные (значение отношения от 0,6:1 до 1,2:1)
- ультракороткофокусные (значение отношения 0,6:1)

В зависимости от особенности устройства формирования изображения проекторы подразделяются:

- одноматричные
- двухматричные
- трехматричные

По весу выделяют следующие категории проекторов:

- стационарные, более 18 кг;
- переносные, 9 - 18 кг;
- портативные, 4,5 - 9 кг;
- ультра портативные, 2,25 - 4,5 кг;
- микро-портативные, менее 2,25 кг;
- класс palm ("с ладонь"), менее 1,4 кг;
- класс pico, менее 0,5 кг, яркость 150 лм;
- класс pocket, размер мобильного телефона, яркость 7-10 лм.

По функциональному назначению проекторы можно разделить на три основные группы:

- проекторы для домашнего кино, игровые проекторы (категория Home Cinema);
- проекторы для индустрии развлечений (для кинотеатральных залов и т.п.);
- проекторы для бизнеса и образования.

Инструкция

по охране труда при использовании проектора

1. Общие требования безопасности

Действие настоящей инструкции распространяется на всех работников образовательного учреждения, которые при исполнении своих должностных обязанностей используют проектор.

К самостоятельной работе с проектором допускаются лица:

- не моложе 18 лет, прошедшие обязательный периодический медицинский осмотр и не имеющие медицинских противопоказаний для работы с ПЭВМ и ВДТ;
- прошедшие, как правило, курс обучения принципам работы с вычислительной техникой и специальное обучение работе с использованием конкретного программного обеспечения;
- прошедшие вводный инструктаж по электробезопасности с присвоением II группы допуска;
- ознакомленные с инструкцией по эксплуатации конкретной модели проектора.

Опасными факторами при работе с проектором являются: физические (низкочастотные электрические и магнитные поля; статическое электричество; ультрафиолетовое излучение; повышенная температура; ионизация воздуха; опасное напряжение в электрической сети; осколки лампы и линзы); химические (пыль; вредные газы (в лампе)), психофизиологические (напряжение зрения и внимания; интеллектуальные и эмоциональные нагрузки; монотонность труда).

Обо всех неисправностях электропроводки, средств вычислительной и оргтехники, пользователь проектора обязан немедленно проинформировать инженера по охране труда и заместителя директора по АХР, а в случае их отсутствия – дежурного администратора и главного инженера, сделать запись в тетради заявок. Пользователь проектора обязан соблюдать правила пожарной безопасности, знать места расположения первичных средств пожаротушения.

Пользователь проектора обязан знать расположение аптечки для оказания доврачебной помощи пострадавшим. Устанавливать проектор необходимо в прохладном месте горизонтально на устойчивую поверхность не ближе 30 см от препятствий (стен, мебели и т.п.).

Запрещается:

- устанавливать проектор в перевернутом положении, на боку или лицевой стороной вверх (кроме случаев связанных с обслуживанием воздушного фильтра);
- закрывать отверстие воздушного фильтра;
- использовать для регулировки установки проектора посторонние предметы;
- располагать проектор на металлической поверхности, или любой другой поверхности, восприимчивой к нагреванию;
- располагать проектор на коврах, подушках или кроватях;

- располагать проектор в месте воздействия прямых солнечных лучей или нагревательных приборов;
- размещать инородные предметы возле линз и воздушного клапана проектора;
- размещать инородные предметы на поверхности проектора;
- размещать абсорбенты или колющие предметы возле днища проектора;
- размещать проектор на поверхности, которая подвергается воздействию влаги;
- располагать проектор на открытом воздухе (без специальных средств защиты, обеспечивающих поддержание необходимых параметров температуры, влажности и т.д.);
- размещать инородные предметы, содержащие жидкость, рядом с проектором;
- располагать проектор в задымленных, влажных или пыльных местах;
- располагать проектор вблизи увлажняющих приборов;
- пользоваться проектором при вскрытом корпусе;
- использовать проектор при снятом воздушном фильтре или крышке воздушного фильтра;
- производить замену лампы и (или) воздушного фильтра при включенном в электрическую сеть проекторе.

Для регулировки установки проектора на неровной поверхности необходимо использовать ножки подъемника.

Для предотвращения повреждения проектора, а также для предупреждения травм рекомендуется всегда придерживать проектор во время манипуляций с кнопками подъемника. Необходимо соблюдать осторожность при обращении с батарейками пульта управления. При обнаружении протекания батарейки ее необходимо заменить. Перед заменой лампы необходимо убедиться в том, что проектор выключен и отсоединен от источника питания, затем подождать минимум 45 минут для того, чтобы лампа полностью остыла. Перед подключением любых устройств к проектору их необходимо отключить от электрической сети.

Для подключения к электрической сети необходимо использовать только штатный шнур питания, прилагаемый к проектору, строго соблюдая указания по заземлению трехконтактной вилки.

Очищать воздушные фильтры необходимо с помощью щетки, пылесоса или путем промывания. Обязательно перед этим выключить питание и отсоединить кабель питания от сетевой розетки.

За виновное нарушение данной инструкции пользователь проектора несет персональную ответственность в соответствии с действующим законодательством.

2. Требования безопасности перед началом работы

Проверить правильность оборудования рабочего места (установку стола, стула, подставки под проектор и т.п.).

Проверить надежность подключения проектора к системному блоку.

Убедиться в отсутствии пыли на линзах (при необходимости протереть их специальной салфеткой для очистки линз).

Включать проектор необходимо перед включением присоединенных к нему устройств.

Убедиться, что шнур питания крепко и правильно соединен с проектором и розеткой питания.

В случае, если изображение тусклое или цветовой тон слабый необходимо произвести замену лампы как можно быстрее во избежание ее перегорания.

Повторное включение проектора можно производить не менее чем через 1 минуту после его выключения.

При обнаружении протекания батарейки (в пульте дистанционного управления) необходимо вытереть жидкость и заменить батарейку.

Запрещается приступать к работе в случае обнаружения несоответствия проектора установленным в данном разделе требованиям, а также при невозможности выполнить указанные в данном разделе подготовительные к работе действия.

3. Требования безопасности во время работы

Во время работы пользователь обязан соблюдать настоящую инструкцию, правила эксплуатации конкретной модели проектора.

Пользователь во время работы обязан:

- постоянно содержать в порядке и чистоте рабочее место;
- не закрывать вентиляционные отверстия проектора;
- следить за работоспособностью вентилятора.

Во время работы запрещается:

- переключать разъемы интерфейсных кабелей при включенном питании;
- закрывать проектор бумагами и посторонними предметами;
- допускать попадание влаги на проектор и внутрь него;
- производить самостоятельно вскрытие и ремонт проектора;
- прикасаться к нагретым элементам проектора;
- заглядывать в объектив и в вентиляционные отверстия проектора;
- прикасаться к области вокруг лампы и вентиляционных отверстий проектора;
- оставлять без присмотра включенный проектор.

Использование ионизаторов допускается только во время перерывов в работе и при отсутствии людей и помещения.

4. Требования безопасности в аварийных ситуациях

При обнаружении обрыва проводов питания или нарушения целостности их изоляции, неисправности заземления и других повреждений проектора, появления запаха гари, посторонних звуков в работе проектора и тестовых сигналов, индицирующих о его неисправности, немедленно прекратить

работу, отключить питание и сообщить об этом непосредственному руководителю, инженеру по охране труда или дежурному администратору.

При поражении работника электрическим током принять меры по его освобождению от действия тока путем отключения электропитания и до прибытия врача оказать потерпевшему первую медицинскую помощь.

При перегорании лампы (при этом будет слышен громкий хлопок) необходимо тщательно проветрить помещение и следить за тем, чтобы не вдохнуть газ, выходящий из вентиляционных отверстий проектора.

Перед заменой лампы необходимо убедиться в том, что проектор выключен и отсоединен от источника питания. Замену лампы разрешается проводить только после ее полного остывания.

Запрещается самостоятельно производить очистку проектора от осколков в случае, если лампа лопнет.

Запрещается открывать крышку лампы, если проектор находится в подвешенном состоянии.

В случае поступления сигналов в виде сообщений или индикаторов о различных неисправностях необходимо отключить питание и действовать в соответствии с инструкцией по эксплуатации проектора.

В случае возгорания проектора отключить питание, сообщить в пожарную охрану и непосредственному руководителю, после чего приступить к тушению пожара имеющимися средствами в соответствии с инструкцией о тушении пожара.

5. Требования безопасности по окончании работы

После окончания работы пользователь обязан:

- отключить все присоединенные к проектору устройства в последовательности, установленной инструкциями их эксплуатации с учетом характера выполняемых работ;
- отключить проектор от сети;
- не прикасаться к области вокруг лампы и вентиляционных отверстий проектора сразу после окончания работы, так как это может привести к ожогу;
- убрать со стола рабочие материалы и привести в порядок рабочее место.

Технические характеристики проектора NEC Projector LT30G приведены в таблице, а общий вид – на рис.10.

Таблица

Технические характеристики проектора NEC Projector LT30G

| Наименование технической характеристики | Значение параметра |
|---|--|
| Матрица | 0.69» (1.78 см) DMD ±12° DDR DLP |
| Формат матрицы | 4:3 |
| Разрешение матрицы | 1024 x 768 |
| Видеостандарты | PAL, PAL60, NTSC, SECAM, NTSC 4.43, PAL-N, PAL-M |
| Фокусное расстояние объектива | 25.7 – 30.8 мм |

| | |
|-------------------------------------|---|
| Светосила объектива | ½.4 на коротком фокусе, ½.6 на длинном фокусе |
| Фокусировка | Автоматическая; время срабатывания – 1 секунда |
| Коррекция трапецеидальных искажений | ±16° по вертикали; автоматическая |
| Контрастность | 1600:1 |
| Яркость светового потока | 2600 ANSI люмен, в Eco-режиме – 2200 ANSI люмен |
| Встроенные динамики проектора | 1 ватт (моно) |
| Лампа | 200 ватт; в Eco-режиме – 170 ватт |
| Частота горизонтальной развертки | 15 – 100 кГц |
| Частота вертикальной развертки | 50 – 85 Гц |
| Таймер | Есть таймер отключения |
| Размеры (ширина x высота x глубина) | 260 x 89 x 208.5 мм |
| Потребление энергии | 260 ватт – максимальное; 8 ватт – в режиме ожидания |
| Размер изображения по диагонали | 0.762 – 7.62 метра |
| Расстояние до экрана | 1.4 – 5.5 метра |



Рис.10. Общий вид проектора NEC Projector LT30G

Практическая часть

1. Ознакомиться с основными теоретическими положениями и изучить инструкцию техники безопасности.
2. Ознакомиться с устройством проектора NEC Projector LT30G и основными положениями по управлению данным устройством.
3. Установив экран, включить проектор и осуществить регулировку видеопроектора в соответствии с инструкцией до получения четкого изображения на экране.
4. Используя люксметр измерить освещенность изображения в нескольких точках (начиная с центральной), изобразить схему расположения контролируемых точек и изобразить график распределения освещенности от центра изображения к краям. Сделать вывод и аргументировать полученные результаты. Произвести измерения освещенности изображения при различных параметрах настройки видеопроектора.
5. Полученные данные занести в таблицу. Произвести анализ влияния изменения каждого параметра настройки видеопроектора, на изменения освещенности изображения. Произвести расчет коэффициента равномерности освещенности (K_p).

$$K_p = \frac{E_{\text{ц}}}{E_{\text{ср.кр}}} = \frac{4E_{\text{ц}}}{\sum E_i}$$

Контрольные вопросы

1. Основные элементы видеопроектора
2. В чем заключается суть DLP – технологии?
3. В чем заключается суть LCD – технологии?

4. Сделайте заключение о возможном направлении развития технологий в области видеопроекторов.
5. Предложите нестандартные направления областей использования видеопроектора.

Лабораторная работа № 6 **Исследование утомляемости при наблюдении анаглифных стереоизображений**

Теоретическая часть

Цель работы: произвести исследование утомляемости при наблюдении анаглифных стереоизображений.

