

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра защиты информации

***ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ  
И ПОДАВЛЕНИЯ КАНАЛОВ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ***

Лабораторный практикум  
для магистрантов специальности  
1-98 80 01 «Методы и системы защиты информации,  
информационная безопасность»  
всех форм обучения

Минск БГУИР 2010

УДК 004.056.5(076.5)  
ББК 32.811я73  
Т38

**А в т о р ы:**

Н. В. Колбун, Т. В. Борботько, С. Н. Петров, Л. М. Лыньков

**Р е ц е н з е н т ы:**

проректор по учебной работе учреждения образования  
«Академия управления при Президенте Республики Беларусь»,  
доктор физико-математических наук, доцент В. А. Богуш;

заведующий кафедрой «Автоматизированные системы управления»  
учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь»,  
кандидат технических наук, доцент А. В. Хижняк

**Технические средства обнаружения и подавления каналов утечки**  
Т38 информации : лаб. практикум для магистрантов спец. 1-98 80 01 «Мето-  
ды и системы защиты информации, информационная безопасность» всех  
форм обуч. / Н. В. Колбун [и др.]. – Минск : БГУИР, 2010. – 45 с. : ил.  
ISBN 978-985-488-489-9

Практикум состоит из четырех лабораторных работ, каждая из которых  
включает в себя краткие теоретические сведения, лабораторное задание, содержание  
отчета, контрольные вопросы к каждой теме и литературу для подготовки  
магистрантов.

Предназначен для магистрантов высших учебных заведений, обучающихся  
по специальности «Методы и системы защиты информации, информационная безо-  
пасность».

**УДК 004.056.5(076.5)**  
**ББК 32.811я73**

**ISBN 978-985-488-489-9**

© УО «Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники», 2010

## СОДЕРЖАНИЕ

### Лабораторная работа №1

#### ИЗМЕРЕНИЕ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ.....

1.1. Теоретические сведения.....	4
1.1.1. Звукоизоляционные и звукопоглощающие материалы и конструкции .....	4
1.1.2. Испытательное оборудование и аппаратура.....	6
1.2. Порядок выполнения работы .....	11
1.3. Содержание отчета.....	12
1.4. Контрольные вопросы .....	13
Литература .....	13

### Лабораторная работа №2

#### ПРОВЕДЕНИЕ КОНТРОЛЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ ВЫДЕЛЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ОТ УТЕЧКИ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО АКУСТИЧЕСКОМУ КАНАЛУ .....

2.1. Теоретические сведения .....	14
2.1.1. Контроль защищенности помещений от утечки информации .....	14
2.1.2. Методика контроля .....	15
2.2. Порядок выполнения работы .....	17
2.3. Содержание отчета.....	21
2.4. Контрольные вопросы .....	22
Литература .....	22

### Лабораторная работа №3

#### АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАНАЛА УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ. РАСЧЕТ ЭКРАНА .....

3.1. Теоретические сведения .....	23
3.1.1. Характеристика электромагнитного канала утечки информации .....	23
3.1.2. Защита информации от утечки по каналам ПЭМИН	
3.1.3. Экранирование.....	25
3.2. Порядок выполнения работы .....	17
3.3. Содержание отчета.....	21
3.4. Контрольные вопросы .....	22
Литература .....	22

### Лабораторная работа №4

#### ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ, ЭКРАНИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ.....

4.1. Теоретические сведения .....	35
4.1.1. Обзор основных экранирующих ЭМИ материалов .....	35
4.1.2. Методики измерения экранирующих характеристик.....	39
4.2. Порядок выполнения работы .....	40
4.3. Содержание отчета.....	43
4.4. Контрольные вопросы .....	44
Литература .....	44

## Лабораторная работа №1

### ИЗМЕРЕНИЕ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

*Цель работы* – приобрести практические навыки в проведении измерений звукоизоляции материалов и конструкций.

#### 1.1. Теоретические сведения

##### 1.1.1. Звукоизоляционные и звукопоглощающие материалы и конструкции

**Звукопоглощение** – потеря энергии звуковых волн при их распространении в материальной среде. Осуществляется путем рассеивания энергии, ее перехода в тепло, возбуждения вибраций. Эффективность звукопоглощения оценивается с помощью коэффициента звукопоглощения, равного отношению количества поглощенной энергии к общему количеству падающей на материал энергии звуковых волн. Этот коэффициент может принимать значение от 0 до 1 (чем ближе к единице, тем выше звукопоглощение).

**Звукоизоляция** – это свойство конструкции не пропускать звук сквозь себя. Эффективность звукоизоляции ограждающей конструкции оценивают индексом изоляции воздушного шума  $R_w$ , а перекрытий – индексом приведенного ударного шума под перекрытием  $L_{nw}$ . Чем больше  $R_w$  и меньше  $L_{nw}$ , тем лучше звукоизоляция. Обе величины измеряются в децибелах.

Звукопоглощающая способность материалов обусловлена их пористой структурой и наличием большого числа открытых сообщающихся между собой пор, максимальный диаметр которых обычно не превышает 2 мм (пористость должна составлять не менее 75 % общего объема). Большая удельная поверхность материалов, создаваемая стенками открытых пор, способствует активному преобразованию энергии звуковых колебаний в тепловую энергию вследствие потерь на трение.

Звукопоглощающие материалы имеют волокнистое, зернистое или ячеистое строение и могут обладать различной степенью жесткости (мягкие, полужесткие, твердые).

Мягкие звукопоглощающие материалы изготовливаются на основе минеральной ваты или стекловолокна с минимальным расходом синтетического связующего (до 3 % по массе) или без него. К ним относятся маты или рулоны с объемной массой до  $70 \text{ кг/м}^3$ , которые обычно применяются в сочетании с перфорированным листовым экраном (из алюминия, асбестоцемента, жесткого поливинилхлорида) или с покрытием пористой пленкой. Коэффициент звукопоглощения этих материалов на средних частотах (250 – 1000 Гц) от 0,7 до 0,95. К таким материалам относят известные всем звукопоглотители: вата, войлок и т. д.

Группа полужестких материалов включает в себя минераловатные или стекловолоконистые плиты с объемной массой от 80 до 130 кг/м<sup>3</sup> при содержании синтетического связующего от 10 до 15 % по массе, а также древесноволокнистые плиты с объемной массой 180 – 300 кг/м<sup>3</sup>. Поверхность плит покрывается пористой краской или пленкой. Коэффициент звукопоглощения полужестких материалов на средних частотах составляет 0,5 – 0,75. К таким материалам относят звукопоглощающие материалы с ячеистым строением – пенополиуретан, полистирол и др.

У твердых материалов объемная масса составляет 300 – 400 кг/м<sup>3</sup> и коэффициент звукопоглощения порядка 0,5. Материалы производят на основе гранулированной или суспензированной минеральной ваты и коллоидного связующего. К таким материалам относят материалы, в состав которых входят пористые наполнители: вспученный перлит, вермикулит, пемза.

**Звукоизолирующие конструкции.** Отделка помещения только звукопоглощающими материалами не позволяет эффективно ослабить звук. Значительный эффект дает применение звукоизолирующей конструкции, например, для того чтобы снизить уровень выходящего звука на 50 дБ, толщина звукопоглощающего материала должна составлять примерно 2 м, для звукоизолирующей конструкции она составляет примерно толщину кирпича.

Звукоизоляцию помещения устраивают таким образом, чтобы отражать и поглощать звуковую энергию одновременно.

Звукоизолирующие конструкции можно разделить на два вида: однослойные и многослойные.

В однослойных конструкциях используется плотный строительный материал на жестком связующем. Звукоизоляционные характеристики таких конструкций определяются в первую очередь их массой и увеличиваются на 6 дБ при каждом удвоении массы панели (так называемый «закон масс»). Также в обеспечении звукоизоляционных качеств перегородки играет роль пористость использованного в ее производстве материала.

Более эффективными являются многослойные конструкции, включающие в себя несколько (минимум два) чередующихся слоев жестких (плотных) и мягких (легких) материалов. Плотные материалы выступают в качестве звукоизолятора (отражают звук), материалы легкого слоя являются звукопоглотителями. Принцип отражения и поглощения является основным для экранирования.

Звукоизолирующие качества многослойных перегородок в отличие от звукоизоляции однослойных зависят от большего числа факторов. Увеличение плотности материала жестких слоев, увеличение расстояния между крайними слоями и заполнение внутреннего пространства слоями специального звукопоглотителя – основные пути достижения нужного уровня звукоизоляции.

Чтобы реализовать весь потенциал многослойных конструкций, потребуется выполнение требований послойного прохождения звука через толщу перегородки. В идеале звуковая волна должна сначала последовательно пройти

только через первый жесткий слой, потом только через мягкий, потом через второй жесткий слой и т. д. Обязательное присутствие несущего каркаса на практике приводит к тому, что звуковые колебания первого жесткого слоя передаются через общий каркас на последний жесткий слой и затем переизлучаются им. Таким образом, практически не имеет значения, какой материал внутри конструкции – звук ее огибает. Наличие жестких связей («звуковых мостиков») на практике ограничивает звукоизолирующую способность многослойных конструкций.

Метод измерения изоляции воздушного шума материалами и конструкциями заключается в последовательном измерении и сравнении средних уровней звукового давления в камерах высокого и низкого уровней в октавных полосах частот, с последующим вычислением показателей звукоизоляции образца.

**Октавная полоса** – это полоса частот, частота верхней границы которой в два раза больше частоты нижней:  $f_{\text{в}} = 2 f_{\text{н}}$ .

**Третьоктавная полоса** частот – полоса частот, у которой отношение верхней граничной частоты к нижней равно  $\frac{f_{\text{в}}}{f_{\text{н}}} = \sqrt[3]{2}$ .

**Среднегеометрическая частота** полосы – квадратный корень из произведения граничных частот полосы:  $f_{\text{сг}} = \sqrt{(f_{\text{н}} \cdot f_{\text{в}})}$ .

Например, для полосы со среднегеометрической частотой 250 Гц  $f_{\text{сг}} = \sqrt{2 \cdot f_{\text{н}} \cdot f_{\text{в}}}$ , следовательно  $f_{\text{н}} = \frac{250}{\sqrt{2}}$ ,  $f_{\text{в}} = 250 \cdot \sqrt{2}$ . Октавная полоса со среднегеометрической частотой 250 Гц имеет границы 177 – 354 Гц.

Предпочтительно разбиение слышимого звукового диапазона на третьоктавные полосы со среднегеометрическими частотами 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000, 6300, 8000 Гц.

**Белый шум** – сложный акустический сигнал, имеющий постоянную спектральную плотность во всем диапазоне частот.

### 1.1.2. Испытательное оборудование и аппаратура

Передающая часть измерительной системы должна содержать:

- генератор шума;
- полосовые 1/3 октавные фильтры;
- усилители мощности;
- громкоговорители.

Приемная часть измерительной системы должна содержать:

- измерительный микрофон;
- шумомер (анализатор спектра);
- 1/3 октавные (октавные) полосовые фильтры.



### Описание лабораторной установки

Лабораторная установка, предназначенная для измерения звукоизолирующих свойств плоских материалов, состоит из двух частей металлической трубы, каждая из которых заварена наглухо с внешнего торца, а с внутренних сторон на окружность трубы наварены круговые фланцы с резиновыми прокладками для фиксации экспериментальных образцов.

Установка предназначена для измерения звукоизоляции методом ближнего поля. Для этого пространство камер заполнено звукопоглощающим материалом на основе стеклянной ваты, имеющим вид конуса, расширяющегося в направлении открытой части, а громкоговоритель и микрофон закреплены как можно ближе к испытываемой конструкции.

Обе части трубы закреплены на металлической станине, одна – стационарно, а другая передвигается с помощью червячной передачи. В неподвижной части трубы (камера низкого уровня) установлен микрофон М-101 с микрофонным предусилителем ВПМ-101. Микрофон подвешен на резиновой нити для уменьшения воздействия вибрации трубы. В подвижной части трубы (камера высокого уровня) установлен двухдиффузорный динамик Pioneer TS-G1709.

Сигнал «белого шума», сформированный генератором узкополосных шумовых сигналов ГШС, проходит через усилитель мощности LV-103 и воспроизводится двухдиффузорным динамиком (рис. 1.1). Регистрация сигнала осуществляется шумомером-анализатором МАНОМ-4/2. Измерения проводятся в частотном диапазоне от 100 до 8 000 Гц.

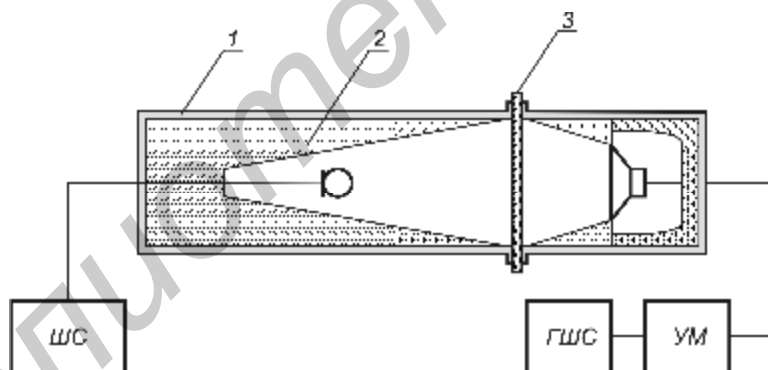


Рис. 1.1. Схематическое изображение измерительной установки:

1 – металлическая труба; 2 – звукопоглощающий материал; 3 – исследуемый образец;

ШС – шумомер-спектроанализатор; ГШС – генератор шумовых сигналов;

УМ – усилитель мощности

### Описание, характеристики и назначение шумомера-анализатора МАНОМ-4/2

Шумомер-анализатор МАНОМ-4/2 предназначен для измерения уровня звука с частотными характеристиками А, В и С, уровня звукового давления (характеристика Лин) в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц (режим шумомера), уровня звукового давления в октавных и третьоктавных полосах в диапазоне частот от 20 Гц до 16 кГц (режим анализатора спектра).

