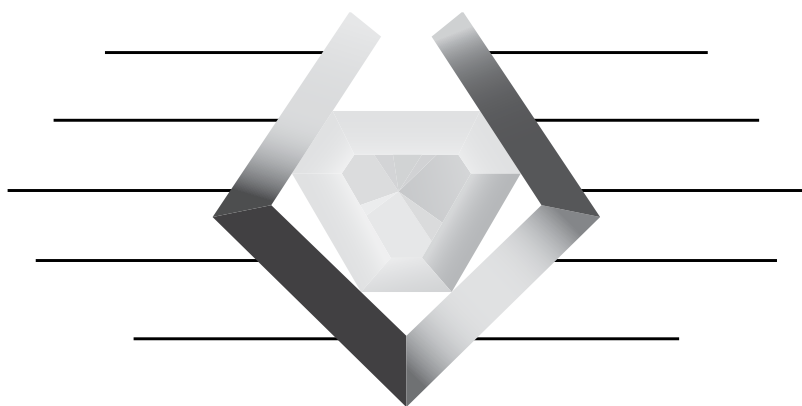


Выдающиеся ученые



Национального исследовательского университета ИТМО

ВЫДАЮЩИЕСЯ УЧЕНЫЕ
Национального исследовательского
УНИВЕРСИТЕТА ИТМО

*Серия монографий ученых Санкт-Петербургского национального
исследовательского университета информационных технологий,
механики и оптики (бывшего Ленинградского института точной
механики и оптики)*

Основана в 2000 году по решению
Ученого Совета университета
в ознаменование 100-летия со дня создания
в составе Ремесленного училища цесаревича Николая
Оптико-механического и часового отделения,
превращенного трудами нескольких
поколений профессоров и преподавателей
в один из ведущих
университетов России



Выпуск 17

Редакционная коллегия серии:
проф. В. Н. Васильев (председатель), проф. Г. Н. Дульнев,
проф. Ю. Л. Колесников, проф. Г. И. Новиков,
доц. Н. К. Мальцева (ученый секретарь)

Главный редактор – заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
действительный член Российской академии естественных наук,
профессор Г. Н. Дульнев

Выдающиеся ученые

Национального исследовательского университета ИТМО

Ю. А. Гатчин, К. Н. Чиков

**Линия жизни –
информационная безопасность**

Санкт-Петербург

2012

Ю.А. Гатчин, К.Н. Чиков. Линия жизни - информационная безопасность. / Серия «Выдающиеся ученые Национального исследовательского университета ИТМО», выпуск 17. – СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 270 с.

Настоящее издание состоит из двух частей, первая из которых является научно-педагогическим наследием профессора НИУ ИТМО Ю.А. Гатчина и доцента К.Н. Чикова. Вторая часть посвящена истории создания и развития кафедры, с которым была связана деятельность авторов на протяжении более чем 20 лет.

Первая часть книги знакомит с основными концептуальными положениями инженерно-технической защиты информации от утечки по техническим каналам. Рассмотрены информационные объекты защиты и их демаскирующие признаки, виды угроз информационной безопасности, особенности системного подхода к инженерно-технической защите информации и дана оценка экономической эффективности системы защиты. Приведена классификация и отражена структура технических каналов утечки информации. Обсуждены физические принципы работы средств подслушивания и перехвата акустической информации и способы противодействия им. Рассмотрены главные аспекты информационной защиты, обеспечиваемой визуальными и оптико-телевизионными средствами, и отображены некоторые особенности физического базиса, лежащего в основе разработки этих средств.

Вторая часть, озаглавленная Линия жизни и ALMA MATER, состоит из серии очерков, где авторы делятся с читателями своими личными воспоминаниями о годах учебы и работы в ИТМО, с которым связана практически вся их жизнь, начиная со студенческой скамьи.

В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена Программа развития государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики» на 2009–2018 годы.

ISBN 978-5-7577-0401-2

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2012.

© Ю.А. Гатчин, К.Н. Чиков, 2012

© Редакция, 2012



ОГЛАВЛЕНИЕ

Вступительное слово ректора

Часть первая. ОСНОВЫ И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ОТ УТЕЧКИ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ КАНАЛАМ

Аббревиатуры и основные обозначения

Введение

Глава 1. Общие положения инженерно-технической защиты информации

- § 1.1. Особенности утечки информации по техническим каналам.....20
- § 1.2. Основные концептуальные положения защиты информации и главные аспекты информационной безопасности.....25
- § 1.3. Демаскирующие признаки объектов защиты информации.....37

Глава 2. Физические основы защиты акустической информации

- § 2.1. Акустическая разведка и звук. Основные физические характеристики акустических волн и восприятие аудиоинформации человеком.....45
- § 2.2. Звуковое поле, создаваемое открытой с обеих сторон трубой, как физический базис групповых трубчатых направленных микрофонов.....53
- § 2.3. Скорость звука. Понятие о громкости звука и его высоте. Диапазоны слышимости людей и животных.....55
- § 2.4. Математическое описание звуковых волн.....59
- § 2.5. Интенсивность (сила) звука.....64
- § 2.6. Уровень интенсивности звука
(уровень громкости по шкале децибел).....68
- § 2.7. Громкость, измеряемая в фонах70
- § 2.8. Реверберация как средство акустической маскировки71

§ 2.9. Распространение структурного звука в зданиях, сооружениях и пассивные способы защиты акустической (речевой) информации от её утечки через строительные конструкции	72
§ 2.10. Интерференция звуковых волн. Гашение и усиление звука	77
§ 2.11. Звуковые биения.....	80
§ 2.12. Эффект Допплера – основа объемных акустических датчиков..	82
§ 2.13. Применение эффекта Допплера в системе охранной сигнализации.....	90
Глава 3. Устройства перехвата конфиденциальной акустической информации и способы противодействия им	
§ 3.1. Перехват акустической информации современными техническими средствами.....	96
§ 3.2. Некоторые важные особенности ведения аудиоразведки в помещениях и на открытой местности.....	99
§ 3.3. Главные технические характеристики направленных микрофонов.....	106
§ 3.4. Направленные микрофоны с параболическим отражателем.....	108
§ 3.5. Групповые микрофоны.....	109
§ 3.6. Микрофонная решетка.....	115
§ 3.7. Спектральные характеристики акустических речевых сигналов и особенности их восприятия.....	116
§ 3.8. Устройства записи и воспроизведения акустической информации. Приборы и способы повышения разборчивости записанной речи.....	124
§ 3.9. Защита от подслушивания и записи конфиденциальных переговоров.....	130
§ 3.10. Противодействие системам радиоподслушивания.....	136
§ 3.11. Распространенные способы и устройства подслушивания в телефонных каналах связи и противодействие перехвату речевой информации при телефонных переговорах.....	146

Глава 4. Визуальные и оптико-телевизионные средства информационной защиты

§ 4.1. Системы и средства наблюдения и основные задачи, решаемые ими.....	170
§ 4.2. Применение плоских зеркал в системах непосредственного визуального наблюдения.....	177
§ 4.3. Особенности работы объективов как оптических формирователей изображения в составе визуальных и телевизионных систем наблюдения.....	183
§ 4.4. Телевизионные системы наблюдения и особенности их реализации для целей информационной защиты.....	189
Заключение.....	207
Список литературы.....	208
Приложение А. Расширение терминологического понятия «децибел».....	209
Приложение Б. Расширение терминологического понятия «фон».....	212

Часть вторая. ЛИНИЯ ЖИЗНИ И ALMA MATER

(под редакцией Н.К. Мальцевой)

Ю.А. ГАТЧИН

Абитуриент.....	216
Годы учебы, комсомол и ССО.....	217
Не расстанусь с Комсомолом – буду вечно молодым	219
Кафедра ПБКС: история и современность	230

К. Н. Чиков. Мои воспоминания.....

Основные даты жизни и научно-педагогической деятельности Ю. А. Гатчина.....

Основные научные публикации Ю.А. Гатчина.....

Основные даты жизни и научно-педагогической деятельности К.Н. Чикова.....

Основные научные публикации К.Н. Чикова.....

Наименование предыдущих книг серии.....



Профессор Гатчин Юрий Арменакович



Доцент Чиков Константин Никитич



Стремительный прогресс информационных технологий на грани XX и XXI тысячелетий и вполне закономерное внедрение их в различные сферы деятельности человека (как в повседневную жизнь, так и в науку, связь, производство) привели к появлению новейших областей знаний, а соответственно и необходимости подготовки специалистов, развивающих эти знания. Надо отдать должное всему коллективу нашего университета, сумевшему достаточно быстро адаптироваться в столь

непростых для высшей школы условиях и давших жизнь целому ряду новых образовательных программ подготовки специалистов по новым направлениям знаний. Даже на фоне вполне успешной работы всего вуза прогрессивная деятельность кафедры Проектирования и безопасности компьютерных систем под руководством профессора Юрия Арменаковича Гатчина и при участии доцента Константина Никитича Чикова относится к числу передовых среди других подразделений вуза.

Будучи правопреемницей почти целого факультета – радиотехнического, и специализировавшаяся только на подготовке инженеров-конструкторов в области электронно-вычислительной аппаратуры практически до начала 90-х, во второй половине последнего десятилетия ушедшего века, тогда, когда заведующим стал Ю.А. Гатчин кафедра ПиБКС начала сначала научно-исследовательскую работу по вопросам безопасности передачи информации, а затем и подготовку специалистов (в тот период только инженеров, позже бакалавров и магистров, а теперь уже и кандидатов технических наук) в этой области.

Именно в этот период становится актуальным привлечение новых специалистов – опытных преподавателей для создания курсов

по безопасность передачи информации аппаратными методами, подготовка учебной литературы по этим курсам и публикация учебников. Таким специалистом и является К.Н. Чиков.

Настоящая монография представляет совместный труд профессора Ю.А. Гатчина и доцента К.Н. Чикова, проработавших вместе в нашей школе сорок лет.

Специальная часть данной монографии посвящена комплексному исследованию в области аппаратных методов защиты информации. Авторам данной монографии удалось составить труд таким образом, что, с одной стороны он может являться учебником для вузов, а с другой стороны представляет очевидный интерес и для работников, чья профессиональная деятельность относится к предлагаемому направлению в науке и технике.

Во второй части авторы раскрывают «тайные» страницы своей жизни, связанные со стенами ALMA MATER, и богато иллюстрируют их документальными снимками.

Учитывая все сказанное выше, публикация настоящей монографии профессора Ю.А. Гатчина и доцента К.Н. Чикова представляется вполне оправданным и закономерным продолжением серии «Выдающиеся ученые Национального исследовательского университета ИТМО».



Ректор НИУ ИТМО
Член-корреспондент РАН
В.Н.Васильев

ЧАСТЬ I

ОСНОВЫ И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ОТ УТЕЧКИ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ КАНАЛАМ

АББРЕВИАТУРЫ И ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

АТС	– автоматическая телефонная станция
ВЧ	– высокочастотный
дБ	– децибел
ДВ	– длинные волны
ДХ	– датчик Холла
ИК	– инфракрасное излучение (инфракрасный диапазон)
КВ	– короткие волны
МКП	– микроканальная пластина
МФРЗ	– микрофонная радиозакладка
ПЗС	– прибор с зарядовой связью
ПЭМИН	– побочные электромагнитные излучения и наводки
СВ	– средние волны
СВЧ	– сверхвысокочастотный
СГСКИ	– сверхмощные генераторы сверхкоротких импульсов
СНВН	– системы непосредственного визуального наблюдения
ТВСН	– телевизионные системы наблюдения
ТВК	– телевизионная камера
ТВЛ	– телевизионная линия
ТФА	– телефонный аппарат

ТФЛ	– телефонная линия
ТФРЗ	– телефонная радиозакладка
УКВ	– ультракороткие волны
УФ	– ультрафиолетовое излучение (ультрафиолетовый диапазон)
ЭДС	– электродвижущая сила
ЭМА	– электромагнитная атака
ЭОП	– электронно-оптический преобразователь
A	– амплитуда колебания волны
B	– индукция магнитного поля
c	– скорость света в вакууме
D	– диаметр входного зрачка объектива или апертурной диафрагмы
d	– расстояние (дистанция)
$d_{обн}$	– телевизионная дальность обнаружения
$d_{опоз}$	– телевизионная дальность опознавания
E	– освещенность объекта наблюдения
$E_{сж}$	– модуль всестороннего сжатия (модуль объемной упругости)
$E_{Ю}$	– модуль упругости (модуль Юнга)
F	– диафрагменное число или диафрагма
f	– частота колебаний
$f_{б}$	– частота биений
$f'_{фок}$	– заднее фокусное расстояние объектива
$h_{п}$	– постоянная Планка
$h_{с}$	– высота (стрелка) шарового сегмента
h	– высота (вертикальный размер) объекта
h'	– вертикальный размер прямоугольного изображения
$H_{верт}$	– размер контролируемой зоны по вертикали
i	– сила тока
I	– интенсивность (сила) звука
I_0	– интенсивность звука на пороге слышимости
$k = 0, 1, 2, 3, \dots$	

$K_{зи}$	– коэффициент звукоизоляции
$K_{п}$	– коэффициент подавления
L	– длина
$L_{гор}$	– размер контролируемой зоны по горизонтали
l'	– горизонтальный размер прямоугольного изображения
$l_{л}$	– толщина наблюдаемой линии на пороге её различения
l	– горизонтальный размер (длина) объекта
$l_{пр}$	– размер фоточувствительной площадки по выбранной координате
$m_{ф}$	– масса фотона
p	– звуковое давление
$p_{м}$	– амплитуда звукового давления
p_0	– давление
P	– поток энергии (мощность)
Q	– отношение сигнал/шум
r	– электрическое сопротивление
R	– радиус
$R(\Theta)$	– нормированная направленность чувствительности
R_p	– разрешающая способность камеры
S	– площадь
t	– время
T	– период колебаний
$T_{б}$	– период биений
$T_{с}^{\circ}$	– температура в градусах Цельсия
u	– электрическое напряжение
U	– чувствительность
v	– скорость распространения (перемещения) звуковой волны
V	– объем
W	– звуковая энергия
x	– пространственная координата
X	– толщина слоя

$\alpha_{\text{зерк}}$	– угол поворота зеркала
$\alpha_{\text{луч}}$	– угол поворота луча
$\alpha_{\text{зв}}$	– коэффициент звукопоглощения
β	– уровень громкости
$\beta_{\text{дБ}}$	– уровень громкости по шкале децибел
$\beta_{\text{ф}}$	– уровень громкости в фонах
δ^i	– размер диагонали прямоугольного изображения
δ_P	– затухание
$\varepsilon_{\text{ф}}$	– энергия фотона (кванта)
Δ	– разность хода
Δ_x	– смещение
Δ_{f_d}	– доплеровский сдвиг частоты
ΔF	– полоса пропускания речевого спектра
Δp_0	– изменение давления
ΔV	– изменение объема
ΔX	– изменение толщины слоя
Θ	– плоский угол
λ	– длина волны
ν	– волновое число
$\nu_{\text{с}}$	– частота электромагнитной волны
ρ	– плотность вещества (среды)
$\rho_{\text{зв}}$	– коэффициент звукоотражения
$\tau_{\text{зв}}$	– коэффициент звукопрохождения (звукопроницаемости)
φ	– фаза колебания
φ_k	– угол падения луча
φ'_k	– угол отражения луча
ω	– круговая частота
$2\omega_{\text{гор}}$	– горизонтальное угловое поле зрения объектива
$2\omega_{\text{верт}}$	– вертикальное угловое поле зрения объектива
$2\omega_{\text{диаг}}$	– угол поля зрения объектива

ВВЕДЕНИЕ

Информация (от лат. *informatio* – разъяснение, изложение) – это сообщения, осведомляющие о чем-либо, т. е. сведения, являющиеся объектом сбора, хранения, преобразования, передачи и непосредственного использования. Обмен сведениями между людьми привел к тому, что для человека информация превратилась в товар и стратегический ресурс, так как на основе ее обработки он приобретает материальные и духовные ценности. Как и любой товар, информация может быть сохранена, похищена, потеряна и уничтожена. Кроме того, возможна подмена или намеренное искажение информации с целью обмана ее владельца. Поэтому изучение комплекса проблем, связанных с защитой информации, является актуальной задачей, особенно в условиях рыночной экономики.

Важным фактором рыночной экономики выступает конкуренция. При этом в ходе конкурентной борьбы могут использоваться современные технические средства разведки и применяться различные способы промышленного шпионажа, направленные на добывание конфиденциальной информации. Трактовка определения «**конфиденциальная**» (от лат. *confidentia* – доверие) подчеркивает доверительный характер информации, которая не подлежит огласке, будучи секретной для посторонних лиц. Потенциально опасной возможностью нанесения ущерба имеющейся конфиденциальной информации служит *угроза*, а лицо, предпринимаящее попытку практического осуществления угрозы, является нарушителем (злоумышленником). Пространство или территория, в пределах которых исключается пребывание **нарушителя (злоумышленника)**, служит **контролируемой зоной объекта**.

Совокупность физического поля, несущего конфиденциальную информацию, и технического средства нарушителя для регистрации этого поля определяется как **технический канал утечки информации**.

Защита информации от утечки по техническим каналам – это комплекс организационных, организационно-технических и технических мероприятий, исключающих или ослабляющих бесконтрольный выход (утечку) конфиденциальной информации за пределы контролируемой зоны объекта. Кроме того, такая защита призвана предотвратить утечку информации, подразумевающую неконтролируемый выход охраняемых сведений за пределы того круга лиц, которым они были доверены по службе или стали известны в процессе работы.

Информационная безопасность – довольно емкая и многогранная проблема, требующая создания комплексной системы защиты, в которой особое место занимает *противодействие утечке конфиденциальной информации по акустическим, а также визуально-оптическим и телевизионно-оптическим каналам.*

Акустика (от греческого *akustikos* – слуховой) – область физики, в которой исследуются упругие колебания и волны от самых низких частот (условно от 0 Гц) до предельно высоких ($10^{12} - 10^{13}$ Гц), процессы их возбуждения и распространения, взаимодействие их с веществом и разнообразные применения.

Акустика возникла за несколько веков до нашей эры как учение о звуке, т. е. об *упругих волнах*, воспринимаемых человеческим ухом. Начало становления акустики как физической науки относится к XVII в. и связано с исследованиями музыкальных тонов, их источников (струны, трубы), с измерениями скорости распространения звука. До начала XX в. акустика развивалась как раздел механики. Создавалась общая теория механических колебаний, возникновения и распространения звуковых волн в среде, разрабатывались методы измерений параметров звуковых волн – звукового давления, потока энергии, скорости распространения.

Новый этап развития акустики начался в 20-е гг. прошлого столетия в связи с бурным развитием радиотехники и радиовещания, которые вызвали необходимость разработки методов и средств преобразования электромагнитной энергии в акустическую, и обратно. В современной акустике общие закономерности возникновения, распространения и приема упругих колебаний и волн изучает *теория звука*, широко использующая математические методы, разработанные в общей теории колебаний и волн.

В последние годы для решения задач обеспечения информационной безопасности стали широко применяться **визуальные и телевизионные методы и средства** в комплексе с оптическими и оптико-электронными системами. Расширение сферы применения указанных средств и систем связано с их высокой надежностью, удобством сопряжения с вычислительной техникой, а также с быстрым развитием элементной базы охранных устройств. Поэтому при подготовке специалистов в области видеотехники необходимо уделять достаточное внимание не только частным вопросам разработки визуальных и телевизионных устройств, но и общим проблемам построения систем наблюдения и контроля, использующих такие устройства.

Целью настоящей монографии является ознакомление специалистов с основными концептуальными положениями инженерно-технической защиты информации от утечки по *техническим каналам*. В ней рассмотрены информационные объекты защиты и их демаскирующие признаки, виды угроз информационной безопасности, особенности системного подхода к инженерно-технической защите информации и дана оценка экономической эффективности системы защиты. Приведена классификация и отражена структура технических каналов утечки информации. Обсуждены физические принципы работы средств подслушивания и перехвата акустической информации и способы противодействия им. Рассмотрены главные аспекты информационной защиты, обеспечиваемой визуальными и оптико-телевизионными средствами, и отображены некоторые особенности физического базиса, лежащего в основе разработки этих средств.

В той или иной степени монография соответствует следующим разделам Государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования РФ:

– СД.02 «Защита информации и информационная безопасность» ГОС 230201 (071900) – Информационные системы;

– ЕН.Ф.03 «Физика» (Физические основы защиты информации), ОПД.Ф.10 «Теория информационной безопасности и методология защиты информации» и ОПД.Ф.14 «Инженерно-техническая защита информации» ГОС 090103 (075300) – Организация и технология защиты информации;

– ЕН.Ф.03 «Физика» (Физические основы защиты информации), ОПД.Ф.09 «Теория информационной безопасности и методология защиты информации», ОПД.Ф.13 «Инженерно-техническая защита информации» и ОПД.Ф.14 «Технические средства защиты информации» ГОС 090104 (075400) – Комплексная защита объектов информатизации;

– ЕН.Ф.06 «Физические основы получения информации» в рамках основной образовательной программы по направлению подготовки бакалавров и магистров 200100 «Приборостроение» и специальности 200101 «Приборостроение».

При подготовке и написании монографии авторами использовались различные, в том числе и свои, научно-методические материалы. Тем не менее, авторы считают приятным долгом выразить персональную благодарность Д. Б. Халяпину и В. И. Ярочкину, чьи серьезные труды в данной области были особенно полезными.



*Юрий Гатчин,
секретарь комитета
Комсомола ЛИТМО,
1979 год*



*Алексей Иванов, комиссар Ленинградского Объединенного
штаба ССО вручает Юрию Гатчину знамя Главзапстроя за 1 место
в соц. соревновании, 1980 год*



*Константин Чиков, ассистент
кафедры Спектральных и оптико-
физических приборов, ЛИТМО
1965 год*



*Ученый совет ЛИТМО, посвященный юбилею 60-летию
со дня рождения заведующего кафедрой Теплофизики, ректора ЛИТМО
1974- 1986 гг., профессора Г.Н. Дульнева, 1987 год.*

*Первый ряд (слева – направо):
преподаватель Военно-морской кафедры, капитан 2-го ранга Л.И. Галкин;
доцент кафедры СОФП К.Н. Чиков, (через одного человека) директор
Экспериментально-опытного завода В.П. Егунов,
(через одного человека) проректор по финансово-хозяйственной
деятельности А. В. Кузнецов.*

ГЛАВА 1

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

§ 1.1. Особенности утечки информации по техническим каналам

Известно, что информация большей частью передается звуковым или электромагнитным полем, либо веществом. Основываясь на этом, можно утверждать, что по физико-технической сущности возможны следующие **переносчики информации**:

- звуковые волны;
- электромагнитные (в том числе световые) волны;
- материалы и вещества.

Та же физическая природа характерна для технических **каналов утечки информации**, в основе которых лежит неконтролируемый перенос конфиденциальных сведений посредством световых, акустических (звуковых) и электромагнитных полей и материальных информационных объектов. Таблица 1.1 позволяет рассмотреть, что же способствует процессам утечки информации и по каким техническим каналам осуществляется конкретная утечка.

Видно, что основные физические концепции, положенные в основу разработок современных технических средств несанкционированного съема конфиденциальной информации, а, следовательно, и способов противодействия такому съему, связаны с акустическими, электромагнитными (в том числе оптическими) явлениями и полями. Иначе говоря, информация передается одним из физических полей или веществом. Это либо акустическая волна (звук), либо электромагнитное излучение, либо лист бумаги с текстом, либо широко распространенные устройства хранения информации (магнитные, оптические, магнитооптические и твердотельные), либо производственные материалы. В таком случае представляется целесообразным разделить и каналы утечки информации на следующие группы с учетом физической природы их образования:

- акустические (включая и акустико-преобразовательные);
- электромагнитные (включая магнитные и электрические);
- визуально-оптические и телевизионно-оптические;
- материально-вещественные.

Таблица 1.1

Общая характеристика способов несанкционированного получения конфиденциальной информации через технические каналы и перечень используемых при этом средств

Действия	Физическое явление или его результат	Способ или средство несанкционированного съема информации
2	3	4
Разговор нескольких лиц	Акустический сигнал	1. Подслушивание, в том числе случайное. 2. Диктофоны и спецмикрофоны. 3. Закладные устройства* с передачей информации: – по имеющимся коммуникациям (электрическим сетям, ТФЛ**, системам сигнализации, трубам и др.); – по специально проложенным проводам; – по радио- или инфракрасному каналу. 4. Направленные микрофоны.
	Виброакустический сигнал	1. Электронный стетоскоп. 2. Вибродатчик с передачей информации: – по радиоканалу; – по проводам; – по коммуникациям; – по инфракрасному каналу. 3. Системы лазерного и сверхвысокочастотного (СВЧ) подслушивания.
	Гидроакустический сигнал	Гидроакустический датчик
	Акустоэлектрический сигнал	Радиоприемник специального назначения
	Движение губ	1. Визуально, в том числе оптическими приборами. 2. Телевизионная камера, в том числе с передачей по проводам и радиоканалу.
Разговор по телефону	Акустический сигнал	Аналогично п. 1.
	Электрический сигнал на линии	Параллельный телефон, прямое подключение, подключение через электромагнитный датчик, теле-фонная радиозакладка.
	ПЭМИН***	Специальные радиотехнические устройства
Разговор по радио-телефону	Акустический сигнал, электромагнитные волны и ПЭМИН	1. Аппаратура, аналогичная п. 1. 2. Специальные радиоприемные устройства.
Выпуск документа на бумажном носителе	Наличие документа	1. Визуально, в том числе с помощью оптических средств. 2. Фотографирование, в том числе с дистанционной передачей снимка. 3. Копирование.

5	Размножение документа на бумажном носителе	Следы на нижнем листе, копировальной бумаге или красящей ленте	Кража, а также визуально, в том числе с помощью специальной аппаратуры монохроматической «скользящей» подсветки.
		Шумы принтера	Специальная аппаратура акустического контроля.
		ПЭМИН от ЭВМ	Специальные радиотехнические и телевизионные устройства.
6	Почтовые отправления	Наличие корреспонденции	Прочтение со вскрытием и без вскрытия.
7	Выпуск документа на небумажном носителе	Наличие носителя	Копирование, вскрытие, несанкционированное использование ЭВМ
8	Изготовление документа на небумажном носителе	Изображение на дисплее	1. Визуально, в том числе с помощью оптических средств. 2. Фотографирование. 3. Видео- или телевизионные закладные устройства.
		ПЭМИН от ЭВМ и ее составных частей	Специальные радиотехнические устройства.
		Электрические сигналы в сетях	Аппаратные закладки.
9	Передача документов на небумажном носителе	Электромагнитные сигналы	Несанкционированное подключение, имитация пользователя.
* Закладное устройство (англ. secret intelligence device) – скрытно устанавливаемое техническое средство осуществления угрозы информации; ** ТФЛ – телефонная линия; *** ПЭМИН – побочные электромагнитные излучения и наводки, сопутствующие работе большинства электронных устройств (в том числе, ЭВМ различных модификаций) и некоторых средств оргтехники (телефоны, факсы и т. п.).			

Причины и условия утечки конфиденциальной информации имеют много общего. *Причины утечки*, как правило, связаны с несовершенством норм по сохранению информации на предприятии, а также с нарушением этих норм и отступлением от правил обращения с документами, техническими средствами, образцами продукции и другими материалами, содержащими конфиденциальную информацию. *Условия утечки* информации включают различные факторы и обстоятельства, складывающиеся на предприятии в процессе научной, производственной, отчетной, информационной и иной деятельности, которые создают предпосылки для утечки конфиденциальной информации.

Для каждого вида каналов утечки информации характерна своя специфика. Так, у человека слух является одним из важнейших по информативности органов чувств. Поэтому широкое распространение получили *акустические каналы утечки*

информации, в которых переносчиком информации выступает звук и особенно – человеческая речь, служащая естественным и наиболее распространенным способом обмена информацией между людьми. В настоящее время, несмотря на развитие различных средств и способов информационного обмена, доля речевой информации составляет около 80%. В этой связи становится понятным, почему одной из важнейших задач, решаемых при построении комплексной системы обеспечения безопасности защищаемого объекта, является защита речевой (акустической) информации.

Попытки перехвата (подслушивание) речевой информации ведутся с древнейших времен до наших дней, что объясняется рядом кардинальных специфических особенностей, присущих такой информации:

– *конфиденциальность* (так как нередко в устной форме делаются такие сообщения и отдаются такие распоряжения, которые не могут быть доверены никакому носителю);

– *оперативность* (так как информация может быть перехвачена в момент ее озвучивания);

– *документальность* (так как перехваченная неискаженная речевая информация является по существу документом с личной подписью того человека, который озвучил сообщение или распоряжение, что обусловлено современными методами анализа речи, позволяющими однозначно идентифицировать человеческую личность);

– *виртуальность* (так как по речи человека можно сделать вывод о его эмоциональном состоянии, личном отношении к сообщению и т. п.).

Защита акустической информации является затратным и сложным мероприятием. Поэтому на практике в учреждениях и фирмах целесообразно иметь специально выделенные помещения, защищенные от утечки информации по акустическим, электрическим и магнитным каналам. При этом надежный заслон должен быть поставлен следующим электромагнитным каналам утечки информации:

– *микрофонному эффекту*, возникающему в некоторых элементах электронных схем и обусловленному механическими воздействиями (звуком, сотрясениями, вибрациями и т. п.);

– *электромагнитному излучению низкой и высокой частоты*;

– *возникновению паразитной генерации различных усилителей*;

- взаимному влиянию проводов и линий связи, а также несанкционированному подключению к линиям и каналам связи;
- высокочастотному (ВЧ) навязыванию¹;
- утечкам по цепям питания и цепям заземления электронных схем;
- утечкам через элементы волоконно-оптических систем.

Чтобы противостоять визуально-оптическим и телевизионно-оптическим каналам утечки информации, необходимо решать с помощью инженерно-технических средств следующие основные задачи:

- охрана территорий;
- блокирование действий нарушителя;
- охрана внутренних помещений и наблюдение за ними;
- воспрепятствование несанкционированному визуальному надзору;
- нейтрализация излучений и наводок;
- охрана информационного оборудования и перемещаемых носителей информации;
- осуществление контролируемого доступа в защищаемые зоны;
- противопожарная защита.

Преобладающее большинство этих задач решается с привлечением визуальных и телевизионных методов и средств, сопряженных с оптическими и оптико-электронными системами, что позволяет, в частности, решать проблемы поиска, обнаружения и опознавания объектов в пространстве, а также определения их параметров, таких как пространственные координаты, размеры, скорость и направление перемещения.

В заключение следует дать некоторые разъяснения по поводу материально-вещественных каналов утечки информации, позволяющих получить сведения о выпускаемой продукции, ее составных частях, комплектующих элементах, дизайне и т. п. на различных этапах разработки и производства изделия. Серьезная информация может быть получена со свалки промышленного или коммерческого предприятия: из разорванных черновиков документов, отработанных копирок, заметок на полях деловых бумаг, а также из старых магнитных лент, небумажных машинных носителях и др. К подобным каналам утечки информации относятся

также промышленные отходы, собрав и проанализировав которые, можно получить данные об особенностях функционирования предприятия, его продукции, оказываемых услугах. Если отходы производства не утилизируются требуемым способом, то со свалки, которая не охраняется надлежащим образом, могут быть похищены макеты узлов, блоков и устройств, разрабатываемых на объекте защиты, что позволяет конкурентам достаточно полно определить тип продукции, выпускаемой предприятием, а также используемые материалы.

Защитные мероприятия, предотвращающие любую утечку информации по техническим каналам, позволяют исключить бесконтрольный выход конфиденциальной информации за пределы объекта или круга лиц, которым такая информация была доверена.

§ 1.2. Основные концептуальные положения защиты информации и главные аспекты информационной безопасности

Защита информации представляет собой целенаправленную деятельность собственников информации (государства, государственных и федеральных органов, предприятий, учреждений и организаций, коммерческих фирм, отдельных граждан и т. д.), направленную на исключение или существенное ограничение бесконтрольного и несанкционированного распространения (утечки) охраняемых и защищаемых сведений, а также различных видов воздействий на функциональные информационные процессы, реализуемые собственниками информации.

Режим защиты конфиденциальной информации устанавливается собственником информационных ресурсов или уполномоченным лицом в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Уровень технической защиты конфиденциальной информации и перечень необходимых мер защиты определяются дифференцированно по результатам обследования объекта защиты, с учетом соотношения затрат на организацию защиты информации и величины ущерба, который может быть нанесен собственнику информационных ресурсов.

Защита информации должна предусматривать ее сохранность от широкого круга различных угроз, реализуемых через технические каналы утечки информации, а также посредством несанкционированных и неправомерных воздействий.

¹ Под ВЧ навязыванием обычно понимают способ подслушивания, при котором в ТФЛ в сторону прослушиваемого телефона подаются ВЧ колебания от специального ВЧ генератора злоумышленника. Через элементы схемы ТФА, даже если трубка не снята, ВЧ колебания

Вместе с тем, в основе защиты информации лежит совокупность правовых форм деятельности ее собственника, организационно-технических и инженерно-технических мероприятий, осуществляемых с целью выполнения требований по сохранению защищаемых сведений и информационных процессов, а также мероприятий по контролю эффективности принятых мер защиты информации.

В общем виде основные аспекты информационной безопасности, представляющие собой систему взглядов на цели, способы обеспечения безопасности информации и средства ее защиты, должны отвечать на три главных вопроса:

- 1) что защищать?
- 2) от чего защищать?
- 3) как защищать?

С первым вопросом «что защищать?» связано понятие «информационный объект защиты». Второй вопрос «от чего защищать?» связан с расширением и конкретизацией понятия «угроза» применительно к конфиденциальной информации. И, наконец, с третьим вопросом «как защищать?» связано понятие «система защиты» информации. Вышеперечисленные вопросы и ответы на них можно представить в виде схемы, показанной на рис. 1.1.

Информационный объект защиты определяется как комплекс физических, аппаратных, программных и документальных средств, предназначенных для сбора, хранения, обработки и передачи конфиденциальной информации. При этом, чтобы выявить информационный объект защиты, необходимо:

1^a – выявить важнейшие информационные ресурсы, подлежащие защите, и выделить их из остальной информации;

1^b – оценить возможный ущерб от утечки любых конфиденциальных данных и провести классификацию информации по степени важности;

$1^в$ – определить все виды носителей информации, подлежащей защите;

$1^г$ – выявить возможные факторы уязвимости информации, подлежащей защите.

Угроза интерпретируется как потенциальная или реальная возможность неправомерного, преднамеренного или случайного воздействия на информационный объект защиты, что приводит к нарушению конфиденциальности информации (разглашение, утечка, несанкционированный доступ), ее достоверности

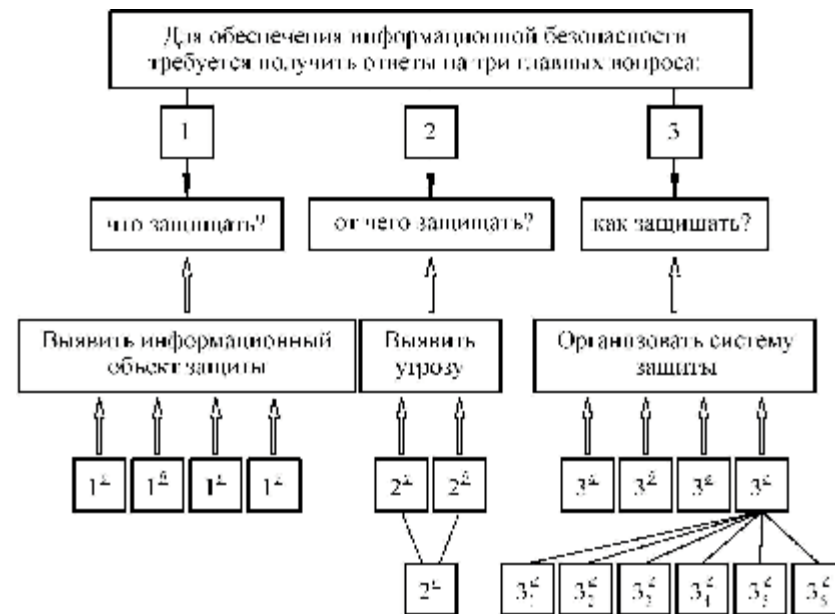


Рис. 1.1. Кардинальные составляющие процесса защиты информации

(фальсификация, подделка), целостности (искажение, ошибки, потери) и доступности (нарушение связи, воспреещение получения). Особо выделяются внутренние и внешние источники угроз, на базе которых строится модель угрозы, а именно:

2^a – *внутренние угрозы* (преднамеренные действия скрытого агента, преднамеренные и непреднамеренные ошибки администрации и персонала, работающего на объекте, а также технические средства обеспечения производственной и трудовой деятельности);

2^b – *внешние угрозы* (действия недобросовестных конкурентов, организованной преступности, а также отдельных лиц или групп из административно-управленческого аппарата, целью которых является добывание информации, относящейся к сфере коммерческой тайны, что следует отнести к “традиционным” угрозам, а как пример “нетрадиционных” внешних угроз можно рассматривать электромагнитную угрозу);

$2^в$ – *модель угрозы* (частная модель, исходной информацией для которой служит анализ оперативно-технических возможностей нарушителя по перехвату конфиденциальной информации

с объекта при использовании различных технических средств, а также сведения оперативного характера о конкурентах, обстановке в коллективе, случаях реального хищения информации и т. д.).

Система защиты определяется как комплекс мер и средств, а также деятельность на их основе, которые направлены на выявление, отражение и ликвидацию различных видов угроз безопасности информационных объектов защиты.

Принято различать следующие основные виды средств защиты:

$З^a$ – *нормативно-правовые средства защиты* – средства, включающие в себя законы и другие правовые акты, а также механизмы их реализации, регламентирующие информационные отношения в обществе;

$З^b$ – *морально-этические средства защиты* – нормы и правила поведения, направленные на обеспечение безопасности информации, не закрепленные законодательно или административно, но поддерживаемые в коллективах через традиции и механизм общественного мнения;

$З^в$ – *организационные средства защиты* – правила, меры и мероприятия, регламентирующие вопросы доступа, хранения, применения и передачи информации, вводимые в действие административным путем;

$З^г$ – *технические средства защиты* – комплексы специального физико-технического, аппаратно-программного и криптографического обеспечения, предназначенные для предотвращения утечки обрабатываемой или хранящейся информации путем исключения несанкционированного доступа к ней с помощью технических методов, способов и устройств съема конфиденциальной информации. Здесь следует особо выделить шесть следующих основных групп:

$З_1^г$ – техника, предназначенная для поиска, обнаружения и локализации «атакующих» технических средств подслушивания: диктофонов и спецмикрофонов, микропередатчиков, телефонных и телевизионных ретрансляторов;

$З_2^г$ – технические средства обеспечения скрытности передачи информации по радио-, проводным и волоконно-оптическим каналам связи;

$З_3^г$ – технические средства защиты от внешних излучений;

$З_4^г$ – технические средства, служащие постановщиками шумовых помех для радио-, акустической и виброакустической маскировки;

$З_5^г$ – вспомогательные технические средства (например, противодействующие «атаке» по линиям и цепям электропитания и заземления);

$З_6^г$ – технические средства защиты от ПЭМИН.