Стереоизображение — картина или видеоряд, использующий два отдельных изображения, позволяющих достичь стереоэффекта.

Стереoeffект (зрительный) — ощущение протяжённости пространства и рельефности, возникающие при наблюдении реальных объектов.

Глаз человека способен воспринимать свет - одну из форм электромагнитной энергии, характеризующуюся длиной волны. Волны диапазона примерно от 300 до 800 нанометров воспринимаются человеком как яркостные и цветовые ощущения. Предметы окружающего мира обладают способностью отражать (а в некоторых случаях и излучать) свет, благодаря этому они видимы для человека.

Получить представление о пространственности окружающего мира человеку позволяют ряд явлений: геометрическая и воздушная перспектива, тени и блики на поверхностях объектов, относительные размеры объектов. Изобразительные приемы, моделирующие эти явления, используются художниками с давних пор для передачи объемности трехмерных предметов, нарисованных на плоскости.

Еще один фактор, который позволяет нам судить о расположении объектов в пространстве - это их относительное перемещение при изменении точки наблюдения (ближние объекты перемещаются на фоне дальних). Это обстоятельство помогает оценить удаленность объектов при просмотре кино или наблюдении пейзажа из окна поезда. Человек, опираясь на свой жизненный опыт, интерпретирует перечисленные явления, как свидетельства трехмерности пространства при наблюдении реальных объектов и при просмотре рисунков, фотографий или кино. Причем, эффект не зависит от того, одним глазом мы смотрим или двумя.

При наблюдении объектов реального мира играет роль еще один механизм человеческого зрения, называемый аккомодацией. Мозг человека оценивает величину усилий, прилагаемых для фокусировки глаза, и это позволяет получить дополнительные сведения о расположении объектов в пространстве.

Природа наделила человека и более точным измерительным устройством - бинокулярным зрением - парой глаз, расположенных параллельно, на расстоянии 60-70 мм. За счет этого человек видит мир

одновременно с двух точек зрения. В результате изображения, получаемые левым и правым глазом, слегка отличаются. Эти два изображения принято называть *стереопарой*. Анализируя различия между изображениями стереопары, мозг человека получает информацию об объеме и удаленности наблюдаемых объектов.

Перспективное (кажущееся) смещение рассматриваемого объекта, вызванное изменением точки наблюдения, называется параллаксом и является главным фактором в восприятии трехмерности мира (рис. 1). Каждый глаз видит предмет по-своему, а мозг оценивает разницу и формирует объемный образ.

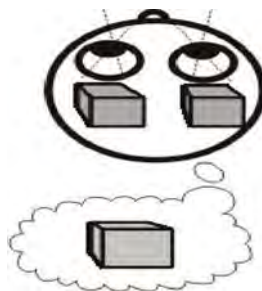


Рис. 1. Эффект параллакса

При оценке расстояний важную роль играет механизм стереоскопического зрения, называемый конвергенцией или дивергенцией (в зависимости от направленности действия).

Конвергенцией называется сведение зрительных осей при взгляде на близко расположенные объекты. *Дивергенция* (разведение зрительных осей) происходит при взгляде вдаль. При этом объекты, находящиеся на пересечении оптических осей выглядят четкими, а объекты, расположенные дальше или ближе, дwoятся. Это двоение легко увидеть, если внимательно посмотреть на объект, расположенный на расстоянии вытянутой руки от глаз (например, на свой палец), и обратить внимание на то, как при этом выглядят более удаленные предметы. Обычно же мы не замечаем двоение, но оно обрабатывается мозгом и помогает судить об удаленности предметов. Кроме того, мозг учитывает и угол схождения зрительных осей (рис. 2). При концентрации внимания на ближних объектах (синяя пирамидка) дальние объекты дwoятся, когда же внимание сосредоточено на дальних объектах (желтая пирамидка), происходит двоение ближних объектов. При этом угол схождения оптических осей φ_1 больше чем φ_2 .

Именно этот механизм человеческого зрения задействуется в большинстве способов воспроизведения стереоскопических (объемных) изображений.

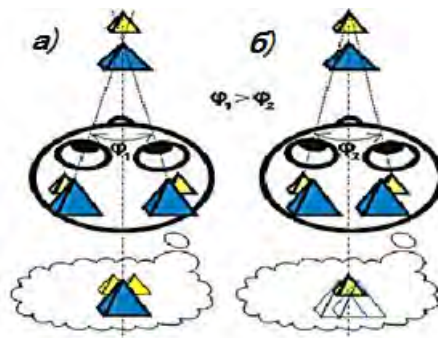


Рис.2. Эффект конвергенции: а) при концентрации внимания на ближних объектах, б) при концентрации внимания на дальних объектах

В основе всех методов получения стереоизображений лежит принцип раздельного просмотра - левому глазу человека демонстрируется левое изображение стереопары, а правому - правое. Различия же методов заключаются в том, каким образом достигается сепарация (разделение) изображений стереопары. Таким образом, для изготовления стереофотографии требуется наличие стереопары. Обычно стереопару получают путем фотосъемки одного и того же объекта с двух точек, по своему положению имитирующих положение глаз человека. Расстояние между точками съемки левого и правого кадра называется базисом стереосъемки или просто стереобазисом.

Величина стеробазиса играет определяющую роль при создании стереофотографии. Для стереосъемки сцен удаленных до 3-5 метров вполне достаточно использовать базис равный 65-70 мм, то есть примерно равный расстоянию между глазами человека. При увеличении расстояния до фотографируемых объектов, для того, чтобы получить хороший стереоэффект, требуется увеличить и базис стереосъемки. Примерно рассчитать базис стереосъемки можно по следующей формуле:

$$B=0.03D$$

где B - базис стереосъемки, D - расстояние до ближайшего объекта фотографируемой сцены.

Коэффициент 0.03 обусловлен углом схождения зрительных осей (примерно 1-2°), который обеспечивает оптимальные условия для наблюдения стереоэффекта.

В настоящее время в мире развивается несколько стерео технологий:

- анаглиф;
- затворный метод;
- поляризационные системы;
- безочковые (автостереоскопические) методы.

Каждая технология имеет свои недостатки и достоинства.

Анаглифному методу показа 150 лет. Метод предложен Дальмейда и Дюко дю Ороном в 1858 году. Реализован в кино Луи Люмьером в 1935-м. Анаглифный метод (от греч. *anaglyphos* - рельефный) состоит в окрашивании изображений стереопары в дополнительные цвета. Оба кадра стереопары формируют одно изображение. Разделение левого и правого кадра происходит

с помощью цветных очков, окрашенных в соответствующие цвета. Традиционно в стереоскопических технологиях левое изображение преимущественно красного цвета, а правое – синего. Стереоскопы (рис. 3) для наблюдения тоже имеют соответствующие светофильтры (красный и синий).



Рис.3. Сине-красные стереоскопы

Достоинство метода - простота и дешевизна реализации, недостаток - потеря части цветов и необходимость использования очков. Преимущества 3D технологии цветового разделения: низкая стоимость технологии, простота использования стереоскопии, не требуется специального монитора или проектора. Недостатки 3D анаглиф технологии цветового разделения: искажения в отображении цветов, плохое качество стереоскопии, быстрая утомляемость глаз. Заменяется более современными стереоскопическими технологиями.

Технология *затворного* или светоклапанного метода заключается в попеременной демонстрации на экране изображений, предназначенных для левого и правого глаза, и также поочередном затемнении стёкол очков, так что каждый глаз поочередно видит предназначенное только ему изображение. Смена «левого» и «правого» изображения на экране и затемнение соответствующих стёкол жёстко синхронизированы и осуществляются с очень высокой частотой, так что за счёт эффекта инерции зрения у человека создаётся иллюзия, что он видит цельное трёхмерное изображение. Метод предложил Д'Альмейда в 1858 году. В кинематографе этот метод впервые реализовал Э. Банкли в 1936 году.

В настоящее время известны жидкокристаллические затворные очки, где вместо механических затворов используются ЖК-заслонки. Основными производителями 3D очков для данной технологии (рис. 4) являются NVidia (очки 3D VISION), Xpand (очки Xpand).



Рис.4. Затворные очки 3D VISION

Для данной технологии требуется специальные 3D мониторы или 3D проекторы, поддерживающие 120 Гц.

Преимущества стереоскопической технологии затворного разделения: высокое качество изображения 3D, простота установки и настройки. Недостатки 3D технологии затворного разделения: специальные требования к 3D оборудованию (высокая частота 3D монитора/3D проектора - 120 Гц), дорогие 3D очки, неудобна для массовых мероприятий; увеличенное ослабление светового потока, что требует повышения яркости лампы проектора; эффект раздвоения изображения быстро движущихся объектов; повышенная утомляемость глаз; повышенный вес очков, создающий нагрузку на переносицу; очки с электроникой плохо поддаются санобработке.

Поляризационному методу стереопроекции около 120 лет. Предложен Ж. Андертоном в 1891 году. Получил широкое распространение после изобретения в 1935-м Е. Лэндом поляроидной пленки. При использовании линейной поляризации два изображения накладываются друг на друга на один и тот же экран через ортогональные (расположенные под углом 90 градусов друг к другу) поляризационные фильтры в проекторах. При этом необходимо использование специального посеребрённого экрана, который позволяет избежать деполяризации и компенсировать потерю яркости (поскольку на экран падает только 0,71 света излученного каждым проектором).

Зритель надевает очки (рис. 5), в которые также встроены ортогональные поляризационные фильтры; таким образом, каждый фильтр пропускает только ту часть световых волн, чья поляризация соответствует поляризации фильтра, и блокирует ортогонально поляризованный свет. Линейно поляризованные очки требуют, чтобы зритель держал голову на одном уровне, не наклоняя её, иначе эффект теряется.



Рис.5. Стере очки с поляризационной технологией

Пример технологии, использующей линейную поляризацию — IMAX 3D (IMAX - англ. Image Maximum - «максимальное изображение») — формат фильмов и кинотеатров, разработанный канадской компанией IMAX Corporation в начале 1970-х годов. Формат рассчитан на большие размеры экрана в сравнении с обычным кино и лучше оптимизирован для просмотра 3D-кино анаглифными системами. Стандартный размер экрана в кинотеатре IMAX — 22 м в ширину и 16 м в высоту. Экран занимает почти всё пространство перед зрителем, что обеспечивает максимальный «эффект присутствия».)

При использовании круговой поляризации два изображения так же накладываются друг на друга через фильтры с противоположно направленной

поляризацией. В очки, предназначенные для зрителя, встроены «анализирующие» фильтры (с противоположно направленной поляризацией). В отличие от линейной поляризации, если зритель наклоняет голову, разделение левого и правого изображений сохраняется, а соответственно сохраняется и иллюзия стереоизображения.

Пример технологии с круговой поляризацией - RealD Cinema (RealD Cinema - технология цифрового стереоскопического проецирования. Является наиболее часто используемой технологией для показа стереоскопических фильмов в кинотеатрах. В отличие от технологии IMAX 3D, RealD не требует двух проекторов. Компания Sony имеет эксклюзивное соглашение на использование технологии RealD для показа фильмов с помощью своих 3D-проекторов).

Благодаря последним технологическим достижениям поляризационные технологии стремительно набирают популярность. Поляризационный метод получил широкое распространение в кинопрокате благодаря четкому разделению стереопары, сохранению цветности; недостатки - необходимость использования дорогостоящего оборудования, специальных устройств визуализации и очки, которые зритель должен надевать.

Безочковые (автостереоскопические) методы включают несколько технологий, не требующие от зрителя ношения специализированных очков для создания иллюзии стереоизображения. Используются в экспериментальных видеопанелях. В основном, представлены растровыми системами.

Растровому стерео более 110 лет. Впервые метод безочкового стерео с применением параллельного светопоглощающего растра предложен одновременно Бертъе и Лизегангом в 1896 году. Впервые в мире для демонстрации стереокино этот метод был предложен в СССР С. Ивановым и А. Андриевским и реализован под руководством Б. Иванова в 1942-м. Первый в мире кинотеатр с растрово-линзовым экраном "Стереокино" был открыт в Москве в 1947-м. Размеры экрана составляли 3x3 м.