Шумомер-анализатор обеспечивает возможность подключения двух измерительных конденсаторных микрофонов для измерения параметров акустического шума. Измерительный микрофон состоит из предусилителя микрофонного ВПМ-101 и микрофонного конденсаторного капсуля М-101. Диапазон шкалы в режиме шумомера – от 0 до 199,9 дБ; в режиме третьоктавного/октавного анализа – от 0 до 140 дБ.

### ***Принцип работы***

Для измерения шума шумомер-анализатор использует измерительный микрофон, состоящий из микрофонного конденсаторного капсуля и микрофонного предусилителя. Электрическое переменное напряжение, поступающее с выхода измерительного микрофона, преобразующего при акустических измерениях звуковое давление в электрический сигнал, подается на вход измерительного канала шумомера-анализатора. В аналоговом тракте согласования и усиления шумомера-анализатора напряжение приводится к входному диапазону встроенного аналого-цифрового преобразователя и преобразуется им в цифровую форму.

Цифровой сигнальный процессор с помощью программного обеспечения, хранящегося во встроенном ПЗУ, накапливает во встроенной буферной памяти и обрабатывает поступающие от АЦП измерительные данные, управляет заданными режимами и установками процесса измерения, обрабатывает команды с клавиатуры прибора и выводит результаты измерений на встроенный жидкокристаллический индикатор.

### ***Меры предосторожности***

1. Микрофонный капсюль не допускает ударов и падений.
2. Запрещается дуть на микрофонный капсюль.
3. Центральный пружинный контакт микрофонного предусилителя чувствителен к статическому электричеству. Запрещается касаться его руками. В нерабочем положении на предусилитель вместо капсуля навинчивается заглушка.
4. Все соединения осуществляются на обесточенном приборе.

### ***Органы управления***

На лицевой панели основного модуля шумомера-анализатора (рис. 1.2) расположена клавиатура, состоящая из десяти клавиш управления: ПУСК/СТОП, ШУМ/СПЕКТР, Т, F, ОТМЕНА, ВВОД и клавиши управления курсором ↑, ↓, ←, →.

В левой части лицевой панели расположен матричный графический жидкокристаллический дисплей со светодиодной подсветкой.

В правой части лицевой панели сверху расположен тумблер включения питания, снизу расположены четыре разъема, к которым могут быть подсоединены микрофоны (в модели МАНОМ-4/2 рабочими являются каналы 1 и 2).



На задней панели расположены разъемы питания и интерфейса RS-232.

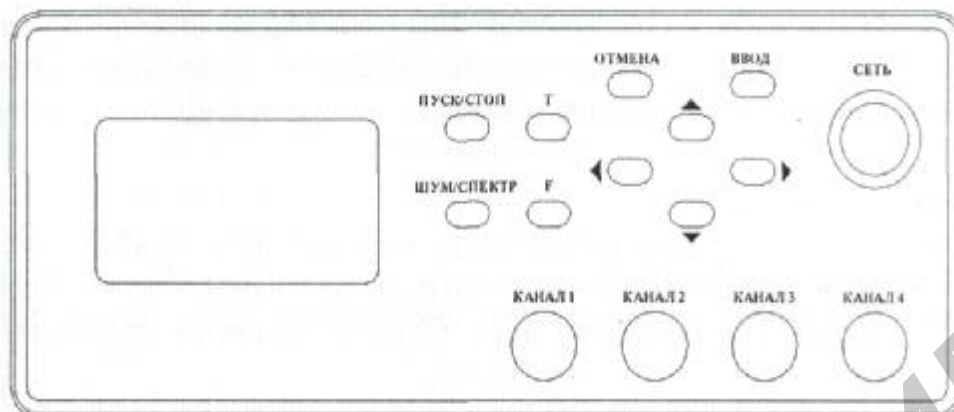


Рис 1.2. Внешний вид лицевой панели МАНОМ-4/2

### *Работа в режиме октавного анализатора*

В режиме октавного/третьоктавного анализатора спектра на экране (рис. 1.3) отображается спектр входного сигнала по одному из выбранных каналов в виде гистограммы.

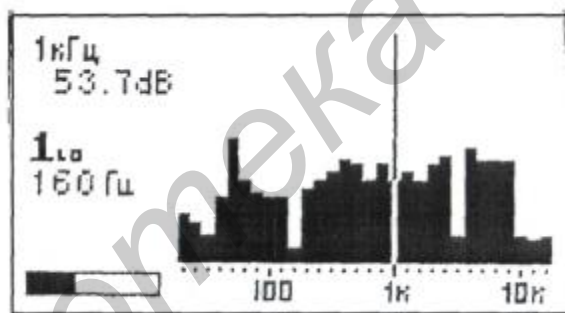


Рис. 1.3. Вид спектра сигнала, отображаемого на экране МАНОМ-4/2

В режиме октавного/третьоктавного анализатора шумомер-анализатор может работать в двух подрежимах: автоматического сканирования спектра и работы с отдельным фильтром. Переключение между подрежимами производится при нажатии клавиши ПУСК/СТОП. В подрежиме автоматического сканирования в нижней части индикатора слева отображается бегущая шкала.

В левой части экрана сверху вниз располагаются следующие индикаторы:

- частота фильтра, на который указывает курсор (тонкая вертикальная линия);
- значение уровня шума для фильтра, на который указывает курсор;
- номер измеряемого канала;
- частота фильтра, с которым проводятся измерения в данный момент;
- шкала автоматического сканирования.

При нажатии клавиши F происходит переключение между октавным и третьоктавным набором фильтров.

При нажатии клавиш управления курсором ↑ или ↓ происходит переключение измеряемых каналов.

При нажатии клавиш управления курсором ← или → происходит перемещение курсора и выбор текущего фильтра.

При нажатии клавиши ШУМ/СПЕКТР происходит переключение шумомера-анализатора в режим шумомера и обратно.

При нажатии клавиши ВВОД происходит вызов меню анализатора спектра.

### ***Общие правила работы с меню***

1. Перемещение по пунктам меню осуществляется с помощью клавиш управления курсором ↑ и ↓ и сопровождается перемещением курсора.

2. При нажатии клавиши МЕНЮ/ВВОД производится запуск выбранной команды, если выбранный пункт меню подразумевает это.

3. Значения пунктов меню изменяются с помощью клавиш управления курсором ← и →.

4. При нажатии клавиши ШУМ/СПЕКТР происходит переключение между меню в режимах шумомера и анализатора.

5. При нажатии ОТМЕНА происходит выход из текущего меню и запускаются измерения.

### ***Меню октавного/третьоктавного анализатора***

При входе в меню измерения останавливаются, и на экране высвечивается меню, состоящее из следующих пунктов:

Канал: 1;

Поправка: 0.0;

Фильтры: 1/3 окт (1/1 окт);

Разметка: Да (Нет);

Классиф.: Выкл. (1, 12, 123);

Редактир: Нет (1, 2, 3);

Сохран. установки.

Пункт меню «Канал» позволяет выбрать канал для измерения или калибровки.

Пункт меню «Поправка» используется для ручного ввода калибровочной поправки для канала, выбранного в предыдущем пункте.

Пункт меню «Фильтры» используется для задания набора третьоктавных или октавных фильтров.

Пункт меню «Разметка» используется для включения разметки шкалы при выводе гистограммы спектра. Одно деление разметки соответствует 20 дБ.

Пункт меню «Классиф.» используется для задания режима классификации. Классификация может быть выключена, включена для классификационной

характеристики 1, для характеристик 1 и 2, а также для характеристик 1, 2 и 3 одновременно.

Пункт меню «Редактир.» используется для редактирования классификационных характеристик. Режим редактирования может быть отключен или включен для одной их классификационных характеристик.

## 1.2. Порядок выполнения работы

1. Подготовить установку к работе. Соединить выход генератора сигналов с входом усилителя мощности. Соединить выход усилителя мощности с громкоговорителем. Подключить микрофон к одному из входов (№1 или №2) шумомера-анализатора. Включить питание каждого компонента установки.

2. Провести калибровку системы, заключающуюся в установлении соответствия между положениями органов управления генератора шума и усилителя мощности и уровнем звукового давления, развиваемым громкоговорителем. Для этого необходимо создать с помощью генератора шума и громкоговорителя сигнал «белый шум» в диапазоне частот от 100 до 8000 Гц. Затем измерить в закрытой трубе уровни звукового давления в третьоктавных полосах. Среднегеометрические частоты третьоктавных полос перечислены в подразд. 1.1.

Уровень звукового давления в каждой третьоктавной полосе должен быть порядка 80 дБ. Перевести МАНОМ-4/2 в режим анализатора спектра. По умолчанию выбран подрежим автоматического сканирования. После того как будет просканирован весь частотный диапазон, остановить измерение, нажав кнопку ПУСК/СТОП. Переведя курсор (тонкая вертикальная линия) клавишами ←, → на фильтры с частотой от 100 до 8000 Гц, записать значения звукового давления для каждой третьоктавной полосы.

3. Поместить исследуемый образец между камерами.

4. Измерить величину звукового давления в камере низкого уровня.

5. Вычислить изоляцию воздушного шума  $R_w$  в децибелах по формуле  $R_w = L_{m1} - L_{m2}$ , где  $L_{m1}$  – средний уровень звукового давления в камере низкого уровня (в децибелах) при прямом распространении звука из камеры высокого давления;  $L_{m2}$  – средний уровень звукового давления в камере низкого уровня в децибелах при прохождении звука из в камеру низкого давления через исследуемый образец.

Среднее значение  $L_m$  определяется как среднее арифметическое от результатов трех измерений.

6. Оформить результаты вычислений в виде таблицы (табл. 1.1) и диаграммы. При построении диаграммы координату частоты принято выражать в логарифмическом масштабе, а координату амплитуды – в децибелах.

## Оформление результатов измерений

Наименование показателя	Среднегеометрические частоты третьоктавных полос, Гц													
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	...	6300	8000
Изоляция воздушного шума $R$ , дБ														

7. Рассчитать индекс изоляции воздушного шума  $R_w$  для исследованной конструкции в соответствии с СТ СЭВ 4867 – 84. Индекс изоляции воздушного шума описывает звукоизоляционные свойства конструкции одной величиной. Для определения индекса звукоизоляции воздушного шума необходимо на график с нанесенной оценочной кривой нанести частотную характеристику изоляции воздушного шума и определить среднее неблагоприятное отклонение нанесенной частотной характеристики от оценочной кривой. Неблагоприятными считаются отклонения вниз от оценочной кривой, среднее неблагоприятное отклонение составляет 1/16 суммы неблагоприятных отклонений.

Если среднее неблагоприятное отклонение максимально приближается к 2 дБ, но не превышает эту величину, величина индекса составляет 52 дБ.

Если среднее неблагоприятное отклонение превышает 2 дБ, оценочная кривая смещается вниз на целое число децибел так, чтобы среднее неблагоприятное отклонение не превышало указанную величину.

Если среднее неблагоприятное отклонение значительно меньше 2 дБ или неблагоприятные отклонения отсутствуют, оценочная кривая смещается вверх (на целое число децибел) так, чтобы среднее неблагоприятное отклонение от смещенной кривой приближалось, но не превышало 2 дБ.

За величину индекса принимается ордината смещенной (вверх или вниз) оценочной кривой на частоте 500 Гц.

Оценочная кривая строится в полосах со среднегеометрическими частотами 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150 Гц. Частотная характеристика оценочной кривой приведена в табл. 1.2.

Таблица 1.2

## Частотная характеристика оценочной кривой

Наименование показателя	Среднегеометрические частоты третьоктавных полос, Гц													
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	...	3150
Изоляция воздушного шума $R$ , дБ	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56

8. Сделать выводы о звукоизолирующих свойствах исследованных конструкций.

9. Оформить отчет.

### 1.3. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Описание образца.
3. Результаты вычисления звукоизоляции образца в табличном виде.
4. График зависимости звукоизоляции образца от частоты.
5. Значение индекса изоляции воздушного шума образцом.

### 1.4. Контрольные вопросы

1. Назначение шумомера анализатора МАНОМ-4.
2. Звукопоглощение и звукоизоляция (определение, принцип действия).
3. Классификация звукоизолирующих конструкций.
4. Сущность метода измерения звукоизоляции.

### Литература

1. Акустика : справочник / А. П. Ефимов [и др.] ; под ред. М. А. Сапожкова. – М. : Радио и связь, 1989. – 336 с.
2. Боганик, А. Г. Новые материалы для эффективной звукоизоляции / А. Г. Боганик, А. Я. Лившиц // Обустройство и ремонт. – М. : Деловой мир. – 2002. – №15.
3. Яковлев, Р. В. Тихий дом: шумо- и звукоизоляция жилища / Р. В. Яковлев. – Ростов н/Д. : Феникс. 2005. – 218 с.
4. СТ СЭВ 4867 – 84. Защита от шума в строительстве. Звукоизоляция ограждающих конструкций. Нормы. – Введ. 1987 – 07 – 01. – М. : Изд-во стандартов, 1980.

## Лабораторная работа №2

# ПРОВЕДЕНИЕ КОНТРОЛЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ ВЫДЕЛЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ОТ УТЕЧКИ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО АКУСТИЧЕСКОМУ КАНАЛУ

*Цель работы* – ознакомиться с методикой инструментального контроля выполнения норм противодействия акустической речевой разведке. Оценить защищенность речевой информации в выделенном помещении.