Вышеперечисленные кардинальные составляющие процесса защиты информации нуждаются в кратком пояснении. Прежде всего, следует подчеркнуть комплексный подход к обеспечению информационной безопасности, так как если какой-либо один компонент системы безопасности имеет изъяны, то, как показала практика, остальные компоненты не смогут в нужный момент противостоять действующим угрозам даже в случае значительного усиления предпринимаемых защитных мер.

В реальных условиях для обеспечения надежной защиты информации необходимо всесторонне изучить защищаемый объект, где циркулирует конфиденциальная информация, и обстановку, окружающую этот объект. Последнее обстоятельство объясняется тем, что на функционирование многих средств защиты информации могут влиять радиообстановка в районе защищаемого объекта, особенности его ландшафтной архитектуры, перепады температуры и т. д.

При изучении защищаемого объекта следует учитывать, что каждый объект имеет свою специфику. Однако при решении задач по защите информации часто приходится сталкиваться с достаточно похожими ситуациями. Это происходит, к примеру, по причине схожести организационных структур коммерческих фирм, типовых проектов зданий и типовых интерьеров помещений, а главное, задач, которые необходимо решить в результате разработки системы защиты информации.

К наиболее типичным задачам можно отнести:

– *необходимость защиты информации в специальном помещении, предназначенном для проведения конфиденциальных переговоров;*

– *необходимость защиты информации в служебном кабинете руководителя фирмы, его заместителей и других ответственных сотрудников фирмы;*

– *необходимость защиты информации в специальном помещении, предназначенном для обработки конфиденциальной информации средствами вычислительной техники;*

– *необходимость защиты ресурсов персонального компьютера каждого сотрудника от несанкционированного доступа;*

– необходимость защиты информации на абонентском участке ТФЛ (от ТФА до городской АТС);

– необходимость защиты информации на всем протяжении ТФЛ (от одного аппарата до другого, включая АТС и магистральный участок);

– необходимость оснащения службы безопасности фирмы поисковыми техническими средствами в объеме оптимального комплекта, исходя из задач службы безопасности и ее финансовых возможностей.

Изучение защищаемого объекта предполагает проведение инженерного анализа, в результате которого делаются выводы о наиболее уязвимых, с точки зрения защиты информации, местах строительных конструкций объекта, его внутренних помещений и установленных в них средств обработки, хранения и передачи конфиденциальной информации. Основой для инженерного анализа также служат итоги инструментальной проверки объекта, направленной на выявление с помощью спецоборудования естественных и искусственных каналов утечки информации.

Выявление естественных каналов утечки информации заключается в определении потенциальной возможности перехвата информации из помещений объекта. Эти каналы, существующие вне зависимости от действий нарушителя, объективно присутствуют на любом защищаемом объекте и обусловлены различными физическими процессами обработки и передачи информации.

Выявление искусственных каналов утечки информации заключается в обнаружении на объекте видео- и акустоэлектронных устройств и систем, принадлежащих нарушителю. Такие каналы создаются нарушителем специально с целью перехвата конфиденциальной информации и в случае их наличия неизбежно ведут к утрате этой информации.

Получив ответ на вопрос «что защищать?» и выполнив работу по раскрытию информационного объекта защиты на защищаемом объекте, необходимо узнать, от чего защищаться, т. е. необходимо узнать, какими силами и средствами может располагать противник, способный реализовать внутренние и внешние угрозы с целью перехвата конфиденциальной информации. Другими словами, для получения ответа на вопрос «от чего защищать?» необходимо выявить внутренние и внешние угрозы информационной

безопасности. При этом, говоря о внутренних угрозах, целесообразно перечислить главные условия, способствующие при этих угрозах неправомерному овладению конфиденциальной информацией:

– разглашение информации (излишняя болтливость сотрудников);

– несанкционированный доступ путем подкупа и склонения к сотрудничеству, навязанному нарушителем (злоумышленником);

– отсутствие на фирме надлежащего контроля и жестких условий обеспечения информационной безопасности;

– столкновение интересов различных личностей, групп и нелояльность некоторых сотрудников;

– изменение личных отношений между руководителями (владельцами);

– конфликты собственников, менеджеров и коллектива.

Конкретизируя внешние угрозы, нужно перечислить основные формы и методы недобросовестной конкуренции и противоправных действий криминальных лиц и групп:

1) «традиционные» угрозы силовых действий:

– экономическое подавление: срыв сделок и иных соглашений, доведение до хозяйственного паралича деятельности фирмы, рейдерские захваты, компрометация фирмы и ее руководства, шантаж руководителей фирмы;

– физическое подавление: ограбления и разбойные нападения на офисы, склады и грузы, угрозы физической расправы над руководителями фирмы и ведущими специалистами, убийства и захват заложников;

– информационное воздействие: проникновение в базы данных, подкуп и энергоинформационное воздействие на руководителей и сотрудников, копирование и продажа конфиденциальных документов, подслушивание телефонных переговоров и переговоров в помещениях, дезинформация;

– финансовое подавление: приведение к бюджетному дефициту, хищение финансов, коррупция и мошенничество;

2) электромагнитная угроза как образец современных «нетрадиционных» внешних угроз.

Электромагнитная угроза – это угроза подвергнуться электромагнитной атаке (ЭМА) с использованием сверхмощных генераторов сверхкоротких импульсов (СГСКИ).

Изначально источниками сильных импульсов электромагнитных излучений считались ядерные взрывы, в результате которых генерировались сверхмощные электромагнитные импульсы, приводившие к уничтожению или искажению и блокированию информации. В настоящее время СГСКИ, разработанные в стационарном и мобильном вариантах, сравнимы по своим параметрам со сверхмощными электромагнитными импульсами, возникающими при ядерных взрывах. Современные СГСКИ обеспечивают:

- субнаносекундные импульсы длительностью менее 10^{-9} с;
- формирование сверхкоротких импульсов с пиковой мощностью в десятки тераватт ($>10^{12}$ ватт);
- напряженность электрического поля в точке воздействия, достигающая 10 кВ/м и более.

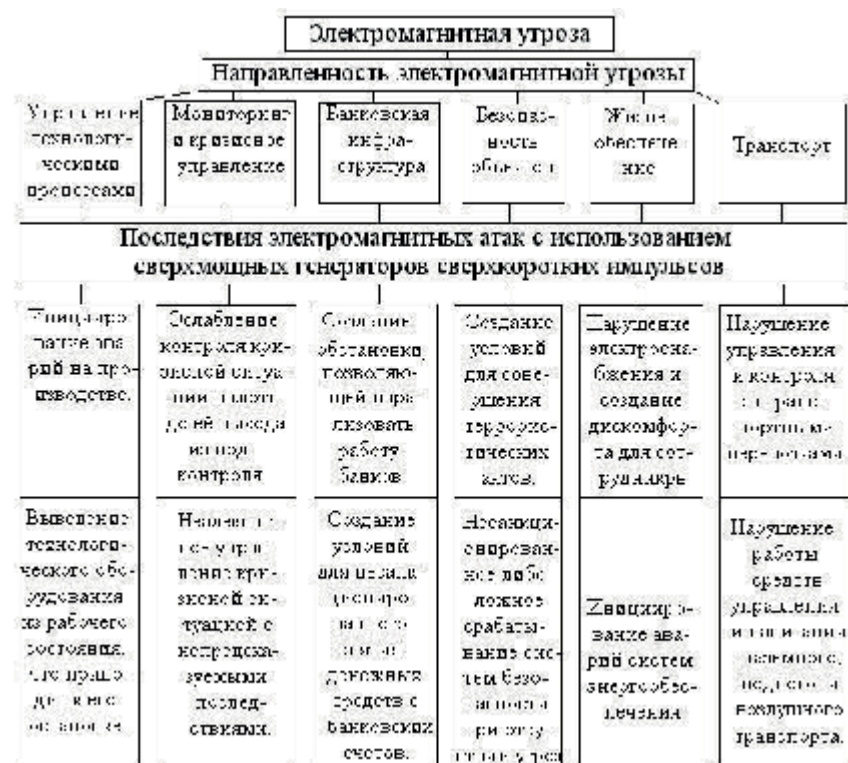


Рис. 1.2. Направленность электромагнитной угрозы и возможные последствия электромагнитных атак с применением СГСКИ

На рис. 1.2 представлены разносторонние воздействия и разная направленность электромагнитной угрозы, а также перечень возможных последствий электромагнитных атак.

Особенности ЭМА с использованием СГСКИ, отличающие их от «традиционных» способов нападения:

- возможность дистанционного воздействия на предмет атаки, что позволяет успешно применять СГСКИ из-за пределов контролируемых зон объектов;
- отсутствие явных демаскирующих признаков проявления угрозы ЭМА и очевидного наличия средств электромагнитного нападения;
- возможность поэлементной доставки средств нападения на объект и их последующей сборки в непосредственной близости от предмета атаки;
- отсутствие в действующем законодательстве юридической основы, предусматривающей административную или уголовную ответственность за проведение ЭМА.

Для целей эффективной защиты от ЭМА в последние годы разработаны меры противодействия согласно российскому ГОСТу.

После получения и анализа сведений, относящихся к внутренним и внешним угрозам, обычно переходят к следующему этапу работы, позволяющему дать ответ на вопрос «от чего защищать?», а именно – к разработке модели угрозы. Следует заметить, что в настоящее время также используется понятие «модель нарушителя», практически адекватное понятию «модель угрозы». Только основываясь на модели угрозы, можно правильно подобрать комплект защитного оборудования с учетом принципа разумной достаточности. Иначе говоря, сначала необходимо оценить возможные потери (ущерб), основываясь на оценках уровней риска и вероятности угроз, а затем, выбрав методы защиты, следует сопоставить размеры потерь, с размерами затрат на реализацию проекта защиты информации. Если затраты на эту реализацию намного превышают размеры потерь, то налицо явная нецелесообразность предложенного проекта защиты информации. Поэтому оценка экономической эффективности системы защиты обычно согласуется с итогом выполнения мероприятий, представленных на рис. 1.3.

Таблица 1.2

Состав и описание естественных каналов утечки информации, рассмотренных на типичном примере защиты кабинета руководителя фирмы	
Канал утечки информации	Описание канала утечки информации
Акустический	Мембранный перенос энергии информативных акустических сигналов через внутренние перегородки за счет их малой массы и слабого затухания сигналов
Акустический	Утечка информации за счет слабой акустической изоляции (щели у стояков системы отопления и возле закладных труб кабелей, неплотности двери и дверной коробки, вентиляция)
Вибрационный (виброакустический)	Утечка информации за счет продольных колебаний ограждающих конструкций и арматуры системы центрального отопления
Акустоэлектрический	Утечка информации за счет акустоэлектрического преобразования в приемнике линии радиотрансляции
Проводной	Съем информации с ТФЛ
ПЭМИН	Утечка информации, обрабатываемой на ПЭВМ, за счет паразитных излучений компьютера
ПЭМИН	Утечка информации за счет модуляции полезным сигналом электромагнитных полей, образующихся при работе бытовой техники

На основе результатов, приведенных в таблице, можно разработать модель угрозы информационной безопасности (табл. 1.3), где представлены технические возможности нарушителя по перехвату конфиденциальной информации из кабинета руководителя фирмы.

Получив ответ на вопрос «от чего защищать?», обычно переходят к *созданию системы защиты*, отвечающей в полной мере на вопрос «как защищать?». Такая система защиты информации должна эффективно функционировать и в повседневных условиях, и в критических ситуациях.

Комплексный характер системы защиты обеспечивается использованием правовых актов государственного и ведомственного уровня, организационных мер и технических средств защиты информации от различных внутренних и внешних угроз.

Правовые меры обеспечения безопасности и защиты информации служат основой порядка деятельности и поведения сотрудников всех уровней, а также определяют степень их ответственности за нарушения установленных норм и правил работы по обеспечению сохранности коммерческих секретов.

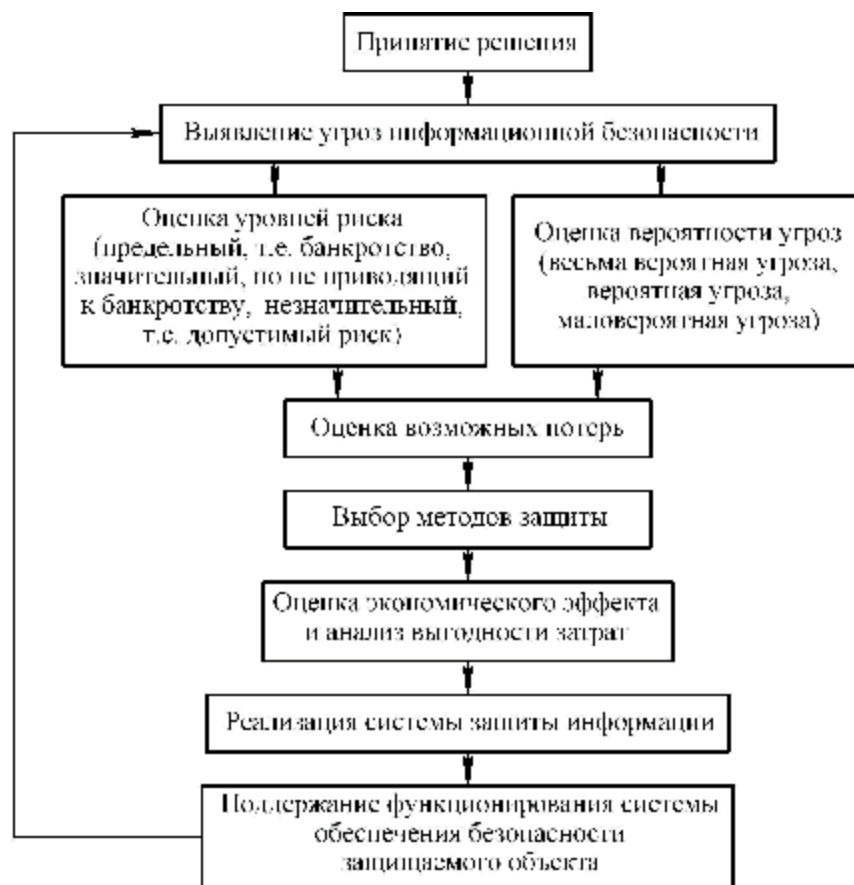


Рис. 1.3. Комплекс мероприятий по оценке уровня угроз и экономической эффективности проекта защиты информации

В качестве иллюстрации можно привести модель возможной угрозы информационной безопасности, когда возникла необходимость оснащения средствами защиты кабинета руководителя фирмы. При этом полагаем, что в результате инженерного анализа и инструментальной проверки в этом кабинете были выявлены возможные естественные каналы утечки информации, состав и описание которых приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.3

Модель возможной угрозы информационной безопасности.

Вид аппаратуры	Вариант использования	С про- никно- ванием на объект	За преде- лами объекта	Вероят- ность примене- ния
Спецмикрофоны	Радиомикрофоны, в том числе закладные	Да	Да	Вероятно
	Кабельные (проводные) микрофоны, внедренные с верхних помещений под подвесной потолок	Да	Нет	Мало- вероятно
Аппаратура перехвата телефонных переговоров	Специальные устройства, использующие в качестве канала передачи ТФЛ	Да	Да	Вероятно
	Специальные устройства, использующие в качестве канала передачи радиоканал	Да	Да	Вероятно
Сетевые системы	Передача по сети 220 В	Да	Да	Вероятно
Портативная звукозаписывающая аппаратура	Запись информации участниками переговоров	Да	Нет	Вероятно
Электронные стетоскопы	Проводные стетоскопические датчики	Да	Нет	Вероятно
	Радиостетоскопы	Да	Да	Вероятно
Аппаратура оптической разведки	Фото-, видеосъемка обстановки в помещении	Да	Да	Вероятно
Направленные микрофоны	Только при открытых окнах, форточках	Нет	Да	Мало- вероятно
Системы лазерного и СВЧ подслушивания	Съем информации с оконного стекла	Нет	Да	Маловероятно
Системы для перехвата ПЭМИН	Специализированные комплексы	Да	Да	Мало- вероятно

Организационные меры являются базисом для формирования службы безопасности коммерческого предприятия и создают условия для ее нормального функционирования.

Инженерно-техническая защита информации заключается в применении различных технических средств в интересах обеспечения информационной безопасности.

§ 1.3. Демаскирующие признаки объектов защиты информации

Приоритетной задачей, решаемой с использованием организационных и технических мер инженерно-технической защиты информации, является противодействие несанкционированному съему конфиденциальной информации путем перекрытия технических каналов утечки информации, представляющих собой совокупность объекта защиты, физической среды и технических средств разведки (промышленного шпионажа). При этом основополагающими признаками объекта защиты, прежде всего, служат демаскирующие признаки, параметры которых качественно и количественно характеризуют конкретный объект.

Демаскирующие признаки – это характерные опознавательные элементы и особенности деятельности объектов, выражающиеся в их распознавательных признаках и различных производственных проявлениях, позволяющие на основе разностороннего анализа вскрывать принадлежность, состав и продукцию изучаемых объектов и их составных частей, а также выявлять их функциональное назначение, цели и задачи. Другими словами, демаскирующие признаки – это отличительные особенности объектов разведывательных устремлений, позволяющие отличить объект негласных интересов от других, подобных ему.

Процесс получения информации об объекте с помощью технических средств разведки складывается из обнаружения объекта и его распознавания по характерным демаскирующим признакам. При этом под **обнаружением** в общем случае понимают выделение из совокупности информативных сигналов одного или нескольких специфических сигналов, отличающихся по своим характеристикам от наличествующего фона. Различие характеристик объекта и фона определяет контраст объекта, и чем он больше, тем выше вероятность обнаружения объекта.

При **распознавании** обнаруженный объект обычно относят к одному из известных классов объектов. Базисом распознавания служит определенный набор демаскирующих признаков. Распознавание объекта может производиться, в зависимости от полученной информации, по одному из признаков или группе признаков, причем существенное значение имеет то обстоятельство, какой демаскирующий признак определен и положен в основу распознавания.

Общие демаскирующие признаки объектов (рис.1.4) подразделяются на следующие:

- *опознавательные признаки;*
- *признаки деятельности;*
- *дополнительные признаки;*
- *прямые и косвенные признаки;*
- *качественные и количественные признаки.*

Основой *опознавательных признаков* (рис. 1.5) служат видовые характеристики объекта, физические поля и среды (сопутствующие работе объекта), материально-вещественные признаки объекта (как источника разведывательной информации), а также результаты его воздействия на окружающую среду. Эти признаки позволяют определить принадлежность объекта и характер его деятельности (радиотехническое или радиоэлектронное предприятие, авиационный завод и т. п.).



Рис. 1.4. Схема общих демаскирующих признаков объектов.

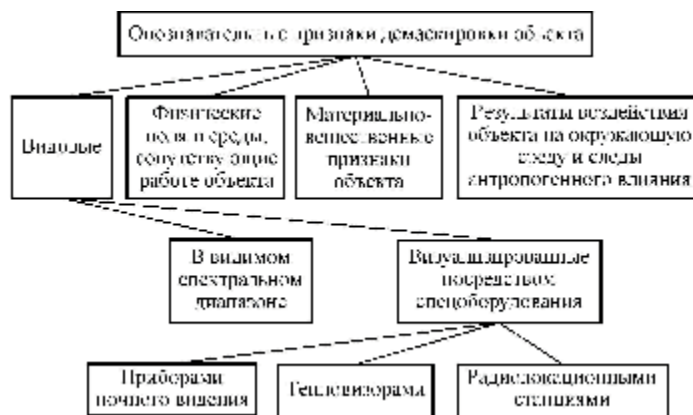


Рис. 1.5. Схема демаскирующих опознавательных признаков объекта

Видовые демаскирующие признаки объектов являются одними из наиболее информативных признаков из состава опознавательных признаков. Видовые характеристики объекта (форма, размеры, цвет, контраст, тень и т. п.) могут быть определены как в видимом спектральном диапазоне, так и в ближнем и среднем инфракрасном диапазоне, а также в тепловом и радиолокационном.

К основным видовым характеристикам объекта, прежде всего, следует причислить форму, размеры и цвет объекта. Особенно это относится к искусственным объектам, для которых характерны правильные геометрические формы, зачастую стандартные габаритные параметры и типичный цвет. Характер расположения составных частей объекта и их количество позволяют определять простые и сложные объекты. Ряд объектов легко обнаруживается по их тени – это воздушные телефонные и телеграфные линии, антенные системы, проволочные заграждения и т. д. К соотношениям, определяющим эффективность обнаружения объекта, следует отнести его контраст, размеры и т. п.

Необходимо отметить, что характеристики объекта по-разному проявляют себя в видимом, инфракрасном, тепловом и радиолокационном спектральных диапазонах. Комбинация таких характеристик позволяет оптимальным способом выявить объект негласных интересов и это условие также необходимо учитывать при организации комплексной защиты объекта.

Видовые характеристики объекта могут быть получены посредством:

- визуального наблюдения с помощью оптических приборов;
- фотографирования объекта;
- изображения объекта, получаемого с помощью телевизионных систем наблюдения и систем видеозаписи;
- визуализированных тепловых изображений объекта в инфракрасном диапазоне;
- визуализированных изображений объекта в радиолокационном диапазоне.

Переходя к рассмотрению *физических полей и сред, сопутствующих работе объекта*, следует отметить, что непосредственное измерение таких полей позволяет определить их интенсивность, диапазон излучений, несущую частоту, вид модуляции, спектральные, поляризационные и фазовые параметры и т. п.

В частности, предприятия, разрабатывающие лазерные системы, можно обнаружить по характерным когерентным световым полям, получаемым при юстировке таких систем. Радиотехнические предприятия – по излучениям, сопутствующим настройке элементов радиоаппаратуры и целых радиокомплексов. Военно-морские базы – по особенностям распространения, отражения и затухания звуковых волн, генерируемых в водных средах.

Особо информативными являются физические поля, сопутствующие работе радиоэлектронных предприятий. Так, перехват излучений, получаемых при настройке отдельных элементов и блоков радиоэлектронных систем, позволяет путем их анализа определить возможный тип разрабатываемой аппаратуры – приемная, передающая, радиолокационная и т. п. Кроме того, демаскирующие признаки радиоэлектронных систем позволяют отнести их производителей к конкретной группе предприятий, например, сотовой связи либо радиорелейных линий и т. п. (групповые признаки). Наличие специфичных, своеобразных демаскирующих признаков (мощность и направление излучения, его спектральные, поляризационные и фазовые характеристики и т. д.) дает возможность провести эффективное распознавание конкретного объекта (индивидуальные признаки).

Составной частью опознавательных признаков являются *материально-вещественные признаки*, позволяющие определить соответствие наблюдаемого объекта искомому, а также выявить наличие интересующих нарушителя компонентов или фрагментов, входящих в объект разведывательных интересов. Источниками информации здесь могут стать отбракованные образцы выпускаемой продукции, комплектующие изделия, оборудование и макеты, используемые материалы и отходы производства. К материально-вещественным признакам демаскировки объекта также относят его технические характеристики – механические, электрические, технологические и т. п.

К опознавательным признакам, демаскирующим объект, относятся *результаты его воздействия на окружающую среду*, а также *следы антропогенного влияния*. Для получения информации о профиле предприятия и выпускаемой им продукции используются заборы проб воздуха, земли и воды, а также измерения радиоактивного излучения объекта. Интересующую нарушителя

информацию можно получить по следам деятельности добывающих или производственных предприятий – шахт, рудников, объектов военного строительства и т. п. Демаскирующими признаками, кроме того, являются создаваемые объектами границы тени, дым, и следы на твердом грунте, песке и снеге, оставленные при перемещении механизмов и групп людей в местах расположения объектов. Опознавательные признаки в данном случае позволяют на основе анализа оперативно-технических характеристик объекта определить класс или тип объекта, а также его производственную принадлежность.



Рис. 1.6. Схема демаскирующих признаков деятельности

Признаки деятельности (рис. 1.6) из общих демаскирующих признаков объекта дают интерпретацию составу, состоянию, намерениям и динамике действий персонала объекта.

Получение и изучение признаков деятельности, демаскирующих объект, связано, как правило, с анализом организационно-производственной деятельности объекта в определенном временном интервале. Так, изменение режима работы объекта, количественная и качественная замена работающего на предприятии персонала, увеличение или уменьшение поставок комплектующих и изменение их составляющих, рост или снижение объема внешних связей и перемена их характера могут свидетельствовать о разворачивании или свертывании производства или изменении выпускаемой продукции.

Градации *дополнительных признаков* (рис. 1.7) из состава общих демаскирующих признаков объекта определяются свойствами объектов, их взаимным положением и взаимодействием со средой. Эти обстоятельства обуславливают относительную устойчивость большинства таких признаков, их стабильность, объективность и независимость проявления.



Рис. 1.7. Схема демаскирующих дополнительных признаков

Демаскирующие дополнительные признаки по продолжительности сохранения делятся на постоянные, периодические и эпизодические.

Постоянными признаками являются: форма, размеры, контуры, расположение на местности, взаимосвязь со средой. Это легко проиллюстрировать рассмотрением происхождения объекта – естественное оно или искусственное. Объекты естественного происхождения характеризуются произвольными формами, размерами и контурами, а также отсутствием строгой упорядоченности в расположении на местности. Объекты искусственного происхождения отличаются специфическими, часто стандартными формами, типовыми размерами и контурами, четкой привязкой к местности и отчетливо проявляющимися элементами взаимосвязи с окружающей средой.

Периодическими признаками являются: детали, фрагменты объекта, его цветовые оттенки, результаты воздействия.

К *эпизодическим* признакам относится появление отдельных образцов спецоборудования и выпускаемой продукции на стендовых площадках, полигонах, складах хранения и т. п.

К демаскирующим дополнительным признакам относятся такие типичные для объектов характеристики, как соотношение их линейных размеров (габаритных параметров):

- точечные (компактные) объекты;
- протяженные (линейные) объекты;
- плоскостные (площадные) объекты.

Точечные (компактные) объекты имеют малые размеры и приблизительно равное отношение длины к ширине (отдельные постройки и сооружения). Большинство точечных (компактных) объектов являются элементами других более сложных объектов.

К *протяженным (линейным) объектам* обычно относят такие, у которых длина не менее чем в три раза превосходит ширину (железнодорожный транспорт, грузовые автомобили с прицепом или полуприцепом, мосты, шоссейные дороги и т. п.). Причисление какого-либо объекта к данному классу определяется абсолютным значением линейных размеров.

Плоскостные (площадные) объекты имеют большие размеры. К ним относятся: населенные пункты, аэродромы, базы, порты и т. д.

Местоположение объекта (согласно рис. 1.7 в составе демаскирующих дополнительных признаков), являясь географической характеристикой данного объекта, определяет его место в пространстве по отношению к другим объектам (находящимся в тесной взаимосвязи или несвязанных с ним). Так, промышленные объекты нередко обнаруживаются вблизи источников сырья; вредные производства возводятся на удалении от населенных пунктов; секретные предприятия располагаются в сравнительно глухих местах и т. п. Признаки местоположения и взаимосвязи объектов часто проявляются совместно и используются как индикаторы демаскирующих дополнительных признаков.

По составу объекты делятся на простые (одиночные) и сложные (групповые).

Простой объект, как правило, является частью сложного объекта. Например, простые объекты на территории аэродрома – это склады, ангары, стоянки техники и т. п.

Сложный объект – это упорядоченные совокупности простых объектов, объединенных целевым назначением. Например, аэродром в целом, полигон, танкодром и т. д.

По статистическим свойствам (рис. 1.7) демаскирующие дополнительные признаки также могут быть *детерминированными* и *вероятностными*.

Возвращаясь к схеме общих демаскирующих признаков объектов (см. рис. 1.4), необходимо отметить, что *прямые демаскирующие признаки* проявляются в таких свойствах объектов, которые непосредственно передаются и воспринимаются наблюдателем. Так, обычно различают геометрически определенные формы и структуры объектов (трактуя их как искусственные сооружения) и неопределенные формы и структуры

(природные объекты – поля, перелески и т. п.). Размеры, тон и цвет объекта также служат его прямыми демаскирующими признаками. При этом нередко получают размеры наблюдаемого объекта путем их сравнения с размерами известного объекта. Прямые признаки, присущие самим изучаемым объектам, обеспечивают в совокупности непосредственное распознавание объекта с определенной степенью достоверности. Чем больше вскрыто прямых признаков, тем достовернее распознавание объекта.

Косвенные признаки указывают на скрытое наличие объекта или какую-то его характеристику, не определяемую по прямым признакам. Например, подвод к горному образованию эксплуатируемой линии электропередачи и как бы обрывающейся там указывает на то, что в данной местности может располагаться военный объект или скрытый объект горнодобывающей промышленности. Упорядоченное скопление судов у берега приводит к выводу о наличии там закамouflированной пристани; тоннаж судов и их внешний вид позволяет судить как о типе пристани (товарная или пассажирская), так и о прибрежной глубине и т. д. Состояние объекта (движущийся или неподвижный), а также следы и результаты антропогенной деятельности также обычно относят к косвенным признакам.

Завершая рассмотрение схемы общих демаскирующих признаков объектов, вкратце заметим, что по характеру эти признаки можно разделить на качественные и количественные.

Качественные признаки характеризуют сравнительные показатели, выражающие в совокупности существенную определенность объекта.

Количественные признаки – это показатели, поддающиеся прямому измерению и выражающие внешнюю определенность объекта.

Сопоставление вышеуказанных признаков позволяет отнести исследуемый объект к определенному классу, виду и типу, т. е. произвести обнаружение и распознавание данного конкретного объекта.

ГЛАВА 2

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЗАЩИТЫ АКУСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

§ 2.1. Акустическая разведка и звук. Основные физические характеристики акустических волн и восприятие аудиоинформации человеком

Акустическая разведка, основанная на использовании акустических каналов утечки информации, обеспечивает с помощью своих технических средств перехват конфиденциальной информации путем приема и анализа акустических сигналов инфразвукового, звукового и ультразвукового диапазонов, распространяющихся в воздушной или иной среде от источников (объектов) наблюдения.

Акустическая разведка делится на *акустическую речевую разведку* (получение информации, содержащейся в произносимой или воспроизводимой речи), когда техническими средствами обеспечивается перехват речевой информации, и *акустическую сигнальную разведку* (получение информации, содержащейся в акустических сигналах, сопутствующих работе, например, вооружений и военной техники и т. п.), когда с помощью технических средств обеспечивается определение тактико-технических характеристик этой техники, как при штатной эксплуатации, так и при испытаниях.

Физическим базисом акустической разведки является звук. Понятие звука обычно ассоциируется со слухом и, следовательно, с физиологическими процессами в ушах, а также с психофизиологическими процессами в мозгу (там происходит переработка ощущений, поступающих в органы слуха). Применительно к восприятию акустической информации следует отметить, прежде всего, предельные возможности нашего органа слуха, чувствительность которого превосходит во многих отношениях свойства лучшей акустоэлектрической техники.

Позволяющее человеку воспринимать аудиоинформацию (от лат. *Audire* – слышать), наше ухо как слуховой анализатор состоит из периферической части (собственно уха), проводниковой части

(волокон слухового нерва вместе с проводящими путями мозга) и центральной части (височной области коры больших полушарий головного мозга).

Необходимо заметить, что собственно ухо включает в себя *наружное ухо*, *среднее ухо* и *внутреннее ухо*. При этом между наружным и средним ухом находится передающая звуковые колебания барабанная перепонка – упругая, тонкая ($\approx 0,1$ мм) соединительно-тканная пластинка, работающая как приемник давления.

У человека звуки улавливаются ушной раковиной (наружное ухо) и через слуховой канал уха поступают на барабанную перепонку, колебания которой передаются затем на систему слуховых косточек (среднее ухо). Слуховые косточки образуют рычаг, один конец которого переходит в улитку лабиринта (внутреннее ухо), где создаются колебания волокон основной перепонки. Эти колебания в свою очередь вызывают возбуждение в чувствительных нервных окончаниях так называемого *кортиева органа*, которое затем по волокнам слухового нерва и проводящим путям мозга передается в кору его больших полушарий.

Таблица 2.1

Звуковые частоты, воспринимаемые слуховым анализатором человека

Источник звука	Усредненная граничная частота, Гц	
	нижняя	верхняя
Мужской голос	100	7 000
Женский голос	200	9 000
Шум шагов	100	10 000
Скрипка	200	14 000
Аплодисменты	150	15 000

Кортиев орган, в котором сосредоточены нервные волокна, находится в спиральном лабиринте улитки. Для выравнивания давления воздуха в среднем ухе (по отношению к внешней среде) служит *евстахиева труба*, представляющая собой узкий канал, соединяющий носоглотку с барабанной полостью среднего уха. Эти особенности чувственного восприятия на слух можно проиллюстрировать схемой слухового анализатора человека, представленной на рис. 2.1.

Слуховой анализатор позволяет человеку воспринимать звуки в обширной частотной области частот (табл. 2.1) и в области изменения интенсивности звука, различая его по силе, высоте тона и окраске. Кроме того, слуховой анализатор позволяет узнавать направление на источник звука в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а также оценивать расстояние до источника звука.

Наиболее точно человек определяет направление звука в горизонтальной плоскости. Достигается это благодаря *бинауральному эффекту*, согласно которому звуки от одного и того же источника к правому и левому уху приходят неодинаковыми. Они могут отличаться по интенсивности, фазе колебания и времени прихода, что приводит к возникновению в центральной нервной системе психофизиологического суждения о направлении звука. При этом главную роль в локализации направления на источник звука играют частоты от 1 до 3,2 кГц. Для звуков более низких частот, например 200 – 300 Гц и ниже, определить направление прихода звука бывает трудно, так как длина звуковых волн на низких частотах велика и они, свободно огибая голову, создают примерно одинаковые звуковые давления на барабанные перепонки левого и правого уха.

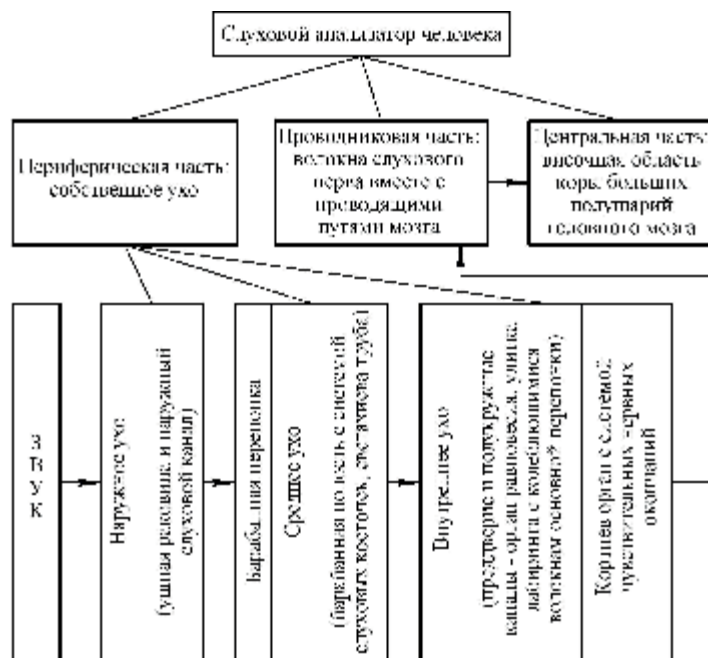


Рис. 2.1. Схема слухового анализатора человека

Звуковые колебания, регистрируемые слуховым анализатором человека, лежат в *диапазоне слышимости* от 16 до 20 000 Гц при наиболее эффективном восприятии звукового давления барабанной перепонкой, соответствующем частоте 1 000 Гц. Звуковые колебания с частотой более высокой, чем 20 кГц, называются **ультразвуком**, а колебания с частотой менее 16 Гц называются **инфразвуком**.

При рассмотрении звука можно выделить три основных аспекта:

– во-первых, должен существовать источник звука, причем всегда таким источником являются колебания тела независимо от его агрегатного состояния (твердое, жидкое или газообразное); это могут быть струна, стержень, пластина, столб воздуха в трубе, мембрана в воде и т. д.;

– во-вторых, энергия¹ от источника звука переносится в виде *продольных звуковых волн* (называемыми также *волнами давления*, или *упругими волнами*); упругие волны неразрывно связаны с материальной средой, они обусловлены смещениями частиц вещества и могут существовать лишь в газообразных, жидких или твердых средах в отличие от электромагнитных волн, которые распространяются и в вакууме; распространение упругих волн подчиняется законам механики Ньютона и для них справедлив *принцип суперпозиции*, согласно которому, *если тело совершает несколько колебаний, то эти колебания складываются независимо друг от друга, т. е. не влияя друг на друга*;

– в-третьих, необходим регистратор звука, в качестве которого служит ухо или специальный прибор, причем подавляющее большинство приемных устройств также подчиняется принципу суперпозиции, который, строго говоря, применим в том случае, когда свойства принимающей системы не зависят от того, находится ли она уже под действием принимаемого возбуждения или нет (а эта независимость практически всегда имеет место, *если воздействие не становится слишком сильным*).

¹ **Звуковая энергия** W есть энергия частиц среды, в которых распространяется звук; как и любая другая энергия, выражается в *джоулях* (Дж; J) или *эргах* (эрг; erg); при этом 1 эрг = 10^{-7} Дж.