Для показа через растр исходная стереопара кадров "нарезается" на вертикальные полоски, которые затем чередуются так, чтобы под каждой линзой оказалась пара полос: одна от левого кадра, другая -- от правого. Такое "полосатое" изображение называют кодированным. Принцип действия линзово-растрового экрана показан на рис. 6. Поток света, исходящий от кодированного изображения, проходя через линзы, разделяется таким образом, что левый глаз наблюдателя видит левое изображение стереопары, правый глаз - правое.



Рис. 6. Схема разделения кодированного изображения стереопары с помощью линзового растра

Существует два типа растра - оптический (также называемый щелевым или барьерным) и линзовый (лентиккулярный).

Оптический растр состоит из вертикальных непрозрачных полос, с щелями между ними. Полосы затевают для каждого глаза «несоответствующие» части изображения.

Линзовый растр (более применимый в настоящее время) состоит из вертикально расположенных цилиндрических плоско-выпуклых линз. Линза одновременно выполняет функции щели и затевающей полосы. Этот метод также применяется при изготовлении стерео открыток.

Недостатки растровых методов: 1) качественное изображение наблюдается только при некоторых ракурсах, что, помимо необходимости расположения зрителей в фиксированных секторах обзора, накладывает ограничения на размер экрана; 2) эффективное разрешение изображения по горизонтали уменьшается в два раза.

Достоинство растрового метода в том, что устройство сепарации объединено с самим изображением и зрителю нет необходимости надевать какие-либо очки для просмотра. Кроме того, формирование объемного изображения из серии кадров, снятых с различных точек зрения, позволяет придать большую реалистичность сцене.

Практическая часть

1. Откройте папку «Лабораторная работа 2.1.»(D:\\Лаб.раб\\--//Лабораторная работа 2.1.).
2. Запустите программу «Integrator».
3. Введите информацию о себе (рис.7).

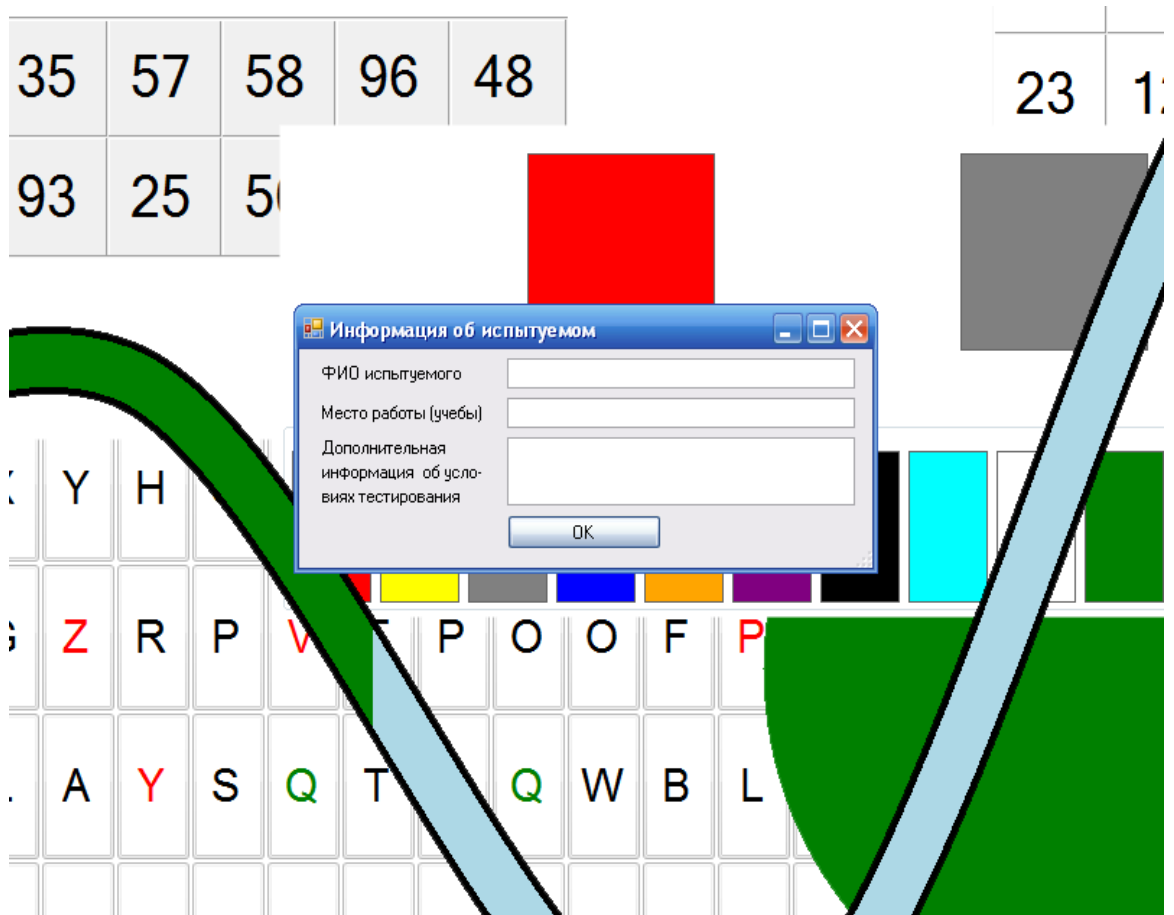


Рис.7. Заполнение информации об испытуемом

4. Далее выберете: Меню - Выбор тестов – Исследование сенсомоторной реакции (рис.8).

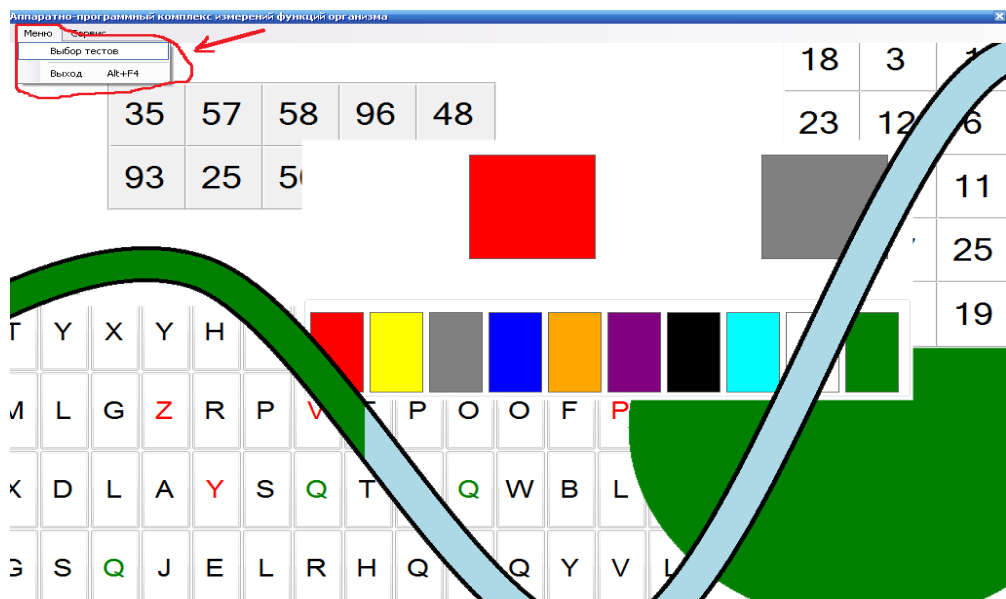


Рис.8. Выбор теста для испытаний

Для добавления теста нажмите на кнопку выделенную на слайде. Далее выберите «Начать тесты» (рис.9).

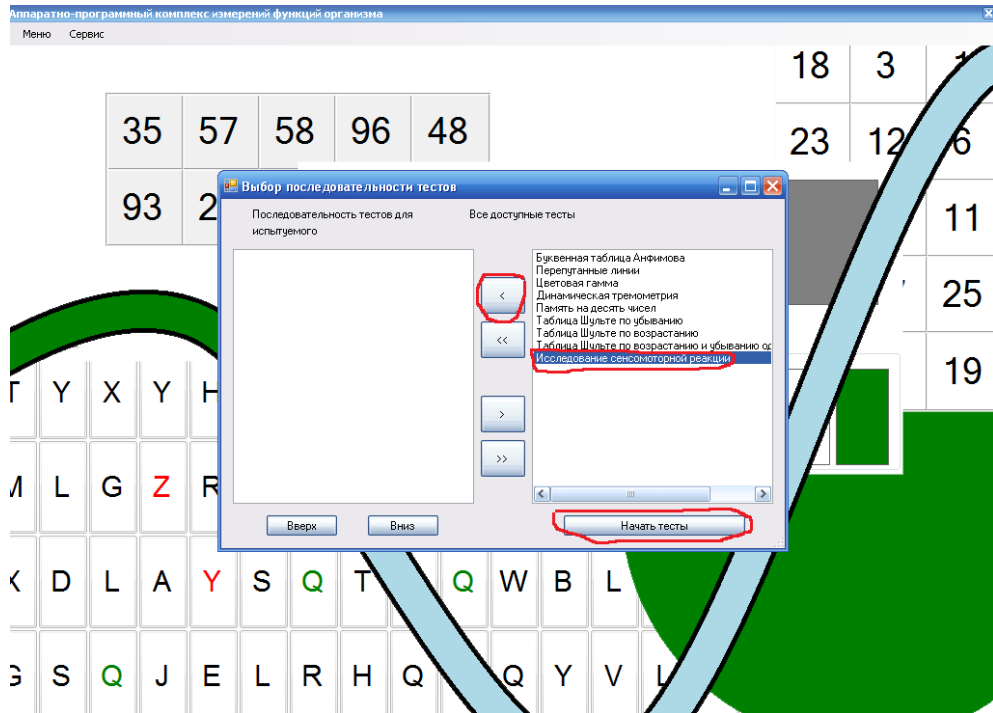


Рис.10. Инициация начала теста

5. Пройдите тест на скорость. При появлении красного круга нажать нужно на левую кнопку мыши (рис.11), при появлении зеленого круга – на правую кнопку мыши (рис.12). После прохождения теста запишите полученный результат.
- 6.

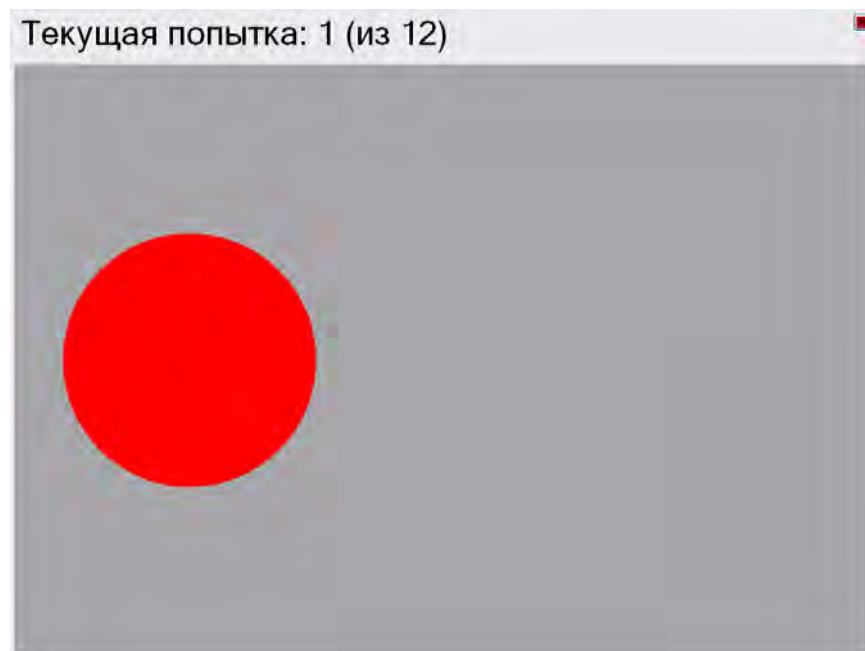


Рис.11.Появление красного круга



Рис.12. Появление зеленого круга

7. Откройте презентацию 1 и выполните просмотр слайдов с использованием стерео очков в течение установленного преподавателем времени.
8. Снимите очки и повторите пункты 4-5.
9. Сравните полученные результаты.
10. По полученным данным сделайте вывод об утомляемости при наблюдении анаглифных стереоизображений.

Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Результаты полученных данных при прохождении теста.
3. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое стереоизображение?
2. Назовите перечень технических характеристик и показателей качества 3D системы.
3. Назовите все известные 3D стерео технологии, достоинства и недостатки.
4. Спрогнозируйте пути развития 3D технологий в будущем.

Список использованной литературы к лабораторной работе № 6

1. Валюс Н.А. Стереоскопия. - М.: Издательство академии наук СССР, 1962.
2. Dolby 3D – Википедия: [электронный ресурс] – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Dolby_3D

3. RealD Cinema– Википедия: [электронный ресурс] – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/RealD_Cinema

4. Технологии 3D– 3D Лига: [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.3dliga.ru/3d-aboutus-technology.html>

5. Зайцева Е.Г., Мельниченко Д.А., Сеницын И.Г., Насанович М.С. Разработка методики исследования степени утомляемости при просмотре стереоизображений.

6. Зайцева Е.Г., Насанович М.С.. Методика оценки негативного воздействия при восприятии стереоизображения – в кн.: 5-я Международная научно-техническая конференция «Новые направления развития приборостроения» Минск, БНТУ, 2012.

Лабораторная работа №7

Способы и устройства записи и воспроизведения объемного изображения методом интегральной фотографии

Теоретическая часть

Цель работы: ознакомиться с принципом создания и воспроизведения интегральной фотографии, получить сведения о других способах создания и воспроизведения объемного изображения.

Интегральная фотография предложена Г. Липманом в 1908 г. Он предложил фотографировать сцену матрицей из огромного количества миниатюрных (до 1 мм в диаметре) микрообъективов. Каждая точка такой фотографии фиксировала свой параллакс, а множество точек этой фотографии могла восстановить трехмерную картину сцены (рис.1).



Рис.1. Принцип интегральной фотографии

Практически получить совершенные интегральные фотографии удалось много лет спустя, советским ученым из ГОИ. Этой технологией успешно занимался последнее время Б.К. Рожков.

Это метод, позволяющий получать на плоском снимке объёмные изображения, которые можно рассматривать непосредственно глазами, без вспомогательных оптических приспособлений. Метод основан на применении так называемой интегральной пластинки, представляющей собой

совокупность маленьких двояковыпуклых линз, располагаемых перед слоем светочувствительной эмульсии (рис.2, а). Съёмка объекта интегральной пластинкой производится без какой-либо вспомогательной оптики — каждый линзовый элемент является самостоятельным объективом, формирующим на эмульсии своё микроизображение объекта. Проявленная с обращением и отфиксированная интегральная пластинка просвечивается рассеянным светом со стороны эмульсионного слоя (рис.2, б). При этом в области пространства, занятой ранее (при съёмке) объектом, формируется его объёмное (стереоскопическое) изображение. Оно является результатом наложения друг на друга отдельных изображений, возникающих при обратном ходе лучей света через каждый из линзовых элементов. Для такого (интегрального) изображения характерны высокие стереоскопические свойства, игра светотени и бликов, а также разворот самого изображения при оглядывании его с разных сторон.

Массовому применению интегральной Липмановской фотографии препятствуют огромные технические трудности изготовления высококачественных интегральных пластинок. Широкое распространение получили методы, представляющие собой упрощения метода Липмана, например растровая стереофотография и интегральное кино, в котором на стадии проекции изображения используется радиально-растровый стереозэкран, состоящий из конических линзовых элементов.

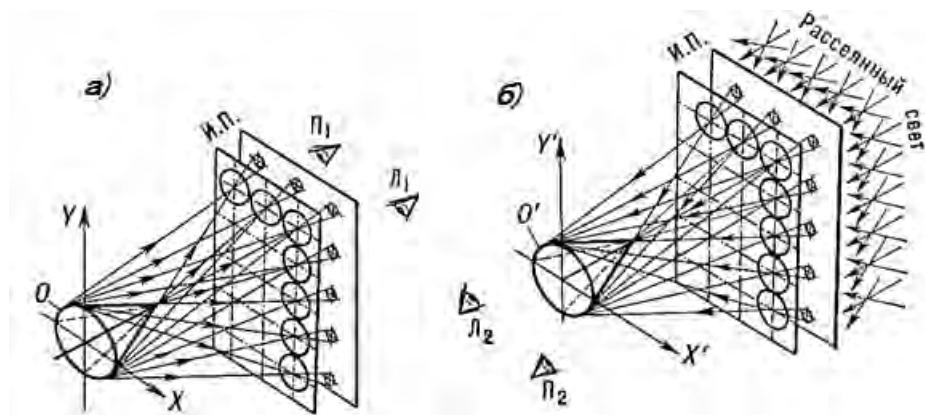


Рис.2. Интегральная фотография по Липману: а — съёмка объекта O интегральной пластинкой И.П.; б — восстановление объёмного (интегрального) изображения O_1 ; Π_1 , Λ_1 и Π_2 , Λ_2 — положение правого и левого глаз человека при съёмке и рассматривании изображения, соответственно.

При рассматривании интегральной фотографии сбоку можно увидеть боковой вид предмета. При приближении панорама видимой картины расширяется, меняется перспектива и угловая величина предметов.

Осуществляемая в некогерентном свете интегральная фотография допускает съёмку натуральных пространственных объектов неограниченных

размеров на произвольных расстояниях, позволяет получать цветные изображения.

Известны различные модификации интегральной фотографии. Так, например, съемкой интегральной фотографии через объектив (или линзу) большого диаметра имеется возможность за счет сужения апертуры системы увеличить пространственное разрешение получаемого изображения.

К недостаткам интегральной фотографии можно отнести тот факт, что изображение, получаемое таким способом, было псевдоскопическим, т.е. вывернутым наизнанку и располагалось впереди фотографии. Для устранения псевдоскопии необходимо было изготавливать копию интегральной фотографии тем же интегральным методом, что снижало качество изображения и значительно усложняло процесс.

В середине двадцатого века (1947 год) Денис Габор, английский физик (венгр по происхождению), занимаясь поисками способа повышения резкости изображений электронного микроскопа, открыл поистине новый способ записи изображений – голографию (рис.3).

Если фотография означает буквально светопись, то голография - полная запись.

Габор изготовил несколько примитивных голограмм фазовых (светопреломляющих и прозрачных) объектов.

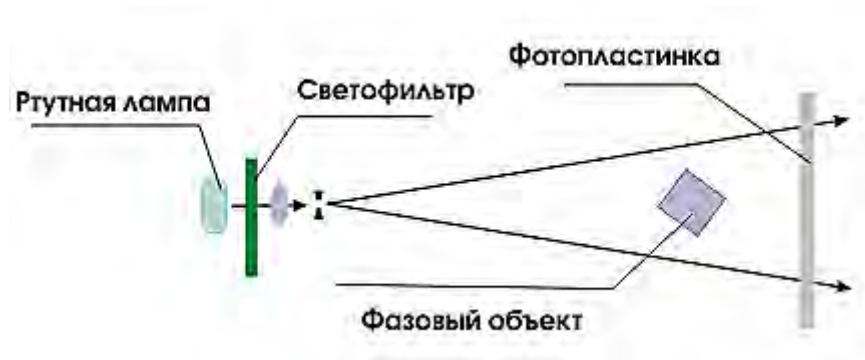


Рис.3.Схема записи голограммы Габора

При записи голограммы он фиксировал структуру интерференции волн монохроматического источника света и света, рассеянного фазовым объектом, помещенным перед фотопластиной. Для получения высокого контраста интерференционной картины Габор использовал одну из самых ярких линий спектра излучения ртутной лампы.

После проявления и отбеливания фотопластинка восстанавливала трехмерное изображение этого объекта. Результат был ошеломляющий, но мог взволновать пока только ученых. К сожалению, на голограмме можно было видеть и мнимое, и действительное изображения (рис. 4), и восстанавливающий источник света одновременно, что мешало комфортному восприятию трехмерной сцены. Эти первые голограммы Габора назывались осевыми.

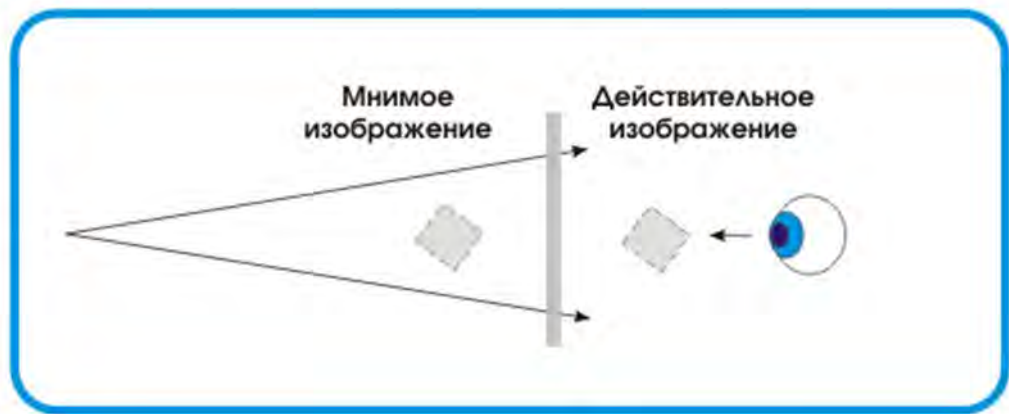


Рис.4.Изображение голограммы Габора

Примерно в это же время свои первые голограммы получил в Советском Союзе молодой аспирант Юрий Денисюк. Но способ их записи он позаимствовал у Липмана. Хотя эти голограммы так же, как и у Габора в силу низкой когерентности (монохроматичности) источников были осевыми, но в исполнении Денисюка свет интерферировал во встречном направлении.

Эта схема записи, когда фотопластина с прозрачной фотоэмульсией устанавливается между объектом и источником света до сих пор называется "запись голограммы во встречных пучках" или схемой Денисюка. Результат тогда мало кого впечатлил.

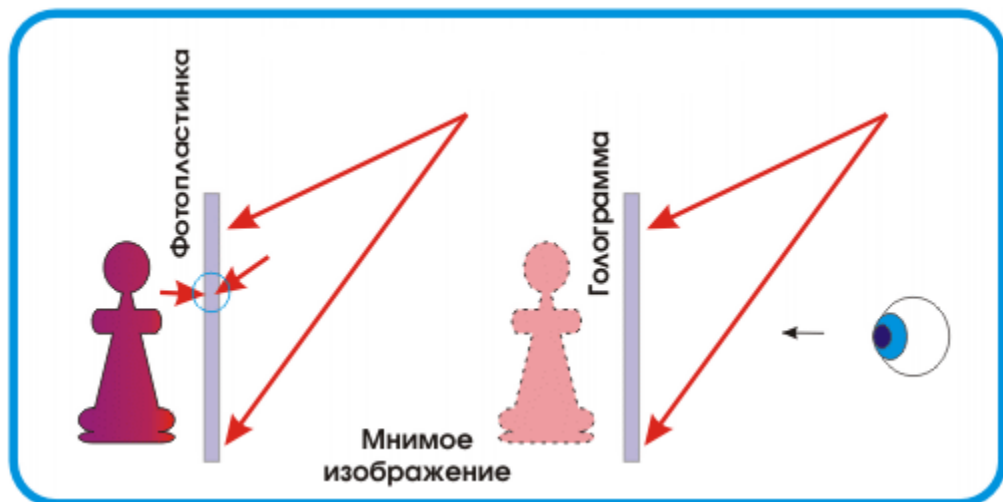


Рис 5.Схема записи и восстановления голограммы Денисюка

Картина интерференции фронтов световых волн, бегущих навстречу друг другу, позволяла фиксировать не только амплитуду и фазу волнового фронта (информацию о трехмерной сцене), но и частоту (цвет) волны. Это открывало перспективу записи цветных голограмм и восстановления их источниками "белого" цвета.