## 2.1. Теоретические сведения

### 2.1.1. Контроль защищенности помещений от утечки информации

Обязательной аттестации подлежат объекты информатизации, предназначенные для обработки информации, составляющей государственную тайну, управления экологически опасными объектами, ведения секретных переговоров.

Под объектами информатизации, аттестуемыми по требованиям безопасности информации, понимаются, в частности, помещения, предназначенные для ведения конфиденциальных переговоров.

**Технический контроль** проводится путем излучения в помещении специального тестового звукового сигнала, замера его уровня в воздушной среде, строительных конструкциях и токопроводящих коммуникациях вне помещения, расчетом нормируемого показателя (словесная разборчивость речи) и сравнением его с нормируемым (допустимым) значением. Необходимое значение нормированного показателя определяется степенью секретности речевой информации (категорией объекта защиты).

**Инструментальный метод контроля** подразумевает, что в ходе технического контроля используется техническое измерительное средство и моделируются реальные условия работы технического средства разведки.

Значимость каждого канала утечки информации определяется возможностью его выхода за границу охраняемой территории и дальностью распространения по нему информации.

Целью технического контроля является получение объективной и достоверной информации о состоянии защиты объектов контроля, т. е. соответствие объективных показателей состояния защиты объекта предельно допустимым значениям в местах возможного размещения технического средства регистрации информации.

Порядок инструментального контроля акустической защищенности выделенных помещений следующий:

- измерение уровней акустического сигнала за пределами помещения;
- измерение уровней виброакустического сигнала в строительных конструкциях и инженерных коммуникациях;
- измерение уровней электрических сигналов в токопроводящих коммуникациях, имеющих выход за границу охраняемой территории;



- проверка наличия паразитной генерации;
- измерение параметров применяемых средств защиты (системы активного акустического зашумления и т. д.);
- расчет выполнения норм и оценка защищенности.

Согласно международным стандартам ISO/TR 4870 под разборчивостью понимается степень, с которой слушатели могут понять смысл фраз, слов, слогов и фонем. В соответствии с этим различают виды разборчивости: фонемная, слоговая, словесная и фразовая, которые, однако, все связаны друг с другом и могут быть пересчитаны одна в другую. В качестве **показателя оценки эффективности** защиты речевой информации наиболее часто используют **словесную разборчивость W**.

Составление подробной справки о содержании перехваченного разговора невозможно при словесной разборчивости менее 60 – 70 %, а краткой справки-аннотации – при словесной разборчивости менее 40 – 50 %. При словесной разборчивости менее 20 – 30 % значительно затруднено установление предмета ведущегося разговора, а при словесной разборчивости менее 10 % это практически невозможно.

### 2.1.2. Методика контроля

**Методика инструментального контроля** за выполнением норм противодействия акустической речевой разведке основывается на инструментально-расчетном способе определения отношений сигнал/шум в контрольных точках в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц с последующим сравнением полученных отношений сигнал/шум с нормированными значениями показателя противодействия акустической речевой разведке.

Методика ориентирована на использование контрольно-измерительной аппаратуры общего применения, для чего должны быть сформированы передающий и приемный измерительные комплексы, размещаемые соответственно в контролируемом помещении и в контрольной точке.

В качестве тестового сигнала необходимо использовать акустический шумовой сигнал с нормальным распределением плотности вероятности мгновенных значений в пределах каждой октавной полосы частот («белый шум»). Тестовый сигнал излучается одновременно во всех октавных полосах.

**Выбор контрольных точек и размещение элементов измерительных комплексов.** Контрольными точками являются места возможной установки акустических и вибрационных датчиков аппаратуры акустической речевой разведки или места расположения отражающих поверхностей лазерного излучения, а также места непреднамеренного прослушивания речи.

При контроле выполнения норм противодействия акустической речевой разведки с применением микрофонов контрольные точки должны выбираться

на расстоянии 0,5 м от внешних поверхностей обследуемой ограждающей конструкции.

Если ограждающая конструкция состоит из неоднородных участков, то акустические измерения необходимо выполнять отдельно для каждого участка.

При контроле выполнения норм противодействия речевой разведке с применением вибрационных средств наряду с ограждающими конструкциями необходимо учитывать элементы инженерно-технических систем, попадающих в акустическое поле речевых сигналов.

Если границей контролируемой зоны являются ограждающие конструкции, то контрольные точки для вибрационных измерений выбираются непосредственно на внешних по отношению к источнику речевого сигнала поверхностях ограждающих конструкций. Если ограждающая конструкция состоит из неоднородных участков, то вибрационные измерения необходимо выполнять отдельно для каждого участка.

Если граница контролируемой зоны пересекает коммуникации инженерно-технических систем, то контрольные точки для вибрационных измерений выбираются непосредственно на поверхности этих элементов на расстоянии, не превышающем 0,5 м от места их входа (выхода).

Вибродатчики должны располагаться непосредственно на поверхностях ограждающих конструкций и на различных конструктивных элементах инженерно-технических систем при контроле защищенности от речевой разведки с использованием вибрационных средств и на плоскостях остекления оконных проемов – при контроле защищенности от речевой разведки с использованием оптико-электронных средств. Крепление вибродатчиков должно обеспечивать плотное соединение с обследуемой поверхностью.

Контроль выполнения норм противодействия оптико-электронным (лазерным) средствам речевой разведки необходимо проводить с использованием вибрационных измерений на участках оконного остекления. Контрольные точки следует выбирать из условия их размещения в двух-трех местах на каждом участке остекления. При двойном остеклении без использования жалюзи между стеклами вибрационные измерения необходимо проводить как на внешнем, так и на внутреннем остеклении.

Измерительный микрофон должен быть размещен на расстоянии от 1 до 2 м от внешней поверхности испытываемой ограждающей конструкции на уровне ее середины и направлен в сторону от улицы или дороги с транспортным потоком.

Если ограждающая конструкция имеет балконы, лоджии или другие выступающие элементы фасада, то микрофон должен быть размещен на расстоянии 1 м от вертикальной плоскости, проходящей через наиболее выступающие точки этих элементов фасада на уровне середины ограждающей конструкции.

При контроле выполнения норм противодействия перехвату речевой информации по каналу непреднамеренного прослушивания (за счет недостаточной звукоизоляции ограждающих конструкций, систем вентиляции и кондициони-

рования) контрольные точки выбираются на расстоянии 0,5 м от ограждающих конструкций (в том числе от ограждающих конструкций, имеющих технологические окна систем вентиляции и кондиционирования) и на высоте 1,5 м от пола с внешней стороны по отношению к контролируемому помещению.

Если технологические окна систем вентиляции и кондиционирования совпадают с границей контролируемой зоны, то контролируемые точки выбираются непосредственно во входных (выходных) отверстиях воздуховодов систем вентиляции и кондиционирования.

## 2.2. Порядок выполнения работы

Для оценки разборчивости речи по приведенной выше методике необходимо измерить уровни скрываемого речевого сигнала и шума (помехи) в месте возможного размещения приемных датчиков аппаратуры акустической разведки или в месте возможного прослушивания речи без применения технических средств.

### *Измерение отношений сигнал/шум в контрольных точках помещений, не оборудованных системой звукоусиления*

1. Разместить акустическую систему передающего измерительного комплекса и установить уровень излучения акустической системы 90 дБ.

2. Для каждой выбранной контрольной точки с использованием приемного измерительного комплекса в каждой октавной полосе провести следующие измерительные и расчетные операции:

– при выключенном передающем измерительном комплексе измерить октавный уровень акустического шума  $L_{ш i}$  в децибелах;

– включить передающий измерительный комплекс и измерить октавный суммарный уровень акустического сигнала и шума  $L_{(с+ш) i}$ ;

– рассчитать октавный уровень акустического сигнала  $L_{с i}$  по формуле

$$L_{с i} = L_{(с+ш) i} - \Delta 1, \quad (2.1)$$

где  $\Delta 1$  дБ – поправка, учитывающая разницу между уровнями сигнала и шума. Если разница превышает 10 дБ, поправка не вносится. Поправка определяется по табл. 2.1;

– рассчитать октавное отношение сигнал/шум  $q_i$  в децибелах по формуле

$$q_i = L_{с i} - L_{ш i}. \quad (2.2)$$

**В случае если помещение оборудовано системой звукоусиления**, акустическая система размещается перед микрофоном системы звукоусиления таким образом, чтобы обеспечивался номинальный режим работы данной системы. Уровень излучения акустической системы 70 дБ. Октавное отношение сигнал/шум  $q_i$  рассчитывается по формуле (2.2).

Уровень звукового давления 90 дБ используется с целью превышения акустического тестового сигнала в контрольной точке над акустическим шумом в этой точке не менее чем на 3 дБ.

Уровень звукового давления 70 дБ используется при инструментальном контроле помещений, оборудованных системами звукоусиления. При этом номинальный выходной уровень звукового давления системы звукоусиления должен достигаться за счет изменения расстояния между акустическим излучателем передающего измерительного комплекса и микрофоном системы звукоусиления.

Таблица 2.1

Поправка на разницу между уровнями сигнала и шума

Разность $L_{(с+ш)i} - L_{шi}$	Свыше 10	От 6 до 10	От 4 до 5	3	2	1
$\Delta 1$ , дБ	0	1	2	3	4	7

### Расчет уровня разборчивости

Для каждой  $i$ -й октавной полосы на среднегеометрической частоте (от 250 до 4000 Гц) определяется форматный параметр  $\Delta A_i$ , характеризующий энергетическую избыточность дискретной составляющей речевого сигнала:

$$\Delta A_i = L_{ср i} - A_i = \Delta A(f_{ср i}), \text{ дБ}, \quad (2.3)$$

где  $L_{ср i}$  – средний спектральный уровень речевого сигнала в месте измерения в  $i$ -й спектральной полосе, дБ;  $A_i$  – средний спектральный модальный уровень формант (под формантой понимается область частот, характерная для определенного звука) в  $i$ -й спектральной полосе, дБ.

Значения формантных параметров  $\Delta A_i$  определяются по графику (рис. 2.1) при условии  $f = f_{ср i}$  или из соотношения (ошибка аппроксимации менее 1 %):

$$\Delta A(f) = \begin{cases} \frac{200}{f^{0,43}} - 0,37, & \text{если } f \leq 1000 \text{ Гц;} \\ 1,37 + \frac{1000}{f^{0,69}}, & \text{если } f > 1000 \text{ Гц.} \end{cases} \quad (2.4)$$

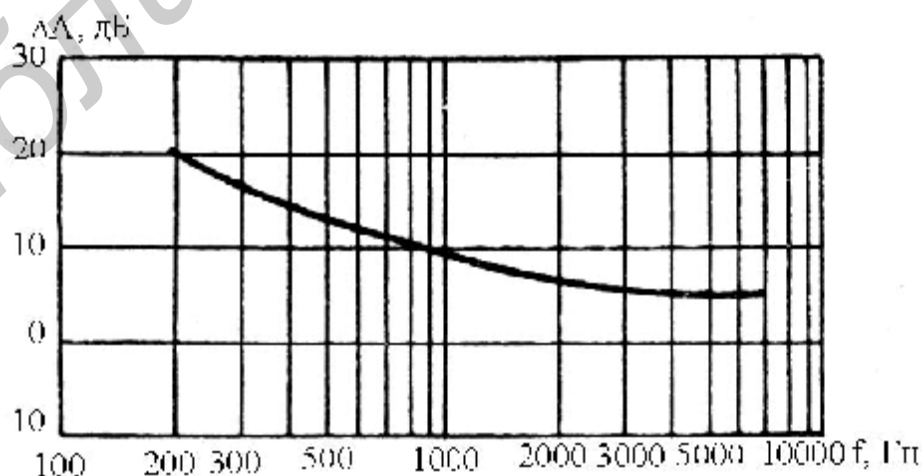


Рис. 2.1. Разность между спектральными уровнями речи и формант

Для каждой  $i$ -й частотной полосы определяется весовой коэффициент  $K$ , характеризующий вероятность наличия формант речи в данной полосе:

$$K_i = K(f_{vi}) - K(f_{ni}), \quad (2.5)$$

где  $K(f_{vi})$  и  $K(f_{ni})$  – значения весового коэффициента для верхней  $f_{vi}$  и нижней  $f_{ni}$  граничных частот  $i$ -й частотной полосы спектра речевого сигнала.

Значения весовых коэффициентов  $K(f_{vi})$  и  $K(f_{ni})$  определяются по графику (рис. 2.2) – функции распределения формант, характеризующей вероятность встречаемости формант в различных участках речевого спектра – при условиях  $f = f_{vi}$  и  $f = f_{ni}$  или из соотношения (ошибка аппроксимации менее 1 %):

$$K(f) = \begin{cases} 2,57 - 10^{-8} \cdot f^{2,4}, & \text{если } 100 < f \leq 400 \text{ Гц;} \\ 1 - 1,074 \cdot \exp(-10^{-4} \cdot f^{1,18}), & \text{если } 400 < f \leq 10000 \text{ Гц.} \end{cases} \quad (2.6)$$

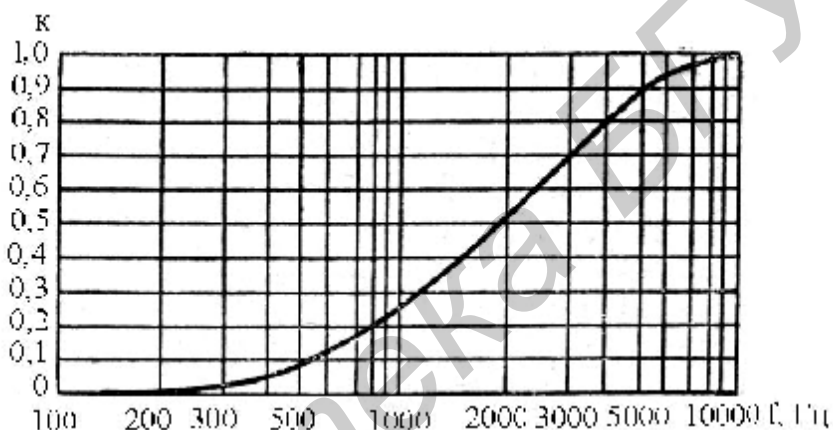


Рис. 2.2. Формантное распределение

Для каждой частотной полосы на среднегеометрической частоте  $f_{cp i}$  по графику (рис. 2.3) или из аналитического соотношения (ошибка аппроксимации менее 1 %) определяется коэффициент восприятия формант слуховым аппаратом человека, представляющий собой вероятное относительное количество формантных составляющих речи, которые будут иметь уровни интенсивности выше порогового значения:

$$p_i = \begin{cases} \frac{0,78 + 5,46 \cdot \exp[-4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (27,3 - |Q_i|)^2]}{1 + 10^{0,1|Q_i|}}, & \text{если } Q_i \leq 0; \\ 1 - \frac{0,78 + 5,46 \cdot \exp[-4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (27,3 - |Q_i|)^2]}{1 + 10^{0,1|Q_i|}}, & \text{если } Q_i > 0. \end{cases} \quad (2.7)$$

где  $Q_i = \Delta A_i - L_{ш i} = (L_{ci} - \Delta A_i) - L_{ш i} = q_i - \Delta A_i$ .