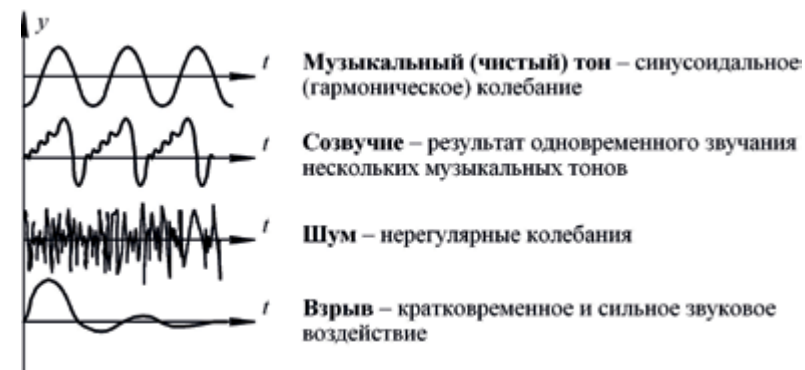


Рис. 2.2. Генерируемые звуки (изменение относительной интенсивности во времени)

Применительно к генерируемым звукам следует различать *музыкальный тон*, *созвучие*, *шум* и *взрыв* (рис. 2.2).

Уточняя понятие «созвучие», необходимо подчеркнуть, что это – не синусоидальное колебание, однако оно возникает в результате сложения нескольких синусоидальных колебаний. Тон самой низкой частоты в созвучии является **основным тоном**, который определяет общую высоту звука. Остальные тона (**обертоны**) определяют «окраску» (**тембр**) звука, создаваемого звуковым источником.

Конкретизируя понятие «шум» следует отметить, что это – смесь многочисленных колебаний с близкими по величине амплитудами и с самыми разнообразными частотами.

Между колебаниями источника звука и звуковыми ощущениями существует взаимосвязь, представленная в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Взаимосвязь между колебаниями источника звука и звуковыми ощущениями

Характеристика колебаний источника звука	Звуковые ощущения
Амплитуда	Громкость
Частота	Высота звука
Форма	Тембр

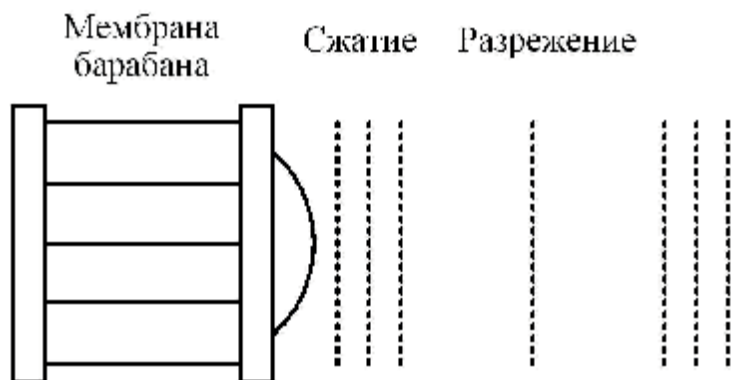


Рис. 2.3. Продольная волна от колеблющейся мембраны барабана

Рассмотрим в качестве примера принцип работы колеблющейся мембраны барабана (рис. 2.3), которая создает попеременно сжатие и разрежение в соседствующей с ней области воздуха, благодаря чему образуется продольная волна, распространяющаяся в воздухе и воспринимаемая органами слуха как звук.

Вообще говоря, любое локальное нарушение равновесия среды создает распространяющееся в ней возмущение, т. е. бегущую волну. В нашем случае, когда мембрана покоится, давление, оказываемое ей на воздух, однородно и постоянно. Смещаясь, например, в сторону положительных x , мембрана создает возмущение, сжимая прилегающий к ней слой воздуха. Это положение неустойчиво, так как воздух расширяется, сжимая в свою очередь соседний слой. В результате происходит постепенное распространение волны, причем сжатия сменяются разрежениями¹, а давление оказывается зависящим от координаты x и времени t .

Таким образом, каждая точка среды (вещества), по которой идет продольная звуковая волна, совершает очень небольшие по размаху колебания, в то время как сама волна распространяется

¹ С физических позиций, в газах, а значит и в воздухе, где молекулы находятся в постоянном движении, волна может распространяться лишь в том случае, когда расстояние между последовательными разрежениями и сжатиями велико по сравнению с длиной свободного пробега молекул (средним расстоянием, которое проходит молекула между двумя столкновениями). В противном случае молекулы за один пробег заполняют область с пониженной плотностью, и связанное с волной возмущение рассасывается. Для нас это обстоятельство принципиального значения не имеет.

на значительные расстояния, перенося звуковую энергию из одной области пространства в другую, но не перенося при этом вещество.

К продольной звуковой волне применимы понятия частоты (периода) колебаний, длины волны и скорости распространения.

Частота колебаний f – это число сжатий (разрежений), проходящих в единицу времени через данную точку пространства. Частота обратно пропорциональна **периоду колебаний** T звуковой волны: $f = 1/T$.

Длина звуковой волны λ – это расстояние, на которое распространяется возмущение за один период, т. е. расстояние между двумя соседними областями сжатия (или разрежения).

Скорость звуковой волны v – это скорость, с которой движется область сжатия (разрежения) в данной материальной среде (воздух, вода и др.); она равна произведению длины волны на частоту: $v = \lambda f$.

Зная частоту колебаний и скорость звука, легко вычислить длину звуковой волны $\lambda = v/f$. Например, в воздухе при температуре $T^\circ_C = 20^\circ\text{C}$ и скорости звука $v = 343,6$ м/с для частоты $f = 16$ Гц длина волны на границе диапазона слышимости составляет 21,5 м, а для $f = 20$ кГц – всего 17,2 мм.

Продольную волну в воздухе часто представляют графически как зависимость плотности молекул воздуха от пространственной координаты (рис. 2.4), что можно трактовать как колебания давления (волну давления), т.е. как звук.

Следует отметить, что при наличии звука колебательные движения совершает не только источник звука (колеблющееся тело), но также и приемник звука, например, барабанная перепонка или мембрана микрофона. Колеблется и сама среда, через которую



Рис. 2.4. Графическое представление областей сжатия и разрежения, создаваемых колеблющейся мембраной барабана

распространяется продольная звуковая волна, причем каждая частица такой среды совершает лишь небольшие колебания около положения равновесия. При этом энергия, излучаемая источником звука, передается в виде энергии колебаний от одной частицы среды к другой, образуя *звуковое поле*.

Распространение звуковой волны в пространстве связано со свойствами среды и соотношения между длиной волны и размерами встречающихся на ее пути объектов.

Если скорость распространения колебаний одинакова по всем направлениям (изотропная среда), а размеры источника звука малы, то от него распространяется во все стороны *сферическая* звуковая волна. Строго говоря, сферическая волна соответствует источнику точечного размера, т. е. представляет абстракцию. Однако уже на расстоянии от источника звука, в десять и более раз превышающем его линейные размеры, фронт волны может считаться сферическим с достаточным для большинства практических задач приближением при источнике любых размеров.

Если источник звука находится очень далеко от аудионаблюдателя, то фронт распространения колебаний захватывает область наблюдения частью сферической поверхности очень большого радиуса. Ее можно с достаточным приближением считать плоскостью, и тогда говорят, что источник излучает *плоскую*, или *направленную*, звуковую волну, которая также является удобной идеализацией.

Направленную звуковую волну можно получить и по-другому, например, с помощью крупноразмерного вогнутого параболического рефлектора (отражателя), располагая в его фокусе малоразмерный источник звука. Но и тогда волна не будет строго плоской, из-за конечных размеров источника, технологических погрешностей изготовления рефлектора, а главное – из-за принципиально неустранимого явления *дифракции*, проявляющейся в том, что звуковая волна *огibt* встречающиеся на своем пути препятствия, если их размеры одного порядка с длиной этой волны.

От препятствий больших размеров (стена дома, скала и т. п.) звуковые волны *отражаются* по закону отражения, согласно которому, как и для световых волн и лучей, *угол падения равен углу отражения*. В данном случае (малость длины волны по сравнению

с масштабом препятствий) используются представления о звуковых лучах. По этому методическому признаку из общей теории звука выделяется раздел лучевой акустики, или *геометрической акустики* (аналогично геометрической оптике).

Своеобразно звуковая волна проходит из одной среды в другую. При всей сложности этого явления оно подчиняется общему правилу – звук переходит из одной среды в другую с иным затуханием, если их плотности резко отличаются, например, когда звук идет из воздуха в воду.

§ 2.2. Звуковое поле, создаваемое открытой с обеих сторон трубой, как физический базис групповых трубчатых направленных микрофонов

Повышенный интерес в настоящее время вызывает звуковое поле, создаваемое открытой с обеих сторон трубой, диаметр которой мал по сравнению с ее длиной. Такие трубы служат источниками звуков в органах, флейтах и многих других духовых музыкальных инструментах. Кроме того, физика звукового процесса в этих трубах служит основой функционирования групповых трубчатых направленных микрофонов.

Звук в открытой трубе производится за счет колебаний частиц воздуха в виде *продольных стоячих волн*, образующихся в воздушном столбе внутри трубы. При этом стоячая волна, имеющая наименьшую частоту, называемую **основной частотой**, определяет общую высоту звука, издаваемого открытой трубой. Графическое представление стоячей волны в общем виде дано на рис. 2.5.

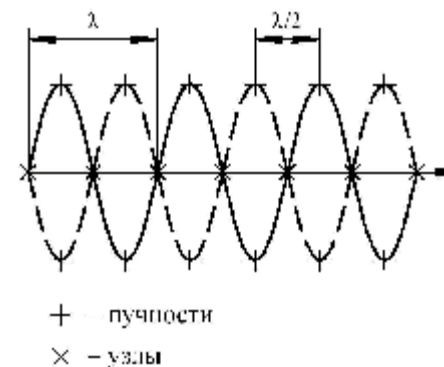


Рис. 2.5. Графическое представление стоячей волны (в общем виде)

Стоячая волна на обоих концах каждой открытой с обеих сторон трубы заканчивается точками, где амплитуда колебаний частиц воздуха максимальна для основной частоты. Эти точки с максимальными амплитудами называются **пучностями**. Другими словами, для таких труб стоячая волна имеет пучности смещений частиц воздуха на обоих концах открытой трубы. Между двумя пучностями должна быть хотя бы одна точка, где полностью отсутствует колебательное движение частиц воздуха – так называемая узловая точка или **узел** стоячей волны.

Такая картина колебательного процесса внутри открытой с обеих сторон трубы, где в стоячей волне между двумя пучностями располагается один узел, полностью соответствует основной частоте звуковой волны, производимой этой трубой. Поскольку в открытой трубе расстояние между соседними пучностями равно половине длины волны, то в этом случае внутри открытой трубы длиной L умещается только половина длины волны, т. е. $L = \lambda/2$, как показано на рис. 2.6.

Основная частота колебаний воздуха в открытой трубе определяется из соотношения:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{2L}, \quad (2.1)$$

где v – скорость звука в воздухе.

Необходимо подчеркнуть, что если в открытой трубе исключить условие создания звука, т. е. не дать возникнуть внутри нее стоячей волне в воздушном столбе, но при этом направить на открытую трубу некоторое созвучие, полученное вне этой трубы, то наилучшие условия прохождения звуковой волны через трубу будут обеспечиваться только для волны или тона с

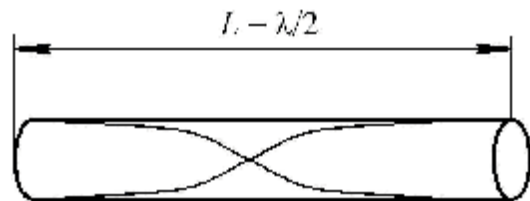


Рис. 2.6. Графики внутри открытой с обеих сторон трубы, показывающие амплитуду смещения колеблющихся частиц воздуха в стоячей волне для основной частоты

основной частотой. Другими словами, открытая труба, действуя избирательно, выполняет селекцию (выделение) звуковой волны с основной частотой из смешения разных звуков (акустического спектра).

Таким образом, открытая с двух сторон труба может и издавать и выделять звук с основной частотой, находящейся в прямой пропорциональной зависимости (2.1) от скорости звука в воздушной среде.

§ 2.3. Скорость звука. Понятие о громкости звука и его высоте. Диапазоны слышимости людей и животных

При распространении продольных звуковых волн в воздушной среде именно воздух контактирует с ушами, а точнее – с барабанными перепонками, и его колебания заставляют колебаться эти перепонки. Однако, как уже говорилось, звуковые волны могут распространяться и в других средах. Удары двух камней друг о друга пловец может слышать, находясь под водой, поскольку колебания передаются уху водой. Если приложить ухо к земле, то можно услышать, например, топот конницы или приближение поезда. В этом случае земля не воздействует непосредственно на барабанные перепонки, но продольную волну, распространяющуюся в земле, тем не менее, называют звуковой волной, поскольку ее колебания приводят к колебаниям воздуха в наружном ухе. Очевидно, *звук не может распространяться в отсутствие вещества*. Например, нельзя услышать звон колокола, находящегося в вакууме или внутри сосуда, из которого откачен воздух.

Скорость звука в различных веществах различна (табл. 2.3). В твердых телах она определяется формулой:

$$v = \sqrt{\frac{E_{Ю}}{\rho}}, \quad (2.2)$$

где $E_{Ю}$ – модуль упругости (модуль Юнга), ρ – плотность среды (в данном случае – твердого вещества).

Таблица 2.3

Скорость звука в различных веществах при $T_C^\circ = 20^\circ\text{C}$

Вещество	Скорость звука в среде	
	абсолютная, м/с	относительно воздуха
Воздух	343,6	1,0
Гелий	1 005	2,9
Водород	1 300	3,8
Вода пресная	1 440	4,2
Морская вода	1 560	4,5
Тяжелая древесина	$\approx 4\,000$	$\approx 11,6$
Стекло	$\approx 4\,500$	$\approx 13,1$
Железо и сталь	$\approx 5\,000$	$\approx 14,6$
Алюминий	$\approx 5\,100$	$\approx 14,8$

Аналогично в воздухе и других газообразных средах, подвергаемых сжатию со всех сторон, а также в жидкостях:

$$v = \sqrt{\frac{E_{сж}}{\rho}}, \quad (2.3)$$

где $E_{сж} = -\frac{\Delta p_0}{\Delta V/V}$ – модуль всестороннего сжатия (называемый также модулем объемной упругости), Δp_0 – изменение давления p_0 воздуха или иной газообразной среды, вызывающее изменение объема ΔV этой среды по отношению к первоначальному объему V , а знак минус означает, что $\Delta V < 0$, т. е. объем уменьшается с увеличением давления.

Следует отметить, что в воздухе при $T_C^\circ = 0^\circ\text{C}$, и нормальном атмосферном давлении звук распространяется со скоростью примерно 331,6 м/с. При повышении температуры скорость звука возрастает в соответствии с формулой:

$$v = \frac{331,6\sqrt{T_C^\circ + 273}}{\sqrt{273}} = 20,07\sqrt{T_C^\circ + 273} \text{ м/с}, \quad (2.4)$$

где T_C° – температура в $^\circ\text{C}$.

Формулу (2.4) можно полагать достаточно точной. Вместе с тем, для удобства проведения предварительных ориентировочных оценок целесообразно выполнить простые преобразования:

$$v = \frac{331,6\sqrt{T_C^\circ + 273}}{\sqrt{273}} = 331,6\sqrt{1 + \frac{T_C^\circ}{273}} \approx 331,6\left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{T_C^\circ}{273}\right) \approx (331,6 + 0,6 \cdot T_C^\circ), \quad (2.5)$$

т. к. для любых малых α имеется приближенная формула:

$$\sqrt{1 + \alpha} \approx 1 + \frac{1}{2} \cdot \alpha$$

Таким образом, формула (2.4) для предварительных оценок может быть заменена на приближенную формулу (2.5): $v \approx (331,6 + 0,6 \cdot T_C^\circ)$ м/с. Тогда становится видно, что при изменении температуры на 1°C скорость звука изменяется примерно на 0,6 м/с.

Пример 2.1. В два идентичных свистка органного типа, представляющих собой открытые с обеих сторон трубы одинаковой длины L и диаметра, вдуваются порознь: со скоростью v_1 – подогретый до температуры воздух и со скоростью v_2 – воздух, охлажденный до температуры, почти равной температуре жидкого воздуха ($T_C^\circ = -180^\circ\text{C}$). Первый свисток издает звук основной частоты f_1 ровно на октаву выше (т. е. удвоенной частоты), по сравнению со вторым (f_2). Какова должна быть температура T_C° воздуха, вдуваемого в первый свисток?

Решение. На основании соотношения (2.1) имеем $f_1 = v_1/2L$ и $f_2 = v_2/2L$, но так как $f_1 = 2f_2$, то и $v_1 = 2v_2$. С другой стороны, воспользовавшись формулой (2.4), найдем: $v_2 = 20,07\sqrt{T_{C,2}^\circ + 273} = 20,07\sqrt{-180 + 273} = 193,5$ м/с. Следовательно, $v_1 = 2 \cdot 193,5 = 387$ м/с, и из той же формулы (2.4) получим: $T_C^\circ = (v_1/20,07)^2 - 273 = (387/20,07)^2 - 273 = 99^\circ\text{C}$. При этом, чем выше температура воздуха, вдуваемого в свисток, тем выше частота звука, издаваемого свистком.

Для аудиооператора, воспринимающего звуки на слух, сразу становятся очевидными две характеристики звука, а именно – его громкость и высота. Они характеризуют ощущения, возникающие в сознании слушателя. При этом громкость имеет прямую связь с интенсивностью, пропорциональной квадрату амплитуды звуковой волны, а высота звука показывает, является ли он высоким,

как у скрипки, или низким, как звук большого барабана. Однако каждой из этих субъективных характеристик соответствует величина, измеряемая физическими методами.

Физической величиной, характеризующей *высоту звука*, является *частота колебаний* f звуковой волны. *Чем меньше частота, тем ниже высота звука, а чем больше частота, тем звук выше.*

Диапазоном слышимости у людей называется частотный диапазон от 16 Гц до 20 000 Гц, воспринимаемый человеческим ухом; причем в этом диапазоне разговорная речь занимает условный частотный участок от 200 Гц до 4000 Гц.

Известно, что могут наблюдаться небольшие индивидуальные отклонения от диапазона слышимости 16 – 20 000 Гц. Общая тенденция состоит в том, что с возрастом люди начинают хуже слышать высокие частоты и верхний предел их диапазона слышимости может понизиться до 10 000 Гц и даже ниже. Это обстоятельство следует учитывать при подготовке аудиооператоров.

Звуковые волны, частоты которых лежат вне диапазона слышимости, могут достигать человеческих ушей, однако, как правило, они не воспринимаются ими. Вместе с тем, звуковые волны с частотами, превышающими 20 кГц и называемые ультразвуком, воспринимаются многими животными. Так, дельфины могут слышать звуки высотой примерно до 250 кГц, летучие мыши – до 100 кГц, а собаки – до 50 кГц. Последнее обстоятельство является особенно важным, поскольку для служебных, дрессированных собак можно подавать команды с помощью ультразвукового свистка (совершенно неслышного для людей).

Звуковые волны, частоты которых лежат ниже диапазона слышимости человека (т.е. меньше 16 Гц), называемые инфразвуком, также воспринимаются некоторыми животными. В частности, слоны и тигры слышат и издают звуки в инфразвуковом диапазоне. Кашалоты испускают инфразвуковые импульсы, чтобы парализовать больших кальмаров, являющихся для них пищей.

Источниками инфразвука служат землетрясения, удары грома, извержения вулканов, а также волны, возникающие при вибрациях тяжелых станков и другого оборудования. Производственные вибрации, порождающие инфразвук, могут быть особенно опасными для рабочих и служащих, потому что воздействие

инфразвуковых волн (хотя их и не слышно) способно нанести вред человеческому организму. Эти низкочастотные волны вызывают в организме человека явления резонансного типа, сопровождающиеся движением и раздражением его внутренних органов, что весьма опасно для здоровья людей.

§ 2.4. Математическое описание звуковых волн

Энергия, переносимая через среду продольными звуковыми волнами от источника звука, передается в виде энергии колебаний от одной частицы среды к другой. Чтобы наблюдать за ее распространением необходимо в некоторой фиксированной точке пространства регистрировать изменения во времени соответствующей характерной величины. Будем считать, что для наблюдателя, находящегося в точке с координатой x_0 , эта величина в момент времени t_0 принимает значение z .

Допустим, что возмущение не изменяется в процессе распространения (например, не затухает), а лишь перемещается с постоянной скоростью v в положительном направлении оси x ; тогда величина z имеет одинаковые значения в точках x в моменты времени t , удовлетворяющие соотношению $x = x_0 + v(t - t_0)$, или $t - x/v = t_0 - x_0/v$ (рис. 2.7).

Функция $z(x, t)$, характеризующая данное явление, зависит лишь от величины $t - x/v$, так как она принимает одни и те же значения для любых x и t при постоянной величине $t - x/v$, т. е.

$$z(x, t) = F\left(t - \frac{x}{v}\right).$$

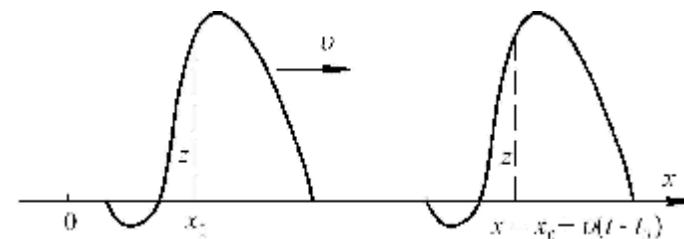


Рис. 2.7. Распространение возмущения: существовавшее в момент времени t_0 в точке с координатой x_0 возмущение z распространяется со скоростью v и достигает в момент времени t точки с координатой $x = x_0 + v(t - t_0)$

Если распространение волны происходит в обратную сторону, то

$$z(x, t) = F\left(t + \frac{x}{v}\right).$$

При одновременном распространении в одной среде волн, бегущих в противоположных направлениях, получается результирующее возмущение

$$z(x, t) = F_1\left(t - \frac{x}{v}\right) + F_2\left(t + \frac{x}{v}\right).$$

Среди всех возможных видов возмущений особенно большое значение имеют *синусоидальные (косинусоидальные)* колебания около некоторого среднего положения, поскольку, с одной стороны, возмущения иных видов можно рассматривать как суперпозицию таких колебаний¹, а с другой стороны, продольная звуковая волна представляет собой именно одномерную синусоидальную волну, распространяющуюся вдоль оси x .

Рассмотрим акустическую волну, излучаемую плоской мембраной, совершающей синусоидальные колебания $z = A \sin 2\pi t/T$ с **амплитудой** A . На расстоянии x от начала координат эта волна будет иметь вид

$$z = A \sin \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{v}\right), \quad (2.6)$$

где величина z может в равной степени интерпретироваться и как *смещение некоторой плоскости* среды, и как *изменение давления или плотности в некотором сечении*, параллельном плоскости

мембраны. Аргумент $\frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{v}\right) = \varphi$ синусоидальной функции называется ее **фазой**.

¹ Согласно теореме Фурье, любая функция (математические условия, которым должна удовлетворять эта функция, выполняются во всех физических задачах) может быть представлена с какой угодно точностью в виде суммы синусоидальных и косинусоидальных функций с соответственно подобранными амплитудами, периодами и начальными фазами. При этом если исходная функция периодична (с периодом T), то периоды слагающих синусов и косинусов находятся в простом кратном отношении $T, T/2, T/3, T/4, \dots$ (представление в виде *ряда Фурье*). Если же функция не периодична, то в разложении содержатся не только кратные, но и все возможные периоды (представление в виде *интеграла Фурье*). Практически весьма хорошее приближение получается обычно при ограничении небольшим числом членов ряда Фурье.

Значение z зависит, очевидно, от выбора начала отсчета времени t и координаты x . Поэтому для нескольких волн, имеющих одни и те же амплитуды и периоды, значение z в конкретной точке и в конкретный момент времени может быть различно. Чтобы учесть это обстоятельство, удобно записать выражение (2.6) в более общей форме:

$$z = A \sin \left[\frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{v}\right) + \varphi_0 \right],$$

где слагаемое φ_0 носит название начальной фазы. Если начальные фазы всех волн совпадают или мы имеем дело с одной волной, то можно положить $\varphi_0 = 0$ и сохранить для синусоидальной волны вид (2.6).

Вид функции (2.6) показывает, что она с периодом T периодична по времени. Кроме того, она обладает периодичностью и по аргументу x . Если дать x приращение $\lambda = vT$, то значение функции не изменится:

$$z = A \sin \frac{2\pi}{T} \left((t+T) - \frac{x+vT}{v} \right) = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} + 1 - \frac{x}{vT} - 1 \right) = A \sin \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{v} \right),$$

Поскольку через промежуток времени T состояние исследуемой среды повторяется, то в каждый данный момент времени длине волны λ соответствует расстояние, разделяющие одинаковые состояния среды, например два последовательных максимума величины z .

Выражение (2.6) можно записать и по-другому:

$z = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$ после чего, введя **круговую частоту** $\omega = 2\pi/T$ и **волновое число** $\nu = 2\pi/\lambda$, получим:

$$z = A \sin (\omega t - \nu x). \quad (2.7)$$

Величина νx в каждый момент времени характеризует сдвиг фаз в точке x относительно начала координат; в рассматриваемом случае это сдвиг фаз между колебаниями в точке x среды и колебаниями мембраны.

Наконец, если вместо параметра ω ввести частоту $f = 1/T = \omega/2\pi$, то

$$z = A \sin (2\pi f t - \nu x).$$

Волновое число ν связано с изменением фазы $\varphi = \Omega t - \nu x$ в зависимости от расстояния x в данный момент времени как

$$\nu = - \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)_t,$$

а круговая частота Ω выражается через изменение фазы φ во времени в данной точке в виде

$$\Omega = \left(\frac{\partial \varphi}{\partial t} \right)_x.$$

Скорость распространения возмущения $v = \Omega/\nu$ носит название фазовой скорости. Это та скорость, с которой должен перемещаться наблюдатель для того, чтобы в каждый момент времени видеть колебание в одной фазе, т. е. $\Omega(t - x/v) = \text{const}$; волна при этом представляется неподвижной.

Поскольку смещение z продольной звуковой волны направлено вдоль направления распространения волны, то z параллельно координате x и представляет собой *смещение мельчайших частиц среды относительно положения их равновесия*. Вместе с тем, продольные звуковые волны часто называют **волнами давления**¹.

Следует подчеркнуть, что изменение давления обычно легче измерять, чем смещение. Кроме того, применительно к продольной звуковой волне в области ее «сжатия» (там, где молекулы находятся ближе друг к другу) давление выше нормального, тогда как в области разрежения оно – ниже.

Графическое представление звуковой волны в воздухе в виде функций смещения и давления в зависимости от пространственной координаты x приведено на рис. 2.8.

Заметим, что волна смещения отличается по фазе от волны давления на четверть длины волны (или на 90°), причем там, где давление достигает максимума или минимума, смещение равно

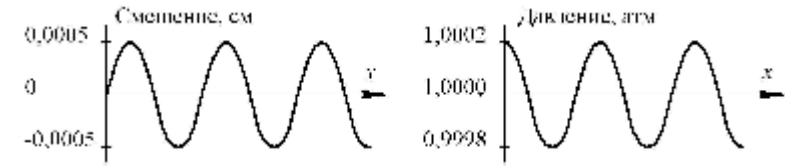


Рис. 2.8. Графическое представление звуковой волны через смещение и давление

нулю, а где изменение давления равно нулю, смещение максимально или минимально. Эта особенность проявляется при сравнении выражения для смещения z и формулы для звукового давления p .

Из определения модуля всестороннего сжатия $E_{\text{сж}}$ следует, что

$$\Delta p_0 = -E_{\text{сж}} \frac{\Delta V}{V}.$$

Но поскольку звуковое давление p – это давление, *дополнительно возникающее* в среде при прохождении через нее звуковых волн, т. е. *отклонение давления от нормального значения p_0 в отсутствие*

волн, то фактически $p = \Delta p_0 = -E_{\text{сж}} \frac{\Delta V}{V}$.

С учетом сказанного рассмотрим слой жидкости или газа, через который проходит продольная волна. Пусть слой расположен на координатном отрезке от x_1 до x_2 , имеет толщину $X = x_2 - x_1$, площадь S и объем $V = XS$. В результате изменения давления $\Delta p_0 = p$ в волне этот объем изменится на величину $\Delta V = S \cdot \Delta X$, где ΔX – изменение толщины слоя благодаря его сжатию или растяжению. При этом не будем забывать, что ΔX может интерпретироваться и как смещение частиц среды, т. е.

$$\Delta X = A \sin \omega t - \nu x \quad (2.8)$$

согласно выражениям (2.6) и (2.7).

Таким образом, имеем $p = -E_{\text{сж}} \frac{S \cdot \Delta X}{S \cdot X} = -E_{\text{сж}} \frac{\Delta X}{X}$. Для большей

точности необходимо перейти к пределу при $X \rightarrow 0$; тогда

$$p = -E_{\text{сж}} \frac{\partial \Delta X}{\partial x},$$

где используется частная производная, поскольку ΔX является функцией как x , так и t . Так как смещение носит синусоидальный

¹ По определению, звуковое давление p – это давление, *дополнительно возникающее* в среде при прохождении через нее звуковых волн. Основная единица измерения давления в системе СИ – *паскаль* (Па; Pa), который равен давлению, вызываемому силой 1 ньютон (Н; N), равномерно распределенной по нормальной к ней поверхности площадью 1 м². В свою очередь, 1 Н равен силе, придающей телу массой 1 кг ускорение 1 м/с² в направлении действия силы; поэтому 1 Па = 1 Н/м² = 1 кг/(м•с²). Внесистемные единицы: *бар* (bar) и *микробар* (1 бар = 106 мкбар = 105 Па), а также атмосфера (атм; atm) и *миллиметр ртутного столба* (мм рт. ст.; mm Hg), причем 1 атм. = 760 мм рт. ст. = 1,013 бар = 1,013•10⁵ Па.

характер, определяемый выражением (2.8), то, взяв частную производную для отыскания p , получим:

$$p = E_{\text{сж}} A v \cos(\omega t - vx) = p_m \cos(\omega t - vx). \quad (2.9)$$

Таким образом, давление изменяется косинусоидально и отличается от смещения, меняющегося синусоидально, на четверть длины волны (или по фазе на 90°), что и требовалось подтвердить. Поскольку согласно выражению (2.3): $v = \sqrt{\frac{E_{\text{сж}}}{\rho}}$,

а $v = 2\pi/\lambda = 2\pi/\omega T = 2\pi f/\omega$, то произведение

$$E_{\text{сж}} A v = 2\pi \rho f A = p_m \quad (2.10)$$

называется **амплитудой давления**; она указывает максимальное и минимальное значения, которых достигает давление в продольной звуковой волне при отклонении от нормального давления окружающей среды.

§2.5. Интенсивность (сила) звука

Громкость звука связана с ощущением, возникающим в сознании человека. Громкость также связана с физической величиной – интенсивностью звуковой волны.

Интенсивность звука I – величина, равная отношению потока dP звуковой энергии¹ через поверхность, перпендикулярную направлению распространения звука, к площади dS этой поверхности: $I = dP/dS$ (Вт/м²; W/m²). Иначе говоря, интенсивность определяется как энергия, переносимая волной за единицу времени через единичную площадку. Прежнее название интенсивности – *сила звука*. Строгое выражение, связывающее интенсивность I звуковой волны с ее амплитудой A , имеет вид:

$$I = 2\pi^2 \rho v f^2 A^2, \quad (2.11)$$

откуда следует, что интенсивность пропорциональна квадрату амплитуды волны: $I \sim A^2$.

Звуковая волна, идущая свободно во все стороны от малоразмерного источника звука, будучи трехмерной, имеет

сферическую форму и называется сферической волной. По мере своего распространения эта волна распределяется по все большей площади, поскольку площадь поверхности сферы равна $4\pi R^2$, т. е. пропорциональна квадрату ее радиуса R , который с распространением волны непрерывно возрастает.

Из закона сохранения энергии следует, что по мере увеличения площади поверхности сферы $4\pi R^2$ амплитуда звуковой волны A и интенсивность $I \sim A^2$ должны убывать.

Рассмотрим две точки пространства, где у распространяющейся звуковой волны, переносящей энергию dW , можно зафиксировать радиусы R_1 и R_2 .

Если за время dt постоянной является мощность источника звука $\frac{dW}{dt}$, во всех направлениях этим источником поток $P = \frac{dW}{dt}$, то интенсивность в точке на сфере радиуса R_1 будет равна $I_1 = \frac{P}{4\pi R_1^2}$, а в точке на сфере радиуса R_2 – соответственно $I_2 = \frac{P}{4\pi R_2^2}$. Отсюда, взяв отношение этих интенсивностей, получим:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{R_1^2}{R_2^2}. \quad (2.12)$$

Таким образом, имеем закон обратных квадратов, который справедлив для звуковых, световых и других типов волн. Здесь следует подчеркнуть, что у находящегося на открытом воздухе источника звука, от которого звуковая волна распространяется свободно во всех направлениях, интенсивность звука уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния: $I \sim 1/R^2$, а амплитуда A звуковой волны уменьшается обратно пропорционально расстоянию, т. е. $A \sim 1/R$ (так как $I \sim A^2$).

Рассмотрим пример расчета потока звуковой энергии от малоразмерного источника.

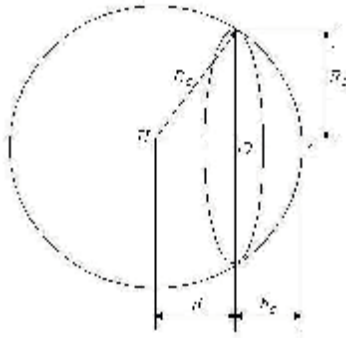
Пример 2.2. Сферическая звуковая волна распространяется свободно от малоразмерного источника звука I , находящегося на перпендикуляре к плоскости круга радиуса $R_k = 0,5$ м, причем этот перпендикуляр проходит через центр O данного круга. Полагая, что затухание звуковых волн пренебрежимо мало, найдем величину потока энергии P_k , проходящего через площадь, ограниченную

¹ Поток звуковой энергии (звуковая мощность) P определяется как величина, равная отношению звуковой энергии dW , проходящей через поверхность, к интервалу времени dt за которое эта энергия проходит: $P = dW/dt$; основная единица измерения – *Ватт* (Вт; W).

таким кругом, если в его центре, т. е. в точке O , отстоящей от источника звука на расстоянии $d = 1$ м, интенсивность звука равна $I_O = 0,03$ эрг/(с/см²).

Примечание. 1 эрг = 10^{-7} Дж = 10^{-7} Вт/с.

Напомним, что площадь выпуклой поверхности шарового сегмента равна $2\pi R_c h_c$, где R_c – радиус шара, а h_c – стрелка шарового сегмента.



Решение. Поскольку затухание звуковых волн не учитывается, искомый поток энергии P_k будет равен потоку энергии P_c , проходящему через площадь S_c выпуклой поверхности соответствующего шарового сегмента радиуса R_c и высотой (стрелкой) h_c (см. рис.): $P_k = P_c = I_A \cdot S_c$, где I_A – интенсивность звуковой волны в точке A , а $S_c = 2\pi R_c h_c$. Таким образом, $P_k = 2\pi R_c h_c I_A$. Далее, из закона обратных квадратов имеем $I_A / I_O = d^2 / R_c^2$, откуда получаем $I_A = I_O \cdot d^2 / R_c^2$. Кроме того, $R_c = \sqrt{d^2 + R_k^2}$, а $h_c = R_c - d = \sqrt{d^2 + R_k^2} - d$. В результате, выполняя последовательные преобразования и подставляя численные значения, получаем:

$$P_k = 2\pi \cdot d^2 \cdot I_O \cdot \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + (R_k/d)^2}}\right) = 1,99 \cdot 10^{-5} \text{ Вт} \approx 2 \cdot 10^{-5} \text{ Вт}.$$

В реальных условиях имеет место и дополнительное затухание звука, обусловленное в значительной мере его поглощением в среде, которое связано с необратимым переходом звуковой энергии в другие формы энергии (в основном, в тепловую).

На пороге слышимости для человеческого уха любой источник звука в воздухе характеризуется интенсивностью: $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м².

Преобразуя формулу (2.11), связывающую интенсивность звуковой волны с амплитудой смещения (2.10), перепишем выражение для I через амплитуду давления p_m :

$$I = 2\pi^2 \nu \rho f^2 A^2 = 2\pi^2 \nu \rho f^2 \left(\frac{p_m}{2\pi \nu f}\right)^2 = \frac{p_m^2}{2\nu \rho}$$

Отсюда видно, что *интенсивность и звуковое давление связаны между собой квадратичной зависимостью*. Например, при увеличении звукового давления в два раза, интенсивность возрастает в четыре раза. Из последней формулы также следует, что интенсивность I , измеряемая через давление, не зависит от частоты f . Таким образом, *используя приборы, измеряющие изменение давления, можно сравнивать непосредственно интенсивности звуков, имеющих различные частоты*. Такое сравнение невозможно сделать с помощью какого-либо прибора, измеряющего незначительные перемещения молекул воздуха.

Пример 2.3. Оценим чувствительность человеческого уха на пороге слышимости при $T_C^\circ = 0^\circ \text{C}$, определив величину максимального смещения A молекул воздуха (причем для воздуха $\rho = 1,29$ кг/м³) при распространении звуковой волны с частотой 1000 Гц, для которой человеческое ухо обладает наибольшей чувствительностью. Определим также максимальное изменение давления p_m в рассматриваемой звуковой волне, воспринимаемой человеческим ухом на пороге слышимости.

Решение. Из выражения (2.13) для I следует, что $A = \frac{\sqrt{I_0 / 2\nu \rho}}{\pi f}$, где значение ν находится из формулы (2.5): $\nu = 20,07 \sqrt{273} = 331,6$ м/с; поэтому $A = \frac{\sqrt{10^{-12} / 2 \cdot 331,6 \cdot 1,29}}{3,14 \cdot 1000} \approx 10^{-11}$ м.

Из того же выражения (2.13) найдем:

$p_m = \sqrt{2\nu \rho I_0} = \sqrt{2 \cdot 331,6 \cdot 1,29 \cdot 10^{-12}} = 2,9 \cdot 10^{-5}$ Па = $2,9 \cdot 10^{-10}$ атм. Все это подтверждает высокую чувствительность человеческого уха. Оно может улавливать колебания молекул воздуха, смещения которых приближаются по величине к диаметру атома (около 10^{-10} м).