В 1960 году появились лазеры - удивительные источники излучения высокой когерентности.

С применением лазеров опыты Габора и Денисюка можно было повторить с большим эффектом. Результат не заставил себя долго ждать (рис.6)

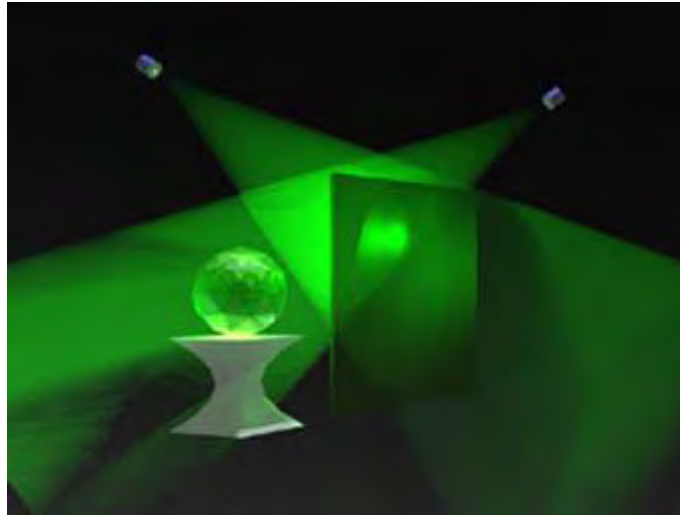


Рис.6. Запись голограммы во встречных пучках с использованием лазера

В 1961 году на одной из фотовыставок ученые Лейт и Упатниекс показали трехмерное изображение шахматной доски, записанное на плоской фотопластинке, схема записи на рисунке 7. Это была первая внеосевая голограмма.

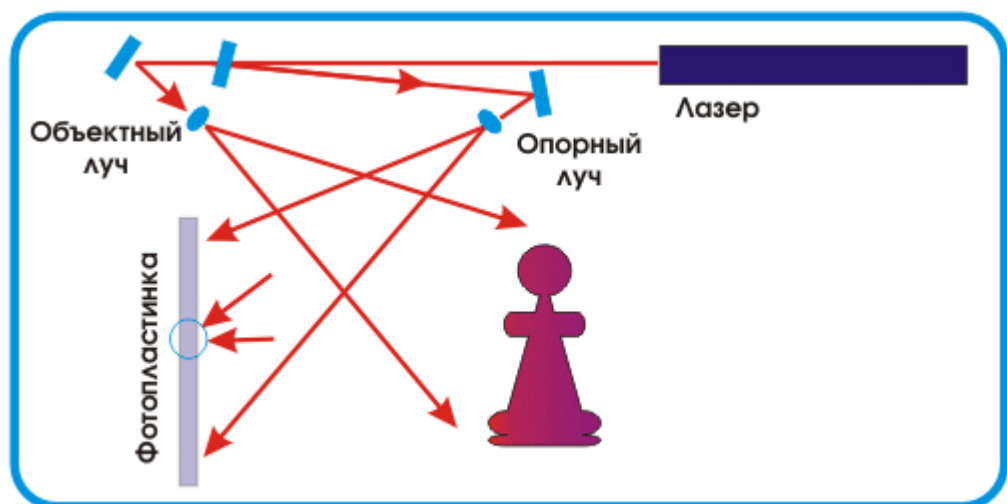


Рис.7.Схема записи голограммы Лейта-Упатниекса

Когерентность лазеров теперь позволяла разделить направления падения на фотопластину интерферирующих лучей опорного источника и волнового фронта, отраженного от объекта.

Изображение трехмерной сцены за прозрачным стеклом (ничем не отличалось от материального оригинала (рис.8).

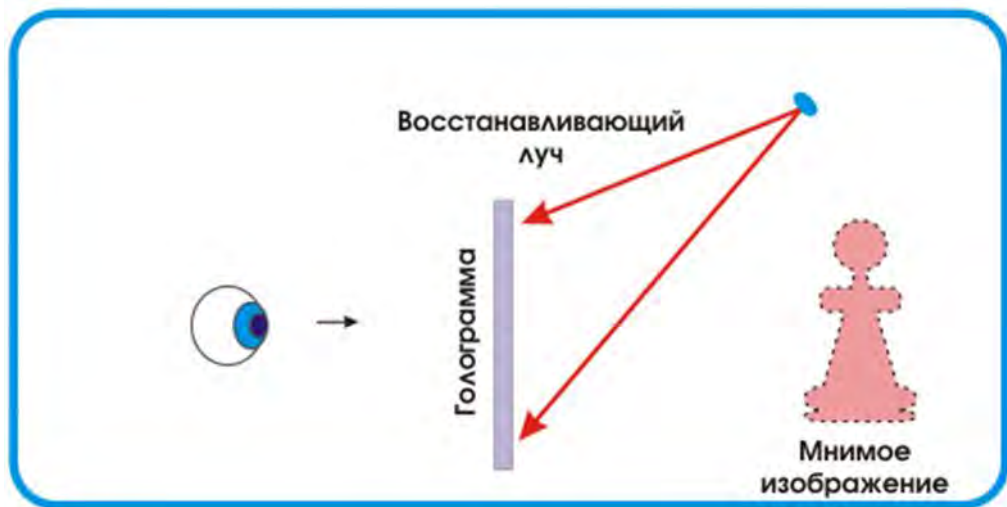


Рис.8.Схема восстановления мнимого изображения голограммы Лейта-Упатниекса

Изображение, восстановленное с голограммы, можно было записать на другую голограмму, при этом изменив не только его положение относительно фотопластины (например, можно вынести объект перед голограммой), но и сам тип голограммы (рис.9).

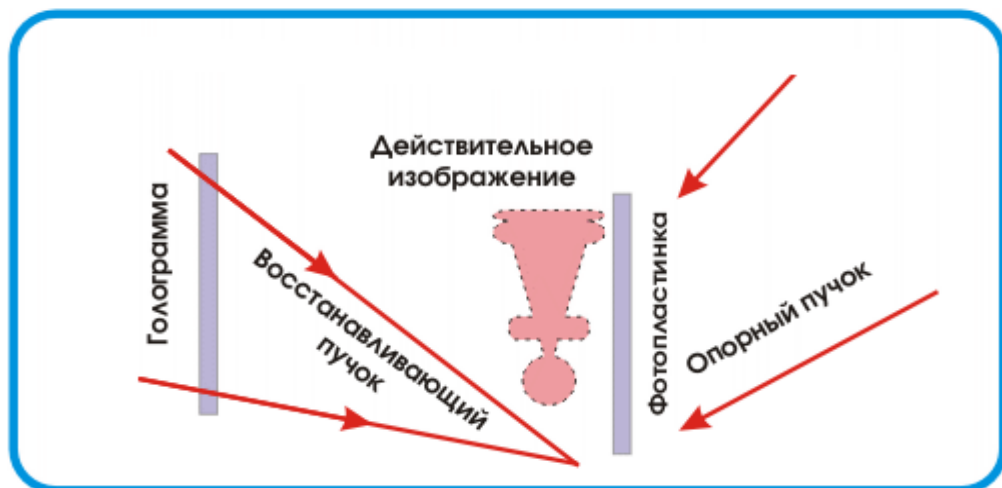


Рис.9.Схема копирования голографического изображения

Можно было сначала изготовить голограмму-оригинал по схеме Лейта - Упатниекса, а затем получить копию (рис.10), парящую перед голограммой, записанную во встречных пучках (способ Денисюка). Голограммы второго

типа позволяли использовать для восстановления трехмерного изображения не дорогостоящие и сложные в эксплуатации лазеры, а свет солнца или ламп накаливания.

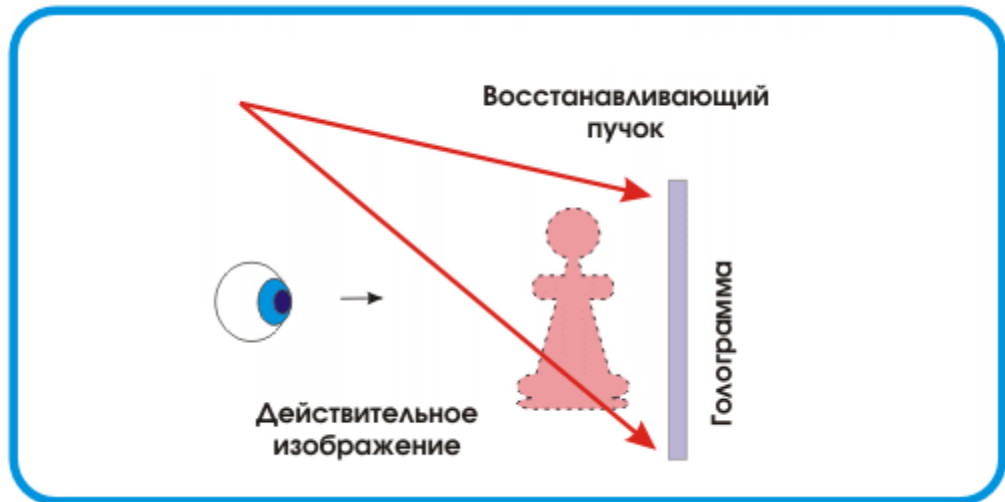


Рис.10.Схема воспроизведения скопированного изображения

Виктор Григорьевич Комар практически решил все технические стороны записи и воспроизведения трехмерной картинке в четвертом измерении, но дальше впечатляющего демонстрационного аттракциона не ушел.

Практическая часть

1. Установить лампы для качественного освещения объектов отображения.

2. Установить фото-, видео аппаратуру в устойчивом положении на расстоянии, приблизительно равном показанному на изображении лабораторной установки (рис.11).

3. Установить стекло с линзами между фото-, видеоаппаратурой и объектами съемки.

4. Изменяя расстояние от стекла с линзами до объектов, фотоаппарата до стекла с линзами, добиться как можно более четкого изображения объектов отображения и сделать необходимое количество снимков и видеозаписей, отобрать наиболее качественные.

5. Снимки необходимо рассматривать на компьютере. Для сохранения на компьютере подключить USB-кабель к видеокамере, включить режим сохранения, камера должна быть включена. Размер изображения на компьютере должен быть равным площади линз на стекле, затем следует изменять расстояние до монитора, возможно до нескольких метров, то тех пор, пока глаз не будет различать разрешения линз, до получения восстановленного изображения в объемном отображении.



Рис.11. Схема лабораторной установки

Содержание отчета

Схемы записи и воспроизведения получения интегральной фотографии и видеоизображений, а также схемы записи и воспроизведения голографического изображения.

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип построения интегральной фотографии Липмана.
2. Воспроизведите схему получения интегральной фотографии.
3. Назовите недостатки интегральной фотографии.
4. Перечислите голографические методы воспроизведения объемного изображения.

Лабораторная работа № 8 Исследование шумоподавления

Теоретическая часть

Цель работы: изучить методы подавления шума, методом активного звукоподавления подавить звук заданной частоты.

Звук — физическое явление, представляющее собой распространение в виде упругих волн механических колебаний в твёрдой, жидкой или газообразной среде. В узком смысле под звуком имеют в виду эти колебания, рассматриваемые в связи с тем, как они воспринимаются органами чувств животных и человека.

Звук характеризуется амплитудой и спектром частот. Обычный человек способен слышать звуковые колебания в диапазоне частот от 16—20 Гц до 15—20 кГц. Звук ниже диапазона слышимости человека называют инфразвуком; выше: до 1 ГГц, — ультразвуком, от 1 ГГц — гиперзвуком. Громкость звука сложным образом зависит от эффективного звукового давления, частоты и формы колебаний, а высота звука — не только от частоты, но и от величины звукового давления.