С учетом (2.5) и (2.7) определяется спектральный индекс артикуляции речи  $R_i$  (информационный вес  $i$ -й спектральной полосы частотного диапазона речи):

$$R_i = p_i \cdot k_i \quad (2.8)$$

и рассчитывается интегральный индекс артикуляции речи:

$$R = \sum_{i=1}^N R_i. \quad (2.9)$$

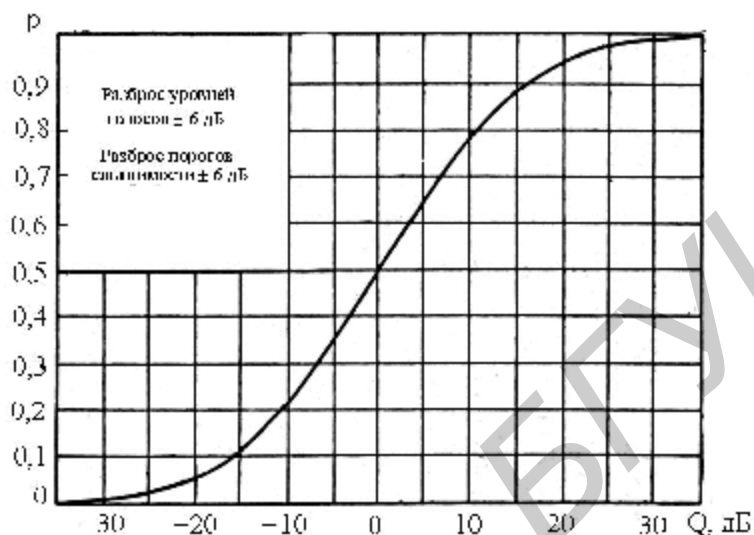


Рис. 2.3. Зависимость коэффициента восприятия формант  $p$  от относительного уровня интенсивности формант  $Q$

По графику на рис. 2.4 или из аналитического соотношения (ошибка аппроксимации менее 1 %) определяется слоговая разборчивость  $S$ :

$$S = \begin{cases} 4 \cdot R^{1,43}, & \text{если } R \leq 0,15; \\ 1,1 \cdot [1 - 1,17 \cdot \exp(-2,9 \cdot R)], & \text{если } 0,15 \leq R \leq 0,7; \\ 1,01 \cdot [1 - 9,1 \cdot \exp(-6,9 \cdot R)], & \text{если } R > 0,7. \end{cases} \quad (2.10)$$

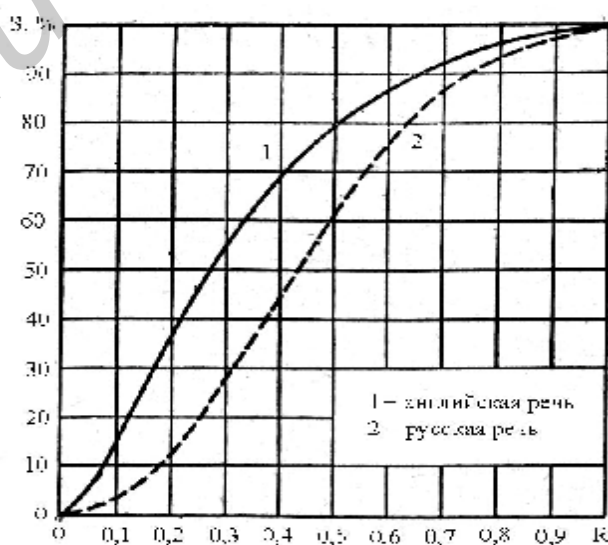


Рис. 2.4. Зависимость слоговой разборчивости  $S$  от интегрального индекса артикуляции речи



График зависимости словесной разборчивости речи  $W$  от слоговой  $S$  представлен на рис. 2.5. и описывается аналитическим соотношением (ошибка аппроксимации менее 1 %):

$$W = 1,05 \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{6,15 \cdot S}{1 + S}\right) \right]. \quad (2.11)$$

С учетом данных, представленных на рис. 2.4 и 2.5, можно получить график зависимости словесной разборчивости от интегрального индекса артикуляции речи, который можно описать аналитическим соотношением:

$$W = \begin{cases} 1,54 \cdot R^{0,25} [1 - \exp(-11 \cdot R)], & \text{если } R < 0,15; \\ 1 - \exp\left(-\frac{11 \cdot R}{1 + 0,7 \cdot R}\right), & \text{если } R \geq 0,15. \end{cases} \quad (2.12)$$

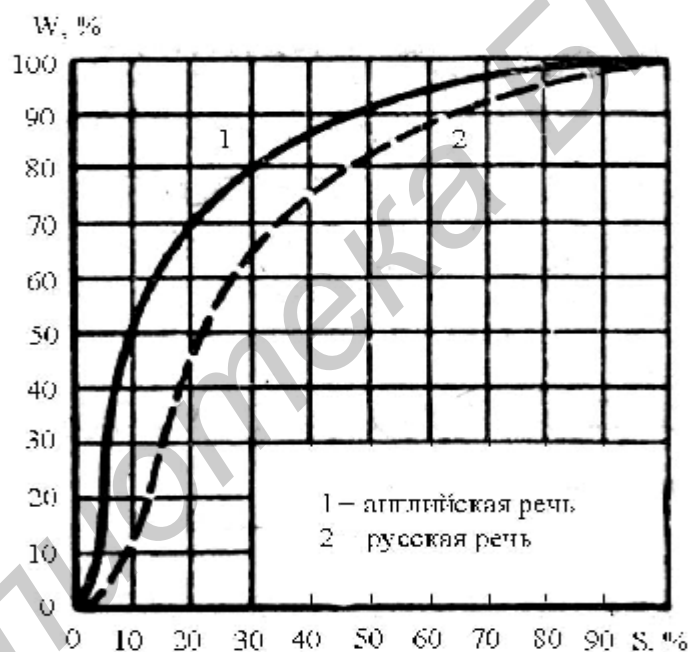


Рис. 2.5. Зависимость словесной разборчивости  $W$  от разборчивости слогов  $S$

Заполнить табл. 2.2. По результатам инструментального контроля должны быть сформулированы рекомендации и предложения по обеспечению выполнения норм противодействия акустической речевой разведке.

### 2.3. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Измеренные и вычисленные величины в соответствии с табл. 2.2.
3. Оценка защищенности речевой информации в соответствии с измерениями и расчетами.
4. Выводы и предложения по результатам проведенной работы.

Таблица 2.2  
Результаты оценки защищенности речевой информации в помещении

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Уровень акустического шума в контрольной точке $L_{ш i}$ , дБ	Суммарный уровень сигнала и шума $L_{(с+ш)i}$ , дБ	Уровень акустического сигнала $L_{с i}$ , дБ	Отношение сигнал/шум $q_i$ , дБ	Словесная разборчивость речи $W$ , %
250					
500					
1000					
2000					
4000					

### 2.4. Контрольные вопросы

1. Назовите виды объектов, подлежащих обязательной аттестации на защищенность информации.
2. Сущность и цель технического контроля.
3. Расчет показателя эффективности защиты речевой информации.
4. Разборчивость. Виды разборчивости.
5. Форманта (определение).
6. Основные правила выбора контрольных точек для размещения измерительных микрофонов.
7. Сущность инструментально-расчетного метода определения словесной разборчивости.

### Литература

1. ГОСТ Р 50840 – 95. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости. – Введ. 1997 – 01 – 01. – М. : Изд-во стандартов, 1996.
2. Покровский, Н. Б. Расчет и измерение разборчивости речи / Н. Б. Покровский. – М. : Связьиздат, 1962. – 362 с.

## Лабораторная работа №3

### АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАНАЛА УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ. РАСЧЕТ ЭКРАНА

*Цель работы* – ознакомиться с электромагнитным каналом утечки информации; научиться рассчитывать параметры экрана электромагнитного излучения.

#### 3.1. Теоретические сведения

##### 3.1.1. Характеристика электромагнитного канала утечки информации

Побочными электромагнитными излучениями и наводками (ПЭМИН) называют паразитные электромагнитные поля, создаваемые в окружающем пространстве устройствами, для этого не предназначенными (технические средства обработки и передачи информации (ТСПИ), проводные линии связи, электропитания и пр.). Существование ПЭМИН может приводить к утечке конфиденциальной информации при ее передаче или обработке. Если характеристики поля, распространяющегося вокруг устройства, взаимосвязаны с обрабатываемой информацией, то, анализируя характер изменения электромагнитного поля чувствительным радиоприемником, можно перехватить информацию на значительном расстоянии. В связи с этим устройства, применяемые для обработки, хранения, передачи конфиденциальной информации, подвергаются специальным исследованиям, целью которых является выявление и анализ интенсивности создаваемых ими информативных ПЭМИН.

Возможные каналы утечки информации через ПЭМИН образуются:

- низкочастотными электромагнитными полями, возникающими при работе ТСПИ и вспомогательных технических средств и систем (ВТСС);
- при воздействии на ТСПИ и ВТСС электрических, магнитных и акустических полей;
- при возникновении паразитной высокочастотной (ВЧ) генерации;
- при прохождении информативных сигналов в цепи электропитания;
- при взаимном влиянии цепей;
- при прохождении информативных сигналов в цепи заземления;
- при паразитной модуляции высокочастотного сигнала;
- вследствие ложных коммутаций и несанкционированных действий.

Например, используя узкополосные (полоса менее 1 кГц) приемники, можно зарегистрировать напряженности поля 0,1 мкВ на поверхности кабеля. Это позволяет обнаружить сигнал 1 мкВ на расстоянии 3 м от кабеля. Даже на расстоянии 300 м сигналы, имеющие значение 1 мВ на поверхности кабеля, могут быть обнаружены.

В персональном компьютере действует большое количество генераторов периодических сигналов, модулируемых информационными сигналами. Большинство из них можно обнаружить в эфире или сети питания, не прибегая к

высококчувствительным радиоприемникам. Существуют программы, непосредственно использующие ПЭМИН для передачи хранимой в компьютере информации (Soft Tempest технология). Незаметно от пользователя они находят на дисках файлы, например, содержащие заданные ключевые слова, и буква за буквой передают их в эфир, модулируя какой-либо из генераторов, например, контроллер клавиатуры, последовательный порт, видеоадаптер. Для съема информации может быть использован радиоприемник, а для восстановления исходного текста – персональный компьютер со звуковой картой. Цена такого «разведывательного комплекса» не превышает нескольких тысяч долларов США. «Программа-шпион» может попасть в компьютер различными способами – вместе с мультимедиа-презентацией, полученной на компакт-диске на какой-либо выставке, из Интернета, от собственных сотрудников.

Спектр ПЭМИН цифрового электронного оборудования представляет собой совокупность гармонических составляющих в широком диапазоне частот (учитывая достижения полупроводниковой электроники, в некоторых случаях имеет смысл говорить уже о диапазоне в несколько гигагерц) (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Электромагнитное излучение компьютера (монитор с электронно-лучевой трубкой)

Источник излучения	Диапазон частот
Сетевой трансформатор блока питания	50 Гц
Преобразователь напряжения в импульсном блоке питания	20 – 100 кГц
Кадровая развертка	40 – 160 Гц
Строчная развертка	15 – 110 кГц
Ускоряющее анодное напряжение монитора	0 Гц
Системный блок	50 Гц – 4 ГГц
Устройства ввода-вывода информации	0 – 50 Гц
Источник бесперебойного питания	20 – 100 кГц

Условно весь спектр излучений можно разбить на потенциально информативные и неинформативные излучения.

Неинформативными ПЭМИН являются излучения, формируемые следующими цепями:

- цепи формирования и передачи сигналов синхронизации;
- цепи, формирующие шину управления и шину адреса системной шины;
- цепи, передающие сигналы аппаратных прерываний;
- внутренние цепи блока питания компьютера и т. д.

К цепям ПК, формирующим информативные ПЭМИН, можно отнести:

- цепь, по которой передаются сигналы от контроллера клавиатуры к порту ввода-вывода на материнской плате;
- цепи, по которым передается видеосигнал от видеоадаптера до электродов электронно-лучевой трубки монитора;
- цепи, формирующие шину данных системной шины компьютера;
- цепи, формирующие шину данных внутри микропроцессора и т. д.