§ 2.6. Уровень интенсивности звука (уровень громкости по шкале децибел)

Слуховой анализатор человека способен воспринимать звуки с интенсивностью от 10^{-12} Вт/м² (порог слышимости) до 1 Вт/м² (так называемый порог болевого ощущения). Человек может слышать и более интенсивные звуки, однако при этом он будет испытывать боль. Это огромный диапазон интенсивностей. Крайние значения такого диапазона различаются в 10^{12} раз. Поэтому есть все основания полагать, что главным образом из-за большой ширины диапазона воспринимаемых интенсивностей *та величина, которую человек ощущает и определяет как громкость, не прямо пропорциональна интенсивности.*

Действительно, чем больше интенсивность, тем звук громче. При этом, как показывает практика, для того чтобы создать звук в два раза большей громкости, чем исходный, требуется звуковая волна, интенсивность которой будет больше интенсивности первоначальной волны в десять раз. Это утверждение справедливо в первом приближении для любого уровня громкости. Например, среднестатистический человек воспринимает звуковую волну интенсивностью 10^{-5} Вт/м² как звучащую в два раза громче, чем волна интенсивностью 10^{-6} Вт/м² и в четыре раза громче, чем волна, имеющая интенсивность 10^{-7} Вт/м². Из-за такого соотношения между субъективным ощущением громкости и физически измеряемой величиной интенсивности любые уровни интенсивности звука определяют обычно, используя *логарифмическую шкалу*. Единицей этой шкалы является бел (Б; В), но чаще используют **децибел** (дБ; dB), который равен одной десятой **бела** (1 дБ = 0,1 Б). Эта единица измерений весьма удобна, так как минимальный прирост громкости, воспринимаемый человеческим ухом, примерно равен 1 дБ (прил. 1).

Уровнем интенсивности (уровнем громкости по шкале децибел) β любого звука называется умноженный на 10 десятичный логарифм отношения интенсивности данного звука I к интенсивности звука на пороге слышимости I_0 :

$$\beta = 10 \lg \frac{I}{I_0}. \quad (2.14)$$

Уровень интенсивности (уровень громкости по шкале децибел) на пороге слышимости равен 0 дБ, т. е. $\beta = 10 \cdot \lg(10^{-12}/10^{-12}) = 10 \cdot \lg 1 = 0$. Соотношение (2.14)

Таблица 2.4

Интенсивность (Вт/м²) звука от различных источников и воспринимаемый человеком уровень громкости по шкале децибел (дБ)

Источник звука	Интенсивность, Вт/м ²	Уровень громкости, дБ
Любой звук на пороге болевого ощущения	1	120
Интенсивное уличное движение	10^{-5}	70
Обычный разговор (на расстоянии 0,5 м от него)	$3,2 \cdot 10^{-6}$	65
Шепот (на расстоянии около 1 м)	$(1 - 3) \cdot 10^{-10}$	20 – 25
Шум листвы	10^{-11}	10
Любой источник звука на пороге слышимости	10^{-12}	0

отражает тот факт, что чувствительность слухового анализатора к звуку (восприимчивость уха) меняется как логарифм интенсивности звука (закон Вебера – Фехнера для акустики).

В обобщенном виде **закон Вебера – Фехнера**, действие которого распространяется на восприятие как акустической, так и оптической (зрительной) информации, имеет следующую формулировку: *«прирост ощущения пропорционален логарифму отношения энергий сравнимых раздражений».*

В табл. 2.4 приведены интенсивности (в Вт/м²) и уровни громкости по шкале децибел для некоторых часто встречающихся звуков.

Ниже приведены три примера, иллюстрирующие особенности восприятия звуков аудиооператором на слух.

Пример 2.4. Определим, во сколько раз возрастет интенсивность звука подслушиваемого разговора, если аудиооператор зарегистрировал увеличение на 3 дБ уровня громкости этой беседы?

Решение. Из формулы (2.14) при $\beta = 3$ имеем $I/I_0 = 10^{3/10} = 1,995$, т. е. увеличение на 3 дБ уровня громкости подслушиваемого разговора соответствует возрастанию интенсивности звука практически в два раза.

Пример 2.5. Для слухового анализатора среднестатистического человека, способного различать разницу уровней громкости в 1 дБ, найдем отношение амплитуд двух звуков, уровни громкости которых различаются на эту величину.

Решение. По условию задачи, имеем: $\beta_1 = 10 \lg(I_1/I_0)$ и $\beta_2 = 10 \lg(I_2/I_0)$, причем $\beta_1 - \beta_2 = 1 = 10 \lg(I_1/I_0) - 10 \lg(I_2/I_0) = 10 \lg(I_1/I_2)$. В то же время, из формулы (2.13) следует, что $I_1 = 2\pi^2 \nu r f^2 A_1^2$ и $I_2 = 2\pi^2 \nu r f^2 A_2^2$. Тогда, взяв соответствующее отношение, получим $10 \lg(I_1/I_2) = 10 \lg(A_1^2/A_2^2) = 1$, откуда $A_1/A_2 = \sqrt{10^{0,1}} = 1,12$.

Пример 2.6. Для аудиооператора, находящегося на расстоянии $d_1 = 50$ м от собеседников, оценим (в дБ) возможность подслушивания обычного спокойного разговора, ведущегося на открытом воздухе в безветрие. Отражением от поверхности земли и от других материальных объектов пренебрегаем.

Решение. Согласно данным табл. 2.4, обычному спокойному разговору на расстоянии $d_2 = 0,5$ м от собеседников соответствует интенсивность звука $I_2 = 3,2 \cdot 10^{-6}$ Вт/м². Тогда на основании закона обратных квадратов (2.12) на расстоянии 50 м интенсивность звука того же разговора будет равна $I_1 = \frac{d_2^2}{d_1^2} I_2 = \left(\frac{0,5}{50}\right)^2 \cdot 3,2 \cdot 10^{-6} = 3,2 \cdot 10^{-10}$ Вт/м². Применяя формулу (2.14) для этого случая, получим: $\beta = 10 \lg(I_1/I_0) = 10 \lg(3,2 \cdot 10^{-10}/10^{-12}) = 10 \lg 320 = 25$ дБ. Вновь воспользовавшись табл. 2.4, увидим, что аудиооператор на расстоянии 50 м от собеседников будет воспринимать их спокойный разговор как шепот на расстоянии около 1 м.

§ 2.7. Громкость, измеряемая в фонах

Приведенные в табл. 2.4 характеристики звукового поля представляют собой физические величины, которые объективно существуют и, следовательно, могут быть измерены. Вместе с тем, *громкость – это сила звука, воспринимаемая человеком субъективно*; она зависит от слуха и является физиологической характеристикой. Кроме того, при одинаковом давлении на ушную барабанную перепонку громкость звука гармонических колебаний различной частоты различна, то есть *на разных частотах одинаковую громкость могут иметь звуки разной интенсивности*.

Данное обстоятельство привело к тому, что условились оценивать громкость звука какой-либо частоты, сравнивая ее с громкостью чистого тона частотой 1000 Гц. Частота 1000 Гц была выбрана потому, что для тона с этой частотой, как показывает опыт, человеческое ухо обладает наибольшей чувствительностью. Громкость звука при этом измеряется в *фонах* (фон; рһon), а под уровнем громкости в фонах понимают *уровень равногромкого с исследуемым звуком чистого тона на частоте 1000 Гц, выраженный в децибелах*. Другими словами, громкость тона любой

Таблица 2.5

Громкость (в фонах) некоторых часто встречающихся звуков	
Источник звука	Громкость, фон
Шум в вагоне метро при большой скорости	90
Крик	80
Приглушенный разговор	40
Тихая улица	30
Тиканье часов	10

частоты определяется в сравнении звуковых давлений на барабанную перепонку данного звука и чистого тона с частотой 1000 Гц, воспринимаемого как звук той же громкости.

Таким образом, принимая за единицу уровня громкости 1 фон, имеем:

$$\beta_{\text{ф}} [\text{фон}] = \beta_{1000 \text{ Гц}} [\text{дБ}],$$

т. е. громкость звука с частотой стандартного чистого тона 1 000 Гц равна 1 фону, если его уровень интенсивности (уровень громкости по шкале децибел) равен 1 дБ. Численные значения громкости некоторых источников звука приведены в табл. 2.5.

Кривые равной громкости и аналитические соотношения представлены в прил. 2.

§ 2.8. Реверберация как средство акустической маскировки

Звуковые волны в замкнутом пространстве (например, в помещении) могут многократно отражаться от стен и предметов, как бы блуждая между ними и затухая. Такое явление называется **реверберацией**, под которой обычно понимают существование звука в замкнутом пространстве после окончания действия источника звука (т. е. послезвучание), рассматриваемое как следствие многократного отражения звуковых волн. При этом время затухания (замирания) звука называется **временем реверберации** и определяется как время, в течение которого уровень акустического сигнала спадает на 60 дБ. Иначе говоря, *время реверберации – это время, в течение которого акустический сигнал (звук) ослабляется в миллион раз по сравнению со своим первоначальным уровнем*.

Время реверберации определяет качество помещения с точки зрения акустики. При большом времени реверберации звуки блуждают по помещению, накладываясь друг на друга и заглушая (маскируя) источник основного звука. Такой процесс реверберации, увеличивающий уровень маскирующего шума, используют для целей пассивной акустической маскировки.

Кроме этого, в настоящее время существует большое количество систем активного шумления в акустическом диапазоне. Они применяются для подавления дистанционных и забрасываемых (внедряемых нарушителем) средств перехвата речевой информации. В существующих системах активного шумления формируется маскирующий сигнал типа «белый шум» или типа «разговор трех и более лиц», акустический спектр которого представляет собой усредненный спектр голоса человека.

У подобных систем имеется два главных недостатка:

- во-первых, значительно повышается общий уровень акустических шумов в защищаемом помещении, что приводит к быстрой утомляемости находящихся в нем людей;
- во-вторых, при разговоре в шумном помещении человек инстинктивно начинает говорить громче, тем самым, улучшая условия перехвата нарушителем конфиденциальной речевой информации, так как при повышении громкости речи повышается и величина отношения полезный сигнал/помеха на входе приемника акустической разведки. Поэтому, с учетом того, что применяемая акустическая маскировка ухудшает эргономические показатели, одним из основных путей защиты речевой информации является обеспечение необходимых акустических характеристик строительных конструкций выделенных помещений.

§ 2.9. Распространение структурного звука в зданиях, сооружениях и пассивные способы защиты акустической (речевой) информации от ее утечки через строительные конструкции

Распространение звука в зданиях и сооружениях происходит часто на большие расстояния путем прохождения так называемого структурного звука, что может создать опасные каналы утечки акустической информации. Под **структурным звуком** обычно понимают механические колебания с частотой 16 – 20 000 Гц в твердом теле. Такие колебания возникают из-за механического воздействия акустического сигнала на строительные конструкции: стены, перекрытия, различные перегородки, трубопроводы, воздуховоды, батареи отопления и т. п. При этом продольные волны, возникающие в строительных конструкциях, родственны волнам в газах и жидкостях, поскольку и здесь частицы среды смещаются вдоль направления распространения звуковых волн.

Опасность данных каналов утечки акустической информации состоит в большой дальности распространения звуковых волн, преобразованных в структурные, с возможным их перехватом на значительных дистанциях от места расположения источника конфиденциальной информации.

При определении степени опасности каналов утечки акустической информации в зданиях и сооружениях за счет создания структурного звука следует соотносываться с тем, что такая утечка может происходить:

- в одномерном случае (например, по балке, трубе и т. п.);
- в двухмерном случае (по плитам, перекрытиям и т. п.);
- в трехмерном случае (между этажами).

Во всех вышеперечисленных случаях необходимо учитывать следующие особенности распространения структурного звука в зданиях и сооружениях:

- *снижение уровня структурного звука из-за распределения звуковой энергии по большой области (затухание структурного звука с увеличением расстояния);*
- *преобразование структурного звука в тепло (поглощение структурного звука);*
- *отражение структурного звука, например, в местах разрыва при трансформации поперечного сечения, разветвления в углах, а также при изменении вида и структуры строительного материала (изоляция структурного звука);*
- *излучение в окружающую среду (преобразование структурного звука в воздушные звуковые сигналы).*

Следует особо остановиться на звукоизоляции, которая является одним из основных способов технической защиты выделенного помещения от утечки речевой информации по акустическим каналам через строительные конструкции. Звукоизолирующие конструкции обычно устанавливаются на пути бесконтрольного распространения конфиденциальной информации за пределы контролируемой зоны объекта. Они служат для того, чтобы уменьшить уровень информативного акустического сигнала до уровня, не позволяющего осуществить его перехват соответствующими техническими средствами (различными микрофонами, системами лазерного и СВЧ подслушивания, пьезоэлектрическими акселерометрами и геофонами, стетоскопами и т.д.).

Звукоизолирующая способность строительных конструкций, также как и применяемые в строительной технике звукопоглощающие свойства материалов характеризуются мерой ослабления звуковых волн при прохождении ими внешних и внутренних звукоизоляционных ограждений. При этом измеряется интенсивность звука I , падающего на ограждение и интенсивность $I_{пр}$ того же звука, прошедшего через ограждение. Другими словами, измеряются интенсивности звука до и после прохождения им преграды. При этом в расчетах и измерениях наиболее часто используют величину, называемую **коэффициентом звукоизоляции** $K_{зи}$ и определяемую (в дБ) соотношением:

$$K_{зи} = 10 \cdot \frac{I}{I_{пр}}.$$

Учет коэффициента звукоизоляции особенно важен при выработке мероприятий, направленных на повышение акустической защиты выделенных помещений. При этом к элементам пассивной защиты выделенных помещений, прежде всего, следует отнести:

- несущие конструкции (стены, перекрытия, пол, потолок);
- двери;
- окна;
- акустические экраны.

Следует отметить, что звукоизолирующая способность этих строительных элементов и конструкций существенно зависит от частоты звука, проходящего через них. В табл. 2.6 приведены значения коэффициента звукоизоляции для различных типов ограждающих конструкций и их элементов при прохождении через них звука с частотой $f = 1000$ Гц (наиболее эффективной для восприятия слуховым анализатором человека).

Эти данные позволяют определить возможные характеристики акустической защищенности помещений. Вместе с тем, при проектировании новых выделенных помещений и при реконструкции старых помещений необходимо учитывать, что звукоизолирующая способность ограждающих конструкций и их элементов существенно снижается при наличии в них щелей и отверстий. При этом большое значение имеет дифракция звуковых волн на границах отверстий и щелей и резонансные колебания объема воздуха в этих отверстиях и щелях.

Кроме этого, звукоизолирующая способность таких перекрытий, как пол и потолок зависит не только от их конструкций, но и от толщины используемой, например, железобетонной плиты, ее состава, количества изолирующих слоев и качества строительного материала.

Таблица 2.6

Коэффициент звукоизоляции $K_{зи}$ для некоторых типов ограждений при прохождении через них звука с частотой $f = 1$ кГц

Тип конструкции	$K_{зи}$, дБ
Кирпичная кладка в 1 кирпич оштукатуренная	58
Кирпичная кладка в 2 кирпича оштукатуренная	65
Плита железобетонная толщиной 200 мм	60
Плита железобетонная толщиной 400 мм	67
Древесно-стружечная плита (ДСП) толщиной 20 мм	26
Дверь щитовая стандартная, облицованная с двух сторон фанерой	24
Двери тяжелые двойные с облицовкой тамбура	70
Одинарное остекление, толщина стекла 3 мм	28
Двойное остекление, толщина стекла 4 мм, промежуток между стеклами около 200 мм	47
Тройное комбинированное остекление и стеклопакеты	66

Анализ звукоизолирующей способности дверей показывает, что стандартные одинарные щитовые двери не могут быть использованы при проектировании и строительстве выделенных помещений с целью обеспечения их акустической защиты. В выделенных помещениях необходимо применять либо специально разработанные звукоизолирующие металлические двери, либо тяжелые двойные двери с тамбуром. При этом, применяя утяжеленные двери, следует производить их обивку материалами со слоями ваты или войлока, а также использовать дополнительные уплотнительные прокладки, валики и т. п. При организации тамбурного объема необходимо исключить щели над полом при беспороговой системе дверей, а также сделать облицовку внутренней поверхности тамбура звукопоглощающими материалами.

Целесообразно привлечь внимание и к оконным конструкциям. Окна обычной конструкции имеют низкий уровень звукоизоляции. Наиболее совершенными, с точки зрения звукоизоляции, являются конструкции окон с применением стеклопакетов с герметизацией воздушного промежутка или с заполнением промежутка между стеклами различными газовыми смесями. При этом стекла выбираются разной толщины и устанавливаются с небольшими наклонами относительно друг друга. Это позволяет при значительном ослаблении информативного акустического сигнала избежать резонансных явлений, возникающих

в промежутках между стеклами. В результате интенсивность информативного речевого сигнала на внешнем стекле оказывается значительно ниже интенсивности общих акустических шумов и съём (перехват) информации традиционными для акустики методами оказывается невозможным.

Для акустической защиты выделенных помещений в настоящее время широко применяются следующие материалы:

- звукопоглощающие акустические материалы, в частности, поропласты и минеральная вата, способные результативно глушить звуки внутри помещений;
- звукоизоляционные акустические материалы, например, древесно-волоконистые плиты и пористая резина, позволяющие защитить помещение от проникновения звуков извне.

В указанных пористых материалах воздух заключен в огромном числе канальцев неправильной формы, в которых частицы воздушной среды при звуковых колебаниях испытывают сильное трение о стенки таких канальцев, что приводит к интенсивному поглощению звуковых волн.

Указанные материалы также применяют для облицовки акустических экранов со стороны, обращенной к защищаемому рабочему месту. Такие акустические экраны обычно используют при невозможности применения стационарных методов звукоизоляции и звукопоглощения в выделенных помещениях. Как правило, используются передвижные, складные и легко монтируемые акустические экраны.

Действие акустических экранов основано на отражении звуковых волн и образовании за экраном *области звуковой тени*. Подобные экраны (с учетом явления дифракции звуковых волн) наиболее эффективны для той области длин волн, где размеры экрана не менее чем в три раза превышают наибольшую длину звуковой волны.

Наиболее глубокую звуковую тень дают экраны-колпаки и полусферические экраны, защищающие рабочие места сотрудников в выделенном помещении. При этом для устройства акустических экранов используют как прозрачные материалы (силикатное и органическое стекло, пластики и т. п.), так и непрозрачные листовые материалы (дюралюминий, асбоцементные листы и др.).

С целью решения задач по защите всего объема выделенных помещений могут быть использованы плоскостные акустические экраны для дополнительной защиты окон, имеющих низкую звукоизолирующую способность.

В целом можно утверждать, что применение даже простейших из вышеперечисленных способов и приемов акустической защиты позволит не допустить перехвата речевой информации.

§ 2.10. Интерференция звуковых волн. Гашение и усиление звука

Согласованное протекание во времени и пространстве нескольких звуковых колебательных или волновых процессов связывают с понятием *когерентности*. Звуковые волны одинаковой частоты называются **когерентными**, если разность их фаз остается постоянной во времени.

При наложении в пространстве двух или нескольких когерентных звуковых волн в разных его точках получается усиление или ослабление результирующей волны в зависимости от соотношения между фазами этих волн. Это явление называется **интерференцией** звуковых волн.

В качестве примера рассмотрим два громкоговорителя *A* и *B*, которые испускают звуковые волны на одной (одинаковой для обоих) частоте и находятся в фазе друг с другом. Это означает, что один громкоговоритель создает сжатие воздуха одновременно с другим, что показано на рис. 2.9 в виде горбов, изображенных концентрическими сплошными линиями.

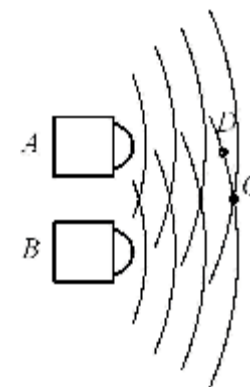


Рис. 2.9. Звуковые волны от двух громкоговорителей интерферируют.

Здесь в звуковой волне горб представляет собой сжатие воздуха, а впадина между двумя горбами – разрежение воздуха. В точке C , расположенной на одинаковом расстоянии от каждого громкоговорителя, будет слышен громкий звук, поскольку в этой точке происходит интерференция с усилением волн. В точке C обе волны имеют горб, т.е. в данной точке они находятся в одной и той же фазе.

В точке D слышен слабый звук или вообще не слышно никакого звука, потому что в этой точке интерферирующие волны взаимно ослабляют друг друга, так как сжатие одной волны накладывается на разрежение другой и наоборот. Другими словами, в точке D горб, пришедший с волной от громкоговорителя B , налагается на впадину – от громкоговорителя A . Это происходит потому, что звуковая волна, исходящая из громкоговорителя B , должна пройти до точки D большее расстояние, чем волна, исходящая из громкоговорителя A . Если же разность этих расстояний точно равно половине длины волны звука, то в точке D обе волны будут находиться точно в противофазе и, следовательно, погасят друг друга.

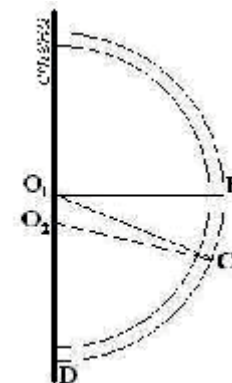
В случае, когда громкоговорители испускают звуковые волны всех частот, то в произвольной точке, такой как D , интерференция с ослаблением будет происходить не для любых звуковых волн. Согласно вышерассмотренной физической картине интерференция с ослаблением звуковых волн от двух громкоговорителей будет иметь место лишь для волн с одинаковыми частотами, для которых (при сохранении во времени разности их фаз) приход в точку D будет в противофазе.

Рассмотрим вкратце условия гашения и усиления звука при интерференции звуковых волн.

Две звуковые волны, распространяющиеся в одном направлении и имеющие одинаковые частоты и амплитуды, *гасят* друг друга, если их разность хода $\Delta = (2k + 1) \cdot \lambda/2$, где $k = 0, 1, 2, \dots$, т. е. Δ равна нечетному числу полуволн $\lambda/2$. Если же у интерферирующих звуковых волн амплитуды неодинаковы, то при тех же условиях происходит простое ослабление звука.

Две распространяющиеся в одном направлении звуковые волны с одинаковыми частотами и амплитудами *усиливают* друг друга, если их разность хода Δ равна нулю или четному числу полуволн $\lambda/2$, т. е. разность хода $\Delta = 2k \cdot \lambda/2 = k\lambda$, причем амплитуда результирующей звуковой волны вдвое больше амплитуды каждой из исходных волн. Если же амплитуды интерферирующих звуковых волн неодинаковы, то при тех же условиях происходит лишь некоторое усиление звука.

Пример 2.7. Два громкоговорителя расположены в точках O_1 и O_2 на расстоянии 0,3 м друг от друга на одной стене и оба воспроизводят звук на частоте $f = 570$ Гц. На расстоянии 4 м от первого из громкоговорителей, т.е. в точке B находится аудиооператор. Из-за наличия ограждения аудиооператор может перемещаться к стене от точки B только по полуокружности радиуса $R = O_1B = 4$ м от первого громкоговорителя. Возможно ли в этом случае найти такое местоположение вблизи ограждения, где интерференция звуковых колебаний будет восприниматься аудиооператором с ослаблением звука. На каком минимальном расстоянии от второго громкоговорителя должен находиться аудиооператор, чтобы почувствовать эту интерференцию с ослаблением звука. Полагаем, что температура воздуха 18°C .



Решение. При температуре воздуха 18°C скорость распространения звука и длина волны звуковых колебаний будут равны: $v = (331,6 + 0,6 \cdot T_C) = (331,6 + 0,6 \cdot 18) = 342,4$ м/с и $\lambda = v/f = 342,4/570 = 0,6$ м. Чтобы звук в результате интерференции ослаблялся в некоторой точке C на дуге окружности радиуса $R = 4$ м, должно выполняться условие: разность хода $\Delta = (2k + 1) \cdot \lambda/2 = (2k + 1) \cdot 0,6/2 = (2k + 1) \cdot 0,3$ м, где $k = 0, 1, 2, 3, \dots$. Однако минимальная разность хода для рассматриваемого случая соответствует $k = 0$ и, следовательно, $\Delta = 0,3$ м. Поэтому только в точке D у самой стены вблизи ограждения получаем:

$$O_1D - O_2D = 4 - (4 - 0,3) = 4 - 3,7 = 0,3 \text{ м} = \Delta,$$

т. е. искомое минимальное расстояние от второго громкоговорителя: $O_2D = 3,7$ м, где аудиооператор может почувствовать интерференцию с ослаблением звука.

§ 2.11. Звуковые биения

Явление *звуковых биений* возникает при сложении двух распространяющихся в одном направлении звуковых волн с мало различающимися частотами. Такие звуковые волны при своем распространении переналагаются (складываются), в результате чего уровень громкости получаемого звука последовательно то возрастает, то уменьшается. Эти регулярно повторяющиеся во времени изменения интенсивности (громкости) звука как результат сложения двух волн с близкими частотами называются **биениями**.

Рассмотрим сложение двух распространяющихся в одном направлении исходных звуковых волн с одинаковыми амплитудами A , но с разными (хотя и мало различающимися) частотами f_1 и f_2 в некоторой начальной точке пространства $x = 0$:

$$z_1 = A \sin 2\pi f_1 t; \quad z_2 = A \sin 2\pi f_2 t.$$

Согласно принципу суперпозиции результирующую волну можно записать в виде:

$$z_{\text{рез}} = z_1 + z_2 = A \sin 2\pi f_1 t + \sin 2\pi f_2 t = 2A \cos \left(2\pi \frac{f_1 - f_2}{2} t \right) \sin \left(2\pi \frac{f_1 + f_2}{2} t \right)$$

Введем обозначения: $f_{\text{рез}} = \frac{f_1 + f_2}{2}$ – частота результирующих колебаний; $A_{\text{рез}} = 2A \cos 2\pi \frac{f_1 - f_2}{2} t$ – амплитуда результирующих колебаний. Тогда

$$z_{\text{рез}} = A_{\text{рез}} \sin 2\pi f_{\text{рез}} t,$$

т. е. наложение двух исходных звуковых волн производит результирующую звуковую волну, проявляющуюся в виде биений, которые представляют собой колебания с усредненной частотой $f_{\text{рез}}$ и периодом $T_{\text{рез}} = 1/f_{\text{рез}}$ (рис. 2.10). Амплитуда биений $A_{\text{рез}}$ периодически изменяется от максимального значения, равного $2A$, до минимального значения, равного 0. При этом всякий раз, когда ее аргумент возрастает на 2π , амплитуда $A_{\text{рез}}$ совершает полный цикл колебаний и возвращается к первоначальному значению.

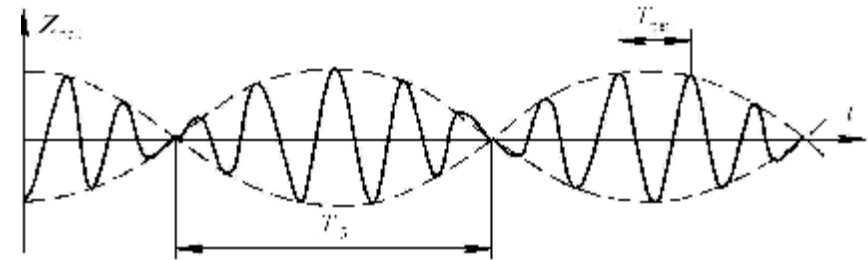


Рис. 2.10. Графическое представление биений

Периодом биений $T_б$ называют промежуток между соседними моментами времени, в которые амплитуда биений обращается в ноль. За полный цикл колебаний тригонометрическая функция $\cos \left(2\pi \frac{f_1 - f_2}{2} t \right)$ обращается в ноль дважды, когда ее аргумент становится равным $\pi/2$ и $3\pi/2$. В эти моменты времени амплитуда биений обращается в ноль и возникает звуковая пауза. В промежутках между звуковыми паузами ухо воспринимает колебания среднего тона, соответствующие частоте $f_{\text{рез}}$ и периоду $T_{\text{рез}}$. Поскольку функция «косинус» при аргументе $\pi/2, 3\pi/2, \dots$ обращается в ноль, имеем:

$$2\pi \frac{f_1 - f_2}{2} T_б = \frac{3\pi}{2} - \frac{\pi}{2} = \pi.$$

Отсюда при $T_б = 1/f_б$ получаем: $2\pi \frac{f_1 - f_2}{2} = \pi f_б$, т. е. $f_б = f_1 - f_2$. Таким образом, частота биений $f_б$ равна разности частот $f_1 - f_2$ исходных звуковых волн. Громкость получаемого звука в рассматриваемом случае связана с интенсивностью результирующей звуковой волны, которая, в свою очередь, пропорциональна квадрату амплитуды $A_{\text{рез}}^2$. Так как $A_{\text{рез}}^2$ имеет два максимума в течение её каждого цикла колебаний, то частота повторения последовательности «громко–тихо–громко–тихо» совпадает с частотой биений, т. е. равна разности частот исходных звуковых волн $f_1 - f_2 = f_б$, а её период: $T_б = \frac{1}{f_1 - f_2}$.

§ 2.12. Эффект Допплера – основа объемных акустических датчиков

Ещё в середине XIX в. был установлен факт изменения наблюдаемой частоты звуковой волны либо при движении источника звуковых волн относительно неподвижного наблюдателя, либо при движении наблюдателя относительно неподвижного источника звука. Сирена или любой другой звуковой сигнал, непрерывно подаваемый, например, движущимся с большой скоростью электропоездом или автомобилем, меняет высоту звучания после того, как этот электропоезд или автомобиль пронесется мимо наблюдателя. Если источник звука приближается к наблюдателю (или к прибору, регистрирующему звук), высота звука возрастает по сравнению с тем, который слышит наблюдатель, когда источник звука покоится. Если же источник звука удаляется от наблюдателя, то высота звука понижается. Это явление называется **эффектом Допплера** и имеет место для всех типов волн; на нем основана работа *объемных акустических датчиков*.

Рассмотрим характерные ситуации, при которых проявляется указанный эффект.

1. На рис. 2.11 показаны два случая, первый из которых соответствует покоящемуся источнику звука, а второй – движущемуся. В обоих случаях источник производит непрерывный звук на частоте $f = v/\lambda$. При этом скорость звука v в воздухе всегда одна и та же независимо от того, движется источник звука или нет, а скорость движения источника $v_{ист} < v$.

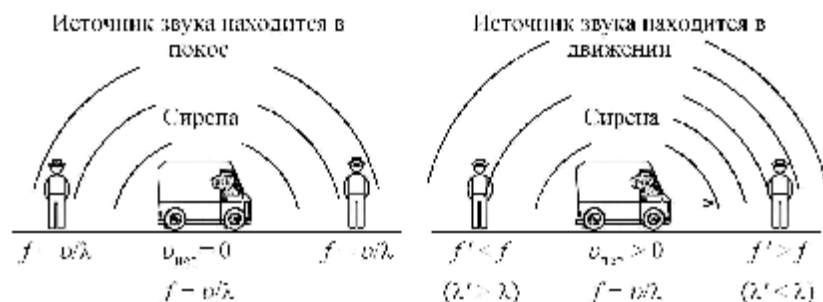


Рис. 2.11. Иллюстрация эффекта Допплера

В первом случае, когда источник звука находится в покое ($v_{ист} = 0$), оба неподвижных наблюдателя на тротуаре слышат звук сирены стоящего на месте автомобиля на одной и той же частоте $f = v/\lambda$.

Во втором случае, когда источник звука находится в движении (т.е. $v_{ист} > 0$), сирена движущегося автомобиля продолжает производить звук на той же частоте $f = v/\lambda$, но теперь проявляется эффект Допплера: неподвижный наблюдатель, к которому приближается автомобиль с работающей сиреной, слышит звук с частотой f' более высокой, чем f , (т.е. $f' > f$, при этом $\lambda' < \lambda$), а остающийся на месте наблюдатель, от которого автомобиль удаляется, слышит более низкий звук (т.е. $f' < f$ и $\lambda' > \lambda$).

Здесь целесообразно возвратиться к представлению звуковых волн посредством горбов и впадин, когда горбы звуковых волн (изображенные на рис. 2.11 сплошными линиями) соответствуют сжатию воздуха, а впадины между горбами – разрежению воздуха. В случае движущегося источника звука горбы звуковых волн, испускаемых сиреной автомобиля вперед, будут располагаться ближе друг к другу, чем в случае, когда автомобиль не движется. Это происходит потому, что в процессе своего движения автомобиль с работающей сиреной как бы догоняет испущенные ранее звуковые волны. При этом неподвижный наблюдатель на тротуаре заметит большее число волновых горбов, проходящих мимо него в единицу времени и, следовательно, частота звука для него будет выше. С другой стороны, горбы звуковых волн, распространяющихся позади автомобиля с работающей сиреной, будут дальше отстоять друг от друга, так как движущийся автомобиль как бы отрывается от них. Следовательно, за единицу времени мимо неподвижного наблюдателя, находящегося позади автомобиля с сиреной, пройдет меньшее количество волновых горбов, и высота звука будет ниже.

Вычислим изменение частоты звука вследствие явления Допплера. Для этого воспользуемся рис. 2.12, считая, что в рассматриваемой системе отсчета воздух (или другая среда) находится в покое. В левой части рисунка источник звука покоится, а в правой – источник звука движется со скоростью $v_{ист}$. Оба эти состояния источника звука (в покое и в движении) соотносятся с неподвижным положением наблюдателя.

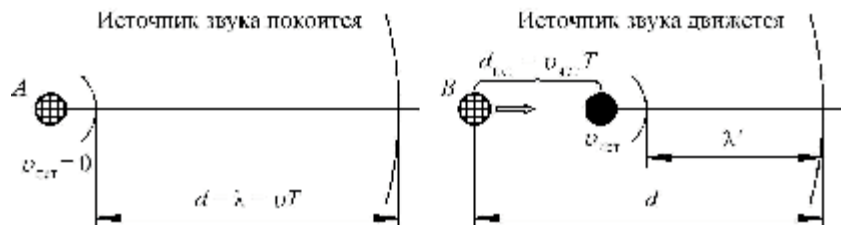


Рис. 2.12. К пояснению изменения частоты звука вследствие эффекта Доплера.

Рассмотрим два последовательных волновых горба, испускаемых покоящимся источником звука ($v_{\text{ист}} = 0$). При этом один из таких горбов был только что испущен источником звука. Расстояние d между горбами при скорости звука в воздухе v равно длине звуковой волны λ , т. е. здесь $\lambda = vT = d$. Исходная звуковая частота равна f , а время, прошедшее между испусканиями двух данных волновых горбов, равно $T = 1/f$.

Если источник звука движется со скоростью $v_{\text{ист}}$ по направлению к неподвижному наблюдателю, то за указанное время T он пройдет дистанцию $d_{\text{ист}} = v_{\text{ист}}T$, а первый горб волны пройдет расстояние $d = vT$. Тогда расстояние между двумя последовательными горбами волны, равное новой длине волны λ' , будет равно

$$\lambda' = d - d_{\text{ист}} = (v - v_{\text{ист}})T = (v - v_{\text{ист}})/f.$$

Кроме того, $\lambda' = v/f'$, а следовательно, новая частота звуковой волны f' , воспринимаемая наблюдателем, определяется выражением $f' = v/\lambda'$, которое после элементарных подстановок принимает вид:

$$f' = \frac{1}{1 - \frac{v_{\text{ист}}}{v}} \cdot f. \quad (2.15)$$

Поскольку здесь знаменатель дроби меньше единицы, то $f' > f$.

Например, если при температуре воздуха, равной 0°C , источник создает звук на частоте $f = 400$ Гц, когда он находится в покое, то при его движении со скоростью $v_{\text{ист}} = 30$ м/с (≈ 110 км/ч) по направлению к наблюдателю, стоящему на месте, последний услышит звук на частоте $f' = 400/(1 - 30/331,6) = 440$ Гц, т. е. доплеровский сдвиг частоты Δf_d в этом случае равен $\Delta f_d = f' - f = 440 - 400 = 40$ Гц.

Аналогично новая длина волны λ' для источника, удаляющегося от наблюдателя со скоростью $v_{\text{ист}}$, будет равна:

$$\lambda' = d + d_{\text{ист}} = (v + v_{\text{ист}})T = (v + v_{\text{ист}})/f.$$

При этом новая частота звуковой волны f' , воспринимаемая наблюдателем, определяется как $f' = v/\lambda' = f v/(v + v_{\text{ист}})$, или

$$f' = \frac{1}{1 + \frac{v_{\text{ист}}}{v}} \cdot f. \quad (2.16)$$

Поскольку здесь знаменатель дроби больше единицы, то $f' < f$.

Объединяя формулы (2.15) и (2.16), запишем:

$$f' = \frac{1}{1 \mp \frac{v_{\text{ист}}}{v}} \cdot f, \quad (2.17)$$

где знак «минус» относится к случаю, когда источник звука приближается к наблюдателю, а знак «плюс» — к случаю, когда удаляется.

Следует особо отметить, что при рассмотрении отражения звуковых волн от движущегося объекта этот объект необходимо считать вторичным источником звуковых волн, производящим звук с частотой f' , рассчитанной по формулам (2.15), (2.16). Если же звуковая волна отражается от крупного неподвижного объекта (препятствия), то частота отраженной звуковой волны не меняется, т. е. возникающее эхо имеет частоту падающей волны.

2. Эффект Доплера возникает также в том случае, когда источник звука находится в покое, а наблюдатель движется. Если наблюдатель приближается к неподвижному источнику звука, то он слышит звук большей высоты, нежели испускаемый источником. Если же наблюдатель удаляется от неподвижного источника, то звук кажется ему ниже. Особенность физической картины в этом случае заключается в том, что расстояние между горбами звуковой волны (длины волны λ) не изменяется, а изменяется скорость движения горбов относительно наблюдателя.

Когда наблюдатель приближается к неподвижному источнику звука, скорость горбов относительно наблюдателя будет равна

$$v' = v + v_{\text{набл}},$$

где v – скорость распространения звука в воздухе (при этом полагаем, что воздух покоится), а $v_{\text{набл}}$ – скорость движения наблюдателя. Следовательно, новая частота f' будет равна $f' = v'/\lambda = (v + v_{\text{набл}})/\lambda$, но поскольку $\lambda = v/f$, то

$$f' = \left(1 + \frac{v_{\text{набл}}}{v}\right) \cdot f. \quad (2.18)$$

В случае же, когда наблюдатель удаляется от неподвижного источника звука, относительная скорость горбов становится равной $v' = v - v_{\text{набл}}$, а потому новая частота $f' = v'/\lambda = (v - v_{\text{набл}})/\lambda$, или

$$f' = \left(1 - \frac{v_{\text{набл}}}{v}\right) \cdot f. \quad (2.19)$$

В результате

$$f' = \left(1 \pm \frac{v_{\text{набл}}}{v}\right) \cdot f, \quad (2.20)$$

где знак «плюс» ставится, когда наблюдатель приближается к неподвижному источнику звука, а знак «минус» – когда удаляется от него.