Среди слышимых звуков следует особо выделить фонетические, речевые звуки и фонемы (из которых состоит устная речь)

и музыкальные звуки (из которых состоит музыка). Музыкальные звуки содержат не один, а несколько тонов, а иногда и шумовые компоненты в широком диапазоне частот. Звуковые волны в воздухе — чередующиеся области сжатия и разрежения.

Звуковые волны могут служить примером колебательного процесса. Если произвести резкое смещение частиц упругой среды в одном месте, например, с помощью поршня, то в этом месте увеличится давление. Благодаря упругим связям частиц давление передаётся на соседние частицы, которые, в свою очередь, воздействуют на следующие, и область повышенного давления как бы перемещается в упругой среде. За областью повышенного давления следует область пониженного давления, и, таким образом, образуется ряд чередующихся областей сжатия и разрежения, распространяющихся в среде в виде волны. Каждая частица упругой среды в этом случае будет совершать колебательные движения.

В жидких и газообразных средах, где отсутствуют значительные колебания плотности, акустические волны имеют продольный характер, то есть направление колебания частиц совпадает с направлением перемещения волны. В твёрдых телах, помимо продольных деформаций, возникают также упругие деформации сдвига, обуславливающие возбуждение поперечных (сдвиговых) волн; в этом случае частицы совершают колебания перпендикулярно направлению распространения волны. Скорость распространения продольных волн значительно больше скорости распространения сдвиговых волн.

Колебательная скорость звука измеряется в м/с или см/с. В энергетическом отношении реальные колебательные системы характеризуются изменением энергии вследствие частичной её затраты на работу против сил трения и излучение в окружающее пространство. В упругой среде колебания постепенно затухают. Для характеристики затухающих колебаний используются коэффициент затухания (S), логарифмический декремент (D) и добротность (Q).

Коэффициент затухания отражает быстроту убывания амплитуды с течением времени.

Уменьшение амплитуды за один цикл характеризуется логарифмическим декрементом затухания.

Если на колебательную систему с потерями действовать периодической силой, то возникают *вынужденные колебания*, характер которых в той или иной мере повторяет изменения внешней силы. Частота вынужденных колебаний не зависит от параметров колебательной системы. Напротив, амплитуда зависит от массы, механического сопротивления и гибкости системы. Такое явление, когда амплитуда колебательной скорости достигает максимального значения, называется механическим резонансом. При этом частота вынужденных колебаний совпадает с частотой собственных незатухающих колебаний механической системы.

При частотах воздействия, значительно меньших резонансной, внешняя гармоническая сила уравнивается практически только силой

упругости. При частотах возбуждения, близких к резонансной, главную роль играют силы трения. При условии, когда частота внешнего воздействия значительно больше резонансной, поведение колебательной системы зависит от силы инерции или массы.

Свойство среды проводить акустическую энергию, в том числе и ультразвуковую, характеризуется акустическим сопротивлением. Акустическое сопротивление среды выражается отношением звуковой плотности к объёмной скорости ультразвуковых волн. Удельное акустическое сопротивление среды устанавливается соотношением амплитуды звукового давления в среде к амплитуде колебательной скорости её частиц. Чем больше акустическое сопротивление, тем выше степень сжатия и разрежения среды при данной амплитуде колебания частиц среды. Численно, удельное акустическое сопротивление среды находится как произведение плотности среды на скорость распространения в ней звуковых волн.

Звуковое или *акустическое давление* в среде представляет собой разность между мгновенным значением давления в данной точке среды при наличии звуковых колебаний и статического давления в той же точке при их отсутствии. Иными словами, звуковое давление есть переменное давление в среде, обусловленное акустическими колебаниями. Максимальное значение переменного акустического давления (амплитуда давления) может быть рассчитано через амплитуду колебания частиц:

$$P = 2\pi f c \rho A$$

где P — максимальное акустическое давление (амплитуда давления);

f — частота;

c — скорость распространения ультразвука;

ρ — плотность среды;

A — амплитуда колебания частиц среды.

На расстоянии в половину длины волны ($\lambda/2$) амплитудное значение давления из положительного становится отрицательным, то есть разница давлений в двух точках, отстоящих друг от друга на $\lambda/2$ пути распространения волны, равна $2P$.

Давление, оказываемое на частицы среды при распространении волны, является результатом действия упругих и инерционных сил. Последние вызываются ускорениями, величина которых также растёт в течение периода от нуля до максимума (амплитудное значение ускорения). Кроме того, в течение периода ускорение меняет свой знак.

Максимальные значения величин ускорения и давления, возникающие в среде при прохождении в ней ультразвуковых волн, для данной частицы не совпадают во времени. В момент, когда перепад ускорения достигает своего максимума, перепад давления становится равным нулю.

Если бегущие волны наталкиваются на препятствие, оно испытывает не только переменное давление, но и постоянное. Возникающие при

прохождении волн участки сгущения и разрежения среды создают добавочные изменения давления в среде по отношению к окружающему её внешнему давлению. Такое добавочное внешнее давление носит название давления излучения (радиационного давления).

Скорость звука — скорость распространения звуковых волн в среде.

Как правило, в газах скорость звука меньше, чем в жидкостях, а в жидкостях скорость звука меньше, чем в твёрдых телах, что связано в основном с убыванием сжимаемости веществ в этих фазовых состояниях соответственно.

В среднем в идеальных условиях в воздухе скорость звука составляет 340—344 м/с

Громкость звука — субъективное восприятие силы звука (абсолютная величина слухового ощущения). Громкость главным образом зависит от звукового давления, амплитуды и частоты звуковых колебаний. Также на громкость звука влияют его спектральный состав, локализация в пространстве, тембр, длительность воздействия звуковых колебаний, индивидуальная чувствительность слухового анализатора человека и другие факторы.

Давление измеряется в Паскалях, однако в акустике звуковое давление обычно измеряется в *децибелах* (дБ) относительно *порога слышимости* p_0 . По определению, величина порога принята равной 0.00002 Па (20 мкПа).

Порог слышимости принимается за 0 дБ, а *громкость*, выражаемая в децибелах, вычисляется как $20 \log \frac{p}{p_0}$ (p - звуковое давление, p_0 - порог слышимости). При этом все слышимые звуки имеют положительную величину громкости; неслышимые (ниже порога громкости) - отрицательную; изменение громкости на 6 дБ соответствует двукратному изменению давления; изменение на 20 дБ - изменению давления в 10 раз.

В таблице приведены несколько типичных значений уровней громкости.

Таблица

Уровни громкости и звукового давления некоторых физических процессов

| Звук | Громкость, дБ | Давление |
|--|---------------|----------------|
| Порог слышимости | 0 | 20 мкПа |
| Шелест листвы и слабого ветра, тиканье наручных часов, дыхание | 10-20 | 60 - 200 мкПа |
| Тихий шепот, тиканье настенных часов | 20-30 | 200 - 600 мкПа |
| Шум в помещении | 30-40 | 0.6 - 2 мПа |

| | | | |
|-------------------|-------------------------|---------|--------------|
| Тихий разговор | | 40-50 | 2 - 6 мПа |
| Разговор | средней громкости | 50-60 | 6 - 20 мПа |
| Громкий разговор | | 60-70 | 20 - 60 мПа |
| Шумная улица | | 70-80 | 60 - 200 мПа |
| Двигатель | грузового автомобиля | ~80 | 200 мПа |
| Шум в метро | во время движения | ~90 | 600 мПа |
| Отбойный молоток | | | |
| Громкая дискотека | | 100-120 | 2 - 20 Па |
| Самолет на взлете | | 120 | 20 Па |
| Болевой порог | | 130 | 60 Па |

Ультразвук — упругие звуковые колебания высокой частоты. Человеческое ухо воспринимает распространяющиеся в среде упругие волны частотой приблизительно до 16 Гц-20 кГц; колебания с более высокой частотой представляют собой ультразвук (за пределом слышимости).

Распространение ультразвука — это процесс перемещения в пространстве и во времени возмущений, имеющих место в звуковой волне.

Звуковая волна распространяется в веществе, находящемся в газообразном, жидком или твёрдом состоянии, в том же направлении, в котором происходит смещение частиц этого вещества, то есть она вызывает деформацию среды. Деформация заключается в том, что происходит последовательное разрежение и сжатие определённых объёмов среды, причём расстояние между двумя соседними областями соответствует длине ультразвуковой волны. Чем больше удельное акустическое сопротивление среды, тем больше степень сжатия и разрежения среды при данной амплитуде колебаний.

Частицы среды, участвующие в передаче энергии волны, колеблются около положения своего равновесия. При распространении звуковых волн возможны явления дифракции, интерференции и отражения.

Дифракция (огибание волнами препятствий) имеет место тогда, когда длина ультразвуковой волны сравнима (или больше) с размерами находящегося на пути препятствия. Если препятствие по сравнению с длиной акустической волны велико, то явления дифракции нет.

При одновременном движении в среде нескольких ультразвуковых волн в каждой определённой точке среды происходит *суперпозиция* (наложение) этих волн. Наложение волн одинаковой частоты друг на друга называется интерференцией. Если в процессе прохождения через объект ультразвуковые волны пересекаются, то в определённых точках среды наблюдается усиление или ослабление колебаний. При этом состояние точки среды, где происходит

взаимодействие, зависит от соотношения фаз ультразвуковых колебаний в данной точке. Если ультразвуковые волны достигают определённого участка среды в одинаковых фазах (синфазно), то смещения частиц имеют одинаковые знаки и интерференция в таких условиях приводит к увеличению амплитуды колебаний. Если же волны приходят к точке среды в противофазе, то смещение частиц будет разнонаправленным, что приводит к уменьшению амплитуды колебаний.

Если среда, в которой происходит распространение ультразвука, обладает вязкостью и теплопроводностью или в ней имеются другие процессы внутреннего трения, то при распространении волны происходит поглощение звука, то есть по мере удаления от источника амплитуда ультразвуковых колебаний становится меньше, так же как и энергия, которую они несут. Среда, в которой распространяется ультразвук, вступает во взаимодействие с проходящей через него энергией и часть её поглощает. Преобладающая часть поглощенной энергии преобразуется в тепло, меньшая часть вызывает в передающем веществе необратимые структурные изменения. Поглощение является результатом трения частиц друг об друга, в различных средах оно различно. Поглощение зависит также от частоты ультразвуковых колебаний. Теоретически, поглощение пропорционально квадрату частоты.

Величину поглощения можно характеризовать коэффициентом поглощения, который показывает, как изменяется интенсивность ультразвука в облучаемой среде. С ростом частоты он увеличивается. Интенсивность ультразвуковых колебаний в среде уменьшается по экспоненциальному закону. Этот процесс обусловлен внутренним трением, теплопроводностью поглощающей среды и её структурой. Его ориентировочно характеризует величина полупоглощающего слоя, которая показывает на какой глубине интенсивность колебаний уменьшается в два раза (точнее в 2,718 раза или на 63 %).

Если в среде имеются неоднородности, то происходит рассеяние звука, которое может существенно изменить простую картину распространения ультразвука и, в конечном счете, также вызвать затухание волны в первоначальном направлении распространения.

Если при распространении ультразвуковых волн в среде не происходит их отражения, образуются бегущие волны. В результате потерь энергии колебательные движения частиц среды постепенно затухают, и чем дальше расположены частицы от излучающей поверхности, тем меньше амплитуда их колебаний. Если же на пути распространения ультразвуковых волн имеются ткани с разными удельными акустическими сопротивлениями, то в той или иной степени происходит отражение ультразвуковых волн от пограничного раздела. Наложение падающих и отражающихся ультразвуковых волн может приводить к возникновению стоячих волн. Для возникновения стоячих волн расстояние от поверхности излучателя до отражающей поверхности должно быть кратным половине длины волны.