### 3.1.2. Защита информации от утечки по каналам ПЭМИН

Одним из основных понятий, используемых при характеристике возможности перехвата информации по техническим каналам, является размер *контролируемой зоны* – области пространства, доступ в которую людей (как посторонних, так и персонала организации) и транспортных средств ограничен специальным режимом. Целью мероприятий по защите информации является снижение уровня информативных ПЭМИН на границе контролируемой зоны до величины, при которой восстановление содержащейся в них информации невозможно.

Это может достигаться различными методами – организационными, техническими и комбинированными (рис. 3.1).

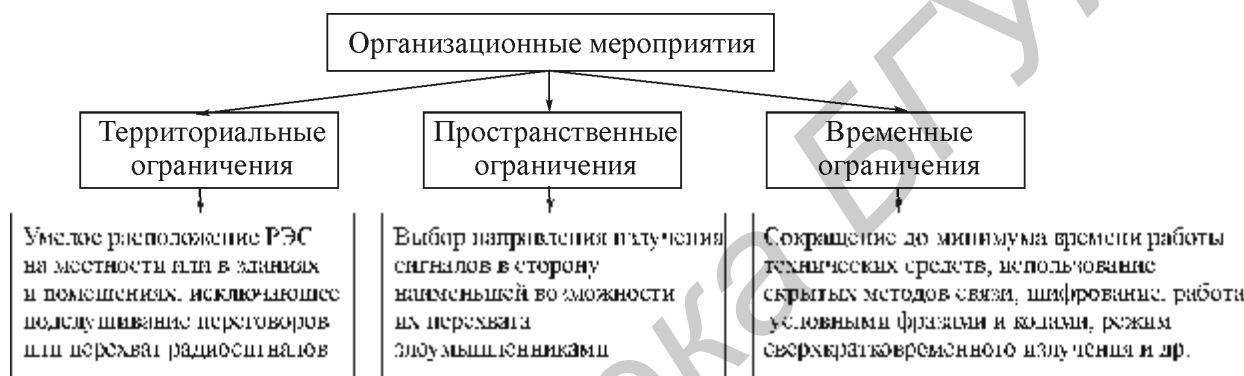


Рис. 3.1. Организационные мероприятия для защиты информации от утечки по каналу ПЭМИН

Технические методы защиты информации направлены на снижение отношения сигнал/шум на границах контролируемой зоны с помощью пассивных и активных устройств.

Выполнение нормативов по ПЭМИН на объектах информатизации гарантирует конфиденциальность обрабатываемой информации. При планировании защитных мероприятий сначала производится оценка уровней ПЭМИН на границах контролируемой зоны и их анализ путем специальных проверок с привлечением специализированного оборудования и алгоритмов. Затем по результатам оценки принимается решение о необходимости и выборе мер защиты.

Для выполнения указанных нормативов может применяться активная радиотехническая маскировка побочных излучений, пассивное электромагнитное экранирование помещений, рабочих мест и объектов информатизации или самих ТСПИ, установка защитных фильтров в цепи, выходящие за пределы контролируемой зоны.

Использование активного метода защиты информации – электромагнитного зашумления – сопровождается рядом недостатков, в том числе существен-

ным удорожанием защиты за счет дооборудования объекта генераторами помех, ярко выраженным отрицательным влиянием на организм пользователя. Пассивные способы защиты (в частности экранирование) связываются с созданием эффективных электромагнитных экранов на основе новых современных технологий и материалов.

### 3.1.3. Экранирование

Экранированием называется локализация электромагнитной энергии в пространстве за счет ограничения распространения ее всеми возможными способами.

В понятие экрана входят как детали механической конструкции, так и электротехнические детали фильтрующих цепей и развязывающих ячеек, поскольку только их совместные действия дают необходимый результат.

**Эффективностью экранирования** ( $\mathcal{E}$ ) называется отношение напряженностей электрического и магнитного полей в экранируемом пространстве при отсутствии ( $E_0$  или  $H_0$ ) и наличии ( $E$  или  $H$ ) экрана. Количественная оценка эффективности экрана выражается в относительных единицах и определяется по формуле

$$\mathcal{E} = E/E_0 = H/H_0. \quad (3.1)$$

В технике проводной связи эту величину оценивают в неперах (Нп):  $B = \ln \mathcal{E} = 0,115 \cdot A$ , а в радиотехнике – в децибелах (дБ):  $A = 20 \lg \mathcal{E} = 8,7 \cdot B$ .

Выбор типа экранирующей конструкции и ее эффективность зависят от частоты электрического и магнитного полей.

Между электрическими цепями, находящимися на некотором расстоянии друг от друга, могут возникнуть следующие виды связей:

- через электрическое поле (обычно рассматривается для ближней зоны);
- через магнитное поле (обычно рассматривается для ближней зоны);
- через электромагнитное поле;
- через провода, соединяющие эти цепи.

Полное экранирование может быть получено только под подавлением всех четырех видов электромагнитных связей. Однако требования к эффективности экранирования в ряде случаев могут быть снижены. Тогда задачей экрана может быть ослабление того или иного вида связи.

**Дальняя зона** – это область пространства, в которой расстояние от источника существенно превышает длину волны излучения ( $r \gg \lambda$ ). В дальней зоне (начиная от расстояний больших  $6\lambda$  от источника возмущения) поле распространяется в виде плоской волны, энергия которой делится поровну между электрической и магнитной компонентами, и говорят об электромагнитном экранировании. В отличие от дальней в **ближней зоне** (при расстоянии до источника  $r = (2...3) \lambda$ ) принято рассматривать отдельно электрическое и магнитное поля, а экранирование проектируется в зависимости от потребности подавить тот или иной вид взаимодействия.



Напряженность электрического и магнитного полей в свободном пространстве (в ближней зоне) обратно пропорциональна квадрату расстояния от элемента, возбуждающего поля. Напряженность электромагнитного поля (в дальней зоне) обратно пропорциональна первой степени расстояния.

Напряжение на конце проводной или волновой линии с расстоянием падает медленно. Следовательно, при малых расстояниях действуют все четыре вида связей. По мере увеличения расстояния сначала исчезает связь через электрическое и магнитное поля, затем перестает влиять электромагнитное поле, и на очень большом расстоянии влияет только связь по проводам и волноводам.

Экран, защищая цепи, детали, колебательные контуры от воздействия внешних полей, оказывает существенное влияние на параметры экранируемых элементов. Из-за перераспределения электромагнитного поля внутри экрана происходят изменения их первичных параметров, в результате чего, например, изменяются магнитные связи, уменьшается первичная индуктивность катушек, увеличивается емкость контуров, возрастает активное сопротивление, что ведет к изменению частоты. Это должно учитываться при выборе и расчете экрана.

### Экранирование электрического поля

Основная задача электростатического экранирования по существу состоит в уменьшении паразитных емкостных связей между защищаемыми элементами и сводится к обеспечению накопления статического электричества на экране с последующим отводом электрических зарядов на землю (на корпус прибора). Применение металлических экранов позволяет полностью устранить влияние электростатического поля.

Чтобы уменьшить паразитную емкостную связь  $C_{\text{пар}}$  между отдельными блоками или радиоэлектронными устройствами изменяют расположение узлов один относительно другого, отдаляют их на максимально возможное расстояние друг от друга, изменяют ориентацию, используют в конструкции миниатюрные радиоэлементы. При недостаточности этих мер между элементами устанавливается экран, служащий для экранирования электрического поля (постоянного и переменного). Экран вводит в цепь связи блоков А и В дополнительный емкостный делитель, который определяет напряжение на нем (рис. 3.2).

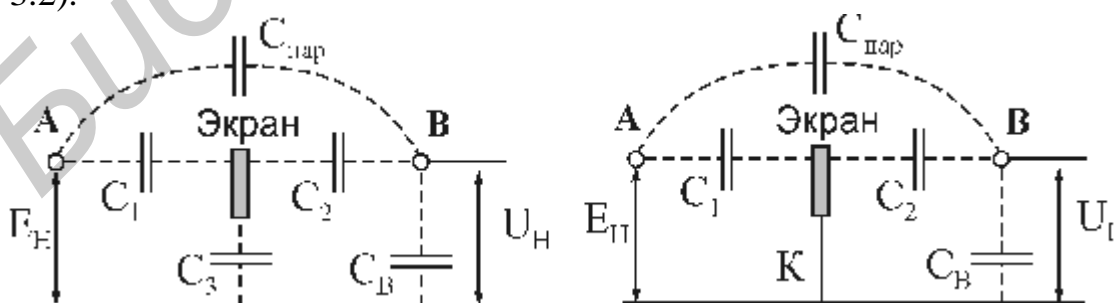


Рис. 3.2. Экранирование паразитной емкостной связи

Напряжение в точке В зависит от напряжения на экране и делителя из емкостей  $C_2$  и  $C_B$ . Если  $C_1 \gg C_3$ , то первый делитель почти не действует, напряжение на экране почти равно напряжению в точке А, напряжение в точке В ( $U_H$ ) после установки экрана возрастает, а экран оказывается вредным. С увеличением емкости  $C_3$  напряжение  $U_H$  падает и при  $C_3 = \infty$  (что равносильно короткому замыканию между экраном и корпусом) делается равным нулю, если не учитывать остаточную паразитную емкость  $C_{\text{пар}}$  между телами.

Эффективность экранирования электрического поля не зависит от толщины экрана. Применимы даже электропроводящие краски. Узкие щели и отверстия в экране не ухудшают экранирования электрического поля, если они малы по сравнению с длиной волны.

В РЭС (радиоэлектронных средствах) всегда имеются металлические части, служащие не для экранирования, а для крепления, предохранения от повреждений, амортизации и т. д. Не соединенные металлические детали, расположенные вблизи источников или приемников напряжений, могут образовывать паразитные связи. Поэтому необходимо обеспечивать надежный контакт с корпусом всех нетоконесущих деталей устройства (например крышки). Съемные детали должны иметь по всему периметру соприкосновение с металлическим покрытием, не подверженное коррозии. Несъемные – должны быть приварены, припаяны. Особенно сложно осуществить контактное соединение из алюминиевых и магниевых сплавов из-за оксидных нетокопроводящих пленок. В этом случае применяются самонарезающие винты, лепестки из биметалла АПМ, врезающиеся шайбы и пластины, герметизация мест присоединения компаундом и другие способы.

### ***Экранирование магнитного поля***

Для уменьшения взаимной индуктивности  $M_{\text{пар}}$  можно применять различные способы: изменять расположение связанных цепей при максимальном расстоянии от одной до другой, подбирать ориентацию трансформаторов, дросселей и катушек так, чтобы их оси были перпендикулярны, использовать элементы с малым рассеиванием магнитного потока (торроидальные и броневые сердечники из магнитоэлектриков и ферритов, материалы с высокой магнитной проницаемостью), увеличивать полное сопротивление связанных цепей, отказываться от использования трансформаторов.

При недостаточности этих мер производится экранирование магнитного поля.

На частотах 0,1...1 кГц магнитное поле можно ослабить только шунтированием его ферромагнитным материалом (пермаллой или сталь) с большой относительной магнитной проницаемостью  $\mu_r$ . При внесении такого материала во внешнее магнитное поле он намагничивается, и созданное им вторичное поле, сложившись с первичным, приводит к ослаблению поля вне экрана.

Линии магнитной индукции внешнего поля проходят в основном по стенкам экрана, которые обладают малым магнитным сопротивлением по сравнению с воздушным пространством внутри экрана.

Качество экранирования магнитных полей зависит от магнитной проницаемости и сопротивления материала экрана, которое будет тем меньше, чем толще экран и чем меньше в нем стыков и швов, идущих поперек направления линий магнитной индукции. Заземление магнитостатического экрана не влияет на эффективность экранирования.

В целом эффективность магнитостатических экранов невелика, поэтому к ним прибегают крайне редко. Она зависит от  $\mu_r$  экрана и толщины экрана  $d_{\text{экп}}$ . В этом диапазоне эффективность экрана от частоты не зависит. Ее можно приближенно определить по уравнению

$$\Theta = 1 + \mu_r d_{\text{экп}}/s, \quad (3.2)$$

где  $\mu_r$  – относительная магнитная проницаемость;  $d_{\text{экп}}$  – толщина стенок экрана;  $s$  – диаметр эквивалентного сферического экрана, близкий к длине стенки кубического экрана.

Так, экран из материала «Армко» (специальный сплав с  $\mu_r = 3000$ ) при радиусе 40 см и толщине 1 см обеспечивает ослабление поля в 37,5 раз. Такой экран сложен в изготовлении, дорогостоящий и имеет большой вес.

Для повышения эффективности экранирования в ряде случаев применяют многоступенчатые магнитостатические экраны, составленные из нескольких слоев более тонкого материала. Требуемая эффективность экранирования может быть получена уже у двух- или трехслойного экрана.

С повышением частоты увеличивается вытеснение магнитного поля из объема ферромагнитного материала вследствие поверхностного эффекта, уменьшается действующая толщина экрана и эффективность экранирования за счет шунтирования поля падает, а за счет вытеснения поля – растет.

Вихревые токи, наведенные магнитным полем источника излучения в теле экрана (вследствие электромагнитной индукции), вытесняют внешнее поле из пространства, занятого экраном. Токи в экране распределяются неравномерно по его сечению, что обусловлено поверхностным эффектом (скин-эффектом). Сущность последнего заключается в том, что переменное магнитное поле ослабляется по мере проникновения в глубь металла, так как внутренние слои экранируются вихревыми токами, циркулирующими в поверхностных слоях.

Из-за поверхностного эффекта плотность тока и напряженность магнитного поля падает по экспоненциальному закону по мере углубления в металл:

$$\frac{\text{Плотность тока на глубине } x}{\text{Плотность тока на поверхности}} = e^{-x/d}, \quad (3.3)$$

где  $\delta$  – показатель уменьшения поля и тока, называемый *глубиной проникновения*.