Во всех вышерассмотренных случаях доплеровский сдвиг частоты равен $\Delta f_d = f' - f$.

Важно подчеркнуть, что *при движении источника звука скорость звуковой волны относительно неподвижного наблюдателя остается постоянной, а частота и длина волны воспринимаемых колебаний изменяются; если же перемещается наблюдатель, то меняются воспринимаемые им частота и скорость волны, а длина волны остается неизменной.*

Все сказанное относилось к случаю, когда наблюдение производилось строго вдоль направления движения источника звука или наблюдателя. Если направление наблюдения составляет некоторый угол Θ с направлением движения,

то в рассуждения необходимо внести соответствующие поправки, учет которых в формулах (2.17) и (2.20) приводит к окончательному результату:

$$f' = \frac{1}{1 \mp \frac{v_{\text{ист}} \cos \Theta}{v}} \cdot f = \frac{1 \pm \frac{v_{\text{ист}} \cos \Theta}{v}}{1 - \left(\frac{v_{\text{ист}} \cos \Theta}{v}\right)^2} \cdot f; \quad (2.17a)$$

$$f' = \left(1 \pm \frac{v_{\text{набл}} \cos \Theta}{v}\right) \cdot f. \quad (2.20a)$$

Как видно, имеют место две различные формулы, которые при $v_{\text{ист}} = v_{\text{набл}} = v'$ отличаются друг от друга множителем

$$\frac{1}{1 - \left(\frac{v' \cos \Theta}{v}\right)^2},$$

т.е. величиной второго порядка малости относительно v'/v . Для большинства случаев, рассматриваемых в акустике, различие это невелико, и им часто пренебрегают, хотя оно имеет принципиальное значение.

3. Наконец, в последней ситуации одновременно движутся и источник звука, и наблюдатель. Предполагая, во-первых, что оба они движутся, сближаясь, т. е. движутся навстречу друг другу, получим, последовательно повторяя приведенные выше рассуждения,

$$f' = \frac{1 + \frac{v_{\text{набл}}}{v}}{1 - \frac{v_{\text{ист}}}{v}} \cdot f = \frac{v + v_{\text{набл}}}{v - v_{\text{ист}}} \cdot f. \quad (2.21)$$

Во-вторых, когда они оба отдаляются друг от друга, имеем:

$$f' = \frac{1 - \frac{v_{\text{набл}}}{v}}{1 + \frac{v_{\text{ист}}}{v}} \cdot f = \frac{v - v_{\text{набл}}}{v + v_{\text{ист}}} \cdot f. \quad (2.22)$$

Отсюда следует, что если источник звука и наблюдатель, догоняя друг друга, движутся совместно с одинаковой скоростью

(т. е. неподвижны друг относительно друга), то скачок частоты согласно эффекту Доплера не проявляется. Однако если $v_{\text{набл}} \neq v_{\text{ист}}$, то эффект Доплера возникает, причем наблюдаемое изменение частоты зависит не от разности скоростей $v_{\text{ист}} - v_{\text{набл}}$, а от самих величин $v_{\text{ист}}$ и $v_{\text{набл}}$, и это позволяет определить не только скорость источника относительно наблюдателя, но и скорость источника и наблюдателя относительно среды распространения звука.

Пример 2.8. Неподвижный аудиооператор воспринимает звуковые колебания от двух идентичных автомобильных гудков как биения с частотой $f_6 = 20$ Гц. При этом один автомобиль приближается к аудиооператору, а другой – с такой же скоростью удаляется. Найдем выражение, определяющее скорость $v_{\text{авт}}$ каждого автомобиля, а также ее конкретную величину (в км/ч), если у их гудков частота создаваемых звуковых колебаний $f = 305$ Гц, а температура окружающего воздуха равна 14°C .

Решение. Вначале по формуле (2.4) определим скорость звука в воздухе при заданной температуре:

$$v = 20,07\sqrt{T_C^\circ + 273} = 20,07\sqrt{14 + 273} = 340 \text{ м/с.}$$

Далее, на основании соотношений (2.15) и (2.16) запишем выражения для новых частот f'_1 и f'_2 , воспринимаемых оператором:

$$f'_1 = \frac{1}{1 - v_{\text{авт}}/v} \cdot f \quad \text{и} \quad f'_2 = \frac{1}{1 + v_{\text{авт}}/v} \cdot f,$$

причем $f'_1 - f'_2 = f_6$. Выполняя соответствующие подстановки и очевидные преобразования, придем к форме квадратного уравнения:

$$f_6 v_{\text{авт}}^2 + 2 f v_{\text{авт}} - f_6 v^2 = 0,$$

решение которого относительно $v_{\text{авт}}$ дает: $(v_{\text{авт}})_{1,2} = \frac{-f \pm \sqrt{f^2 + f_6^2}}{f_6} \cdot v$. Поскольку скорость $v_{\text{авт}}$ есть величина положительная, физический смысл имеет только

$$\text{решение} \quad v_{\text{авт}} = \frac{-f + \sqrt{f^2 + f_6^2}}{f_6} \cdot v, \quad \text{или} \quad v_{\text{авт}} = \frac{f}{f_6} \left(\sqrt{\frac{f_6^2}{f^2} + 1} - 1 \right) \cdot v,$$

откуда $v_{\text{авт}}$ – искомое численное значение

$$v_{\text{авт}} = \frac{305}{20} \left(\sqrt{\frac{20^2}{305^2} + 1} - 1 \right) \cdot 340 = 11,1 \text{ м/с} = 40 \text{ км/ч.}$$

Пример 2.9. Неподвижный аудиооператор и покоящийся источник малых размеров, создающий звук с частотой сферических звуковых волн $f_1 = 3500$ Гц, находятся на одной и той же нормали к задней наружной стенке грузового автофургона, причем источник звука располагается между этой стенкой и аудиооператором. Автофургон со скоростью $v_{\text{авт}} = 10$ км/ч удаляется от источника звука. Найти выражение, определяющее частоту биений f_6 , и ее величину, которую будет регистрировать на слух аудиооператор, если температура окружающего воздуха равна 10°C .

Решение. В данном случае необходимо последовательно принять во внимание три обстоятельства. Во-первых, воспринимаемые аудиооператором биения возникают при сложении звуковых колебаний, исходящих непосредственно от источника звука (с частотой f_1) и отраженных от задней стенки автофургона (с частотой f_2), являющегося в такой ситуации вторичным источником звуковых волн. Во-вторых, поскольку автофургон как источник звука удаляется от аудиооператора, частота f_2 определяется формулой вида (2.16): $f_2 = f_1 / (1 + v_{\text{авт}}/v)$. И, в-третьих, поскольку автофургон одновременно удаляется не только от наблюдателя, но и от неподвижного источника звука, в указанной формуле частота f_1 должна определяться из соотношения (2.19): $f_1' = (1 - v_{\text{авт}}/v) \cdot f_1$. Поэтому $f_2 = f_1' \cdot (1 - v_{\text{авт}}/v) / (1 + v_{\text{авт}}/v)$, а так как $f_6 = f_1 - f_2$, то $f_6 = f_1 - f_1' (1 - v_{\text{авт}}/v) / (1 + v_{\text{авт}}/v) = 2 f_1' (1 + v_{\text{авт}}/v)$. Получив все необходимые соотношения и определив по формуле (2.4) скорость звука при данной температуре: $v = 20,07\sqrt{T_C^\circ + 273} = 20,07\sqrt{10 + 273} = 337,63 \text{ м/с} = 1215,5 \text{ км/ч}$, найдем: $f_6 = 2 \cdot 3500 / (1 + 1215,5/10) = 57 \text{ Гц}$.

Формулы (2.15) – (2.21) получены в предположении, что $v_{\text{ист}} < v$ и $v_{\text{набл}} < v$, т. е. в предположении, что *источник звука или наблюдатель могут двигаться только с дозвуковой скоростью*. Если скорость источника звука $v_{\text{ист}}$ или наблюдателя $v_{\text{набл}}$ возрастает до величины скорости звука в воздушной среде v , то полученные формулы становятся некорректными, так как в этом случае смещение частиц среды уже не будет пропорционально возвращающей силе, как при эффекте Доплера. В данном случае вместо эффекта Доплера возникает совершенно иной эффект, называемый «*звуковым барьером*». Если же $v_{\text{ист}} > v$ или соответственно $v_{\text{набл}} > v$, то возникает эффект «ударной волны» (эффект «*сверхзвукового взрыва*») и в таких случаях вышеприведенные формулы теряют силу.

§ 2.13. Применение эффекта Допплера в системе охранной сигнализации

Рассмотрим физические принципы работы *объемного ультразвукового комбинированного датчика* системы охранной сигнализации (рис. 2.13), у которой источник ультразвука (излучатель И) и близрасположенный приемник П жестко смонтированы на стене напротив входной двери Д в контролируемом помещении. Объект О, интересующий нарушителя Н и находящийся в этом помещении, расположен оппозитно двери Д.

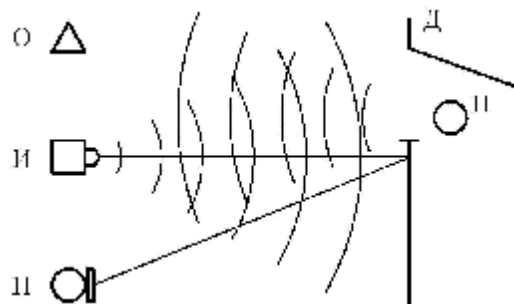


Рис. 2.13. Схема работы объемного ультразвукового комбинированного датчика системы охранной сигнализации

При работе ультразвукового комбинированного датчика системы охранной сигнализации излучатель возбуждает в пространстве контролируемого помещения стабильные по частоте и амплитуде ультразвуковые колебания. Приемник, выполненный, например, на основе пьезокерамики, преобразует принятый из пространства ультразвуковой сигнал в электрический. Далее, в электронном устройстве этот сигнал усиливается, детектируется и анализируется, в частности, по амплитуде. В случае изменения амплитуды ультразвукового сигнала формируется сигнал тревоги.

Полагаем, что контролируемое помещение представляет собой замкнутое пространство, ограниченное жесткими стенами. Так как излучение от источника ультразвука не является остронаправленным, то к приемнику вместе с прямой волной от излучателя приходят ультразвуковые волны, отраженные от стен, потолка и пола. При этом энергия результирующей волны в зоне приемника, как и в любой другой точке помещения, есть результат интерференции всех прямых и переотраженных ультразвуковых волн.

Пока в контролируемом помещении не происходит какого-либо перемещения отражающих или поглощающих поверхностей либо изменения физических свойств среды, интерференционная картина, а значит и уровень энергии результирующей волны, будут постоянны в каждой точке пространства (в том числе, и на входе приемника). Появление нарушителя в контролируемом помещении и любое его движение приведет к изменению пути прохождения ультразвуковых волн и, следовательно, к изменению интерференционной картины, а это приводит к колебаниям амплитуды выходного сигнала в приемнике. Регистрация и анализ таких колебаний позволяет обнаружить нарушителя.

В реальных условиях потоки воздуха в контролируемом помещении могут быть весьма неравномерными, а, кроме того, могут иметь место деформации оконных стекол и дверей, например, из-за порывов ветра снаружи. Это снижает помехоустойчивость данного датчика и приводит к ложным срабатываниям.

Комбинирование вышерассмотренного метода детектирования сигнала по амплитуде с иным методом – детектирования сигнала по частоте – позволяет существенно повысить помехоустойчивость ультразвукового датчика системы охранной сигнализации. Общефизическим базисом при этом служит важная особенность отражения любой звуковой волны от крупного движущегося объекта: частота звуковой волны, отраженной от такого объекта, будет отличаться от частоты падающей на объект волны из-за эффекта Допплера, так как движущийся объект всегда должен рассматриваться как вторичный источник звуковых волн. Напомним, что при отражении любой звуковой волны от крупного неподвижного объекта частота звука не меняется, т. е. возникающее эхо (а точнее – эховолна) имеет исходную частоту звука источника.

Поэтому при перемещении нарушителя в контролируемом помещении рассматриваемый датчик системы охранной сигнализации отметит некоторое смещение по частоте f'_n у отраженной от нарушителя волны по сравнению с исходной частотой f , излучаемой источником ультразвуковой волны, т. е. будет зарегистрирован доплеровский сдвиг частоты $\Delta f_d = f'_n - f = 2f v_n / v$.

Этот частотный сдвиг вызывает формируемый датчиком сигнал тревоги, что приводит к обнаружению нарушителя при его передвижении в контролируемом помещении. Входной усилитель такого датчика должен обеспечивать уверенный прием и

эффективное усиление сигнала, получаемого вследствие отражения ультразвуковой волны нарушителем. Для снижения влияния помех и уменьшения числа ложных срабатываний датчика его входной усилитель должен быть избирательным (селективным), работающим в частотном интервале $f \pm \Delta f_d$, где f – рабочая частота ультразвукового излучателя, поддерживаемая эталонным генератором, а Δf_d – доплеровский сдвиг, фактически не превышающий 1000 Гц.

Пример 10. Ультразвуковая волна с частотой $f = 40$ кГц испускается излучателем по направлению к нарушителю, вошедшему в контролируемое помещение через дверь (см. рис. 2.13) и двигающемуся со скоростью $v_n = 0,9$ м/с в сторону источника излучения и объекта, интересующего нарушителя. Принимая температуру воздуха в помещении равной 19°C , определим, чему равна частота отраженной от нарушителя ультразвуковой волны, регистрируемая приемником, а также величина доплеровского сдвига частоты.

Решение. Определим вначале из формулы (2.5) скорость звука в воздухе при заданной температуре: $v = 20,07\sqrt{T_C^\circ + 273} = 20,07\sqrt{19 + 273} = 343$ м/с. Далее, рассуждаем по аналогии с предыдущей задачей. Во-первых, являясь движущимся объектом, нарушитель должен рассматриваться как вторичный источник звуковых волн с некоторой частотой f'_n . Во-вторых, поскольку нарушитель как источник звука приближается к неподвижному приемнику, эта частота определяется формулой вида (2.15): $f'_n = f'/(1 - v_n/v)$. И, в-третьих, поскольку нарушитель одновременно приближается не только к приемнику, но и к неподвижному источнику звука, в указанной формуле частота f' должна определяться из (2.18): $f' = (1 + v_n/v)f$. В итоге: $f'_n = f \cdot 1 + v_n/v / 1 - v_n/v = f \cdot v + v_n / v - v_n = 40 \cdot (343 + 0,9)/(343 - 0,9) = 40,21$ кГц. Соответственно, доплеровский сдвиг частоты $\Delta f_d = f'_n - f = 40,21 - 40 = 0,21$ кГц = 210 Гц.

Опыт эксплуатации подобных систем охранной сигнализации позволил сформулировать ряд следующих важных рекомендаций:

– для предотвращения ложного срабатывания датчика его источник ультразвука нельзя устанавливать перпендикулярно к вибрирующим поверхностям, типа дверей и окон;

– для повышения помехоустойчивости датчика нельзя направлять ультразвуковой излучатель на места с наибольшей циркуляцией воздуха, например, на лестницы и батареи отопления;

– ультразвуковой датчик должен располагаться в таком месте, которое позволяет ему контролировать все входы и выходы в выделенном помещении.

При реализации подобных систем охранной сигнализации разработчики обычно ориентируются на конкретные характеристики «нормального» нарушителя. Из-за отсутствия отечественных нормативов представляется разумным привлечь зарубежные характеристики «нормального» нарушителя – это невооруженный человек, одетый демисезонно, весом от 70 кг и более, перемещающийся в зоне обнаружения поступательно, без остановок, со скоростью от 0,5 до 3 м/с, имеющий при себе складной нож и необходимые ему инструменты.



На торжественном вечере ЛИТМО в Доме учителя (Юсуповский дворец) выступает секретарь комитета комсомола института Юрий Гатчин, Ленинград, март 1975 года



Совет по внеучебной работе со студентами: профессор Ю. А. Гатчин, А.С. Бургонский, председатель профкома А.В. Скороходов, СПбГУ ИТМО, 2005 год



Слет районного строительного отряда «Гатчинский» в музее Революции: выступает командир РССО Юрий Гатчин; в президиуме: почетный боец РССО, участник революционного движения, гражданской войны и социалистического строительства, дважды Герой Социалистического Труда (1975, 1985) В.П. Виноградов и комиссар линейного ССО «» Алла Дорожinskая, Ленинград, 1975 год



Юрий Гатчин и Галина Ивановна Цуканова, доцент кафедры Оптических приборов, во время перерыва торжественного заседания, посвященного вручению ЛИТМО Ордена трудового Красного знамени, Дворец молодежи, Ленинград, 1980 год.

ГЛАВА 3

УСТРОЙСТВА ПЕРЕХВАТА КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ И СПОСОБЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ИМ

§ 3.1. Перехват акустической информации современными техническими средствами

Обычно утечка информативного акустического сигнала осуществляется за счет прохождения акустической волны в одной или нескольких средах. В этом случае под средой распространения акустической волны обычно понимают либо «воздух», либо систему «воздух – твердое тело – воздух». Здесь в качестве технического средства перехвата может служить человеческое ухо, диктофон, направленный микрофон либо специальный микрофон (в частности, радиомикрофон, дистанционно внедряемый с помощью арбалета или духового ружья в оконную раму или наружную стену охраняемого объекта).

Перехват информации, преобразованной посредством виброакустических сигналов, может быть осуществлен прямо с твердотельных конструкций (капитальных перегородок внутри помещений, а также стен, окон, труб подачи воды и газа и т. д.). Тогда среда распространения представляет собой систему «воздух – твердое тело». Технические средства перехвата – электронный стетоскоп, контактный вибродатчик (например, пьезоэлектрический акселерометр и пьезоэлектрический геофон), системы лазерного и СВЧ-подслушивания.

Электронный стетоскоп – это устройство, в котором в качестве чувствительного элемента используется датчик, преобразующий звуковые колебания в электрические сигналы, поступающие после усиления на устройство записи и головные телефоны. При уровне звукового давления от 34 до 60 дБ, соответствующем средней громкости разговора, современные

электронные стетоскопы позволяют прослушивать помещения через стены и иные твердотельные конструкции толщиной до 1,5 м. Обычно электропитание у таких стетоскопов автономное. Рабочие диапазоны частот у большинства подобных устройств лежат в пределах 300 – 4000 Гц.

Пьезоэлектрический акселерометр (пьезоакселерометр) – это датчик съема вибрационных колебаний, выходное напряжение которого пропорционально колебательному ускорению. Такие вибродатчики основаны на прямом *пьезоэлектрическом эффекте*, наблюдаемом в специальных керамиках (пьезокерамиках) и некоторых кристаллах (сегнетова соль, дигидрофосфат аммония, сульфат лития, кристаллический кварц и др.), в которых при их сжатии или растяжении (в определенных направлениях) возникает электрическая разность потенциалов на подведенных к ним электродах. На частотах, расположенных ниже резонансных, эти акселерометры имеют практически постоянную чувствительность. Так как резонансные частоты пьезоакселерометров лежат в диапазоне 10 – 100 кГц, их применение для съема речевых сигналов не имеет ограничений в силу того, что человеческий голос в среднем занимает полосу частот от 200 до 4000 Гц. В таких датчиках надежно регистрируемые речевые сигналы после их усиления поступают на головные телефоны и устройство записи.

Пьезоэлектрические геофоны – это контактные вибродатчики, служащие приемниками звуковых волн, распространяющихся в верхних слоях земной поверхности. Они снабжены пьезоэлектрическими преобразователями, превращающими колебания почвы в электрический ток (пропорциональный колебаниям), который усиливается входящим в состав геофона усилителем и далее поступает на вход регистрирующего устройства. Пьезоэлектрические геофоны применяются для съема речевой информации из-под слоя грунта в пределах круга радиусом до 5 м при средних акустических шумах и до 10 м – при малых акустических шумах. Перехваченная информация может передаваться по проводному каналу (на расстояние 30 – 50 м) или по радиоканалу. Устройства данного типа сохраняют работоспособность при различных климатических условиях и могут быть использованы круглый год.

Перехват конфиденциальной акустической информации системами лазерного и СВЧ-подслушивания основан на модуляции лазерного или СВЧ-излучений колеблющимся стеклом или иной тонкой перегородкой (а также лампочкой, плафоном и т. п.). В этом случае оконное стекло или другая тонкая перегородка колеблется подобно мембране микрофона под воздействием звуковых волн, источниками которых внутри контролируемого помещения служат люди и работающая техника. Аудиооператор извне направляет пучок лучей лазера или излучение СВЧ-генератора, например, на окно контролируемого помещения, а отраженное промодулированное излучение (угол отражения которого равен углу падения) принимается лазерным или СВЧ-приемником, демодулируется и записывается на магнитофон (или прослушивается с помощью наушников). Дальность перехвата акустических информационных сигналов у таких систем примерно 200 – 300 м.

Перехват акустической информации с помощью гидроакустических датчиков положен в основу прослушивания подводных сигналов и шумов, а также подслушивания акустических сигналов, проходящих, в частности, по трубам подачи воды и системам центрального отопления. Средой распространения акустической волны здесь выступает система «воздух – твердое тело – вода». В настоящее время получили широкое применение гидроакустические датчики пьезоэлектрического и магнитострикционного типов. Магнитострикционный тип датчиков базируется на обратном магнитострикционном эффекте (эффекте Виллари) – явлении изменения намагниченности некоторых материалов (например, никеля и его сплавов, и особо – ферромагнетиков) при их деформации.

При организации защиты акустической (речевой) информации необходимо учитывать и возможность ее утечки из-за воздействия акустического сигнала на такие составные части тракта радиоэлектронной системы, как конденсаторы, катушки индуктивности, элементы ТФА, настенных кварцевых часов и т. п. В этом случае преобразованный в акустоэлектрический сигнал исходный информационный акустический сигнал может распространяться на большие расстояния. Среда распространения – «воздух – акустоэлектрический преобразователь – воздух (или токопроводящие цепи)». Здесь техническим средством перехвата обычно служит радиоприемник специального назначения.

§ 3.2. Некоторые важные особенности ведения аудиоразведки в помещениях и на открытой местности

При ведении аудиоразведки ее важнейшей характеристикой является дальность перехвата информативных акустических сигналов. Факторы, оказывающие существенное влияние на эту дальность, обычно увязывают с типовыми условиями проведения аудиоразведывательных мероприятий, а именно – проводятся ли они в помещениях или на открытой местности.

Если источник звука расположен *в помещении*, то звуковые волны будут распространяться от него до тех пор, пока не достигнут границ помещения или расположенных вне ограждений, где из падающего звукового потока (звуковой мощности) P_0 некоторая часть ($P_{отр}$) будет отражена, другая часть ($P_{полг}$) – поглощена, а оставшаяся часть ($P_{пр}$) пройдет через строительные конструкции. При этом количественно такие составные части исходного звукового потока определяются коэффициентом звукоотражения $\rho_{зв} = P_{отр}/P_0$, коэффициентом звукопоглощения $\alpha_{зв} = P_{полг}/P_0$ и коэффициентом звукопрохождения (или звукопроницаемости) $\tau_{зв} = P_{пр}/P_0$, причем $\rho_{зв} + \alpha_{зв} + \tau_{зв} = 1$.

Указанные коэффициенты являются *диффузными*, так как характеризуют усредненные эффекты отражения, поглощения и прохождения сложного акустического спектра или смешения разных звуковых волн, падающих на поверхности строительных конструкций под всевозможными углами. Если рассматривать падение отдельной продольной звуковой волны на поверхность, то значения этих коэффициентов зависят, как правило, от материала поверхности и ее свойств, частоты звуковой волны и угла падения звуковой волны на поверхность.

В помещениях необходимо различать прямой звук, приходящий в рассматриваемую точку пространства непосредственно от источника, и звук, отраженный от окружающих поверхностей. В результате многократных отражений звуковых волн и суммирования их прямых и отраженных звуковых потоков (звуковых мощностей) в помещении формируется *диффузное звуковое поле*.

Таким образом, отличительной особенностью аудиоразведывательных операций, проводимых в помещениях, является перехват полезного акустического сигнала при наличии сложного звукового поля, состоящего из двух частей – *прямой* и *реверберационной* составляющих, формирующих в итоге диффузное звуковое поле.

Акустические шумы в помещениях, существенно ограничивающие динамический диапазон принимаемой речевой информации и снижающие разборчивость речи, производятся как людьми, так и работающей техникой. Кроме того, вклад в эти шумы вносят акустические шумовые компоненты, проникающие в помещение извне (с улицы или из соседних помещений). Уровни шумов, производимых людьми, а также техническими устройствами и системами, зависят от их количества в помещении, громкости разговоров и т.д. Величина акустических шумовых компонент, проникающих снаружи, определяются звукоизоляцией помещений и уровнями внешних шумов.

Для помещений в условиях шума и акустических помех порог слышимости для приема слабого звука увеличивается. Это повышение порога слышимости может замаскировать информативный полезный сигнал. Вместе с тем, противостоять такой акустической маскировке наиболее эффективно позволяют так называемые *направленные микрофоны*, которые подавляют или значительно ослабляют при подслушивании сторонние акустические (фоновые) шумы. В этом случае наилучшее качество перехвата аудиоинформации в помещении обеспечивается при размещении направленного микрофона рабочей осью на источник сигнала (т.е. на человека или группу людей), а тылом – к источникам шума. Аудиооператор с направленным микрофоном должен стремиться занять в помещении максимально тихое место, избегая углов, где особенно много переотраженных звуковых сигналов.

К *открытой местности* обычно относят участки, не имеющие ярко выраженных ограждающих конструкций, которые создают замкнутый объем. Как правило, это улицы, площади, дворы, парки, пляжи, залы летних кафе и ресторанов и т. п. К аудиоразведке на открытых площадках относят также прослушивание разговоров, ведущихся в помещениях, если перехват акустической информации ведется через открытое окно, форточку или опущенное стекло автомобиля.

На реальную дальность перехвата информативных акустических сигналов на открытой местности влияют следующие факторы:

- *температура и влажность воздуха;*
- *направление и сила ветра;*
- *характер рельефа местности;*
- *наличие строений;*
- *растительность;*
- *уровни фоновых шумов.*

Дальность ведения аудиоразведки увеличивается, если ветер дует со стороны источника звука, если перехват речевой информации производится ночью или ранним утром, в пасмурную погоду (особенно после дождя), у водной поверхности, в горах, в зимних условиях (при отсутствии снегопада). *Дальность ведения аудиоразведки уменьшается*, так как звук поглощается или становится значительно слабее, в жаркую солнечную погоду, во время снегопада, дождя, в лесу, в кустарнике и на местности с песчаным грунтом, а также при наличии разных естественных или искусственных препятствий.

Основными ограничениями на ведение негласного съема конфиденциальной информации в рассматриваемых условиях является затухание, которое испытывает акустический сигнал при его распространении, и высокий уровень фоновых шумов.

Величина затухания обусловлена рядом факторов, которые зависят как от характеристик самого звука, так и от свойств среды распространения. Все эти факторы делят на две большие группы – А и Б.

В *группу А* входят факторы, связанные со следующими законами распространения акустических волн:

- *при распространении звука в неограниченной среде от источника конечных размеров, интенсивность этого звука убывает обратно пропорционально квадрату пройденного расстояния;*
- *неоднородности среды (в том числе, капли дождя, ветки деревьев, листья и т. д.) вызывают рассеяние звуковых волн, приводящее к ослаблению сигнала в основном направлении;*
- *на распространение звука в атмосфере влияют турбулентности, особенности распределения температуры и давления, сила и скорость ветра, которые порознь и в совокупности могут вызвать изменение направления распространения звука.*

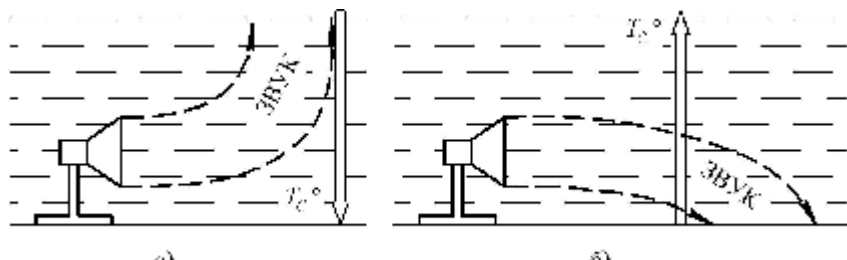


Рис. 3.1. *Ход направленных звуковых волн при убывании температуры воздуха с высотой (а) и при возрастании температуры воздуха с высотой (б)*

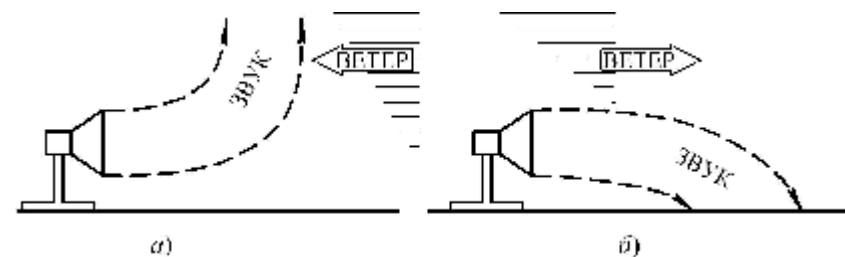


Рис. 3.2. *Влияние ветра на ход направленных звуковых волн при их распространении навстречу ветру (а) и по ветру (б)*

Так, при вертикальном градиенте температуры и наличии слоистой структуры воздушных масс в приземном пространстве направление распространения звуковых волн меняется, и эти волны уходят в сторону слоя, характеризующегося меньшей скоростью звука, т.е. в сторону слоя с меньшей температурой (рис. 3.1).

При нормальном изменении температуры атмосферных слоев (обычно днем), когда с увеличением высоты их температура понижается, скорость звука уменьшается в вышерасположенных слоях атмосферы. В этом случае (рис. 3.1, а) направленные звуковые волны от наземного источника звука не распространяются на значительное расстояние вдоль земной поверхности, а уходят кверху, и звук, начиная с некоторой дистанции, перестает быть слышен. Иногда (обычно ночью), когда возникает температурная инверсия и температура воздушных слоев с ростом высоты увеличивается, звук, как бы пригибаясь к земле, может распространяться на большие расстояния (рис. 3.1, б).

На изменение хода звука может влиять и ветер (рис. 3.2). Поскольку в приземном слое его скорость возрастает с высотой, то при распространении направленных звуковых волн навстречу ветру звук уходит кверху (рис. 3.2, а), а при распространении по ветру – пригибается к земной поверхности (рис. 3.2, б), что может привести в первом случае к созданию зон молчания, а во втором случае – к существенному улучшению слышимости звука и увеличению дальности его распространения.

Группа Б связана с физическими процессами в веществе – необратимыми переходами звуковой энергии в другие формы (главным образом, в тепло). Здесь можно выделить следующие факторы, определяющие величину затухания звуковых волн:

- степень поглощения звуковых волн растет при уменьшении относительной влажности воздуха;
- поглощение звука возрастает пропорционально квадрату частоты, поэтому низкие звуки распространяются дальше высоких.

Так, в воздухе ультразвуковые волны сильно поглощаются и потому затухают особенно быстро. Вместе с тем, коэффициент поглощения звука в воде примерно в 700 раз меньше, чем в воздухе и, следовательно, почти во столько же раз возрастает дальность распространения звука в этой среде. Данное обстоятельство позволяет осуществлять связь и гидролокацию в воде на ультразвуковых частотах, для которых легче создать направленные звуковые волны при несущественном уменьшении их интенсивности с расстоянием.

Следует особо отметить, что, строго говоря, открытых пространств, в которых звуковые волны распространялись бы беспрепятственно во всех направлениях, практически не существует, так как всегда имеет место эхо – отражение от земной поверхности или стен ближайших зданий, предметов и т.п. При этом нужно помнить, что на открытой местности при отражении звуковых волн от крупного неподвижного объекта частота звука не меняется, т.е. возникающее эхо (эховолна) имеет исходную частоту звука источника.

Переотражения от наземных объектов всегда можно учесть, а иногда и просто пренебречь ими, если они незначительны из-за высокого коэффициента поглощения (например, при падении звуковых волн на снежный покров).

Существенно улучшить качество акустического перехвата позволяют направленные микрофоны, без которых в реальных городских условиях практически невозможно произвести съем информации на расстоянии, превышающем 10÷15 м на шумных улицах и 15÷25 м – в остальных случаях.

В загородных условиях такая дистанция составляет 30÷100 м. При этом необходимо запомнить простое правило: *если на фоне стороннего шума аудиооператор слышит речь своим ухом, но не может разобрать некоторые фрагменты разговора, а также отдельные слова, то с помощью направленного микрофона можно осуществить перехват и звукозапись разговора; в противном же случае, никакой направленный микрофон не поможет.*

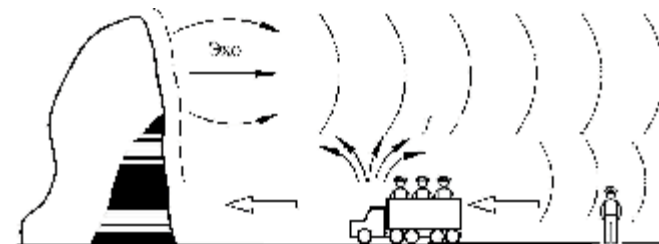
При использовании направленных микрофонов аудиооператор должен учитывать все акустические эффекты, которые могут проявить себя при прямом подслушивании или выполнении несанкционированной звукозаписи. Для иллюстрации этого положения рассмотрим следующие примеры.

Пример 3.1. На открытом участке местности в идеальных условиях слова команд начальника службы безопасности, подаваемые голосом, воспринимаются его сотрудниками, находящимися на расстоянии 0,4 м, как 68 дБ по уровню громкости звука. Определим предельную дальность регистрации этих команд подслушивающим аудиооператором, воспринимающим речевую информацию на слух.

Решение. Из условия задачи имеем $d_1 = 0,4$ м и $\beta_1 = 68$ дБ, причем на основании формулы (2.14) $\beta_1 = 10 \cdot \lg(I_1/I_0)$, откуда $\lg I_1 = 6,8 + \lg 10^{-12} = 6,8 + (-12) = -5,2$ и интенсивность звука команд начальника службы безопасности $I_1 = 6,3 \cdot 10^{-6}$ Вт/м². Для определения предельной дальности d_2 регистрации этих команд подслушивающим оператором, воспринимающим речевую информацию на слух с порогом чувствительности $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м², воспользуемся законом (2.12) обратных квадратов: $d_2 = d_1 \sqrt{I_1/I_0} = 0,4 \sqrt{6,3 \cdot 10^{-6}/10^{-12}} = 1004$ м.

Пример 3.2. Автомобиль с открытым верхом, миновав неподвижного подслушивающего аудиооператора, поднимается со скоростью $v_{авт} = 19$ м/с в гору по пологому участку шоссе. Оказавшись вблизи туннеля в отвесной скале, водитель автомобиля подает длинный непрерывный гудок с частотой $f_{авт} = 340$ Гц.

Звук гудка и его эхо, возникшее при отражении от отвесной скалы, слышат пассажиры автомобиля и водитель, а также аудиооператор, находящийся на обочине шоссе перед туннелем на некотором отдалении от него. Определим частоту звуков, которые слышат пассажиры и водитель автомобиля, а также аудиооператор, и выясним, какие возникают при этом звуковые эффекты, если температура воздуха равна 26 °С.



Решение. При температуре воздуха 26 °С скорость распространения звука $v = 20,07 \sqrt{26 + 273} = 347$ м/с. Неподвижный аудиооператор услышит отраженное от скалы эхо, звуковая частота которого – это частота $f'_{ск}$ падающего на скалу звука приближающегося к ней автомобильного гудка, причем $f'_{ск} = f_{авт} / (1 - v_{авт} / v) = 340 / (1 - 19/347) = 360$ Гц. Кроме того, аудиооператор услышит звук гудка удаляющегося от него автомобиля, причем частота этих звуковых колебаний равна $f'_{набл} = f_{авт} / (1 + v_{авт} / v) = 340 / (1 + 19/347) = 322$ Гц. Как видно, различие между частотами $f'_{ск}$ и $f'_{набл}$ невелико, поэтому возникают слышимые аудиооператором звуковые биения, частота которых составляет величину $f_{б,набл} = f'_{ск} - f'_{набл} = 360 - 322 = 341$ Гц. В свою очередь, водитель автомобиля и пассажиры слышат одновременно исходную частоту автомобильного гудка $f_{авт} = 340$ Гц, а также новую частоту звука $f'_{авт}$, возникающую из-за того, что к скале, порождающей эхо с частотой $f'_{ск} = 360$ Гц, приближаются наблюдатели (водитель и пассажиры) со скоростью автомобиля $v_{авт} = 19$ м/с, а потому имеем $f'_{авт} = (1 + v_{авт} / v) f'_{ск} = (1 + 19/347) \cdot 360 = 380$ Гц. Следовательно, водитель автомобиля и пассажиры услышат биения с частотой $f_{б,авт} = f'_{авт} - f_{авт} = 380 - 340 = 40$ Гц при частоте результирующих колебаний $f_{рез,авт} = (f'_{авт} + f_{авт}) / 2 = (380 + 340) / 2 = 360$ Гц.

§ 3.3. Главные технические характеристики направленных микрофонов

Микрофоны, как известно, преобразуют энергию звуковых волн в электрический сигнал. Вместе со специальными усилителями и блоками фильтрации они могут быть использованы в качестве устройств перехвата конфиденциальной акустической информации.

Обычный микрофон способен регистрировать человеческую речь на расстоянии, не превышающем нескольких десятков метров. Для увеличения дистанции, на которой можно производить подслушивание, практикуют использование направленных микрофонов.

Направленный микрофон – это устройство, которое собирает звуки только с одного направления. Он обладает узкой (иногда говорят «игольчатой») диаграммой направленности. В наиболее общем виде любой направленный микрофон можно представить как некоторый комплекс, состоящий из чувствительного маломощного акустоэлектрического элемента (собственно микрофона), осуществляющего акустико-электрическое преобразование, и специальной акустомеханической системы («акустической антенны»), обеспечивающей направленные свойства этого комплекса. Кроме того, в виде отдельного блока изготавливается микрофонный усилитель с подключенными к нему головными телефонами и звукозаписывающим устройством.