Инфразвук — упругие волны, аналогичные звуковым, но имеющие частоту ниже воспринимаемой человеческим ухом. За верхнюю границу частотного диапазона инфразвука обычно принимают 16—25 Гц. Нижняя же граница инфразвукового диапазона условно определена как 0.001 Гц. Практический интерес могут представлять колебания от десятых и даже сотых долей герц, то есть с периодами в десяток секунд.

Природа возникновения инфразвуковых колебаний такая же, как и у слышимого звука, поэтому инфразвук подчиняется тем же закономерностям, и для его описания используется такой же математический аппарат, как и для обычного слышимого звука (кроме понятий, связанных с уровнем звука). Инфразвук слабо поглощается средой, поэтому может распространяться на значительные расстояния от источника. Из-за очень большой длины волны ярко выражена дифракция.

На восприятие громкости также влияет свойство *адаптации* слуха. Слух приспособляется к громкости окружающего шума, и соответственно корректирует восприятие громкости. Многие наверняка замечали, что человек в наушниках, в которых играет громкая музыка начинает говорить громко (согласно восприятию окружающих), однако с его точки зрения это нормальная громкость речи (относительно громкости звука в наушниках). И наоборот - в полной тишине люди начинают говорить шепотом и при этом шепот все равно кажется громким. В условиях обычного городского шума тиканье механических часов услышать очень сложно - этот звук воспринимается как очень тихий. То же самое тикание часов в полной тишине ночью может восприниматься как четко слышимое. Таким образом возникает третья громкость - *субъективная громкость*. Мы не будем говорить о каком-либо измерении субъективной громкости, а только о качественном сравнении звуков.

Таким образом звук одной и той же абсолютной громкости может восприниматься как громкий или тихий в зависимости от окружающих условий. Допустим, мы отрегулировали уровень усиления так, чтобы громкость диалогов в фильме приблизительно соответствовал реальности. Тогда, если в фильме есть звук тикающих в тишине часов, то при просмотре фильма в условиях городского шума мы не услышим часов вовсе, поскольку звук часов значительно тише окружающего шума, а слух адаптирован отсеивать окружающий шум. В хороших условиях прослушивания, когда окружающего шума нет, те же самые часы будут ясно слышны.

Для уменьшения шума в производственных помещениях применяют *пассивное шумоподавление*.

Способы пассивное шумоподавления:

- звукоизоляция помещений смежных с шумным производственным участком
- акустический экран
- кабина наблюдения с дистанционным управлением
обработка стен и потолков звукоизолирующей обшивкой
- виброизоляция оборудования

- глушители аэродинамического шума
- средства индивидуальной защиты (наушники, шлемы, бируши).
Активное шумоподавление — технология, позволяющая значительно снизить уровень шума, особенно если источник звука хорошо локализован. Звуковая волна представляет собой волну сжатия и разрежения воздуха. Если с помощью динамиков создать волны той же частоты и амплитуды, но противоположной фазы, то они ослабят друг друга. В этом и заключается принцип работы ANC (Active Noise Control), показанный на рис. 1 и 2. Еще лучшие результаты ANC показывает, если спектр шума имеет периодические составляющие.
- В настоящее время ведется разработка встраиваемых масштабируемых систем активного шумоподавления для различных сфер применения:
 - вентиляция
 - тихие серверные шкафы
 - окна и откосы
 - легковые и грузовые автомобили.

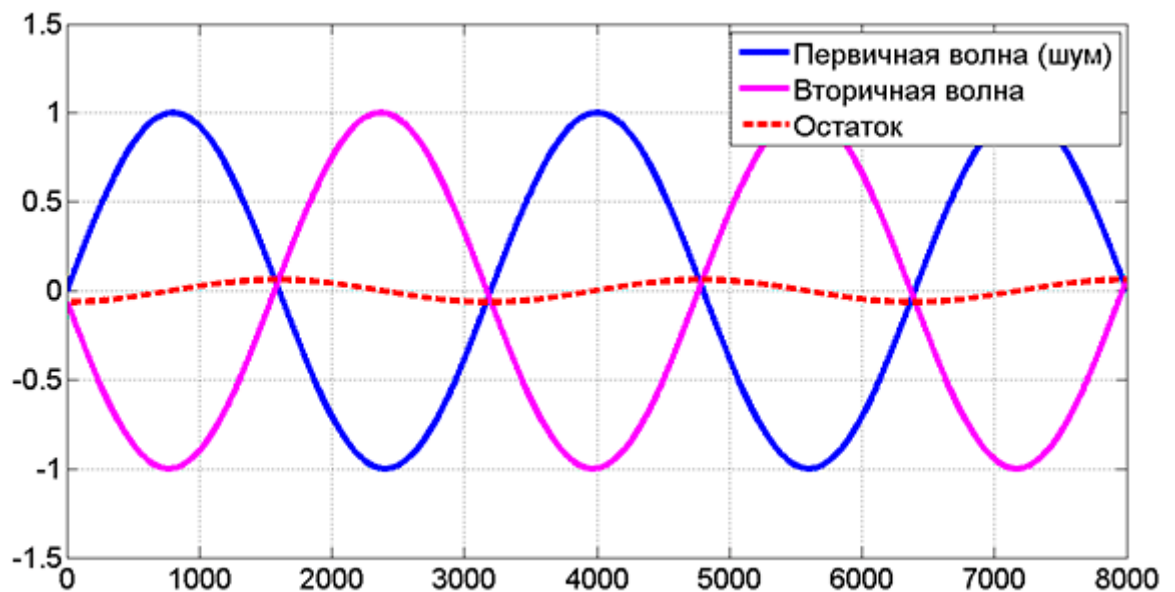


Рис.1. Принцип подавления звука

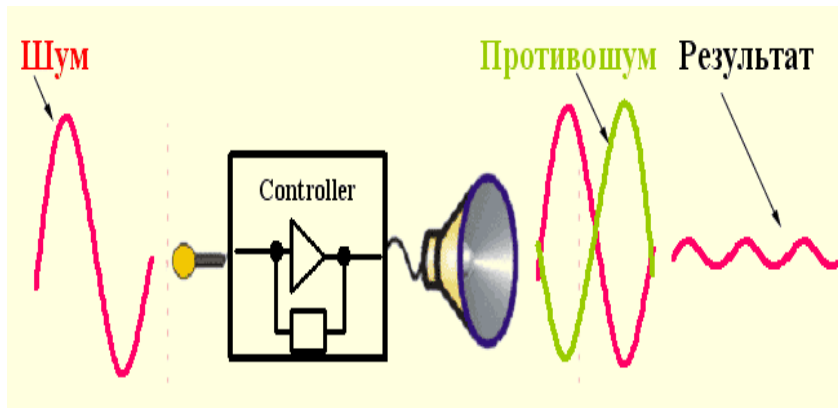


Рис. 2. Устройство активного шумоподавления

Практическая часть

1. Подключить микрофон и динамики в разъемы сзади компьютера (рис.3).

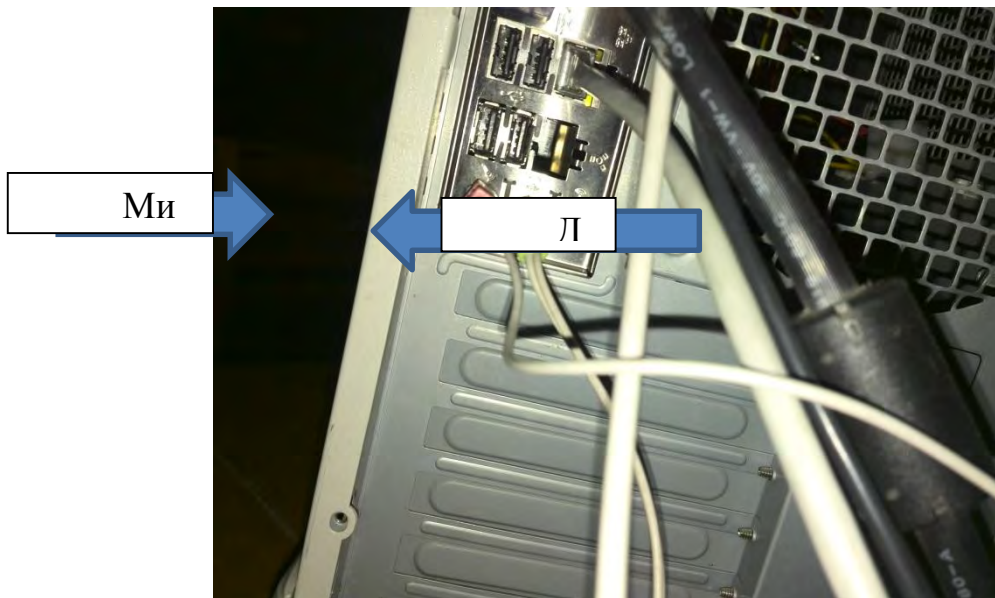


Рис.3. Схема подключения микрофона (знак «Ми») и динамиков (знак Л)

2. Включить компьютер.
3. Запустить программу записи звука и программу звукового генератора по пути D:\Лаб.фопаб\Исследование шумоподавления (рис.4).

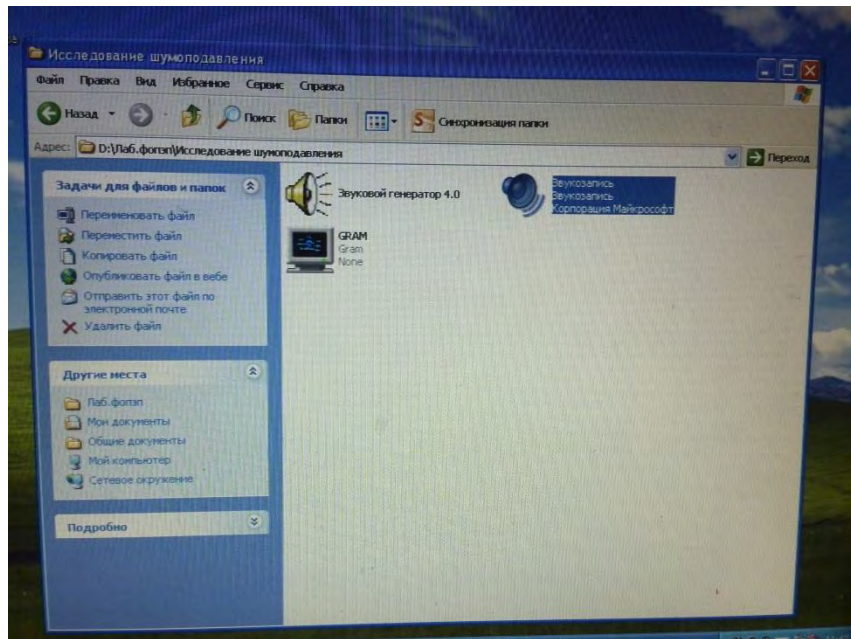


Рис.4. Активация программы звукового генератора

4. Выставить динамики друг напротив друга на рассчитанное расстояние

$$L = \frac{V}{f} = \lambda,$$

где L - расстояние между колонками, м,

V - скорость звука, м/с,

f – частота сигнала, Гц,

λ – длина волны, м.

Опыт выполнить 4 раза с частотами 320 Гц, 640 Гц и двумя частотами заданными преподавателем в диапазоне от 300 до 2000 Гц.

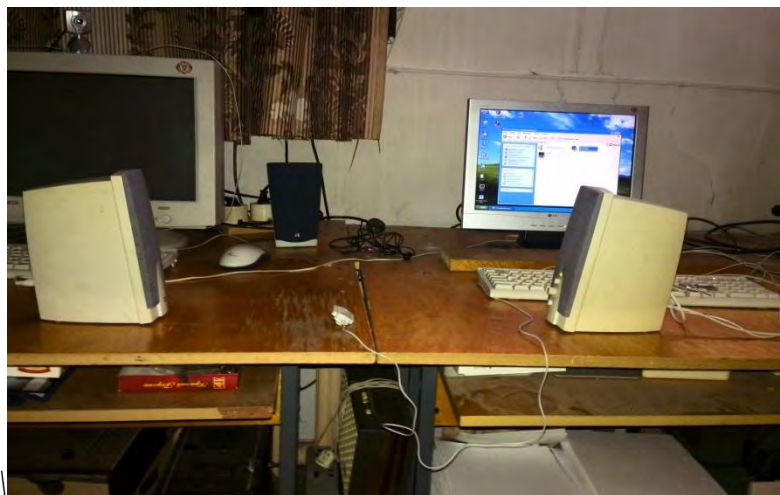


Рис.5. Взаимное расположение акустических систем в течение опыта

5. Установить на генераторе заданную частоту, громкость звука (примерно 20 делений) и запустить генератор.