Глубина проникновения представляет собой постоянную величину, характеризующую материал экрана и зависящую от частоты:

$$d = \sqrt{\frac{r}{m_0 m_r p f}}, \text{ м}, \quad (3.4)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление материала, Ом·мм<sup>2</sup>/м;  $\mu_0$  – магнитная постоянная ( $1,256 \cdot 10^{-6}$  Г/м);  $\mu_r$  – относительная магнитная проницаемость;  $f$  – частота поля, Гц.

На глубине  $x = \delta$  плотность тока и напряженность магнитного поля падает в  $e$  раз, т. е. до величины  $1 / 2,72 = 0,37$  от плотности тока и напряженности поля на поверхности.

Толщины материала, на которых происходит ослабление поля в 10 раз –  $d_{10}$  и в 100 раз –  $d_{100}$ , можно определить как

$$d_{10} = 2,6 \cdot d_e; \quad d_{100} = 4,3 \cdot d_e. \quad (3.5)$$

Экранирующее действие вихревых токов определяется двумя факторами: обратным полем, создаваемым токами, протекающими в экране, и потерями на сопротивление в материале экрана. На высоких частотах при относительно большой толщине экрана  $d_{\text{экр}} > \delta$  действуют оба фактора, на низких частотах, когда  $d_{\text{экр}} < \delta$ , поверхностный эффект незначителен, действует только первый фактор.

На частотах выше 10 кГц всегда можно подобрать материал и его толщину так, чтобы выполнялось неравенство  $d_{\text{экр}} > \delta$ . Это позволяет пользоваться формулой, из которой следует, что минимальная эффективность экрана

$$\mathcal{E}_{\min} = e^{d_{\text{экр}}/d}. \quad (3.6)$$

На частотах свыше 1 МГц экран из любого металла толщиной 0,5 – 1,5 мм действует весьма эффективно. При выборе толщины и материала экрана в первую очередь следует учитывать не электрические свойства металла, а его механическую прочность, вес, жесткость, а также стойкость против коррозии, удобство стыковки отдельных деталей, осуществления между ними переходных контактов с малым сопротивлением, пайки, сварки и пр. Для частот выше 10 МГц хорошим экраном является медная пленка толщиной около 0,1 мм. Поэтому на этих частотах в конструкции экранов допустимо применение фольгированного гетинакса или другого изоляционного материала с нанесенным на него медным покрытием. Можно также использовать электропроводящие краски и пленки.

Значения эффективной глубины проникновения для стали с относительной магнитной проницаемостью  $\mu_r = 50$  показывают, что и на ВЧ эффективность стального экрана больше, чем немагнитного. Однако экраны из стали могут вносить значительные потери в экранируемые цепи вследствие большого значения  $\rho$  и явления гистерезиса. Поэтому их применяют только в случаях, когда с вносимыми потерями можно не считаться.

### Экранирование электромагнитного излучения

При подавлении ЭМИ используются такие особенности распространения волн, как поглощение электромагнитной энергии в материале и отражение электромагнитной волны от границы раздела двух сред. Поглощение может быть обусловлено электромеханическими, электротепловыми, электрохимическими, фотоэлектрическими и другими преобразованиями поля в материале экрана, а отражение – в основном несоответствием электромагнитных свойств сопрягаемых сред. При распространении ЭМИ на границе раздела сред, характеризующихся различными свойствами (например различное волновое сопротивление в металле и в воздухе), электромагнитная энергия частично проходит через нее, продолжая распространяться в новой среде, и частично отражается, причем коэффициент отражения зависит от соотношения волновых сопротивлений экрана и воздуха.

Электрические и магнитные свойства любой среды, в которой распространяется электромагнитное излучение, могут быть описаны с помощью комплексных параметров магнитной  $\mu$  и диэлектрической  $\epsilon$  проницаемости. Для однородного пространства по отношению к плоской волне вводят характеристическое сопротивление  $Z$ , равное отношению амплитуд напряженности электрической и магнитной составляющих поля:

$$Z = \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu_r \mu_0}{\epsilon_r \epsilon_0}} \quad (3.7)$$

Для случая нормального падения волны на бесконечную плоскость, разделяющую две различные однородные бесконечно протяженные среды (рис. 3.3), и выражения для коэффициента отражения  $\Gamma$  можно сделать вывод, что энергия отраженной волны тем больше, чем больше разность волновых сопротивлений сред:

$$\Gamma = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}, \quad (3.8)$$

где  $Z_1$  и  $Z_2$  – характеристическое сопротивление первой и второй среды.

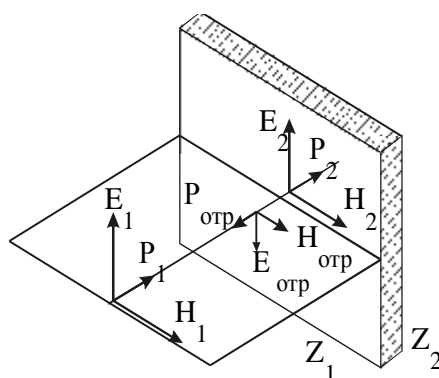


Рис. 3.3. Случай нормального падения плоскополяризованной электромагнитной волны на границу раздела двух сред



Для свободного пространства характеристическое сопротивление  $Z_{\text{возд}} = 120 \cdot \pi = 377$  Ом, модуль характеристического сопротивления металла, который в сотни и тысячи раз меньше характеристического сопротивления воздуха,  $Z_{\text{мет}} = \sqrt{2p f \cdot m_r \cdot r}$ . Отношение  $4Z_{\text{мет}}/Z_{\text{возд}}$  является приближенным значением произведения коэффициентов преломления на границах сред: воздух – металл и металл – воздух и определяет отражение электромагнитной энергии от границы раздела двух сред.

Экранирование происходит благодаря отражению электромагнитной волны от металлической поверхности экрана и затуханию преломленной волны в материале экрана. Пусть у падающей плоской волны  $P_1$  векторы электрического  $E_1$  и магнитного  $H_1$  полей параллельны плоскости экрана. На границе сред воздух – металл волна  $P_1$  частично отразится (волна  $P_{\text{отр}}$ ) и частично преломится (волна  $P_2$ ). Распространяясь в металлической среде, преломленная волна  $P_2$  затухает по экспоненциальному закону и к моменту достижения следующей границы раздела сред типа металл – воздух напряженности обоих полей будут

в  $e^{-\frac{d_{\text{экр}}}{d}}$  раз меньше, чем в точке на поверхности экрана. На выходе волны из экрана снова произойдет преломление и отражение от границы сред металл-воздух. Преломленная волна  $P_2$  выйдет в экранируемое пространство, а отраженная  $P_{\text{отр}}$  будет затухать, и в точке на внешней поверхности экрана напряженности полей будут в  $e^{-\frac{2d_{\text{экр}}}{d}}$  раз меньше, чем на входе в экран. Затем будут происходить отражения от границ раздела сред до полного затухания волны в металле. В экранируемое пространство будут проникать преломленные волны  $P_2$  и т. д. Их суммарное воздействие определяет напряженности полей  $E$  и  $H$  в этом пространстве.

Экранирование электромагнитного излучения может представлять интерес на частотах выше 10 МГц, на которых  $d_{\text{экр}} > 2\delta$ , при толщине любых применяемых материалов  $d_{\text{экр}} > 0,1$  мм. Взяв минимальное соотношение  $d_{\text{экр}} = 2\delta$ , получим, что напряженность поля волны, претерпевшей двукратное отражение, будет в  $e^4 = 55$  раз меньше, чем волны, прошедшей через экран. Можно считать, что из всех волн в экранируемое пространство проникает только волна  $P_2$ , допускаемая при этом ошибка не превосходит 2 %. Отсюда следует, что эффективность электрически замкнутого экрана, т.е. способного ограничивать проникновение силовых линий электрического поля вне и внутри экранируемого пространства, определяется формулой

$$\mathcal{E}_0 = \mathcal{E}_{\text{отр}} \cdot \mathcal{E}_{\text{погл}} \cdot \mathcal{E}_{\text{вн.отр}}, \quad (3.9)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{отр}}$  – ослабление энергии падающих волн за счет отражения на границе сред;  $\mathcal{E}_{\text{погл}}$  – ослабление вследствие затухания энергии в толще экрана;  $\mathcal{E}_{\text{вн.отр}}$  – ослабление из-за внутренних отражений в самом экране.

Обычно если  $\mathcal{E}_{\text{погл}} \geq 10$  дБ, то  $\mathcal{E}_{\text{вн.отр}} = 1$ , поэтому этой составляющей можно пренебречь, и в соответствии с рассмотренными ранее механизмами от-



ражения и поглощения электромагнитной энергии в материале общая эффективность экранирования металлическим экраном равна

$$\mathcal{E}_o = \frac{E_{\text{пад}}}{E_2} = \frac{H_{\text{пад}}}{H_2} \approx \mathcal{E}_{\text{отр}} \cdot \mathcal{E}_{\text{погл}} = e^{\frac{d_{\text{экр}}}{d}} \cdot \frac{Z_{\text{возд}}}{4Z_{\text{мет}}}, \quad (3.10)$$

или в децибелах:

$$\mathcal{E}_o = 20 \cdot \lg(\mathcal{E}_{\text{отр}}) + 20 \lg(\mathcal{E}_{\text{погл}}) = 20 \cdot \lg\left(e^{\frac{d_{\text{экр}}}{d}}\right) + 20 \cdot \lg\left(\frac{Z_{\text{возд}}}{4Z_{\text{мет}}}\right). \quad (3.11)$$

Наряду с узлами приборов экранируются монтажные провода и соединительные линии. Длина экранированного монтажного провода не должна превышать четверти длины самой короткой волны в составе спектра сигнала, передаваемого по проводу. Высокую степень защиты обеспечивают витая пара в экранированной оболочке и высокочастотные коаксиальные кабели.

### 3.2. Порядок выполнения работы

1. Для экрана, используемого для защиты персонального компьютера от утечки информации по каналам ПЭМИН, рассчитать эффективность экранирования, величину поглощаемой энергии и глубину проникновения электромагнитного поля в материал экрана, используя (3.10), (3.11), в заданном диапазоне частот. Материал экрана выбрать из табл. 3.2 в соответствии с заданием преподавателя.
2. Построить частотную зависимость рассчитанных величин.
3. Сделать вывод об эффективности применяемых мер пассивной защиты.

Таблица 3.2

Характеристики некоторых металлов

Металл	Удельное сопротивление $\rho$ , $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Относительная магнитная проницаемость $\mu_r$
Медь	0,0175	1
Латунь	0,06	1
Алюминий	0,03	1
Сталь	0,1	50
		200
Пермаллой	0,65	12000

### 3.3. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Исходные данные для расчета (материал и его характеристики).
3. Расчет глубины проникновения поля в материал и эффективности экранирования.
4. Графики частотной зависимости рассчитанных параметров.
5. Вывод.

### 3.4. Контрольные вопросы

1. Дайте краткую характеристику электромагнитному каналу утечки информации.
2. Перечислите основные меры для защиты информации от утечки по каналу ПЭМИН.
3. Назовите основные блоки ПК – источники опасного информационного сигнала.
4. Каково назначение экрана электромагнитного излучения?
5. Дайте характеристику дальней и ближней зон источника.
6. Что показывает эффективность экранирования?
7. Каким образом реализуется экранирование электрического поля?
8. Назовите основные принципы магнитного экранирования.
9. Какие физические явления используются для экранирования электромагнитного излучения?
10. Что влияет на эффективность экрана электромагнитного излучения?

### Литература

1. Никольский, В. В. Теория электромагнитного поля / В. В. Никольский. – М. : Высш. шк., 1964. – 384 с.
2. Виноградов, Е. М. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств / Е. М. Виноградов. – М. : Высш. шк., 1986. – 247 с.

## Лабораторная работа №4

### ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ, ЭКРАНИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

*Цель работы* – ознакомиться с материалами и конструкциями экранов электромагнитного излучения; научиться измерять характеристики материалов, экранирующих ЭМИ.

#### 4.1. Теоретические сведения

##### 4.1.1. Обзор основных экранирующих ЭМИ материалов

Наиболее распространенными материалами для экранов электромагнитного излучения являются металлы в виде листов или пластин. Для увеличения эффективности экранирования и расширения рабочего частотного диапазона могут применяться многослойные комбинированные конструкции экранов, состоящие из последовательно чередующихся магнитных и немагнитных слоев. Эффективность таких экранов зависит от расположения слоев и соотношения их толщин. На практике широко применяются трехслойные экраны с одинаковыми наружными слоями (медь – сталь – медь, например). Однако комбинированные многослойные конструкции экранов обладают большими габаритами и весом, что несколько ограничивает их применение. Наряду со сплошными металлическими экранами могут использоваться экраны из металлической сетки, обладающие гибкостью и воздухопроницаемостью.

В области частот, где поверхностным эффектом можно пренебречь, экран из сетки эквивалентен сплошному. Однако с увеличением частоты эффективность экранирования сетчатого экрана быстро падает, поскольку сетка не вносит ослабления ЭМИ за счет проникновения в толщу экрана, поверхностный эффект приводит только к увеличению активного сопротивления проволоки (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Эффективность экранирования сплошных и сетчатых металлических экранов, дБ

Вид экрана	Материал экрана	Частота, МГц				
		0,01	0,1	1	10	100
Сплошной лист толщиной 0,5 мм	Сталь	64	87	120	120	120
	Медь	67	70	88	120	120
	Алюминий	65	66	80	120	120
Сетка с размерами ячеек 1×1 мм из проволоки диаметром 0,1 мм	Сталь	65	55	50	42	32
	Медь	48	47	42	36	29,5

Для защиты от электромагнитного излучения может применяться ткань с микропроводом, которая также представляет собой сетчатый экран. Такие материалы могут применяться для создания средств индивидуальной защиты (СИЗ) – радиозащитных костюмов, халатов, масок, очков, перчаток и др., а также для изготовления штор, драпировок, повседневной одежды и т. д. Эф-

эффективность экранирования таких тканей может достигать 50 дБ в зависимости от используемого материала микропровода и параметров сетки, однако она также падает с увеличением частоты (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Эффективность экранирования ткани с микропроводом с размерами ячеек 0,5×0,5 мм

Частота, ГГц	0,3	0,6	1,2	3,0	9,4	37,5
Эффективность экранирования, дБ	54	46	43	40	28	20

Большая отражательная способность металлов в ряде случаев может привести к увеличению интенсивности поля в рабочей зоне. Поэтому в зависимости от практической целесообразности материалы для экранирования изготавливаются либо с большим (металлические листы, сетки), либо с малым коэффициентом отражения (радиопоглощающие материалы).