Можно выделить два основных типа направленных микрофонов:

- с *параболическим отражателем*;
- *групповые микрофоны*.

Кроме этих двух основных типов получили распространение так называемые *микрофонные решетки*.

В общем случае чувствительность рассматриваемых микрофонов может быть выражена в величинах мВ/Па или мВт/Па, т.е. в величинах либо выходного напряжения на нагрузке (обычно в «мВ»), либо выходной мощности в нагрузке (обычно в «мВт») при звуковом давлении в 1 Па и рабочей звуковой частоте 1 кГц.

Для сравнительной оценки качества направленных микрофонов используют технические характеристики, основными из которых являются:

- *характеристика (диаграмма) направленности*;
- *индекс направленности*;
- *коэффициент направленного действия*.

Характеристика или **диаграмма направленности** – это чувствительность микрофона в зависимости от угла Θ между рабочей осью микрофона и направлением на источник звука. Эту характеристику определяют или на ряде частот, или в пределах полосы частот. Обычно используют нормированную характеристику направленности:

$$R(\Theta) = \frac{U_{\Theta}}{U_0},$$

характеризующую зависимость чувствительности U_{Θ} , измеренной под углом Θ , по отношению к осевой (максимальной) чувствительности U_0 .

Большинство направленных микрофонов имеют осевую симметрию, поэтому характеристика направленности для них одинакова во всех плоскостях, проходящих через ось микрофона.

Индекс направленности – показывает выраженную в децибелах разницу уровней мощности сигналов на выходе микрофона от двух источников звука: одного (например, голоса человека), расположенного на оси, и другого – периферийного (бокового) источника рассеянных звуковых волн (например, шума автотрассы), если оба эти источника изначально создают в точке предполагаемого размещения направленного микрофона одинаковое акустическое давление. Другими словами, индекс направленности показывает величину подавления шума, приходящего с бокового направления, по отношению к сигналу, приходящему с основного направления, совпадающего с осью микрофона.

Заметим, что обычный, ненаправленный микрофон, не подавляет бокового шума, поэтому его индекс направленности равен нулю.

Коэффициент направленного действия показывает выраженную в децибелах сравнительную величину возрастания уровня полезного сигнала на выходе микрофона при замене ненаправленного микрофона на направленный и при сохранении без изменения величины акустического давления в точке расположения микрофона.

Говоря о перспективах развития направленных микрофонов, следует выделить следующие направления улучшения их характеристик.

1. Возможно появление направленных микрофонов, способных к *адаптивной пространственно-временной фильтрации* акустических помех. Объективной основой для разработки таких направленных микрофонов являются достижения в области цифровой многоканальной обработки данных (подобные микрофоны будут в обязательном порядке снабжаться специальной микропроцессорной техникой).

2. Прогресс в области высокочувствительных акустических сенсоров позволит создать в ближайшем будущем направленные микрофоны с *улучшенной пороговой чувствительностью*, что даст возможность повысить дальность перехвата акустической информации.

3. Возможно появление принципиально новых устройств, использующих, в частности, *нелинейные эффекты* для реализации органолептически скрытых (т.е. не выявляемых с помощью органов чувств) акустических антенн большого размера, способных значительно увеличить коэффициент направленного действия.

§ 3.4. Направленные микрофоны с параболическим отражателем

Принцип действия направленных микрофонов с параболическим отражателем (т.е. акустических телескопов) легко понять из рис. 3.3.

Собственно микрофон 1 помещен в фокусе отражателя (рефлектора) 4 параболической формы. Звуковые волны с *осевого направления* 3, отражаясь от параболического рефлектора, собираются в его фокусе, *складываясь в фазе*, и при этом возникает

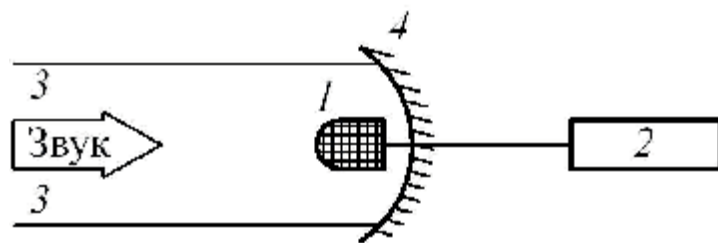


Рис. 3.3. Принцип действия направленного микрофона с параболическим отражателем: 1 – микрофон, 2 – усилитель, 3 – регистрируемая звуковая волна, 4 – параболический отражатель

усиление звукового поля, передаваемое на дополнительный внешний усилитель 2. Чем больше диаметр рефлектора, тем большее усиление может обеспечить это устройство.

Если направление прихода звука не осевое, то сложение отраженных от различных частей параболического рефлектора звуковых волн, приходящих в фокус, даст эффект ослабления звукового поля, поскольку не все слагаемые звукового поля будут в фазе. Такое ослабление будет тем сильнее, чем больше угол Θ прихода звука по отношению к оси параболического направленного микрофона. Таким образом, для данного микрофона создается *угловая избирательность* по приему звука.

Особенности оперативного применения направленных микрофонов с параболическим отражателем таковы, что неподготовленный человек не сможет их скрытно использовать, так как необходимо не только правильно расположиться относительно объекта аудиоразведки и источников шумов, но при этом и самому не быть обнаруженным. Выполнение последнего условия в данном случае весьма затруднительно, так как параболический отражатель (рефлектор) у этих направленных микрофонов может достигать 0,8 м в диаметре.

Опыт работы аудиооператоров показывает, что подобные микрофоны целесообразно применять только в условиях ограниченной видимости и при относительно низких уровнях окружающих шумов – ночью, в парках, в сельской местности и т. п. При этом микрофоны могут не улавливать звуки на заявленном в их паспорте расстоянии, если они используются недалеко от автомагистралей или в местах с повышенным уровнем фоновых шумов.

§ 3.5. Групповые микрофоны

Как следует из соотношений (2.1) и (2.5), при наведении открытой с обеих сторон трубки длиной L на источник звука наилучшие условия прохождения звуковой волны через эту трубку будут обеспечиваться только для тона с основной частотой:

$$f = \frac{v}{2L} = \frac{10,03\sqrt{T_C^* + 273}}{L} \quad (3.1)$$

Таким образом, открытая тонкая трубка выбранной длины, действуя избирательно, выполняет селекцию (выделение) соответствующей звуковой волны с основной частотой из смешения разных звуков или созвучия.

Чтобы в такой трубке не образовывалось стоячих волн, обычно входной ее конец прикрывают пористым поглощающим материалом.

Для получения ряда частотных составляющих $f_1, f_2, f_3, \dots$, например, из акустического спектра человеческой речи, несколько трубок разной длины, но одного диаметра, объединяют в одну группу. Отсюда произошло название «групповые микрофоны». Такие микрофоны обладают диаграммой направленности, обеспечивающей повышенную чувствительность в заданном направлении при значительном ослаблении звуковых сигналов, приходящих с других направлений.

В настоящее время наибольшее распространение получили групповые микрофоны двух типов:

- *трубчатые микрофоны органного типа;*
- *трубчатые целевые звукоприемники флейтообразного типа.*

Трубчатые микрофоны органного типа иногда называют направленными микрофонами с интерференционным элементом. Такой микрофон представляет собой автономную группу из нескольких собранных в пучок открытых трубок разной длины, но одного диаметра, малого по сравнению с длиной любой из трубок этой группы (рис. 3.4).

Концы всех трубок в пучке с одной стороны (обращенной к микрофону) образуют общий плоский срез, на котором обеспечивается одинаковая фаза для звуковых волн, прошедших трубки по осевому направлению. Далее, при сложении звуковых волн, пришедших в одинаковой фазе к общему срезу, происходит интерференционное усиление звукового поля. Звуковые волны фонового шума, входящие

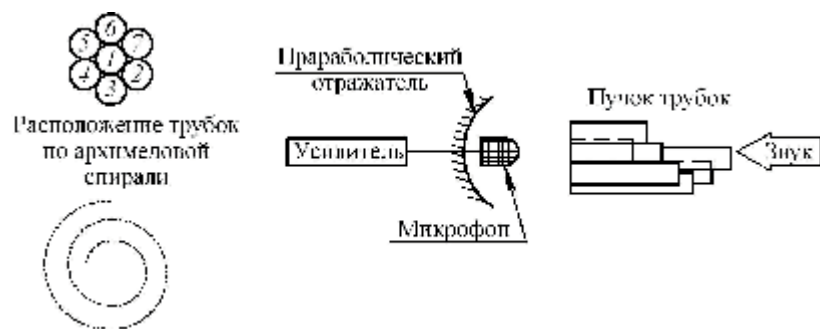


Рис. 3.4. Принципиальная схема трубчатого микрофона органного типа.

Таблица 3.1

Акустические параметры простейшего трубчатого микрофона органного типа, работающего при $T_C^{\circ} = 20^{\circ}\text{C}$

№	1	2	3	4	5	6	7
$L, \text{м}$	0,55	0,40	0,30	0,20	0,15	0,10	0,05
$f, \text{Гц}$	312	429	573	859	1 145	1 718	3 435

в трубки под некоторым углом Θ к оси, после прохождения этих трубок оказываются на их общем плоском срезе сдвинутыми по фазе, чему способствует разная длина трубок. Для таких сдвинутых по фазе звуковых волн при их сложении происходит интерференционное ослабление звукового поля. За счет этого в микрофоне органного типа с интерференционным трубчатым элементом обеспечивается угловая избирательность по приему звуковых волн.

Как правило, трубки в пучке располагаются по архимедовой спирали (улиткой), причем длинные трубки – ближе к центру пучка, а короткие – на периферии. В таком пучке трубок за его общим плоским срезом обычно располагается колеблющаяся мембрана (диафрагма), принадлежащая собственно микрофону. Также там может размещаться акустический телескоп, т. е. параболический отражатель, в фокусе которого устанавливается микрофон, преобразующий звуковую энергию в электрическую.

Простейший трубчатый микрофон органного типа, перекрывающий диапазон частот от 300 до 3300 Гц (т. е. основную часть информационного диапазона речевых сигналов), представляет собой пучок из семи алюминиевых трубок, диаметром 10 мм каждая. Длина L каждой трубки, определяющая основную частоту f выделяемого звукового сигнала, рассчитывается из формулы (3.1):

$$L = \frac{v}{2f} = \frac{10,03\sqrt{T_C^{\circ} + 273}}{f}. \quad (3.2)$$

Исходя из нее, даже не зная паспортных данных группового микрофона, можно сформировать таблицу параметров и определить акустические свойства микрофона, эксплуатация которого предполагается при определенной температуре. В таблицу вводятся: № – номер трубки, L – ее длина (м), f – основная частота звуковой волны (Гц), выделяемая трубкой. Пример такого расчета для $T_C^{\circ} = 0^{\circ}\text{C}$ и конкретных значений L приведен в табл. 3.1.

Таблица 3.2

Акустические параметры простого трубчатого микрофона призматического типа,
работающего при $T_{\text{ср}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

№	1	2	3	4	5	6	7
$L, \text{ м}$	0,55	0,40	0,30	0,20	0,15	0,10	0,05
$f, \text{ Гц}$	312	429	573	859	1 145	1 718	3 435

Вариант размещения подобной системы представлен на рис. 3.4 слева, а справа показана совместная компоновка этой системы и акустического телескопа.

Для более качественного восприятия речи необходимо увеличивать количество трубок: например, микрофон из 37 трубок перекрывает диапазон частот от 180 до 8250 Гц.

Здесь важно отметить, что, согласно формуле (3.1), один и тот же направленный групповой микрофон, находясь при разных температурах воздуха, будет выделять (селектировать) различные звуковые частоты. Действительно, для предыдущего семитрубчатого микрофона, но работающего уже при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, соответствующий набор частот, как следует из табл. 3.2, оказывается иным.

Сравнение двух температурных режимов показывает, что для трубок одной и той же длины повышение температуры окружающего воздуха изменяет рабочие селектируемые частоты в сторону роста высоты звука.

Трубчатый щелевой звукоприемник флейтообразного типа представляет собой открытую с обеих сторон трубку с отверстиями или сплошной осевой прорезью по всей длине. С некоторым приближением данную трубку можно рассматривать как множество трубок разной длины, поэтому трубчатый щелевой микрофон относят к приемникам группового типа. Собственно микрофон прикрепляется к концу такой трубки.

Если звук проходит по оси и параллельно ей, то пути его распространения по трубке и через боковые отверстия обуславливают одинаковость фаз составляющих звукового давления у колебаний, пришедших к концу этой трубки, и, следовательно, суммарное их воздействие на подвижную диафрагму собственно микрофона будет максимально. Если же звук приходит под некоторым углом Θ к оси такой трубки, то разность путей его распространения – пути звука от входа в трубку до входа в конкретное отверстие, находящееся

от него на определенном расстоянии, обуславливают сдвиг фаз. В свою очередь, это создает сдвиг фаз различной величины между звуковыми колебаниями, прошедшими через разные отверстия и пришедшими к концу трубки, что приводит к уменьшению результирующего давления на подвижную диафрагму собственно микрофона, обеспечивая тем самым угловую избирательность по приему звука.

Следует отметить, что чем более высокую направленность требуется получить, тем больше должна быть длина трубки, так как индекс направленности такого звукоприемника увеличивается с увеличением отношения длины трубки к длине волны принимаемого излучения.

Для того чтобы здесь не образовывалось стоячих волн, закрывают звукопоглощающей тканью наружный конец звукоприемного элемента, т.е. трубки.

Данный тип направленных микрофонов получил большое распространение в связи с тем, что:

- он отличается простотой изготовления и, как следствие, имеет низкую стоимость;
- в России имеется несколько производителей данной техники;
- для такого микрофона характерна простота применения;
- имеется возможность организации различных вариантов камуфляжа (часто такой микрофон камуфлируется под сложенный зонтик или трость).

В отечественных остронаправленных трубчатых щелевых микрофонах (рис. 3.5) длина трубки обычно не превышает 1 м. В стенках такой трубки проделан ряд отверстий через равные промежутки. При этом в некоторых вариантах подобных устройств около каждого из отверстий устанавливаются небольшие звуковые концентраторы – миниатюрные рупоры.

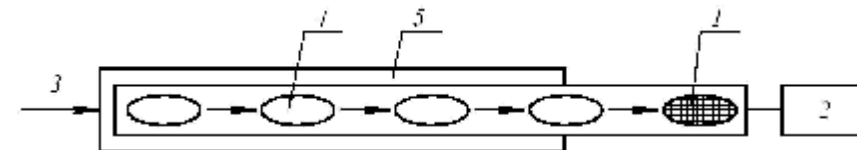


Рис. 3.5. Принципиальная схема трубчатого щелевого направленного микрофона: 1 – микрофон, 2 – усилитель, 3 – поступающие звуковые волны, 4 – щели, 5 – ветрозащитный чехол для снижения чувствительности к помехам от ветровых атмосферных воздействий.

Отечественные трубчатые щелевые направленные микрофоны предназначены для профессиональной записи звука при работе на относительно больших расстояниях от источника (в паспортах многих из них декларируется 100 м). Однако опыт работы с такими микрофонами показывает, что декларируемые 100 м дальности можно получить только в тихой загородной местности. В относительно тихом городском дворе дальность надежной звукозаписи приблизительно равна 30 м, а на достаточно оживленной улице – не более 10 – 15 м. Опытным путем доказано, что такая дальность присуща всем направленным микрофонам данного типа как отечественным, так и зарубежным.

В трубчатом щелевом звукоприемнике флейтообразного типа наиболее низкий звук, выделяемый этим устройством, соответствует всей длине применяемой трубки. Звуки более высокие выделяются по мере прохождения звуковых волн через отверстия на боковой поверхности трубки и далее – при распространении этих волн по трубке вплоть до собственно микрофона. При этом выделяемый (селектируемый) самый высокий звук соответствует его прохождению через боковое отверстие трубки, ближайшее к микрофону, т. е. к выходу из трубки, или, другими словами, наиболее удаленное от входа в трубку.

Зависимость основной частоты выделяемого звука от длины трубки (от входа в нее до выхода, т. е. до микрофона) определяется формулой (2.1) для открытой с обеих сторон трубы.

Пример 3.3. Трубчатый щелевой направленный микрофон при всех закрытых отверстиях на боковой поверхности трубки выделяет (селектирует) звук с частотой 200 Гц в качестве основной звуковой частоты. Оценим, чему равна длина L трубки (от входа в нее и до выхода), если температура окружающего воздуха при работе этого устройства равна 15 °С.

Решение. Непосредственной подстановкой численных значений в формулу (3.2) найдем: $L = 10,03\sqrt{15 + 273}/200 = 0,85$ м.

Пример 3.4. Трубка щелевого направленного микрофона, у которой изначально были прикрыты все отверстия на ее боковой поверхности, селектирует звук с частотой $f_1 = 200$ Гц. Определим, на каком расстоянии d от входа в эту трубку должно быть открыто отверстие, чтобы работающий при 0 °С такой щелевой направленный микрофон кроме звука с частотой 200 Гц выделял бы (селектировал) звук с основной частотой $f_2 = 500$ Гц.

Решение. При температуре 0 °С формула (3.2) для длины трубки L дает: $L = 165,7/f_1 = 165,7/200 = 0,83$ м. Чтобы селектировать звук с частотой 500 Гц необходима длина трубки $L' = 165,7/f_2 = 165,7/500 = 0,33$ м. Поэтому отверстие должно быть открыто на расстоянии $d = L - L' = 0,83 - 0,33 = 0,5$ м от входа в трубку.

Пример 3.5. У трубчатого щелевого направленного микрофона общая длина трубки равна 850 мм. Выход (конец) этой трубки, где расположен собственно микрофон, наглухо закрыт. При независимом акустическом исследовании сплошной такой трубки (без отверстий или прорези на ее боковой поверхности) установлено, что на ее закрытом конце (на закрытом выходе) располагается узел стоячей звуковой волны основной частоты, а на открытом входе в трубку – соседняя пучность данной волны. Для открытой с одной стороны трубки найдем значение основной частоты выделяемого (селектируемого) звука при всех закрытых отверстиях на ее боковой поверхности, если температура окружающего воздуха при работе такого направленного микрофона равна 9 °С. Сравним основные частоты f_1 и f_2 выделяемого звука для открытой с обеих сторон трубки и для закрытой с одной стороны трубки той же длины.

Решение. Во-первых, из формулы (3.1) следует, что

$$f_1 = \frac{10,03\sqrt{T_C + 273}}{L} = \frac{10,03\sqrt{9 + 273}}{0,85} = 198 \text{ Гц}$$

Во-вторых, поскольку на закрытом конце трубки располагается узел стоячей звуковой волны основной частоты, а на открытом входе в трубку – соседняя пучность данной волны, то внутри трубки уместается только четверть длины волны, т. е. для частоты f_2 длина волны λ_2 находится как $\lambda_2 = 4L$; поэтому $f_2 = v/\lambda_2 = v/4L$ или $f_2 = f_1/2 = 99$ Гц. Таким образом, при одинаковой температуре основная частота выделяемого звука для открытой с обеих сторон трубки вдвое больше, чем для открытой с одной стороны.

§ 3.6. Микрофонная решетка

В качестве микрофонной решетки используется группа датчиков акустического давления, расположенных, как правило, в одной плоскости в шахматном или ином порядке. Сигналы с этих датчиков в простейшем случае суммируются, однако в настоящее время применяют более сложные и эффективные способы обработки данных.

Диаграмма направленности микрофонной решетки, позволяющая оценивать эффективность использования этого устройства в различных акустических условиях, как показывает опыт эксплуатации, не хуже, чем у трубчатых микрофонов органного типа или трубчатых щелевых звукоприемников флейтообразного типа. Опытным путем было установлено, что в условиях городского звукового фона, относительно равномерно приходящего на вход такого устройства со всех направлений, длины сторон плоскостной микрофонной решетки должны быть в диапазоне $0,3 \div 0,5$ м.

Испытания микрофонных решеток в городских условиях подтвердили возможность подслушивания и записи речи с расстояния до 50 м при средних плоскостных габаритах этих устройств $0,45 \times 0,35$ м. Результаты проведенных испытаний обусловили разработку микрофонных решеток, закамуфлированных под верхнюю крышку кейса, перпендикулярно которой расположили максимум диаграммы направленности.

Такие микрофонные решетки обеспечивают надежный перехват акустической информации на удалении 40 м от объекта разведывательных интересов с возможностью одновременной записи на диктофон или магнитофон и передачей электромагнитных сигналов по радиоканалу с кварцевой стабилизацией частоты (дальность передачи не менее 200 м).

Управление записью на диктофон или магнитофон, а также управление коммутацией питания радиоканала осуществляется скрыто установленными переключателями, расположенными в замке на передней панели кейса.

Время непрерывной работы такого направленного микрофона не менее 20 часов.

§ 3.7. Спектральные характеристики акустических речевых сигналов и особенности их восприятия

Акустические речевые сигналы, т. е. звуки речи, занимают внутри диапазона слышимости ($16 \div 20\,000$ Гц) сравнительно узкий участок в частотном спектре – от 200 до 4 000 Гц. Данный участок с условными граничными частотами признан наиболее результативным при использовании современных средств связи. В некоторых литературных источниках указывается для акустических речевых сигналов более широкий спектральный участок – от 100 до 10 000 Гц. Этот участок, являясь рабочим в новых системах звукотехники, обуславливает высококачественное звучание речи, что обеспечивается эффективной передачей мужского и женского голосов, соответственно ограниченных частотами 100 и 200 Гц – снизу и 7 000 и 9 000 Гц – сверху.

При всем разнообразии звуков речи все они произносятся с использованием ограниченного числа *фонем*, служащих основой построения и распознавания значимых единиц языка – слогов, слов и фраз. **Фонема** – это минимальная смысловоразличительная единица звукового строя данного языка, с помощью которой различаются и отождествляются слова и словосочетания (например, фонемы «д» и «т» в разнослышимых словах «дом» и «том»). По мнению разных авторов в русской речи насчитывается от 39 до 44 фонем (например, гласные – «а», «о», «у», «э», «и», «ы», шумовые согласные – «с», «з», взрывные согласные – «д», «т» и др.), причем фонем несколько больше, чем букв. Это объясняется составной звуковой структурой некоторых букв. В частности, такие гласные буквы, как «е», «ё», «ю», «я» представляют собой двойной звук «й + гласный», т. е. «йэ», «йо», «йу», «йа».

Следует отметить, что звуки речи (акустические речевые сигналы) неодинаково информативны. Так, гласные звуки содержат незначительную информацию о смысле речи, в то же время согласные несут наибольшую информационную нагрузку. Например, в слове «датчик» имеющаяся последовательность гласных «а, и» ни о чем не говорит, а последовательность произнесенных согласных «д, т, ч, к» дает почти однозначный ответ о смысле слова.

Каждый звук человеческой речи не является музыкальным (чистым) тоном, а представляет собой наложение гармонических колебаний с разной интенсивностью и большим набором частот. Другими словами, любой звук речи обладает собственным акустическим спектром с его сложной волнообразной огибающей, имеющей в областях максимальной интенсивности явно выраженные пики, называемые **формантами** (рис. 3.6).

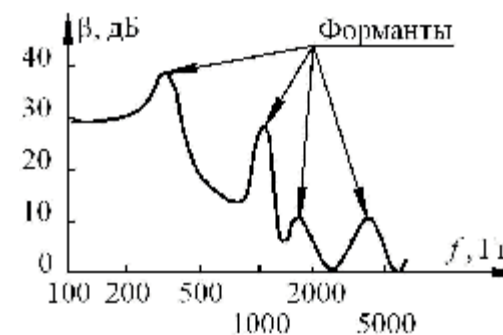


Рис. 3.6. Огибающая акустического спектра фонемы «э»

Любой звук речи имеет несколько формант, занимающих спектральный участок в границах примерно от 150 до 7000 Гц, который при проведении акустических исследований принято делить на 6 октавных полос со средними частотами 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 6000 Гц. При этом в общем случае под октавой понимают интервал частот, у которого минимальная и максимальная частоты соотносятся как 1:2. Следовательно, указанные выше октавные полосы занимают частотные области 167÷333, 333÷667, 667÷1333, 1333÷2667, 2667÷5333 и 4000÷8000 Гц.

Звуки разного акустического спектрального состава имеют различную слышимость. Так, лучше всего человек воспринимает на слух звуки в частотных границах от 1 до 6 кГц. Однако слышимость не является всеобъемлющей характеристикой речи, так как речь может быть прекрасно слышна и звучать очень громко, но быть при этом совершенно неразборчивой (например, в залах некоторых вокзалов, аэропортов и т. п.). Поэтому особое внимание уделяется разборчивости речи, для оценки которой разработаны и утверждены международные стандарты (ISO/TR-4870; ANSI S3.2, S3.5; IEC 268-16 и др.).

Согласно одному из международных стандартов, а именно ISO/TR-4870, **под разборчивостью понимается «степень, с которой речь может быть понята (расшифрована) слушателями»**. Под этим подразумевается уровень или степень речевого восприятия, при которой слушатели могут идентифицировать фонемы, слоги, слова и фразы. В соответствии с данным определением различаются виды разборчивости: фонемная, слоговая, словесная и фразовая, среди которых в настоящее время приоритетной является словесная разборчивость. При этом **под словесной разборчивостью понимают процентное отношение числа правильно принятых слов к общему числу слов**, либо произнесенных при непосредственном общении, либо переданных с помощью средств связи.

При передаче акустических речевых сигналов происходит неизбежная потеря информации. Хотя эти сигналы обладают определенной избыточностью, но различные шумы, искажения и особенно реверберационные помехи (возникающие из-за переотражений звука в помещении) могут привести к настолько значительной потере информации, что это делает невозможным понимание смысла речи, т. е. речь становится неразборчивой. Поэтому следует остановиться на том, какие основные факторы

влияют на уровень разборчивости речи, как при непосредственном общении людей, так и в разных системах коммуникации, звукозаписи и звуковоспроизведения.

Усредненные интегральные характеристики речи показывают, что в распределении интенсивности акустических речевых сигналов по частоте основная энергия речи сосредоточена в частотной полосе протяженностью до 2 кГц, причем звонкие звуки, особенно гласные, имеют высокий уровень интенсивности, а глухие – самый низкий. Поэтому при произнесении речи громкость ее непрерывно изменяется, особенно резко при произношении взрывных звуков. Диапазон уровней речи обычно находится в пределах 35÷50 дБ.

Исходя из усредненного амплитудного состава речи, более 80% звуков речи обладают уровнем меньшим 50 дБ и, как показал опыт, они легко маскируются шумами. Среди таких звуков могут оказаться согласные звуки – самые информативные. Гласные звуки имеют свою основную частоту в пределах 80 – 250 Гц, а значительная часть их энергии сосредоточена в формантных областях 450 – 4000 Гц. Именно по распределению формантных областей в акустическом спектре и происходит распознавание гласных звуков. Хотя гласные звуки имеют длительность 30÷300 мс, и именно в них сосредоточена основная энергия акустических речевых сигналов, основной вклад в разборчивость вносят согласные звуки, которые имеют значительно меньшую длительность – от 10 до 100 мс. Они ниже по уровню интенсивности по сравнению с гласными звуками и их спектр, особенно у шумовых согласных («с», «з») и взрывных согласных («д», «т»), расположен в основном в ВЧ-области от 2 кГц до 10 кГц.

Ключевую роль в идентификации речевых сообщений играют октавные полосы со средними частотами: 1, 2 и 4 кГц. Они содержат до 75% речевой информации. Особо важную роль играет октавная полоса со средней частотой 2 кГц, содержащая до 33% речевой информации.

Среди многочисленных существенных обстоятельств, влияющих на разборчивость речи, целесообразно выделить нижеследующие факторы.

Прежде всего, следует выделить маскировку речи другими звуками, в том числе шумами в ревербирующем помещении и др. Шумы могут создаваться вентиляцией, внешними проникновениями звуков, шумами бытовой аппаратуры, публикой, электронной аппаратурой и т. п. Процент потери разборчивости зависит, прежде

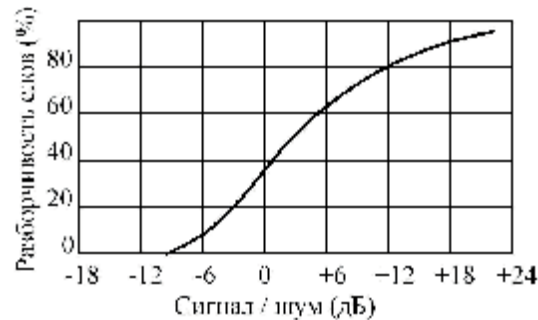


Рис. 3.7. Зависимость словесной разборчивости от отношения сигнал/шум Q для широкополосного (20 – 4000 Гц) маскирующего шума

всего, от отношения уровня речевого сигнала к уровню шума (отношение сигнал/шум Q), которое должно быть выше определенного значения, чтобы можно было понять смысловое содержание речи.

Степень маскировки шумом будет зависеть не только от самой величины Q , но и от спектрального состава шума. Для широкополосного шума (в диапазоне от 20 Гц до 4000 Гц) зависимость процента словесной разборчивости от отношения сигнал/шум показана на рис. 3.7. Видно, что процент словесной разборчивости будет больше 80% только при $Q > 12$ дБ.

Если шум узкополосный, то степень маскировки речи шумами и потеря разборчивости зависят от рабочей частотной полосы (рис. 3.8), причем для удовлетворительной словесной разборчивости более «опасными», чем ВЧ-шумы (1,8 – 2,5 кГц), являются шумы низкочастотные, лежащие в пределах 135 – 400 Гц.

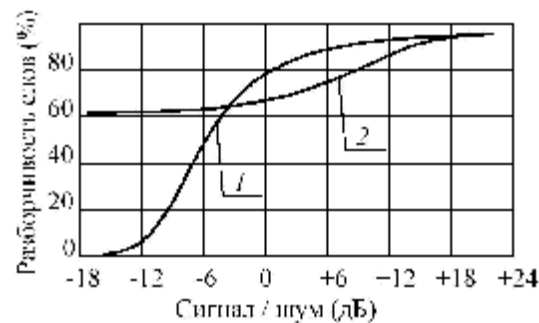


Рис. 3.8. Зависимость словесной разборчивости от отношения сигнал/шум: 1 – для низкочастотного (135 – 400 Гц) узкополосного шума, 2 – для высокочастотного (1,8 – 2,5 кГц) узкополосного шума.

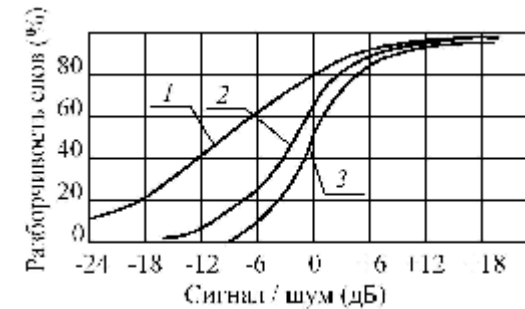


Рис. 3.9. Зависимость словесной разборчивости от отношения сигнал/шум при воздействии посторонних голосов: 1 – один голос, 2 – два голоса, 3 – три голоса

Сильное воздействие на разборчивость речи оказывает шум от посторонних голосов или шум толпы (рис. 3.9).

Поскольку шум от посторонних голосов сходен с воспринимаемой речью по спектральному составу, то, как следует из рис. 3.9, уровень словесной разборчивости резко снижается, особенно при увеличении числа мешающих голосов. Именно поэтому «эффект близости» («proximity effect») у направленных микрофонов, связанный с увеличением чувствительности на низких частотах при приближении микрофона к источнику звука (попадание в зону сферической волны), приводит к значительной потере разборчивости за счет маскировки речевого сигнала низкочастотными составляющими шума. Этим обстоятельством обусловлена необходимость применения ВЧ пропускающих фильтров в современных технических средствах приема и передачи акустических речевых сигналов.

Влияние шумов на разборчивость речи зависит также от направления их прихода. Если направления речевого сигнала и шума совпадают, то степень маскировки речи шумами и, соответственно, процент потери разборчивости будет наибольшим. Слуховому анализатору человека трудно провести их разделение, но чем больше расстояние между источником речевого сигнала и источником шума, тем выше разборчивость.

Процесс реверберации (послезвучания) в помещении оказывается критическим для разборчивости речи, поскольку в ту же точку, где расположен слушатель, приходят со всех сторон отраженные сигналы с похожей спектральной структурой,

но с большим содержанием низкочастотных составляющих. Особенно это заметно в тех местах помещения, где энергия прямого сигнала равна энергии переотраженных сигналов.

Как известно, для каждого вида музыки и речи имеется свое оптимальное время реверберации. Примеры для некоторых видов музыки и речи в помещениях различных объемов показаны на рис. 3.10. Как видно, оптимальное время реверберации для речи существенно ниже, чем для музыки. Прослушивание речевых сообщений в помещениях с большой реверберацией приводит к значительной потере разборчивости (примером тому, как уже указывалось, могут служить залы некоторых вокзалов, аэропортов и т. п.).

Для уменьшения интенсивности реверберирующего звука необходимо увеличить звукопоглощение. Однако в сильно заглушенном помещении, благодаря отсутствию запаздывающих отраженных сигналов, звук теряет свою сочность. Поэтому реверберация очень важна при восприятии «живого» вокала, звука музыкальных инструментов, речи (в театрах, концертных залах и т. д.). А вот в случае с жилыми и рабочими помещениями ситуация обратная. Поэтому реверберирующий звук в данных помещениях следует максимально заглушать, минимизируя отражения. Это достигается путем использования звукопоглощающих материалов, к которым относятся, в частности, мягкие пористые материалы. Звукопоглотителями в помещениях также являются мебель, шторы, занавес и ковровые покрытия.

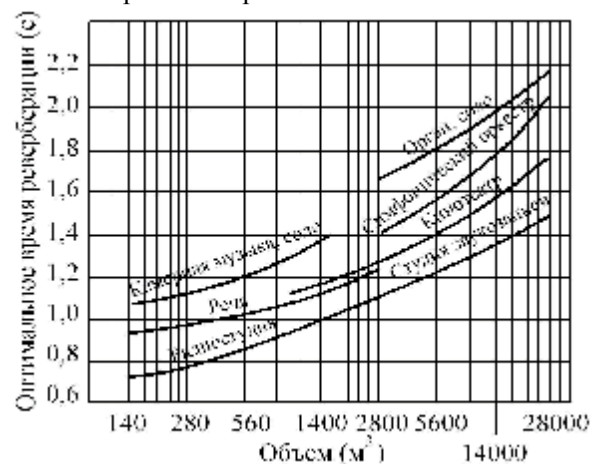


Рис. 3.10. Оптимальное время реверберации для помещений разного объема

Правильное (не максимальное, а именно правильное) звукопоглощение особенно важно для многих современных помещений, длина стен которых обычно не превышает 4÷6 м. И на низких частотах у слушателей возможны серьезные проблемы, так как звуковая волна может не уложиться между стенами комнаты (например, длина волны звука с частотой 100 Гц, составляет 3,4 м), и при переотражении звука будет происходить хаотическое наложение звуковых волн, что приводит к возникновению эффекта так называемого «бубнежа». Поэтому при выборе системы звукопоглощения надо обязательно учитывать физические параметры помещения, особенно его объем.

Итак, существенную роль для повышения разборчивости играет отношение прямого звука к реверберирующему звуку на всей площади помещения с местами для слушателей. При этом чем выше уровень прямого звука по отношению к уровню реверберирующего звука, тем выше процент разборчивости. Отсюда вытекают особые требования к выбору характеристик направленности акустических систем. Кроме того, следует отметить, что существенную роль играет также отношение энергии ранних отражений (прибывающих к слушателю в начальные 80 – 100 мс), к энергии поздних отражений – именно поэтому рекомендуется установка дополнительных звукопоглощающих экранов в помещении у трибуны оратора или у театральной сцены.

Параметры каналов связи и трактов звукотехники, такие, как частотный диапазон, форма частотной характеристики тракта, уровень нелинейных искажений, фазовые искажения и др., имеют существенное значение для обеспечения хорошей разборчивости речи. Для высококачественной передачи речи необходимо обеспечить частотный диапазон от 100 Гц (частота звуков низких мужских голосов) до 10 кГц (частота звуков высоких женских голосов и спектры шумовых согласных). Разумеется, определенный процент разборчивости сохраняется и при ограничении полосы пропускания, например, в полосе от 300 до 3000 Гц (используемой в обычной телефонной связи), хотя становятся трудно различимыми согласные звуки «т» и «д», «с» и «ф», а также некоторые другие.

Выполненные за последнее время исследования показали существенное влияние фазовых характеристик звукотехнического

тракта на разборчивость речевого сигнала, также как и на восприятие тембра и высоты тона. Поэтому требования к линейности фазовых характеристик тракта также являются существенными.

Таким образом, на разборчивость речи и эффективное восприятие акустических речевых сигналов влияют следующие основные факторы:

- отношение сигнал/шум;
- время реверберации;
- уровень прямого звука;
- отношение энергии ранних и поздних отражений;
- частотный диапазон звукотехнических систем;
- характеристики направленности и уровень нелинейных искажений.

§ 3.8. Устройства записи и воспроизведения акустической информации. Приборы и способы повышения разборчивости записанной речи

Для несанкционированной записи акустической информации в современных условиях получили широкое распространение такие звукозаписывающие средства, как *диктофоны* и *магнитофоны*, входными элементами которых служат *микрофоны* (рис. 3.11).

Использование подобной аппаратуры зависит существенным образом от возможностей и способов проникновения нарушителя (злоумышленника) в контролируемое помещение накануне или во время проведения конфиденциального мероприятия. Так, накануне проведения закрытого совещания возможно кратковременное проникновение злоумышленника в контролируемое помещение под видом прислуги, уборщицы, электрика или телефониста, проверяющих помещение, с установкой и последующим (после совещания) изъятием аппаратуры магнитной записи или ее компонентов (например, выносных микрофонов). Во время проведения совещания возможна запись конфиденциальных переговоров либо с помощью диктофонов или магнитофонов, расположенных в кейсе или других предметах, принадлежащих присутствующему на совещании нарушителю, либо с помощью звукозаписывающих средств, расположенных в элементах одежды нарушителя.