6. Поднести микрофон к одному динамику, далее включить запись звука и плавно перемещать микрофон к другому динамику.
7. Доведя до второй колонки микрофон отключить запись звука и выключить генератор.
8. Сохранить звуковой файл как моно-сигнал.
9. Открыть в программе GRAM сохраненный сигнал. Проанализировать полученные графики. Нарисовать график зависимости громкости звука (в условном масштабе) от пройденного микрофоном пути.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема установки активного шумоподавления.
3. График зависимости громкости звука от расстояния в соответствии с рис.1.
4. Выводы по результатам эксперимента (о соответствии теории и практических измерений, влияние погрешностей на эксперимент).

Контрольные вопросы

1. Основные понятия звука. Громкость звука.
2. Физические параметры звука.
3. Ультразвук. Особенности воздействия УЗ на окружающую среду и органы человека.
4. Инфразвук. Особенности воздействия УЗ на окружающую среду и органы человека.
5. Сущность и применение пассивного шумоподавления.
6. Сущность и применение активного шумоподавления.

III. КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

Список вопросов к экзамену по учебной дисциплине «Приборы и системы записи и воспроизведения аудио- и видеoinформации»

1. Акустическая система. Определение, требования к идеальным амплитудно-частотным и фазово-частотным характеристикам (АЧХ и ФЧХ). Методы измерения АЧХ и ФЧХ
2. Эффективно воспроизводимый диапазон частот. Характеристическая чувствительность. Неравномерность АЧХ. Фазочастотные и переходные искажения. Кумулятивный спектр
3. Коэффициент направленности акустических систем, индекс направленности, угол излучения. Графическое описание направленности акустических систем.
4. Акустическая мощность акустической системы. Коэффициент и индекс осевой концентрации. Угол покрытия.

5. Анализ нелинейных искажений акустической системы по одной, двум и множеству частотных составляющих.
6. Устройство электродинамического излучателя. Требования к составным элементам, их материалы.
7. Электростатический излучатель. Устройство и принцип действия.
8. Электромагнитный излучатель. Устройство и принцип действия.
9. Ленточный излучатель. Устройство и принцип действия.
10. Изодинамический излучатель. Устройство и принцип действия.
11. Ортодинамический излучатель. Устройство и принцип действия.
12. Излучатель Хейла. Устройство и принцип действия.
13. Ионифон. Пневматический излучатель. Устройство и принцип действия.
14. NХТ-панели. Излучатели на нанотрубках. Устройство и принцип действия.
15. Цифровые громкоговорители. Устройство и принцип действия.
16. Рупорные громкоговорители. Устройство и принцип действия.
17. Микрофоны. Классификация микрофонов. Параметры микрофонов.
18. Характеристики направленности микрофона.
19. Микрофонные стереосистемы. Классификация. Методы расположения микрофонов.
20. Микрофонные системы «Сэраунд саунд». Классификация. Методы расположения микрофонов.
21. Стереотелефоны. Составные элементы. Классификация. Методы измерения АЧХ.
22. Активные методы автоматической фокусировки.
23. Пассивные методы автоматической фокусировки.
24. ПЗС-матрица. КМОП-матрица. Принципы передачи заряда.
25. Матрицы Fujifilm 3-го и 4-го поколения. Матрица Fujifilm EXR. Матрицы Foveon.
26. Форматы сжатия видеoinформации
27. Работа диафрагмы цифровой камеры.
28. Работа электронного затвора.
29. Баланс белого.
30. Стабилизация изображения видеокамеры.
31. Плазменные панели. Светодиодный дисплей
32. ЖК- дисплей
33. Устройство ЖК проекторов и DLP проекторов
34. Система записи и воспроизведения 3D изображений.

IV. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

Перечень учебных пособий по данной дисциплине, рекомендуемых к использованию в образовательном процессе

1. Сальникова, Е.Н. Акустические системы: учебное пособие / Е.Н. Сальникова, Л.Г. Стаценко. - М.: Проспект, 2015. - 104 с.

2. Смирнова, Н. А. Акустические основы построения систем озвучивания: учебное пособие / Н. А. Смирнова, В. К. Уваров. – СПб.: Изд. СПбГУКиТ, 2010. – 64 с.
3. Зайцева, Е.Г. Объективы для видеосъёмки: учебно-методическое пособие для студентов специализации 1-38 01 01 05 «Бытовые машины, приборы и аппаратура» специальности 1-38 01 01 «Механические и электромеханические приборы и аппараты» / Е.Г. Зайцева. - Минск: БНТУ, 2010. - 56 с.
4. Смирнов, А.В. Основы телевидения и видеотехники: учебное пособие / А.В. Смирнов. – Москва: ФГБОУ ВО «Московский технологический университет», 2018. – 358 с.

Перечень Интернет-ресурсов с материалами по данной дисциплине, рекомендуемых к использованию в образовательном процессе

1. Алдошина, И.Д. Микрофоны. Часть 3. Классификация микрофонов / И.Д. Алдошина // Дата первой публикации: март 2011. – Режим доступа: <http://www.moinf.info/articles/mics-3>. – Дата доступа: 05.07.2022
2. Алдошина, И.Д. Микрофоны. Термины и определения. История / Дата первой публикации: октябрь 2010. – Режим доступа: <http://www.moinf.info/articles/mics>. – Дата доступа: 05.07.2022
3. Алдошина, И.Д. Стереомикрофоны и микрофоны для систем Surround Sound. Часть 1 / И.Д. Алдошина // Install-Pro, 2005, № 4 (34), с.82-89
4. Алдошина, И.Д. Микрофоны. Часть 4. Классификация микрофонов по видам характеристик направленности / И.Д. Алдошина // Дата первой публикации: апрель 2011. – Режим доступа: <http://www.moinf.info/articles/mics-4>. – Дата доступа: 05.07.2022
5. Алдошина, И.Д. Микрофоны. Часть 2. Параметры. Методы измерения / И.Д. Алдошина // Дата первой публикации: декабрь 2010. – Режим доступа: <http://www.moinf.info/articles/mics-2>. – Дата доступа: 05.07.2022
6. Алдошина, И.Д. Микрофоны. Часть 5. Стереосистемы микрофонов / И.Д. Алдошина // Дата первой публикации: сентябрь 2011. – Режим доступа: <http://www.moinf.info/articles/mics-5>. – Дата доступа: 05.07.2022
7. Никитин, Б. Техника съема / Б. Никитин// Дата первой публикации: октябрь 2006. – Режим доступа: <http://www.moinf.info/articles/pickup-tech>. – Дата доступа: 05.07.2022

8. Алдошина, И.Д. Микрофоны. Часть 6. Системы микрофонов для пространственной звукозаписи / И.Д. Алдошина // Дата первой публикации: февраль 2012. – Режим доступа: <http://www.moinf.info/articles/mics-6>. – Дата доступа: 06.07.2022.
9. ГОСТ Р 53575 — 2009 Громкоговорители. Методы электроакустических испытаний
10. Словарь терминов: Акустические системы. – Режим доступа: <https://digital.1k.by/audio-acousticsystems-terms/>. – Дата доступа: 06.07.2022
11. Классификация и конструкция акустических систем. - Режим доступа: https://www.arstel.com/details/proektirovanie/sound/statya-po-ozvuchivaniyu_02.php. – Дата доступа: 06.07.2022
12. Особенности использования громкоговорителей в системах оповещения. - Режим доступа: <https://www.escortpro.ru/page/article/article103.htm>. – Дата доступа: 06.07.2022
13. Сапожков, М. А. Электроакустика / М. А. Сапожков. - Режим доступа: https://scask.ru/j_book_ela.php?id=51. – Дата доступа: 06.07.2022
14. Напольная акустика Martin Logan ElectroMotion ESL Gloss Black. - Режим доступа: https://hifidesign.ru/catalog/akustika/napolnaya_akustika/napolnaya_akustika_martin_logan/napolnaya_akustika_martin_logan_electromotion_esl_gloss_black/. – Дата доступа: 06.07.2022
15. Семейкин, М. Твитер — купольный или ленточный? Плюсы и минусы этих решений. // М. Семейкин // Дата публикации: 14.07.2017. - Режим доступа: <https://blog.barnsly.ru/pt/wiki/tweeter-dome-or-ribbon/>. – Дата доступа: 06.07.2022
16. Излучатели звука. Типы и виды излучателей. - Режим доступа: <http://techadviser.ru/articles/izluchатели-zvuka-tipy-i-vidy-izluchatelej/>. – Дата доступа: 06.07.2022
17. Савчук, А. Ортодинамические излучатели / А. Савчук // Создано 11.04.2011. Обновлено 04.01.2022. - Режим доступа: <https://audiportal.su/diy/articles/obzory/izluchатели-hejla.html>. – Дата доступа: 06.07.2022
18. Излучатели Хейла. - Режим доступа: <https://blog.barnsly.ru/pt/wiki/tweeter-dome-or-ribbon/>. – Дата доступа: 06.07.2022
19. Пение плазмы: туманные перспективы ионофонов. - Режим доступа: <https://www.pvsm.ru/diy/250690>. – Дата доступа: 06.07.2022

20. «Физика процесса наукой не объяснена»: история акустики в России. Режим доступа: <https://yandex.by/turbo/techinsider.ru/s/gadgets/494572-fizika-processa-naukoy-ne-obyasnena-unikalnaya-rossiyskaya-akustika/>. – Дата доступа: 06.07.2022
21. Карапузов, Д. Акустическое будущее нанотрубок: новая жизнь термоакустики / Д. Карапузов // Дата публикации: 27.03.2020. – Режим доступа: <https://www.pult.ru/articles/interesting/akusticheskoe-budushchee-novaya-jizn/>. – Дата доступа: 06.07.2022
22. Панада, В. Цифровые громкоговорители / В. Панада // Компьютерные вести. - 2004. - №11 - 18.03. - С.20. Режим доступа: <https://www.kv.by/archive/index2004110701.htm>. – Дата доступа: 30.07.2022
23. Алдошина, И.Д. Акустическая метрология. Часть 1. Электроакустические параметры излучателей / И.Д. Алдошина // Install-Pro, 2001, № 5, с.36-41
24. Алдошина, И.Д. Акустическая метрология. Часть 2. Электроакустические параметры излучателей / И.Д. Алдошина // Install-Pro, 2001, № 6, с. 64-69
25. Алдошина, И.Д. Акустическая метрология. Часть 3. Электроакустические параметры излучателей. Нелинейные искажения / И.Д. Алдошина // Install-Pro, 2002, № 1, с. 84-89
26. Методология настройки аудиосистем в автостудии "Эргономика" // Режим доступа: <https://ergonomika-auto.ru/diagnostika-i-nastroyka-audiosystem/10-uslugi/105-metodologia-nastroyki.html>. – Дата доступа: 30.07.2022
27. Алдошина, И.Д. Акустическая метрология. Часть 4. Электроакустические параметры излучателей / И.Д. Алдошина // Install-Pro, 2002, № 2, с. 86-90
28. Алдошина, И.Д. Акустическая метрология. Часть 6. Электроакустические параметры излучателей / И.Д. Алдошина // Install-Pro, 2002, № 4-5, с. 88-94
29. Арматурные наушники со сбалансированным якорем – отличия и особенности против других типов излучателей в наушниках // Блог компании Soundpal Гаджеты Звук. – Дата публикации: 23.04. 2015. // Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/soundpal/blog/378671/>. – Дата доступа: 30.07.2022