Согласно наиболее распространенной классификации выделяют четыре основных конструктивных типа радиопоглователей ЭМИ:

1. Поглозаторы резонансного типа.
2. Многослойные ступенчатые поглозаторы.
3. Поглозаторы с распределенной проводимостью (градиентного типа).
4. Поглозаторы с геометрическими неоднородностями.

В **резонансных** поглозаторах используется явление интерференции волн, отраженных от разных поверхностей. На металлическую основу наносится слой диэлектрика, а затем электропроводящая пленка толщиной  $l$ :

$$l = \frac{l_0}{4} = \frac{l_0}{4\sqrt{\epsilon'}},$$

где  $\lambda$ ,  $\lambda_0$  – длина волны в среде и в свободном пространстве соответственно (рис. 4.1, а). Волны, отраженные от проводящих поверхностей пленки и металла, находятся в противофазе и взаимно компенсируются (рис. 4.1, б).

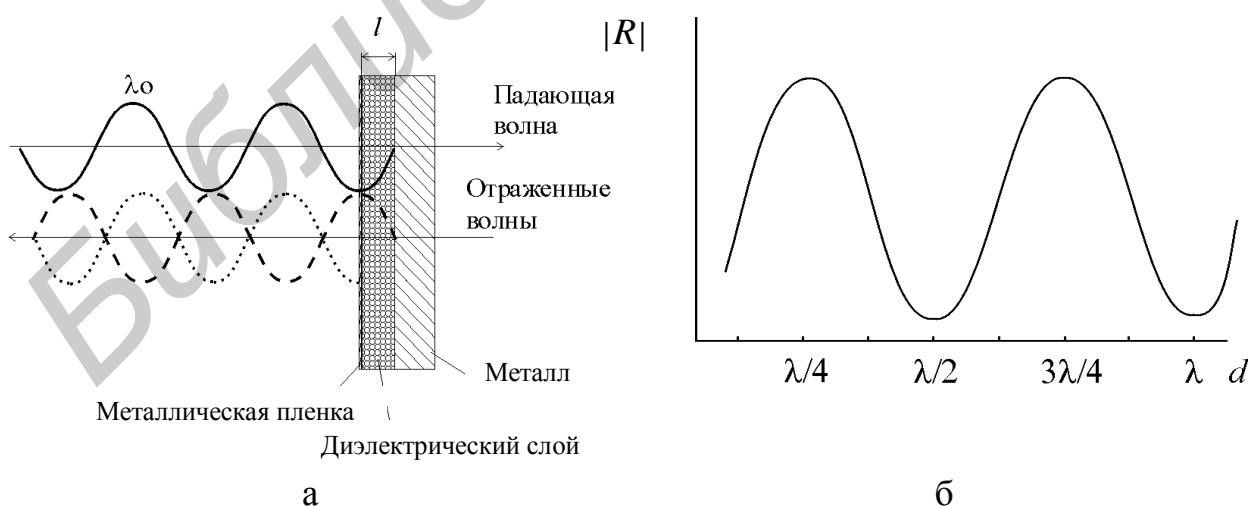


Рис. 4.1. Радиопогложитель резонансного типа:  
а – схема принципа действия; б – зависимость модуля коэффициента отражения  $|R|$  от толщины диэлектрической пластины  $d$

Такие поглотители являются узкополосными и рассчитываются на фиксированную длину волны. К другим их недостаткам можно отнести зависимость поглощающих свойств от поляризации и угла падения электромагнитной волны, увеличение габаритов (толщины) поглотителя при понижении рабочей частоты. Увеличения широкополосности добиваются созданием структур из нескольких слоев диэлектрика разной толщины, расположенных на разных расстояниях от металлического слоя. Более широкополосной модификацией четвертьволнового поглотителя являются материалы с зависимостью комплексных диэлектрической и магнитной проницаемостей от частоты.

Принцип действия *многослойных* РПМ (радиопоглощающих материалов) основан на многократном переотражении ЭМВ от границ раздела материалов с различными электромагнитными характеристиками. Электропроводность слоев увеличивается при проникновении волны вглубь экрана, с увеличением числа слоев увеличивается и рабочий диапазон частот поглотителя. Улучшенное согласование параметров многослойного РПМ и свободного пространства достигается применением диэлектрических слоев с различной проницаемостью и разной толщиной (рис. 4.2, а). К достоинствам таких конструкций следует отнести малый коэффициент отражения (рис. 4.2, б), довольно широкий рабочий диапазон частот и небольшую толщину.

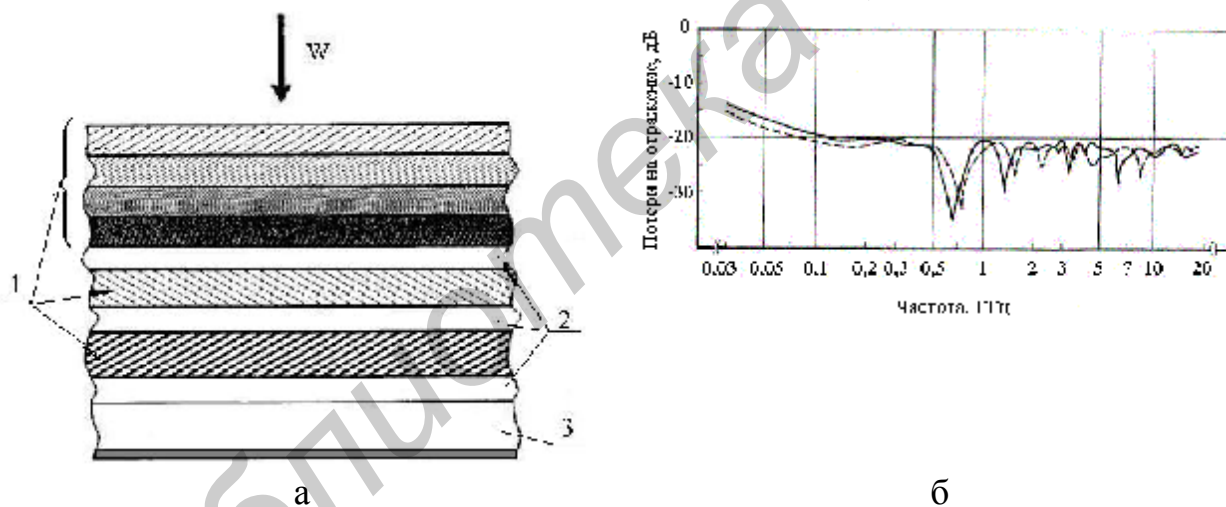


Рис. 4.2. Многослойный поглотитель электромагнитных волн:

а – схема; б – коэффициент отражения многослойного РПМ;

1 – слой с диэлектрическими потерями; 2 – диэлектрические слои; 3 – ферритовая пластина с металлическим отражателем

В РПМ *градиентного* типа электромагнитные характеристики материала плавно изменяются по мере проникновения в глубину (рис. 4.3). Такое покрытие может быть нанесено в виде одного или нескольких слоев по обычной технологии, после чего до затвердевания слоев создают возможность миграции компонентов внутри слоя, получая требуемое распределение волнового сопротивления по толщине покрытия.

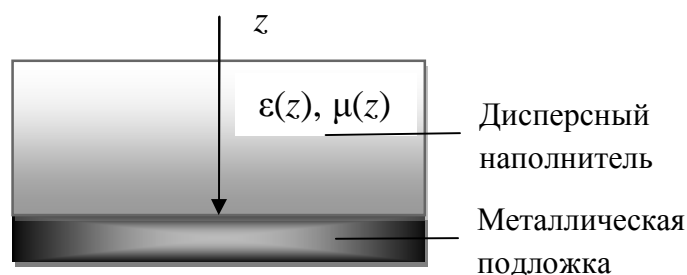


Рис. 4.3. Схема РПМ градиентного типа

Градиент сопротивления материала также может создаваться нанесением на волокнистую подложку поглотителя слоев проводящего или резистивного материала переменной толщины.

Создание *геометрических неоднородностей* позволяет увеличить активную поверхность поглотителя, обращенную к излучению. Поверхность формируется в виде пирамид, конусов, шахт и т. д. (рис. 4.4). В результате происходит преобразование падающей электромагнитной волны в поверхностную и рассеяние ее энергии, при этом некоторая часть ЭМИ гасится в верхнем слое РПМ. Поглотители с пирамидальной формой поверхности используются для подавления электромагнитных волн в безэховых камерах. Однако рабочий диапазон частот таких конструкций связан с их размерами.

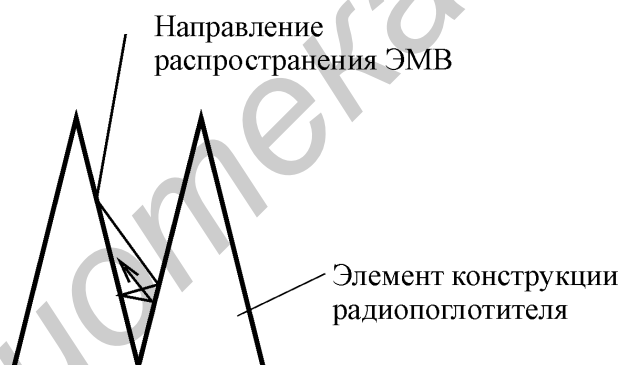


Рис. 4.4. Схема взаимодействия ЭМВ с геометрически неоднородной поверхностью

Чаще всего радиопоглощающий материал представляет собой комбинированную конструкцию, использующую различные механизмы поглощения и отражения ЭМИ на низкочастотных и высокочастотных участках рабочего диапазона.

Материалы, обеспечивающие подавление и поглощение энергии ЭМИ, подразделяются на материалы с диэлектрическими, магнитными и магнитодиэлектрическими потерями.

Для создания радиопоглотителей широко применяются композиционные материалы. В качестве наполнителей для них используют:

- электропроводящие порошкообразные материалы (уголь, сажа, графит, сталь, чугун, железо, алюминий, кобальт, свинец, цинк, олово, медь, латунь и др., соли металлов) со сферической, цилиндрической, чешуйчатой и другой формой частиц;



– проводящие углеродные, металлические и металл-углеродные волокна, углеткани, металлические нити, пластинки, полоски фольги, обрезки проволоки, сетки сложной формы, решетки, резонансные элементы в виде крестообразных диполей или замкнутых проводников (колец) и т. п.; металлизированные углеродные и полимерные волокна, ткани, пленки;

– магнитные наполнители – ферриты различного состава (преимущественно магнитно-мягкие), а также магнитные порошки металлов и аморфных сплавов (карбонильное железо, никель, сплавы Fe–Ni–Co, пермаллой и др.);

– дисперсные полупроводники – оксиды, карбиды, сульфиды металлов, карбид кремния, сегнетокерамика.

#### 4.1.2. Методики измерения экранирующих характеристик

Исследования экранирующих материалов связаны с измерением эффективности экранирования, т. е. с измерением напряженности электрической и магнитной составляющих электромагнитного поля в одной и той же точке пространства до и после установления экрана. Эффективность экранирования исследуемых конструкций экранов характеризуется коэффициентом ослабления энергии ЭМИ и коэффициентом отражения электромагнитных волн от экрана.

Измерение электромагнитных характеристик материалов в диапазоне СВЧ имеет свои особенности. Вследствие высокого затухания, вносимого коаксиальными проводниками, на частотах свыше 100 МГц в качестве измерительных трактов используются отрезки волноводных линий.

Для исследования экранирующих свойств материалов могут использоваться скалярные анализаторы цепей, позволяющие получить информацию о соотношениях амплитуд волн в измерительном тракте, т. е. модули комплексных элементов волновой матрицы рассеяния, описывающей линейный четырехполюсник (ЧП):

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix}, \quad (4.1)$$

где  $S_{21}$ ,  $S_{12}$  – комплексные коэффициенты передачи ЧП в прямом и обратном направлениях;  $S_{11}$ ,  $S_{22}$  – комплексные коэффициенты отражения входа и выхода ЧП.

Допущения, связанные с пренебрежением незначительным затуханием электромагнитного излучения в свободном пространстве по сравнению с ослаблением излучения, обеспечиваемым материалом экрана, позволяют использовать упрощенную методику измерения эффективности экранирования образцов. В этом случае экран представляется в качестве пассивного четырехполюсника, а для оценки эффективности экрана измеряется модуль коэффициента передачи в прямом направлении пассивного ЧП  $|S_{21}|$ , равный отношению напряженности электромагнитного поля на выходе ЧП к ее значению на входе:

$$S_{21} = \frac{H_2}{H_1} = \frac{1}{\Xi_0}, \quad (4.2)$$

где  $H_1, H_2$  – напряженности поля на входе и выходе четырехполосника, или перед и за экраном.

При этом величина напряженности в точке за экраном уменьшается на величину затухания поля в среде распространения. При допущениях того, что коэффициент затухания в свободном пространстве  $k''$  близок к нулю, а расстояние между излучателем и приемником также стремится к нулю, величина затухания в свободном пространстве очень мала, и эффективность экранирования можно принять равной модулю коэффициента прямой передачи пассивного ЧП.