Рис. 3.11. Устройства записи и воспроизведения акустической информации

В настоящее время фирмы–изготовители предлагают самые различные малогабаритные приборы звукозаписи. На российском рынке диктофоны и магнитофоны представлены с системами записи на магнитной ленте или на магнитной проволоке, а также с цифровой записью на минидисках или миникартах и, что вызывает особый интерес – со встроенной в монофонические и стереофонические магнитофоны флеш-памятью.

В последнем случае речь идет о бескинематических (или, как их иногда называют, *статических*) цифровых твердотельных диктофонах и магнитофонах. Хотя сегодня к этой технике уже некорректно применять такое привычное слово как «магнитофон», так как используемый в ней носитель информации не является магнитным. У таких звукозаписывающих устройств отсутствие движущихся частей и использование полностью металлических корпусов существенно

улучшают их оперативно-технические характеристики. В частности, позитивной отличительной особенностью данных устройств является индифферентность к паразитным электромагнитным излучениям и наводкам. Другой отличительной чертой некоторых современных диктофонов с флеш-памятью является их инвариантность, т. е. независимость от вида записываемой информации, будь она звуковой или, например, текстовой либо графической. Опыт эксплуатации таких звукозаписывающих средств с цифровой памятью свидетельствует о высоком качестве и разборчивости записанного речевого сигнала, полученного даже в сложных акустических условиях.

В общем случае качество акустической информации зависит как от полосы частот записи и воспроизведения, так и от того, какая аппаратура использовалась – моно- или стереофоническая. При этом в отличие от моно- стереовоспроизведение позволяет аудиооператору при прослушивании записи определить в пространстве контролируемого помещения местоположение звуковых источников, представляющих разведывательный интерес, и идентифицировать их. Кроме того, в отличие от моно- для стереофонического воспроизведения характерна объемность звуковой картины, четкость и раздельность звучания ее акустических компонентов при меньшей заметности искажений и помех. Специалисты в области акустики считают, что *использование стереоэффекта позволяет увеличить разборчивость речи не менее чем на 20% по сравнению с монофоническим ее звучанием.*

В настоящее время большое внимание уделяется повышению чувствительности диктофонов и магнитофонов, что в значительной мере определяется используемыми в них микрофонами (см. рис. 3.11). В современных звукозаписывающих устройствах применяются, как правило, микрофоны с чувствительностью $6 \div 10$ мВ/Па, что обеспечивает запись ведущихся шепотом разговоров на расстоянии $6 \div 8$ м, а разговоров нормальной громкости – на расстоянии от 10 до 15 м.

Эти параметры в основном определяют зону требуемого размещения подобных средств звукозаписи для обеспечения необходимого качества перехвата конфиденциальной информации. Такой перехват может осуществляться участниками переговоров при размещении звукозаписывающих средств в кейсах, записных книжках, блокнотах, книгах или карманах одежды. Габариты монофонических

диктофонов с флеш-памятью допускают их камуфлирование, например, под видом авторучки, а стереофонических – под видом пачки сигарет. При этом для их включения чаще всего используется автоматизированное управление микрофоном записывающего устройства или активация звуком голоса.

Возможность подключения выносных микрофонов позволяет надежно спрятать диктофоны и магнитофоны в предметы камуфляжа, а наличие дистанционных систем управления – производить незаметное включение подслушивающей аппаратуры. Одним из вариантов дистанционно управляемого микрофона является устройство подслушивания, иногда называемое **«телефонным ухом»**. Это устройство, обычно устанавливаемое злоумышленником в разъемную телефонную розетку, содержит собственно микрофон и схему управления микрофоном и ТФА. Оно дает возможность подслушать и вести запись разговоров в офисе, квартире и в иных помещениях с любого другого телефона города и даже из других городов и стран. Для включения в работу микрофона подслушивающего устройства необходимо набрать абонентский номер телефона, на который это устройство поставлено. После набора номера и перехвата первого звонка подслушивающее устройство переходит в активный режим (причем вызов в самом ТФА подавляется), и после этого звонка кладется трубка. Через определенный интервал времени (10 – 40 с) осуществляется повторный вызов, а для того чтобы посторонний, случайно попавший с вызовом в этот отрезок времени, не подключился к системе подслушивания, в течение 45 – 60 с идет сигнал отбоя (ложные гудки «занято»). Через указанный промежуток времени гудки прекращаются и включается расположенный в телефонной розетке микрофон, акустическая чувствительность которого позволяет подслушать и выполнить запись разговоров, ведущихся на расстоянии до 10 м. В случае если в данном помещении абонент поднимет трубку такого ТФА, чтобы позвонить куда-нибудь, подслушивание прекращается, ничем не выдавая себя. При обычном звонке такое устройство также себя не обнаруживает.

Существуют и другие способы подключения ТФА с аналогичными устройствами подслушивания.

Ведутся также проработки использования в качестве подслушивающих устройств **мобильных телефонов**. Специалистам известно, что после незначительного модифицирования мобильного телефона он легко превращается в удобное устройство

радиоподслушивания. Такой телефон оставляется в нужном месте (в «выключенном», судя по внешнему виду, состоянии). При звонке хозяина (злоумышленника) ТФА не издает сигнала, а начинает выполнять функции микрофона, позволяющего обеспечить дистанционную запись ведущихся конфиденциальных переговоров.

Другие акустические системы радиоподслушивания – **радиозакладки**, скрытно устанавливаемые в контролируемом помещении, обеспечивают подслушивание с возможной записью воспринимаемых разговоров и дальнейшей их передачи к злоумышленнику по радиоканалу или по проводам на радиочастотах.

По применению и конструктивным особенностям радиозакладки подразделяются на *телефонные* (ТФРЗ) и *микрофонные* (МФРЗ), отличие которых друг от друга заключается в том, что телефонные пользуются микрофоном ТФА, а микрофонные – своим собственным встроенным микрофоном. Кроме того, ТФРЗ используют электропитание от АТС, а МФРЗ питаются как от автономных внутренних источников, так и от внешних источников, в частности, от бытовой или промышленной электросети.

Современные радиозакладки, представляющие собой миниатюрные радиопередатчики, чаще всего используют диапазоны радиочастот $80 \div 170$ и $350 \div 500$ МГц. При этом наибольшее распространение получили модели радиозакладок, развивающие мощность в пределах $10 \div 25$ мВт при дальности связи от 100 до 350 м, причем отдельные экземпляры обеспечивают дальность связи до $500 \div 1000$ м и более в диапазоне частот от 100 до 170 МГц.

Для получения качественной записи и воспроизведения полезных речевых сигналов при эффективном подавлении большинства типов помех и искажений используются *автономные станции шумочистки*, работающие в реальном масштабе времени, и *специализированные программные комплексы* (рис. 3.12).

Сегодня разработано большое количество различных устройств и программ, способных повысить качество звучания и разборчивость речи. Среди них наибольшее развитие получили системы обработки, использующие цифровую адаптивную фильтрацию во временной области, компенсацию помех, спектральное вычитание и т. д.



Рис. 3.12. Аппаратура для повышения разборчивости записанной речи.

Большие возможности по восстановлению речевых сигналов обеспечивают разработанные рядом фирм пакеты специальных программ. Они позволяют после ввода речевых сигналов в персональный компьютер провести визуальный анализ этих сигналов с необходимым разрешением по времени, выполнить спектральный анализ сигналов с отображением спектрограмм требуемых участков исходного речевого сигнала, осуществить компенсацию и фильтрацию различного класса помех для повышения отношения сигнал/шум.

С целью устранения мешающих восприятию речи паразитных акустических сигналов, таких как скрежет, свист, шипение и т. п. в современных системах записи и воспроизведения применяются *эквалайзеры*.

Эквалайзер – это радиоэлектронное устройство, позволяющее осуществить частотную коррекцию акустических сигналов при их записи и воспроизведении с учетом особенностей источника речевых сигналов, акустических характеристик контролируемого помещения, (в частности, времени реверберации), особенностей восприятия информации слушателем, качества используемой фонограммы и т. п.

В состав эквалайзера, как правило, входят широкополосные устройства частотной коррекции (отдельно на каждый частотно-спектральный канал), содержащие от 3 до 12 регуляторов тембра, при помощи которых аудиооператор может осуществлять звуковую регулировку соответственно в $3 \div 12$ поддиапазонах (полосах) рабочих частот. Кроме того, эквалайзер обычно включает в себя анализатор спектра звуковых сигналов и блок фильтрации. С помощью эквалайзера можно сделать слышимыми самые низкие частоты и подавить высокие частоты или создать другие комбинации, позволяющие наиболее качественно выделить необходимый информативный сигнал на фоне разнообразных побочных сигналов и помех.

К другим современным приборам, значительно повышающим качество звучания и разборчивость речи, следует отнести **компьютерные транскрайберы** со специализированными программными пакетами. Часто такие транскрайберы предназначаются для ввода в память компьютера звуковых сигналов, их визуализации, редактирования, анализа и шумоочистки с целью решения наиболее сложных задач, связанных с экспертным исследованием фонограмм речи. К таким задачам обычно относят: установление аутентичности фонограмм (включая выявление следов аналогового и цифрового монтажа); идентификацию личности по фонограммам речи низкого качества и малой продолжительности (в том числе, на иностранном языке); определение эмоционального состояния личности по речевым сигналам; шумоочистку и текстовую расшифровку наиболее низкокачественных фонограмм речи.

§ 3.9. Защита от подслушивания и записи конфиденциальных переговоров

Подслушивание конфиденциальных переговоров и их запись может осуществляться либо непосредственно, когда звуковые волны от говорящего прямо или через конструкции зданий и помещений достигают подслушивающего, либо с помощью разных технических устройств. Поэтому основными мероприятиями при защите от подслушивания и записи конфиденциальной информации выступают организационные, организационно-технические и технические меры (рис. 3.13).



Рис. 3.13. Схема защитных мероприятий от подслушивания и записи конфиденциальной информации.

Организационные меры предусматривают проведение архитектурно-планировочных, пространственных и режимных мероприятий.

Архитектурно-планировочные мероприятия основываются на предъявлении и реализации определенных требований на этапе проектирования защищаемых помещений или в период их реконструкции с целью исключения или ослабления неконтролируемого распространения звуковых полей непосредственно в воздушном пространстве таких помещений или в их строительных конструкциях в виде структурного звука.

Пространственные мероприятия тесно увязываются с предписанным выбором расположения выделенных для защиты помещений в пространственном плане и их оборудовании необходимыми для акустической безопасности элементами, что позволяет исключить или кардинальным образом ослабить прямое или отраженное в сторону злоумышленника распространение звука. В этих целях, например, окна защищаемых помещений ориентируются в сторону охраняемой от посторонних лиц территории или закрываются глухими ставнями. Кроме того, такие помещения желательно располагать в центре здания, рядом с кабинетами руководства коммерческого объекта.

Все помещения, выделенные для защиты, подвергаются пространственному анализу, при котором каждое из них соотносят с соседними помещениями, расположенными как на том же этаже, так и расположенными этажами выше и ниже, что облегчает определение и прикрытие от подслушивания и записи возможных охраняемых зон.

Режимные мероприятия предусматривают строгий контроль пребывания в охранной зоне сотрудников и посетителей. Кроме того, эти мероприятия обычно основываются на установке временных, территориальных и режимных ограничений в работе сотрудников, принимающих участие в конфиденциальных переговорах и обсуждениях закрытых тем, ограничениях в работе технических средств, расположенных в контролируемом помещении.

Внутри контролируемого помещения должно быть минимальное количество мебели. Конструкция мебели должна быть наиболее приспособлена для работы специалиста по поиску техники подслушивания.

Здание, где размещаются выделенные для защиты помещения, должно иметь круглосуточную охрану и современные системы сигнализации.

Организационно-технические меры предполагают проведение мероприятий двух видов – пассивных (обеспечение звукоизоляции и звукопоглощения) и активных (обеспечение звукоподавления), а также их комбинации.

Проведение *пассивных* мероприятий направлено на уменьшение величины информативного акустического сигнала в местах предполагаемого расположения технических средств злоумышленника до уровня, гарантирующего невозможность перехвата такого сигнала. Эти мероприятия предусматривают использование внутри выделенных помещений пористых и мягких отделочных и облицовочных материалов, обладающих, как правило, звукоизоляционными и звукопоглощающими свойствами, обусловленными тем, что в таких материалах много поверхностей раздела между воздухом и собственно материалом, что приводит к многократному отражению и поглощению звуковых колебаний. Кроме того, при возникновении необходимости повышения акустической защиты возможно использование ограждений, экранов, колпаков и т. п.

Активные способы защиты, основанные на звукоподавлении, позволяют увеличить шумы на частоте приема информативного сигнала до значения, обеспечивающего гарантированное нарушение акустического канала утечки информации. К активным средствам защиты относятся генераторы шума, представляющие собой технические устройства, вырабатывающие шумоподобные электронные сигналы. Эти сигналы подаются на соответствующие датчики акустического или вибрационного преобразования, первые из которых предназначены для создания акустического шума в помещениях или вне их, а вторые – для маскирующего шума в ограждающих конструкциях. Опыт использования генераторов шума подтвердил их эффективность, например, при обеспечении противодействия системам лазерного и СВЧ-подслушивания.

Кроме этого, организационно-технические меры, касающиеся технических систем жизнеобеспечения выделенного помещения, предусматривают:

- *отключение цепей, через которые может произойти утечка акустической информации защищаемого помещения, и установку типовых устройств и схем защиты, в частности, отключение звонковой цепи телефона, установку тумблера отключения систем связи и т. п.* (если телефонная связь крайне необходима в выделенном помещении, то она должна осуществляться особым образом, который порекомендует специалист по защите);

- *изъятие или отключение на период проведения конфиденциальных мероприятий технических устройств, применение которых может привести к образованию каналов утечки информации;*
- *демонтаж оборудования отдельных систем (заземления, радиотрансляции, диспетчерской связи и т. п.) в случае явного несоответствия предъявленным к ним требованиям.*

Технические меры включают в себя проведение мероприятий с привлечением специальных средств защиты конфиденциальных переговоров (рис. 3.14). Так, для защиты акустической информации от несанкционированной записи необходимо:

- *обнаружить работу записывающего устройства;*
- *принять эффективные меры противодействия его использованию.*

В настоящее время обнаружение диктофонов и магнитофонов, имеющих кинематические звенья и блоки, осуществляется по электромагнитному полю мотора, обеспечивающего продвижение записывающего носителя (в частности, магнитной ленты или магнитной проволоки), а также по электромагнитным излучениям схем стирания и записи. Современные обнаружители позволяют выявлять такие диктофоны и магнитофоны с электромеханическим приводом на дальности до 1,5÷2 м. Дальность обнаружения существенно зависит от материалов, используемых для корпусов записывающих устройств (металлов, пластмасс или комбинированных материалов).

Для обнаружения бескинематических (статических) твердотельных диктофонов с записью на флеш-память используются программно-аппаратные комплексы, обеспечивающие анализ паразитных электромагнитных полей, создаваемых работающим диктофоном. Специально разработанные алгоритмы цифровой обработки регистрируемых сигналов позволяют уверенно обнаруживать большинство существующих типов диктофонов с флеш-памятью на расстоянии от 0,5 до 1,5 м.

Помещения, предназначенные для проведения конфиденциальных переговоров, могут быть защищены от несанкционированной записи с помощью комплекта аппаратуры, состоящей из базового блока и необходимого количества электромагнитных датчиков, определяющих величину поверхности, контролируемую этим комплектом. Датчики обычно устанавливаются в мебель, находящуюся в данном помещении. Через соединительные кабели датчики подключаются к базовому блоку, обрабатывающему поступающие сигналы и обеспечивающему индикацию с выводом на экран монитора местоположения работающего диктофона или

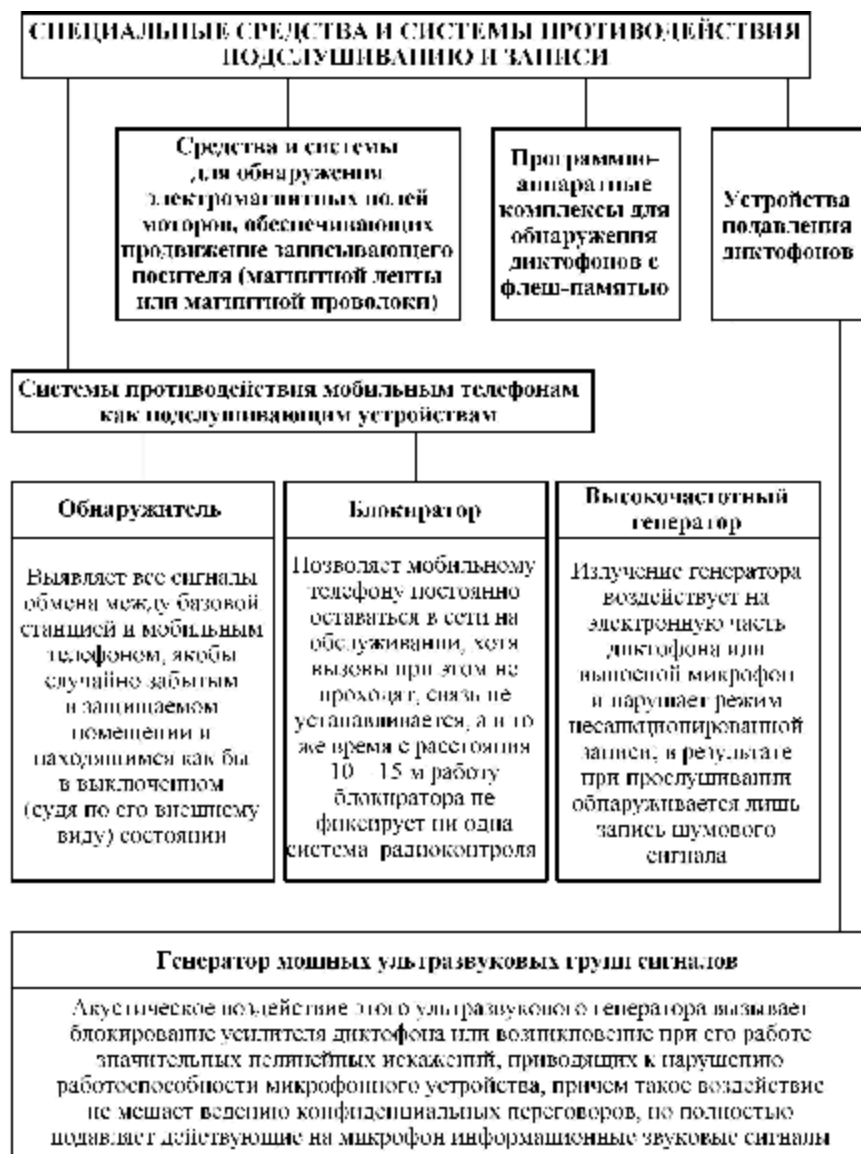


Рис. 3.14. Технические меры, используемые при защите от подслушивания и записи

магнитофона и времени работы такого записывающего устройства. Дальность обнаружения записывающих устройств с помощью этого комплекта аппаратуры составляет около 0,5 м.

Выявление диктофонов и магнитофонов, производящих несанкционированную запись конфиденциальных переговоров, в ряде случаев требует принятия мер по исключению такой записи. Для этих целей может быть использовано *устройство подавления диктофонов*, представляющее собой ВЧ генератор, излучение которого воздействует на электронную часть диктофона или выносной микрофон и нарушает режим записи, в результате чего при прослушивании вместо разговора обнаруживается запись шумового сигнала.

Микрофоны (в том числе выносные) являются начальными звеньями в системах подслушивания. В качестве меры противодействия этим устройствам часто избирается *акустическое воздействие* на микрофон и его усилитель достаточно мощной группой ультразвуковых сигналов. Это акустическое воздействие вызывает блокирование усилителя диктофона или возникновение при его работе значительных нелинейных искажений, приводящих, в конечном счете, к нарушению работоспособности микрофонного устройства. Такое воздействие не мешает ведению переговоров, но полностью подавляет действующие на микрофон информационные звуковые сигналы большим по величине давлением ультразвука, не воспринимаемого человеческим ухом.

Противодействие использованию мобильных телефонов в качестве подслушивающих устройств развивается двумя путями. За рубежом (в частности, в Израиле) создали специальное устройство для обнаружения скрытых коммуникаций в сетях мобильной связи. Обнаружитель размещается в выделенном помещении, которое желательно оградить от подслушивания, и выявляет все сигналы обмена между базовой станцией и мобильными телефонами якобы случайно забытыми и находящимися в «выключенном» (судя по внешнему виду) состоянии. Как показывает опыт, подобный обнаружитель позволяет отыскивать ТФА, «забытые» в самых экзотических местах – в цветочных горшках, например, или прикрепленные лентой-скотчем под столом.

В России разрабатываются и поставляются на рынок интеллектуальные *блокираторы* работы мобильных телефонов. Эти блокираторы функционируют таким образом, что телефон постоянно остается на обслуживании в сети, но вызовы не проходят, связь не устанавливается, в то же время с расстояния 10–15 м работу блокиратора не фиксирует ни одна система радиоконтроля.

§ 3.10. Противодействие системам радиоподслушивания

Для выявления наличия радиосигналов от систем радиоподслушивания, т.е. радиозакладок, используют специальные радиоприемные устройства обнаружения и анализа (рис. 3.15).

Эффективность работы указанных специальных радиоприемных устройств, предназначенных для поиска, обнаружения и определения местоположения радиозакладок, характеризуется следующими основными параметрами.

Диапазон принимаемых частот, в значительной степени определяющий возможности специальных радиоприемников, выбирается с таким расчетом, чтобы полностью охватить все участки частотного спектра, которые используются для передачи сигналов от радиозакладок. Так, широкодиапазонные приемники, обеспечивающие, например, перекрытие области вплоть до 2 000 МГц, позволяют вести поиск и обнаружение сигналов с достаточной вероятностью их выявления при минимальном числе приемников.

Узкодиапазонные приемники ориентированы на прием сигналов в определенных участках спектра радиоволн:

- на длинных волнах (ДВ) – от 1 до 10 км;
- на средних волнах (СВ) – от 100 до 1 000 м;
- на коротких волнах (КВ) – от 10 до 100 м;
- на ультракоротких волнах (УКВ) – до 10 м (которые, в свою очередь, подразделяются на метровые, дециметровые, сантиметровые, миллиметровые и субмиллиметровые волны).

Чувствительность специального радиоприемника определяет его способность принимать поступающие в антенну самые слабые сигналы, и воспроизводить их соответствующим образом на выходе приемника. Количественно чувствительность такого радиоприемника характеризуется наименьшей величиной ЭДС или минимальной мощностью сигнала, принимаемого на входе приемника, при которой на его выходе уровень сигнала (и соответственно отношение сигнал/шум) достигает необходимой величины, обеспечивающей нормальную работу конечных устройств. При этом, чем меньше требуемое значение ЭДС или мощности принимаемого сигнала на входе специального радиоприемника, тем выше его чувствительность.

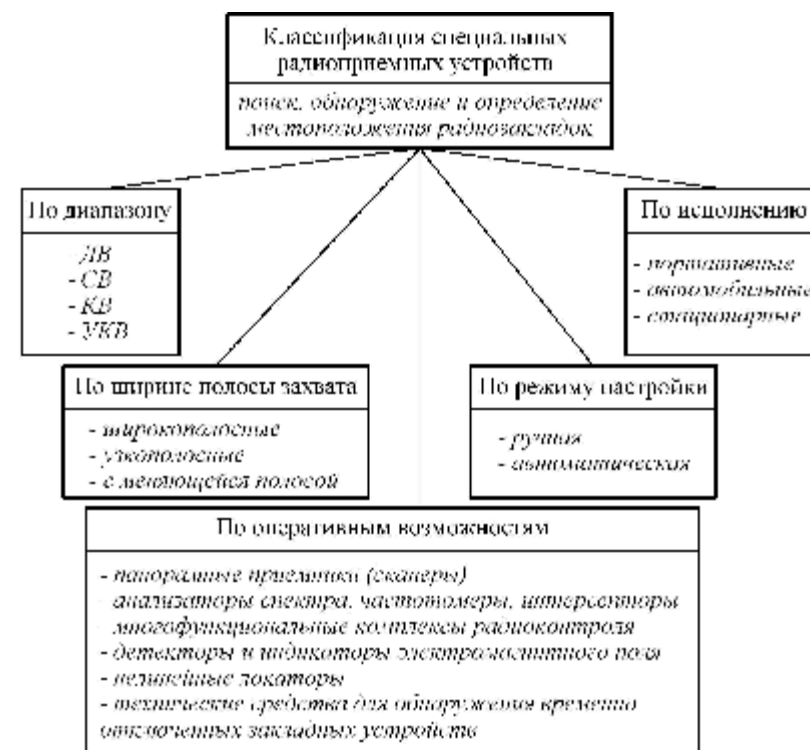


Рис. 3.15. Классификация специальных радиоприемных устройств.

Избирательность специального радиоприемника определяет его способность выделять полезный сигнал из всех других электромагнитных сигналов, поступающих в антенну на входе приемника одновременно с полезным сигналом, но отличающихся от него своими несущими частотами. В начальном приближении избирательность может быть оценена по резонансной характеристике приемника, под которой понимают зависимость его чувствительности от несущей частоты принимаемых сигналов при неизменной его настройке.

Область частот, одновременно пропускаемых специальным радиоприемником, называют **полосой пропускания**. Полоса пропускания приемника, обеспечиваемая его схемным решением, обычно выбирается с учетом назначения такого приемника, т. е. с учетом целей, для которых он создан: для поиска, обнаружения,

перехвата, пеленгования, измерения характеристик сигналов или других целей. Если по необходимости расширяют полосу пропускания приемника, то тем самым значительно ухудшают его избирательность и наоборот. На практике эти противоречия решаются путем компромисса в зависимости от заданных требований к конкретному типу специального радиоприемника.

Панорамный режим работы специального радиоприемника – это перестройка приемника с выбранным шагом и полосой пропускания в пределах заданной частотной области, с измерением уровня принимаемого сигнала в зависимости от его частоты.

В том случае, когда целесообразна постановка активных помех, нарушающих работу системы радиоподслушивания, используют передатчики радиоэлектронных помех, имеющие те же технические характеристики, что и радиозакладки. В последнее время специальные радиоприемные устройства комплектуются такими передатчиками радиоэлектронных помех.

Радиоэлектронные помехи представляют собой электромагнитные излучения, под воздействием которых существенно затрудняется или вообще прекращается функционирование канала «*радиозакладка – приемное устройство злоумышленника*». При этом, воздействуя на приемное устройство злоумышленника, помехи искажают либо полностью исключают выделение этим устройством полезных информационных сигналов от радиозакладки.

Мощность передатчика радиоэлектронных помех должна быть достаточной для того чтобы помехи на входе приемного устройства злоумышленника заметно превышали или были бы соизмеримы по мощности с информационными сигналами от радиозакладки. Такое соотношение указанных мощностей (позволяющее, как иногда говорят, «забить» находящуюся в контролируемом помещении радиозакладку) определяется коэффициентом подавления по мощности K_n , под которым понимают минимально необходимое отношение мощности помехи P_n к мощности информационного сигнала P_c на входе подавляемого приемного устройства злоумышленника, т.е. $K_n = P_n / P_c$.

В настоящее время обширную группу технических средств, используемых для обеспечения информационной безопасности путем поиска и обнаружения радиозакладок, составляют *панорамные приемники (сканеры)*. В большинстве своем эти приемники обладают частотным диапазоном, простирающимся до 2 000 МГц,

и чувствительностью – в пределах $0,25 \div 3$ мкВ. Главной отличительной особенностью таких приемников является автоматизация поиска радиозакладок в режиме сканирования по частоте. При работе этих приемников, снабженных дисплеем, можно наблюдать некоторые части просматриваемого диапазона, расположенные по сторонам от конкретной контролируемой частоты. Поиск электромагнитных сигналов радиозакладок в сочетании с панорамным обзором по частоте в значительной степени облегчает решение задачи выявления работающих радиозакладок в контролируемой зоне объекта.

В последние годы, как уже упоминалось, появились панорамные приемники, скомбинированные с постановщиком помех, которые в случае необходимости позволяют подавлять канал утечки информации «*радиозакладка – приемное устройство злоумышленника*». Из отечественных разработок таких комбинированных устройств, получивших распространение в настоящее время, известны устройства, осуществляющие просмотр диапазона частот от 30 до 2 000 МГц с полосой анализа 20 кГц. Эти устройства могут работать как измерители уровня радиосигналов в контролируемом диапазоне частот, а при необходимости способны поставить радиоэлектронную помеху в полосе 200 кГц, позволяющую «забить» радиозакладку с выходной мощностью до 50 мВт.

Современные панорамные приемники (сканеры) могут не только отметить наличие сигнала радиозакладки на конкретной частоте, но и определить его спектральный состав, а также проанализировать его особенности. Такая же функция имеется у *анализаторов спектра и частотомеров*. Кроме того, рассматриваемые радиоприемные устройства, как правило, определяют вид модуляции (в частности, амплитудную или частотную модуляцию). Эти технические возможности подобных устройств позволяют достаточно просто отделить разные посторонние сигналы от информационного речевого сигнала, имеющего специфическую структуру спектра.

Для определения наличия акустического сигнала в радиоизлучении (что весьма важно для поиска радиозакладок) также используются, так называемые *интерсепторы*, которые автоматически настраиваются на частоту наиболее мощного сигнала и осуществляют его детектирование. Интерсепторы, получившие в последнее время наибольшее распространение, обладают диапазоном частот до 2 000 МГц, чувствительностью не хуже 100 мкВ (в районе частоты 500 МГц), полосой анализа около 100 кГц и временем

поиска – единицы секунд и менее. Такие радиоприемные устройства позволяют производить ручной или автоматический захват электромагнитного сигнала от радиозакладки, его детектирование и прослушивание через динамик или головные телефоны. Дисплей этого устройства показывает частоту обнаруживаемого сигнала и вид модуляции.

Многие современные радиоприемные устройства, осуществляющие сканирование по частоте, имеют возможность подключения к компьютеру. В данном случае специально разработанные программы позволяют автоматически управлять всеми рабочими режимами таких устройств, записывать и хранить результаты работы в памяти компьютера, отображать на мониторе частотный спектр в текущем времени и сравнивать его с предыдущим спектром, выводить материалы на печать и т. д.

Отдельную группу составляют *многофункциональные комплексы радиоконтроля* для выявления технических каналов утечки информации (также известные как *комплексы мониторинга технических каналов утечки информации*). Их разработка была вызвана необходимостью быстрого анализа всего частотного диапазона, используемого для передачи сигналов от радиозакладок, что связано, прежде всего, с появлением новых закладных устройств съема информации, основанных на ее накоплении в цифровой форме и пакетной передаче с высокой скважностью. Кроме того, в современных разработках данных комплексов учитывается тенденция к расширению частотного диапазона радиозакладных устройств вплоть до нескольких ГГц. Реализация подобных быстродействующих комплексов отличается сложностью исполнения и значительными финансовыми затратами. Основой таких комплексов служат модули аналого-цифровой обработки сигналов (обычно на базе процессоров быстрого преобразования Фурье), многократно увеличивающие скорость панорамного частотного анализа. При этом положительным качеством большинства многофункциональных комплексов радиоконтроля является модульность их исполнения, что позволяет последовательно наращивать их возможности за счет установки в них перспективных дополнительных модулей. Часть данных комплексов в настоящее время комплектуется блоком постановки радиоэлектронных помех (на четырех частотах одновременно) по номиналам выявленных радиозакладок (частотный диапазон передатчика активных помех 65÷100 МГц, мощность помехи 150÷200 мВт, вид помехи – тон, шум, фрагменты музыкальных или речевых сообщений).

В практике работы служб безопасности в качестве оперативных средств обнаружения информационных сигналов от радиозакладок широко используются простые широкополосные приемные устройства, получившие название детекторов и индикаторов электромагнитного поля. Эти устройства, позволяющие обнаруживать электромагнитное излучение радиозакладок при любом виде модуляции, перекрывают рабочий диапазон частот от 20 до 1 000 МГц и более. Такое перекрытие по частоте обеспечивается схемными решениями, ориентированными на обнаружение электромагнитного поля работающей радиозакладки в непосредственной близости от нее. В каждом из таких простых широкополосных приемных устройств поступающие в антенну электромагнитные сигналы прямо передаются на детектор, после которого протектированные сигналы подаются на усилитель и далее – на сигнальное устройство оповещения. Возможность пространственного изменения ориентации и размеров антенны позволяет достаточно точно определить местоположение радиозакладки даже в условиях сложной электромагнитной обстановки в контролируемой зоне объекта.

Чувствительность детекторов и индикаторов электромагнитного поля сравнительно низкая и лежит в пределах от десятых долей до единиц милливольт (часто в пределах 0,4 – 3 мВ). Недостаточная чувствительность этих устройств и неоднократные ложные срабатывания приводят к снижению надежности обнаружения радиозакладок и увеличению времени их поиска. Кроме того, подобные устройства не обнаруживают временно отключенных закладных устройств радиоподслушивания, а также не выявляют радиозакладок с программным и дистанционным управлением.

Свободными от указанных недостатков являются специальные радиоприемные устройства, созданные на основе эффекта «нелинейной радиолокации». Такие устройства получили название **нелинейных радиолокаторов**, работающих в двух режимах – непрерывном или импульсном.

Появление нелинейных радиолокаторов позволило обнаруживать и отличать скрытые объекты контроля, содержащие полупроводниковые элементы, от объектов, заключающих в себе металлические элементы. Поиск и обнаружение обеспечивается независимо от того, активен или пассивен исследуемый объект контроля, т. е. находится он во включенном или выключенном состоянии. Это позволяет существенно упростить поисковые

мероприятия при облучении таким радиолокатором различных закладных устройств (объектов контроля) и получении результатов разложения сложного отраженного сигнала на простейшие гармонические составляющие – гармоники.

Принцип работы нелинейных радиолокаторов основан на разнице «отклика» – переизлучения кратных гармоник объектом контроля вследствие отражения исходного излучения, падающего от нелинейного радиолокатора и содержащего только первую гармонику. В зависимости от начинки объекта контроля (закладного устройства) изменяется и величина (мощность) четных и нечетных гармоник переизлученного сигнала. При этом приемное устройство нелинейного радиолокатора, настроенное на эти кратные гармоники, само не воспринимает отраженные сигналы исходной первой гармоники.

Другими словами, обнаружение нелинейным радиолокатором закладных устройств осуществляется путем облучения их (в непрерывном или импульсном режимах) излучением с основной частотой (первой гармоникой) с последующим гармоническим анализом отраженного излучения. При этом если отраженное излучение в своем составе содержит помимо основной частоты (первой гармоники) вторую, третью и более высокие гармонические составляющие, то это свидетельствует о наличии закладного устройства в данном месте.

Обычно приемные антенны с входными блоками у нелинейных радиолокаторов настроены на вторую и третью гармоники и, как уже отмечалось, не принимают сигналы первой гармоники (рис. 3.16).

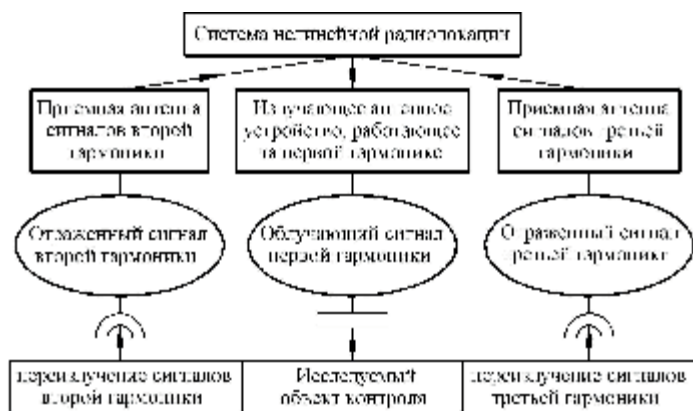


Рис. 3.16. Схема работы нелинейного локатора, работающего на 2-й и 3-й гармониках

Следует заметить, что полупроводниковые компоненты, входящие в состав закладных устройств, проявляют себя при работе нелинейных радиолокаторов в виде сильной второй гармоники при наличии слабой третьей, в то время как металлические компоненты в качестве «отклика» генерируют сильную третью гармонику при наличии слабой второй. Необходимо подчеркнуть, что нелинейные радиолокаторы зарекомендовали себя в настоящее время как весьма эффективные средства противодействия системам радиоподслушивания.

Кроме нелинейных радиолокаторов, успешный поиск и обнаружение закладных устройств обеспечивают следующие современные технические средства:

- металлодетекторы;
- тепловизионные системы;
- рентгентелевизионные системы;
- средства подповерхностной локации;
- ультразвуковые системы.

Эти технические средства, также как и нелинейные радиолокаторы, могут быть использованы для обнаружения как работающих, так и временно отключенных закладных устройств. Кроме того, они позволяют выявлять закладные устройства, функционирующие по сигналу управления и содержащие схемы с накоплением перехваченной информации и выдачей ее в ускоренном временном режиме. Определение таких радиозакладных устройств по их радиоизлучению иными техническими средствами крайне затруднено из-за короткого временного интервала передачи накопленной информации.

В основу разработок **металлодетекторов** положен тот факт, что в любом закладном устройстве содержатся разнообразные токопроводящие элементы, на которые можно воздействовать магнитным полем, создаваемым поисковой катушкой металлодетектора, работающей в импульсном или непрерывном режимах. Это магнитное поле обуславливает в токопроводящих элементах появление вихревых токов, поля которых вызывают изменения характеристик сигналов, наводимых такими полями в измерительной катушке металлодетектора, а также приводят к изменениям активного и реактивного сопротивлений этой катушки.

При работе металлодетекторов указанные изменения регистрируются, выделяются и измеряются. При этом сигналы, наведенные в измерительной катушке, после их усиления

анализируются микропроцессором, встроенным в металлодетектор. Их характеристики зависят от размеров поверхности токопроводящего элемента, его магнитной проницаемости, электропроводности и частоты поля, создаваемого поисковой катушкой металлодетектора. Частоту поля подбирают в зависимости от решаемой задачи. Обычно для задачи поиска закладных устройств металлодетекторами используют рабочую частоту в несколько кГц.

Тепловизионные системы предназначены для выявления незначительных тепловых полей и перепадов температур в месте установки закладных устройств. Известные тепловизионные системы, работающие в инфракрасном спектральном диапазоне, позволяют визуализировать тепловые поля и перепады температур, разнящиеся на 0,05 градуса. Такие системы нашли применение при термодиагностике неоднородностей, возникающих после установки радиозакладок в стенах и перегородках; при измерении параметров тепловых следов и определении времени их появления; при исследовании тепловых потерь в строительных конструкциях.