Панорамные измерители КСВН (коэффициента стоячей волны по напряжению) и ослабления представляют собой скалярные анализаторы цепей, работающие по принципу отдельного выделения и непосредственного детектирования уровней падающей и отраженной волн. Сигнал, пропорциональный мощности, падающей на нагрузку, выделяется направленным детектором падающей волны ( $ДН_{пад}$ ). Ослабление, вносимое исследуемым образцом, определяется отношением сигналов, выделяемых  $ДН_{отр}$  и  $ДН_{пад}$ , и представляет собой величину, обратную коэффициенту передачи. Сигнал, отраженный от исследуемой нагрузки, выделяется направленным детектором отраженной волны ( $ДН_{отр}$ ). Коэффициент отражения определяется как

$$\Gamma = \sqrt{\frac{U_{отр}}{U_{пад}}}, \quad (4.3)$$

где  $\Gamma$  – модуль коэффициента отражения ЭМВ по напряжению;  $U_{отр}, U_{пад}$  – амплитуды протектированных напряжений отраженной и падающей волн соответственно.

Чаще всего из практических соображений для оценки величины отражаемой энергии используют коэффициент стоячей волны по напряжению КСВН:

$$КСВН = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma}. \quad (4.4)$$

Погрешность измерения  $S_{21}$  панорамными измерителями КСВН и ослабления типа Р2 составляет  $\pm(0,5 + 0,05A)$  дБ.

Погрешность измерения КСВН в диапазоне значений 1,2...2,0 определяется как  $\pm(5 \cdot КСВН + 2) \cdot 100 \%$ , в диапазоне значений 2,0...5,0 как

$$\frac{\pm(5 \cdot КСВН + 2)}{100 - [\pm(5 \cdot КСВН + 2)] \frac{КСВН}{КСВН + 1}} \cdot 100 \%$$

## 4.2. Порядок выполнения работы

Порядок проведения измерений характеристик материалов, экранирующих ЭМИ СВЧ.

Для построения характеристики коэффициентов передачи и отражения ЭМИ требуется разбить исследуемый частотный диапазон измерений не менее

чем на восемь частотных точек измерений. При наблюдении точек экстремума характеристики отдельно измеряется величина коэффициента передачи в этих точках и частота.

### 1. Измерение коэффициента передачи ЭМИ

Собрать схему измерений, приведенную на рис. 4.5.

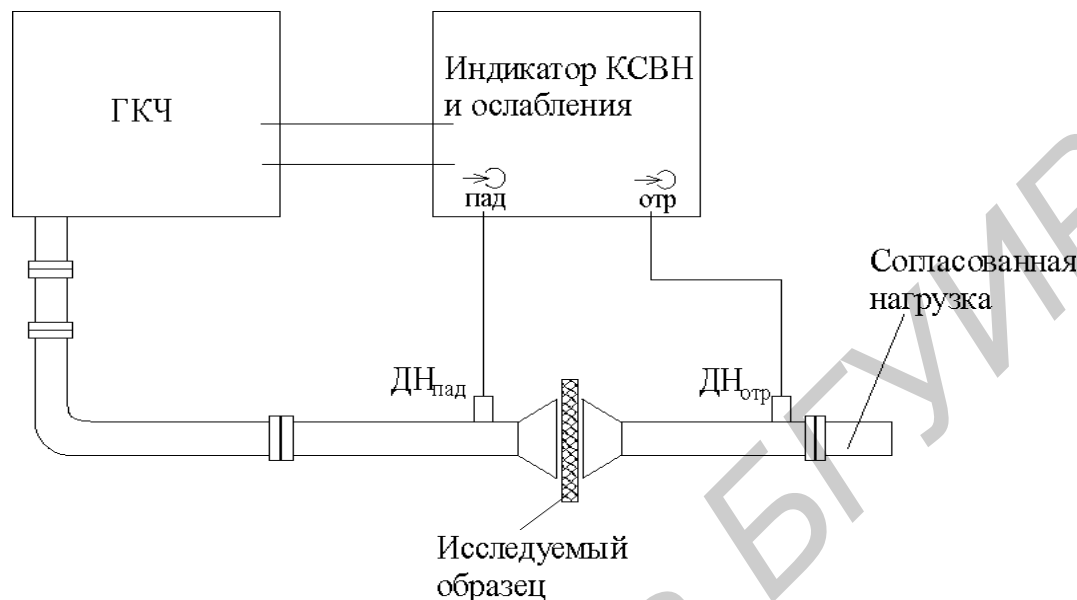


Рис. 4.5. Схема измерения коэффициента передачи ЭМИ экранирующих материалов

А. Включить тумблеры СЕТЬ генератора и индикатора, затем – блока СВЧ. Выждать 15 мин для вхождения прибора в нормальный режим работы.

Б. Установить диапазон качания частоты генератора, для этого:

- нажать кнопку F1, при этом цифровой индикатор генератора отображает нижнюю частотную границу диапазона измерений. Ручкой под индикатором установить частоту  $F1 = 8$  ГГц;

- нажать кнопку F2, при этом цифровой индикатор генератора отображает верхнюю частотную границу диапазона измерений. Ручкой под индикатором установить частоту  $F2 = 12$  ГГц;

- установить кнопки: АМ – в положение ВНУТР, время перестройки (частоты генератора) – в положение 0.08 с, на блоке СВЧ внутр – в положение АМ;

В. Провести калибровку измерительной установки, для чего:

- переключить ручку ПРЕДЕЛЫ в положение ПАД и установить линию отсчета на уровне 2...4 мВ по нижней шкале индикатора КСВН и ослабления. Ручкой УРОВЕНЬ на генераторе совместить линию сигнала с линией отсчета, тем самым установив уровень мощности входного сигнала достаточный для работы детекторных диодов направленных ответвителей в линейном режиме ВАХ;

- переключить ручку ПРЕДЕЛЫ в положение 0 дБ;

- линию отсчета установить на уровень 0 дБ по верхней шкале индикатора. Ручкой КАЛИБРОВКА совместить линию сигнала с линией отсчета. Этим

исключается систематическая погрешность, связанная с собственным затуханием измерительного тракта. Если линия сигнала нелинейна, расположить ее симметрично относительно линии отсчета, а отличия от калибровочного уровня в частотных точках измерений записать в таблицу и учесть при построении графиков.

Г. Провести измерение коэффициента передачи ЭМИ образцов экранирующих материалов.

Образец помещается между рупорами антенн. Переключателем ПРЕДЕЛЫ добиваются расположения линии сигнала в нижней части экрана индикатора. Ручкой М1 или М2 при нажатой соответствующей кнопке на цифровом индикаторе генератора устанавливается значение частоты метки (вертикальный штрих на линии отсчета), на которой производится измерение величины коэффициента передачи. Затем ручкой ОТСЧЕТ добиваются совмещения линии отсчета с линией сигнала на экране индикатора. Отсчет величины коэффициента передачи производится по верхней шкале индикатора путем прибавления к полученному значению величины ослабления, создаваемого аттенюатором ПРЕДЕЛЫ. Полученное значение записывается в таблицу. Затем метка М1 или М2 на частотной оси устанавливается в следующую точку и снова производится определение уровня коэффициента передачи.

Построить графики частотных характеристик коэффициента передачи образцов экранирующих материалов в одних частотных осях, провести сравнение и анализ полученных зависимостей.

## 2. Измерение коэффициента отражения ЭМИ

Собрать схему измерений, приведенную на рис. 4.6.

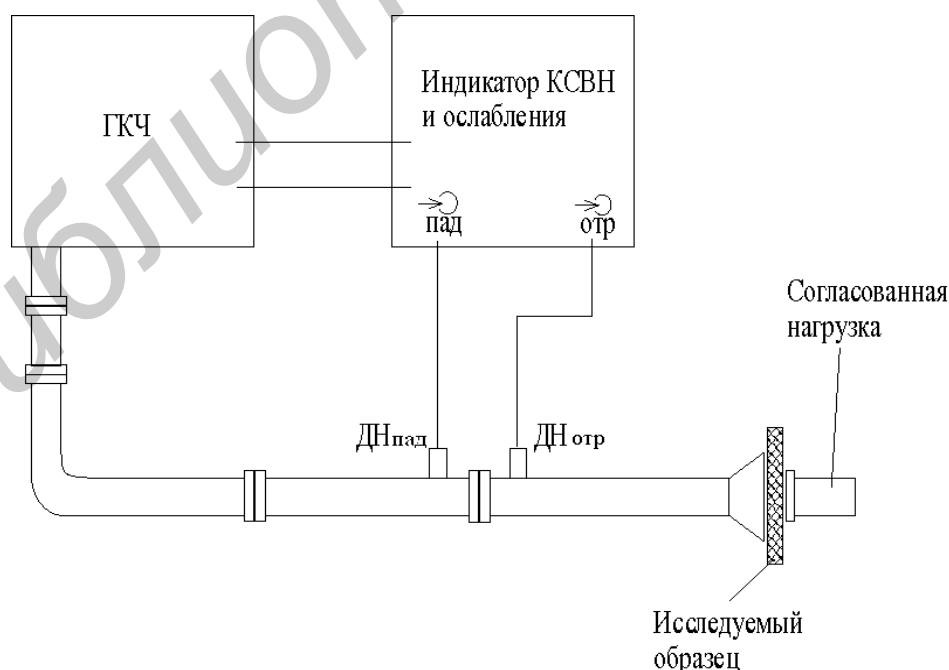


Рис. 4.6. Схема измерения КСВН экранирующих материалов

Подготовить установку к работе (пп. 1А – 1Б).

В. Провести калибровку измерительной установки на отражение, для чего:

– переключить ручку ПРЕДЕЛЫ в положение ПАД и установить линию отсчета на уровне 2...4 мВ по нижней шкале индикатора КСВН и ослабления. Ручкой УРОВЕНЬ на генераторе совместить линию сигнала с линией отсчета, тем самым установив уровень мощности входного сигнала достаточный для работы детекторных диодов направленных ответвителей в линейном режиме ВАХ;

– переключить ручку ПРЕДЕЛЫ в положение 0 дБ;

– установить за излучательной антенной короткозамыкатель (полированная металлическая пластина). Линию отсчета установить на уровень ∞ по нижней шкале индикатора. Ручкой КАЛИБРОВКА совместить линию сигнала с линией отсчета.

Г. Провести измерение КСВН образцов экранирующих материалов.

Образец помещается за рупорной антенной, за ним устанавливается металлический отражатель. Желательно, чтобы угол падения ЭМИ на поверхность образца был близок 90°. Переключателем ПРЕДЕЛЫ добиваются расположения линии сигнала в нижней части экрана индикатора. Ручкой М1 или М2 на цифровом экране генератора устанавливается значение частоты метки, на которой производится измерение величины коэффициента передачи. Затем ручкой ОТСЧЕТ добиваются совмещения линии отсчета с линией сигнала на экране индикатора. Отсчет величины КСВН производится по нижней шкале индикатора. Полученное значение записывается в таблицу, после чего положение метки М1 или М2 на частотной оси устанавливается в следующую точку и снова производится определение уровня коэффициента передачи.

Д. Рассчитать коэффициент отражения ЭМИ по измеренным значениям КСВН тракта, нагруженного на образец:

$$\Gamma = 20 \lg \frac{\text{КСВН} - 1}{\text{КСВН} + 1}, \text{ дБ.}$$

Построить графики частотных характеристик коэффициента отражения образцов экранирующих материалов в одних частотных осях, провести сравнение и анализ полученных зависимостей.

Е. Оформить отчет.

### 4.3. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Результаты измерений коэффициентов передачи и отражения ЭМИ экранирующих материалов.
4. Построенные частотные характеристики коэффициентов передачи и отражения ЭМИ.
5. Вывод.

#### 4.4. Контрольные вопросы

1. Какие материалы в основном применяются для экранирования ЭМИ?
2. Назовите достоинства и недостатки металлических экранов.
3. Перечислите основные типы радиопоглотителей ЭМИ.
4. Дайте сравнительную характеристику основных типов радиопоглотителей ЭМИ.
4. Какие материалы используются для создания радиопоглотителей?
5. Какими параметрами характеризуют эффективность экранирования ЭМИ?
6. На чем основан принцип действия скалярных анализаторов цепей?
7. Приведите схему измерения коэффициента передачи ЭМИ.
8. Приведите схему измерения коэффициента отражения ЭМИ.
9. Приведите основные соотношения, используемые при расчете экранирующих характеристик.

#### Литература

1. Ковнеристый, Ю. К. Материалы, поглощающие СВЧ-излучения / Ю. К. Ковнеристый, И. Ю. Лазарева, А. А. Раваев. – М. : Наука, 1982. – 164 с.
2. Гибкие конструкции экранов электромагнитного излучения / Л. М. Лыньков [и др.]. – Минск : БГУИР, 2000. – 284 с.



Учебное издание

**Колбун** Наталья Викторовна  
**Борботько** Тимофей Валентинович  
**Петров** Сергей Николаевич  
**Лыньков** Леонид Михайлович

***ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ  
И ПОДАВЛЕНИЯ КАНАЛОВ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ***

Лабораторный практикум  
для магистрантов специальности  
«Методы и системы защиты информации,  
информационная безопасность»  
всех форм обучения

Редактор Т. П. Андрейченко  
Корректор Л. А. Шичко

Подписано в печать 06.01.2010.  
Гарнитура «Таймс».  
Уч.-изд. л. 2,6.

Формат 60x84 1/16.  
Отпечатано на ризографе.  
Тираж 50 экз.

Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 2,79.  
Заказ 326.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.  
220013, Минск, П. Бровки, 6