Сочетание тепловизионных систем с новейшими компьютерными технологиями позволяет в настоящее время существенно увеличить эффективность обнаружения закладных устройств, причем вся необходимая обработка информации осуществляется непосредственно в процессе визуализации получаемых термограмм.

Рентгенотелевизионные системы позволяют производить оперативный контроль различных объектов, направленный на выявление закамуфлированных закладных устройств. В зависимости от типа и модификации рентгенотелевизионных систем, применяемые в них источники рентгеновского излучения могут быть как импульсные, так и непрерывного действия, а визуализируемые изображения могут отображаться на экране монитора в реальном масштабе времени или запоминаться для дальнейшей обработки.

Возможности рентгенотелевизионных систем по выявлению проводных линий и закладных устройств достаточно высоки. Так, отечественные разработки подобных систем обеспечивают обнаружение медной проволоки диаметром 0,2 и 0,4 мм за преградой из алюминия толщиной 10 и 20 мм соответственно. Пространственное разрешение этих систем позволяет различать две медные проволоки диаметром 0,2 мм, расположенные на расстоянии 1 мм друг от друга за алюминиевой преградой толщиной 3 мм.

В состав некоторых отечественных рентгенотелевизионных установок дополнительно входит *рентгенотелевизионный преобразователь*, что дает возможность вести поиск закладных устройств, наблюдая объект контроля как на экране просмотрной приставки, так и на экране выносного монитора, который может быть удален на 2 м от источника рентгеновского излучения.

Новые возможности в поиске и обнаружении различных закладных устройств дает использование технических средств *подповерхностной локации*. Так, отечественные **подповерхностные локаторы** обеспечивают получение радиоизображений исследуемой среды с объектами контроля на глубине их залегания 200 – 500 мм. Это позволяет выявлять и идентифицировать проводные линии и закладные устройства вне зависимости от степени их экранирования и характера токоподводящих линий.

При работе подповерхностных локаторов фазовый контраст объекта контроля, зависящий от глубины его залегания, дает возможность при визуализации не только выявить этот объект, но и с необходимой точностью определить его положение. Отображение информации, осуществляемое с помощью встроенного компьютера с развитым программным обеспечением, происходит в реальном масштабе времени, причем визуализация радиоизображений производится на экране дисплея в виде полутоновых изображений, где каждому уровню принимаемого сигнала соответствует определенная градация яркости.

Достаточно высокое пространственное разрешение и способность выявлять неметаллические предметы выгодно отличает подповерхностные локаторы от металлодетекторов. Возможность просмотра объекта контроля лишь с одной стороны, отсутствие вредных излучений и сравнительно небольшие габариты подповерхностных локаторов обеспечивают этим приборам также преимущества перед рентгенотелевизионными системами.

При определении пустот в стенах и перегородках выделенных контролируемых помещений (как возможных мест расположения закладных устройств) в настоящее время используют компьютеризированные *ультразвуковые системы* – ультразвуковой томограф и ультразвуковой толщиномер.

Современный **ультразвуковой томограф** предназначен для обследования внутренней структуры железобетонных конструкций с визуализацией пустот и расслоений, находящихся на глубине до 1 м. При этом он позволяет обнаруживать пустоты объемом около 30 см³ и расслоения площадью от 10 см² и более.

Известный **ультразвуковой толщиномер** предназначен для односторонних измерений с цифровым отсчетом толщины исследуемых железобетонных изделий в диапазоне от 50 до 50 мм. Он позволяет наблюдать отраженные ультразвуковые сигналы и синтезировать с их помощью изображение среза исследуемого изделия из железобетона.

Опыт эксплуатации вышеуказанных технических средств подтвердил эффективность этой аппаратуры, обеспечивающей поиск и обнаружение в строительных конструкциях помещений и предметах интерьера скрытно установленных радиозакладок и других технических устройств несанкционированного съема акустической информации.

§ 3.11. Распространенные способы и устройства подслушивания в телефонных каналах связи и противодействие перехвату речевой информации при телефонных переговорах

Человеческая речь как средство информационного обмена часто нуждается в конфиденциальности, особенно при телефонных переговорах, проводящихся через коммутируемые телефонные сети общего и частного пользования. Проблема защиты телефонных переговоров в условиях глобальной телефонизации является весьма актуальной, так как злоумышленники широко пользуются подслушиванием как служебных, так и домашних телефонов. При этом особенно легко осуществляется подслушивание телефонных переговоров путем перехвата радиосигнала от радиоудлиителя телефонного аппарата (ТФА). Кроме этого способа подслушивания в настоящее время наибольшее распространение получила установка в телефонные сети телефонных радиозакладок (ТФРЗ) злоумышленников, а также применение таких способов подслушивания, как прямое подключение к ТФЛ и ВЧ-навязывание.

Определяя ТФРЗ злоумышленников как скрытно устанавливаемые акустические системы подслушивания с возможностью записи воспринимаемых переговоров и передачи информации к злоумышленнику по радиоканалу или проводным линиям связи, следует подчеркнуть, что подобные закладки в контролируемом помещении могут быть установлены непосредственно в ТФА, телефонной розетке или подключены в любой точке помещения к телефонным проводам. За пределами контролируемого помещения ТФРЗ могут быть установлены в распределительной коробке и распределительном шкафу здания, а также в кабельном ящике. Внутри здания особенно уязвим тракт от ТФА до распределительного шкафа или кабельного ящика. В данном случае на всем протяжении этого тракта возможна как установка ТФРЗ злоумышленников, так и прямое подключение злоумышленника к ТФЛ, например, с помощью стандартной трубки телефониста-ремонтника. Также весьма уязвимым звеном является АТС. На ней у злоумышленника имеется возможность либо подключить ТФРЗ напрямую к той или иной ячейке, либо непосредственно подключиться к любой ТФЛ.

ТФРЗ, подключаемые в любом месте канала связи, обладают практически неограниченным сроком службы, так как подавляющее их большинство питаются от ТФЛ, которая всегда характеризуется некоторым уровнем постоянного напряжения (от 60 до 64 В – если трубка лежит на рычаге, и от 8 до 15 В – если трубка снята).

Для обеспечения безопасности закладки разрабатывают таким образом, чтобы их энергопотребление из ТФЛ было бы минимальным и закладку нельзя было найти простыми измерениями напряжения или тока в ТФЛ. Однако данное обстоятельство ограничивает мощность передатчика закладки и, следовательно, дальность передачи к злоумышленнику воспринимаемой информации. Эта дальность у различных типов радиозакладок колеблется от 50 – 100 м до 500 – 800 м.

В настоящее время одной из главных тенденций развития ТФРЗ является использование систем с ретранслятором. При этом применяется простая труднообнаруживаемая радиозакладка с небольшим радиусом действия (обычно около 50 м). В безопасном месте устанавливается стационарный (или переносной) ретранслятор, переизлучающий сигнал ТФРЗ на значительное расстояние (до 10 км) часто на другой частоте и при необходимости – в зашифрованном виде.

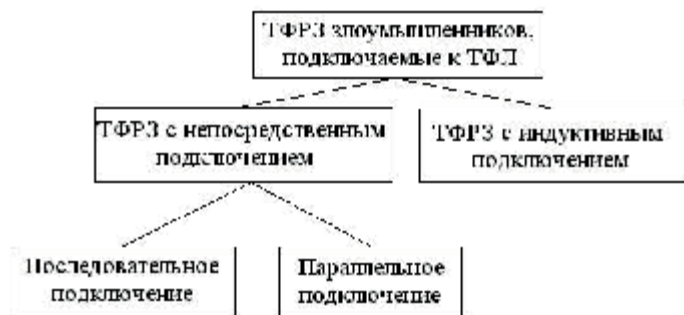


Рис. 3.17. Классификация ТФРЗ по способу подключения к ТФЛ

Условная классификация ТФРЗ по способу подключения к ТФЛ представлена на нижеследующей схеме (рис. 3.17).

Непосредственное подключение ТФРЗ к ТФЛ, осуществляемое только при наличии гальванического контакта, можно подразделить на два вида (рис. 3.18):

- ТФРЗ с последовательным подключением (рис. 3.18, а), когда ТФРЗ включается в разрыв одного из проводов ТФЛ;
- ТФРЗ с параллельным подключением (рис. 3.18, б), когда ТФРЗ включается параллельно ТФА одновременно к обоим проводам ТФЛ.

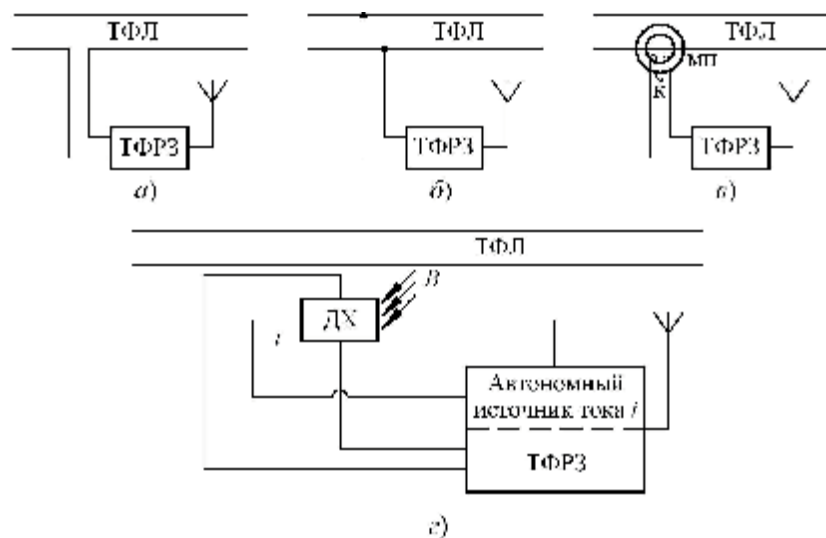


Рис. 3.18. Виды подключений ТФРЗ к ТФЛ

ТФРЗ с непосредственным подключением вышеуказанных двух видов – с последовательным и параллельным подключением – включаются на передачу тогда, когда абонент снимет телефонную трубку (т. е. когда напряжение в ТФЛ упадет, а ток возрастет). При этом указанные подключения ТФРЗ могут быть обнаружены не только техническими средствами по изменению электрических параметров ТФЛ, но и по изменению слышимости (по перепадам громкости) или по появлению щелчков, тресков и шумов, свидетельствующих о включении в ТФЛ подслушивающей аппаратуры.

ТФРЗ с индуктивным подключением посредством магнитопровода с катушкой индуктивности слабо влияют на ТФЛ, а потому обнаружить их техническими средствами крайне затруднительно. Отсутствие гальванического контакта и надежная изоляция от ТФЛ проводящих элементов индуктивного датчика ТФРЗ в зоне его подключения делают, в частности, нерациональным применение такого эффективного метода борьбы с ТФРЗ, как «выжигание», рассмотренного далее. Следует также отметить, что эти ТФРЗ не способны получать питание от ТФЛ и поэтому обычно снабжаются собственными автономными источниками питания.

Индуктивный съем информации с ТФЛ осуществляется следующим образом (рис. 3.18, в). Два провода или две жилы ТФЛ отделяются одна от другой и на одну из них одевается замкнутый магнитопровод МП индуктивного датчика ТФРЗ. Обычно для удобства установки магнитопровод МП делается из двух частей (двух половинок), которые соединяются при установке.

При телефонных переговорах в обеих жилах ТФЛ появляется переменный электрический ток, пропорциональный меняющемуся звуковому давлению (звуку), которое создают говорящие абоненты. Этот ток одинаков для каждой из двух жил ТФЛ, но направлен по жилам в противоположные стороны.

Вокруг каждой из жил ТФЛ возникает переменное магнитное поле, пропорциональное переменному току. Магнитное поле от жилы, охваченной магнитопроводом, создает в нем переменный магнитный поток, который наводит ЭДС в катушке К, намотанной на одну из половинок магнитопровода МП (в частности, на нижнюю часть такого магнитопровода, как показано на рисунке). Снятый с этой катушки К сигнал подается на вход усилителя, диктофона или ретранслятора.

В настоящее время существует еще одна разновидность индуктивного датчика (рис. 3.18, з), основанного не на применении магнитопровода с катушкой индуктивности, а на использовании полупроводникового датчика Холла (ДХ). Такие датчики базируются на эффекте Холла, обусловленном отклонением в полупроводнике траекторий движения носителей заряда под воздействием магнитного поля с индукцией B . Этот эффект проявляется в появлении поперечной ЭДС Холла в помещенном в магнитное поле полупроводнике, через который пропускается ток i , получаемый от автономного источника. ДХ изготавливаются из полупроводников с большой подвижностью носителей заряда (например, германия, антимонида индия, арсенида индия) в виде тонких (до 2 мм) пластинок или пленок (до 10 мкм), снабжаемых двумя парами накрест расположенных выводов. Одна пара выводов служит для пропускания через ДХ тока i , а другая – расположенная перпендикулярно направлению тока i – для съема переменной ЭДС Холла, обусловленной воздействием переменного магнитного поля, возникающего из-за появления в жилах ТФЛ переменного электрического тока, пропорционального меняющемуся звуку, создаваемому говорящими абонентами.

Для того чтобы избежать механических повреждений ДХ, полупроводниковые пластинки монтируют (а пленку напыляют в вакууме) на прочной подложке из диэлектрика (в частности, на керамической подложке). Чтобы получить наибольший эффект, толщина полупроводниковой пластинки (пленки) делается как можно меньше.

Особенностью такого датчика является то, что с его помощью можно также анализировать постоянную составляющую тока в ТФЛ. При этом максимальное значение ЭДС Холла принимает при совпадении вектора индукции B с нормалью к поверхности полупроводника.

Конструктивно ДХ имеет очень маленькие габариты и не требует громоздкого магнитопровода, что позволяет прикреплять его к отдельному проводу ТФЛ при помощи простейшего прижимного устройства типа «крокодил», а при удалении этого датчика не остается никаких видимых следов подключения.

ТФРЗ, предназначенные для вышерассмотренных видов подключений, иногда могут быть закамуфлированы под типовые элементы телефонной аппаратуры: телефонный капсюль,

телефонную розетку, конденсатор, фильтр, реле и т. п. Все эти виды подключений ТФРЗ к ТФЛ обеспечивают подслушивание за счет электромагнитных каналов утечки информации из ТФЛ.

Иным распространенным электромагнитным каналом утечки информации из ТФЛ служат электроакустические преобразования, возникающие, например, в таких узлах и элементах ТФА, как звонковая цепь, микрофонный капсюль, динамик телефона. Даже если телефонная трубка не снята, то, благодаря электроакустическим преобразованиям, можно подслушать любые переговоры, ведущиеся в контролируемом помещении, где установлен ТФА. Это становится возможным потому, что акустические волны, возникающие при разговоре, вызывают соответствующие колебания некоторых элементов телефонной аппаратуры, что, в свою очередь, приводит к появлению наведенных электротоков и электромагнитных полей. Все эти токи и поля оказываются промодулированы речью, и после соответствующей обработки злоумышленник может извлечь из них полезную информацию. Действие элементов, осуществляющих электроакустические преобразования, получило название «микрофонный эффект».

Проиллюстрировать проявление микрофонного эффекта можно на простом примере телефона со звонком электромеханического типа. При разговоре акустические волны воздействуют на маятник такого звонка, соединенного с якорем электромагнитной катушки реле. Под воздействием речевых (акустических) сигналов данный якорь совершает микроколебания, а это вызывает колебание якорных пластин в электромагнитном поле катушки, что приводит к появлению в цепи звонка наведенных токов, модулированных речью.

Микрофонным эффектом обладают узлы и элементы многих электронных устройств (электрочасов, телевизоров, радиоприемников и пр.), содержащих, в частности, катушки индуктивности, конденсаторы переменной емкости, динамики, трансформаторы с рыхлой намоткой, пьезоэлектрические преобразователи.

Дальности перехвата сигналов, формируемых подобными элементами, как правило, невелики, хотя иногда превышают 100 м. Именно для усиления действия таких элементов часто используют *ВЧ-навязывание*. Применительно к телефонным сетям общего и частного пользования ВЧ-навязывание может пояснить схема, представленная на рис. 3.19 и описанная в подстрочных замечаниях к п. 1.1.

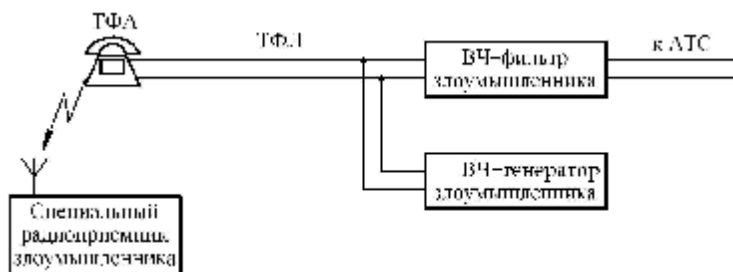


Рис. 3.19. Схема ВЧ-навязывания

Включение ВЧ-генератора в ТФЛ производится посредством гальванического контакта через согласующее устройство. При этом злоумышленник учитывает, что ВЧ-сигнал может распространяться по ТФЛ как в сторону ТФА, так и в сторону АТС. Так как на стороне АТС этот ВЧ-сигнал может быть довольно быстро обнаружен службами АТС, то чтобы избежать обнаружения, злоумышленник обычно включает в линию, идущую в сторону АТС, ВЧ-полосовой фильтр, подавляющий навязываемый ВЧ-сигнал.

Следует отметить, что излучаемые в свободное пространство ВЧ-радиосигналы, идущие от ТФА, являются достаточно серьезным демаскирующим признаком происходящего ВЧ-навязывания и могут служить основанием для оперативного применения защитных мероприятий. Одно из распространенных защитных мероприятий связано с установкой на входе ТФА специального ВЧ-фильтра с полосой пропускания низкочастотного спектра (что обеспечивает прохождение речевого сигнала) и полосой задерживания (режекции) всех колебаний в области частот ВЧ-навязывания.

Многообразие способов и устройств подслушивания в телефонных каналах связи определяет многообразие мер и способов защиты телефонных переговоров. Наименее затратными и в то же время крайне важными мерами борьбы с подслушиванием телефонных переговоров являются *организационно-технические мероприятия* (рис. 3.20).

При выполнении организационно-технических мероприятий в контролируемой зоне с ТФЛ особое внимание обычно уделяется установке телефонов в местах, недоступных посторонним лицам. В целях своевременного определения постороннего подключения необходимо обеспечить постоянное наблюдение сотрудниками телефонной службы за электрическими параметрами и общим

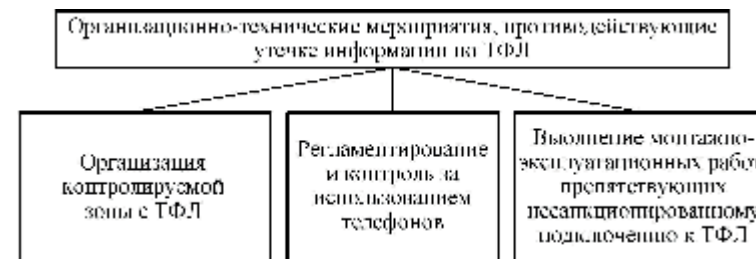


Рис. 3.20. Организационно-технические мероприятия по противодействию утечке информации из ТФЛ

состоянием ТФЛ выделенных помещений, осуществляя при этом особый контроль опломбированных распределительных шкафов и коробок, а также кабельных ящиков. Кроме того, о всяком изменении слышимости разговора или появлении щелчков, тресков и шумов, которые могут свидетельствовать о включении подслушивающей аппаратуры в ТФЛ, необходимо сообщать в службу безопасности.

При осуществлении регламентирования и контроля за использованием телефонов целесообразно регистрировать телефонные переговоры с внешними абонентами, проводящиеся с телефонов фирмы, организации, предприятия. При этом возможность пользоваться внешней телефонной связью следует предоставлять лишь ограниченному кругу сотрудников. Частные переговоры из выделенных помещений не допускаются. Наименование организаций, учреждений, должностных лиц, фамилии и другие подобные сведения не должны употребляться в ходе телефонных переговоров с внешними абонентами. Запрещается передача по телефону распоряжений, отчетов, сведений о составе, состоянии и деятельности фирм, организаций и предприятий.

При проведении организационно-технических мероприятий по защите выделенных помещений достаточно универсальной мерой противодействия подслушиванию является отключение телефона от ТФЛ (с помощью специального тумблера или разъемной розетки) на период проведения конфиденциальных переговоров. В этом случае просто ликвидируется источник информации – телефон.

При выполнении монтажно-эксплуатационных работ, ставящих преграды или существенно затрудняющих несанкционированное подключение к ТФЛ, следует использовать возможности закрытого монтажа с обязательным экранированием проводов ТФЛ.

При этом прокладку ТФЛ нужно проводить так, чтобы обеспечить пространственное разнесение проводов, не допуская их перекрещивания друг с другом, а функционально необходимые разъемные соединения проводов должны пломбироваться или иметь спецмаркировку. Кроме того, при проведении этих работ необходимо предусмотреть возможность установки в ТФЛ устройств защиты, автоматически отключающих телефоны от линий.

Помимо важных организационно-технических мероприятий, препятствующих утечке информации из телефонной сети, весьма эффективной мерой противодействия подслушиванию телефонных переговоров является проведение технических мероприятий, которые условно можно разделить на две группы:

- инженерно-технические некриптографические мероприятия;
- криптографические мероприятия.

Изменение уровня напряжения в ТФЛ как специфический прием или способ защиты от подслушивания, не снижающий качество телефонных переговоров, требующий использования специальных ТФА и АТС, базируется на двух методах:

- метод повышения напряжения;
- метод «обнуления».

Метод повышения напряжения заключается в поднятии напряжения в ТФЛ во время телефонных переговоров и используется для резкого понижения качества функционирования ТФРЗ. В этом случае поднятие напряжения в ТФЛ примерно до 24 В вызывает у ТФРЗ с последовательным подключением значительное уменьшение рабочего отношения сигнал/шум и существенное ухудшение разборчивости речи, а у ТФРЗ с параллельным подключением часто вызывает полное отключение.

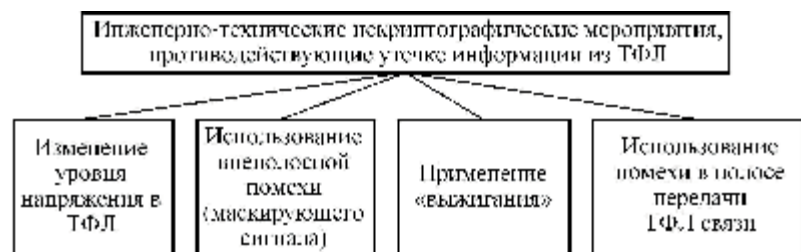


Рис. 3.21. Инженерно-технические некриптографические мероприятия по противодействию утечке информации из телефонной сети

Метод «обнуления» основан на подаче в ТФЛ постоянного напряжения, соответствующего напряжению в линии при поднятой телефонной трубке, но обратной полярности. Этот метод используется, как правило, для нарушения функционирования ТФРЗ с параллельным подключением к ТФЛ, питающей ТФРЗ.

В настоящее время прием изменения уровня напряжения в ТФЛ также может быть применен для защиты от подслушивания при использовании цифровых ТФА и цифровых АТС.

Использование внеполосной помехи основано на важной особенности современных ТФЛ, у которых в качестве основного стандартного канала связи принят канал с эффективно передаваемой полосой частот 0,3 – 3,4 кГц, соответствующей спектру транслируемого по ТФЛ телефонного сигнала. Поэтому подаваемая в такую ТФЛ любая помеха с ВЧ спектром вне полосы телефонного сигнала, т. е. помеха с частотой, превышающей не менее чем в два раза граничную частоту 3,4 кГц, носит название ВЧ внеполосной помехи. В настоящее время такие помехи подаются в ТФЛ в виде аналоговых сигналов типа «белый шум» или дискретных сигналов типа псевдослучайной последовательности импульсов. В качестве рабочих частотных диапазонов этих помех выбраны область 6–16 кГц и ультразвуковой диапазон 20 – 100 кГц. Частоты маскирующих сигналов в каждом из указанных двух диапазонов подбираются таким образом, чтобы после прохождения электрической цепи ТФРЗ их уровень оказался достаточным для маскирующего подавления полезного сигнала (речевого сигнала в ТФЛ во время разговора абонентов), но в то же время эти сигналы не снижали бы качество телефонных переговоров. Последнему обстоятельству способствует то, что в телефонах обоих абонентов такие маскирующие сигналы не ощущаются благодаря предварительной пассивной ВЧ фильтрации входного сигнала. Использование внеполосной помехи (маскирующего сигнала) радикальным образом нарушает режим работы ТФРЗ как с непосредственным (контактным) подключением, так и с индуктивным подключением, но не оказывает никакого заметного на слух влияния на передаваемые к каждому абоненту низкочастотные (речевые) сигналы.

Применение «выжигания» в качестве эффективного приема защиты ТФЛ от подслушивания обычно реализуется путем подачи в линию высоковольтных импульсов, приводящих к электрическому «выжиганию» входных каскадов у ТФРЗ с непосредственным

(контактным) подключением к ТФЛ. Перед осуществлением «выжигания» находящийся в контролируемом помещении ТФА отключается от ТФЛ. В то же время необходимо отсоединить ТФЛ от АТС. В процессе «выжигания» подача высоковольтных импульсов в ТФЛ происходит два раза. Первый раз такие импульсы подаются при разомкнутой ТФЛ для «выжигания» ТФРЗ с параллельным подключением, а второй раз – при закороченной ТФЛ для «выжигания» ТФРЗ с последовательным подключением.

Прием *использования помехи в полосе передачи телефонного канала связи* известен специалистам под названием компенсационного метода защиты ТФЛ от подслушивания. Приборную реализацию этого метода часто называют односторонним маскиратором речи.

Принцип действия одностороннего маскиратора речи основан на том, что в процессе телефонных переговоров с внешним абонентом при приеме важной конфиденциальной информации владелец такого маскиратора включает режим защиты. При этом в ТФЛ подается интенсивный маскирующий шумовой сигнал в полосе частот, пропускаемых данной линией. Этот маскирующий шумовой сигнал с известным спектром распространяется по всей протяженности ТФЛ как полосная помеха. Поскольку спектральные и энергетические характеристики шумового сигнала известны, то посредством адаптивного фильтра в маскираторе происходит автоматическое подавление помехи в поступившей на его вход смеси полезного речевого и маскирующего шумового сигналов. Тем самым для владельца маскиратора обеспечивается восприятие на слух лишь неискаженного полезного речевого сигнала.

Принцип действия одностороннего маскиратора речи представлен на рис. 3.22.

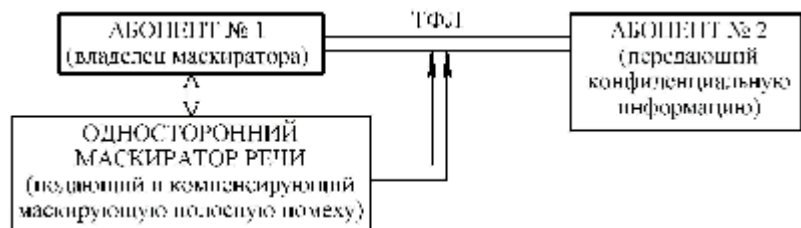


Рис. 3.22. Принцип действия одностороннего маскиратора речи

Телефонные переговоры с использованием одностороннего маскиратора речи начинаются с того, что абонент № 1 – владелец маскиратора речи – получает входной звонок от абонента № 2, не имеющего такого маскиратора. При этом абонент № 2 может звонить с любого городского, междугороднего телефона, таксофона или мобильного телефона сотовой связи. В момент передачи важного сообщения, требующего защиты (о чем абонент № 2 извещает открытым текстом), абонент № 1 включает маскиратор речи, создающий достаточно интенсивный шум. Этот сильный шум слышит абонент № 2 и начинает передавать конфиденциальную информацию, не меняя голоса. Абонент № 1, в отличие от него, шума не слышит и воспринимает лишь чистую речь абонента № 2, так как шум при приеме автоматически подавляется (компенсируется) в маскираторе речи. По завершению приема конфиденциальной информации абонентом № 1 маскиратор речи выключается, и телефонные переговоры обоих абонентов могут быть продолжены при отсутствии шума.

Также весьма эффективной мерой противодействия подслушиванию телефонных переговоров являются и криптографические мероприятия. В наше время техника шифрования речевых сигналов получила достаточное развитие, что привело к появлению у пользователей специальных устройств, называемых *скремблерами* (англ. *scrambler*), надежно шифрующих речевые сигналы до их подачи в ТФЛ и дешифрующих их после прохождения ТФЛ.

Скремблеры – это устройства, реализующие динамические аналого-цифровые засекречивающие преобразования речевых сигналов с применением шифраторов и дешифраторов. Процесс засекречивающего преобразования речевых сигналов из одного их представления в другое называют **кодированием** или **закрытием**, а процесс обратного преобразования обычно называют **декодированием** или **раскрытием**. При этом специальные электронные криптоблоки, осуществляющие кодирование и декодирование, часто называют соответственно **шифратор** и **дешифратор**.

Скремблирование представляет собой такой процесс изменения характеристик речевого сигнала, что полученный криптографически преобразованный сигнал, обладая свойствами неразборчивости и неузнаваемости, занимает такую же полосу частот передаваемого спектра речи, как и исходный открытый речевой сигнал. Это дает возможность без проблем передавать как открытую, так и защищенную информацию по одним и тем же каналам связи.



Рис. 3.23. Обобщенная модель скремблера как криптографической системы.

Оба процесса – кодирование и декодирование – происходят с применением ключа, представляющего собой совокупность обратимых преобразований множества открытых данных во множество зашифрованных данных и наоборот. Эти обратимые преобразования осуществляются строго в заданном порядке по определенным правилам, следовать которым предписывает ключ.

Рассмотрим особенности функционирования скремблера как модели криптографической системы с секретным ключом (рис. 3.23).

Работа скремблера начинается с того, что исходное речевое сообщение $x(t)$ преобразуется шифратором с использованием ключа согласно конкретному алгоритму, т. е. кодируется так, чтобы злоумышленник, перехвативший преобразованный сигнал (закрытое речевое сообщение), не смог разобрать смысловое содержание исходного сообщения. Затем этот преобразованный сигнал подается в незащищенный канал связи (т. е. в ТФЛ) для пересылки адресату, а сам ключ, являясь секретным, передается адресату отдельно по защищенному каналу связи. Полученный адресатом сигнал, прошедший по ТФЛ, преобразуется дешифратором по обратному алгоритму с помощью ключа, т. е. декодируется (раскрывается), и адресат принимает восстановленное исходное речевое сообщение $x'(t)$ обычно с некоторой неизбежной потерей качества. Последнее обстоятельство поясняется тем в частности, что многие скремблеры дополнительно требуют применения систем синхронизации, а это, как правило, достигается, за счет выделения специального участка частот в полосе спектра речевого сигнала и приводит к некоторому снижению его качества.

В настоящее время скремблеры как специализированные криптографические системы, будучи электронными, реализуют два основных метода преобразования речевых сигналов:

- *аналоговое преобразование параметров речи* (аналоговое скремблирование);
- *цифровое шифрование*.

Аналоговое преобразование параметров речи, осуществляемое аналоговыми скремблерами, основано на разделении исходного речевого спектра на несколько как частотных, так и временных полос с последующим криптографическим преобразованием полученных полос специальным образом в соответствии с правилом, определяемым ключом. Затем, после передачи преобразованных полос по каналу связи, на приемной стороне, где известен ключ криптографического сообщения, восстанавливается речевой спектр в должном виде, близком к исходному спектру.

Аналоговое скремблирование характеризуется следующими преимуществами:

- *относительная простота технической реализации аналоговых скремблеров;*
- *низкая стоимость аналоговых скремблеров;*
- *возможность передачи зашифрованного речевого сигнала по стандартному телефонному каналу с эффективно передаваемой полосой частот ≈ 3 кГц;*
- *хорошее качество восстанавливаемого исходного речевого сигнала.*

Для реализации аналогового преобразования параметров речи используется один или несколько основных способов (рис. 3.24):

- *скремблирование в частотной области* (перестановка частотных полос, частотная инверсия, разделение спектра речевого сигнала на ряд частотных полос с последующей их перестановкой и инверсией);
- *скремблирование во временной области* (разбиение исходного речевого сообщения на равные и малые по длительности временные информационные интервалы продолжительностью от десятых долей секунды до десятков миллисекунд с последующей их перестановкой или инверсией, а также в виде соединения перестановок с прямым и реверсивным считыванием интервалов);
- *комбинация частотного и временного скремблирования.*

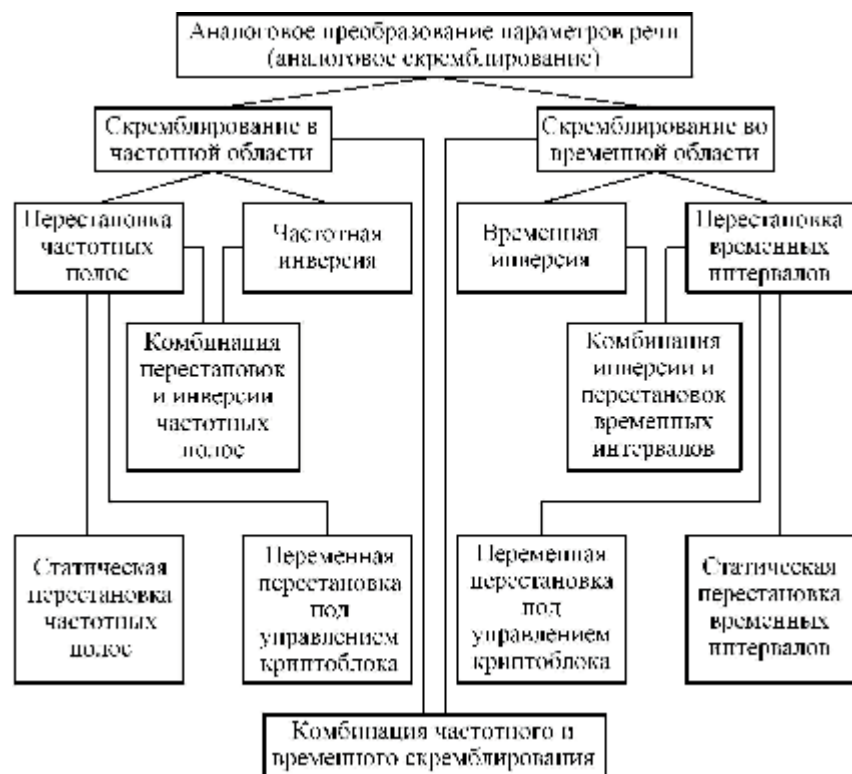


Рис. 3.24. Основные способы аналогового преобразования параметров речи

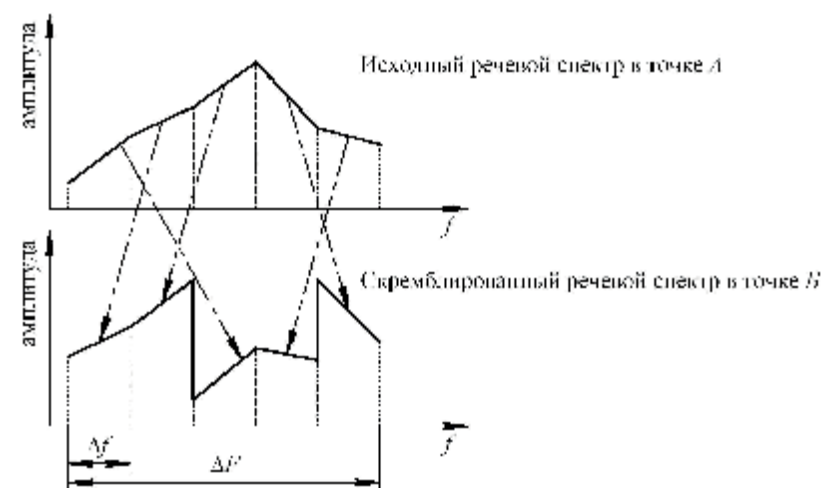


Рис. 3.26. Частотные спектры исходного речевого сообщения и преобразованного с перестановкой частотных полос для $n = 5$

При последовательном рассмотрении скремблирования в частотной области необходимо отметить особенности способа перестановки частотных полос, что можно проиллюстрировать рис. 3.25, 3.26. В этом случае полоса пропускания речевого спектра ΔF делится с помощью системы фильтров $\Phi_1 - \Phi_n$ на n частотных полос шириной Δf , которые перед подачей в ТФЛ перемешиваются в соответствии с правилом, определяемым ключом криптографического преобразования.

Перемешивание частотных полос осуществляется со скоростью m циклов в секунду, т. е. одна перестановка полос длится во времени $1/m$ с. При этом перестановка частотных полос может быть как статической, так и динамической (переменной), когда одна перестановка заменяется другой согласно выработанному ключу под управлением криптоблока.

Широкое распространение в настоящее время получила частотная инверсия (рис. 3.27, 3.28).

Скремблер с частотной инверсией осуществляет преобразование исходного речевого спектра, равносильное повороту частотной полосы речевого сигнала вокруг некоторой средней точки инверсии. При этом достигается эффект преобразования низких частот в высокие и наоборот, т. е. при таком скремблировании перед подачей сигнала в ТФЛ его спектральные составляющие меняются местами.

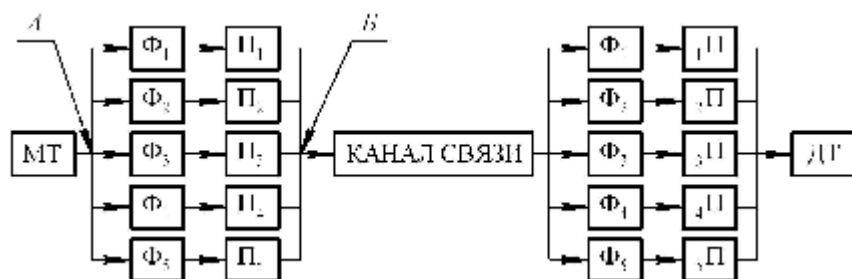


Рис. 3.25. Структурная схема линии связи с перестановкой частотных полос спектра речи: МТ – микрофон телефона, ДТ – динамик телефона, $\Phi_1 - \Phi_5$ – полосовые фильтры, $\Pi_1 - \Pi_5$ и $\Pi_5 - \Pi_1$ – блоки прямой и обратной перестановки частотных полос

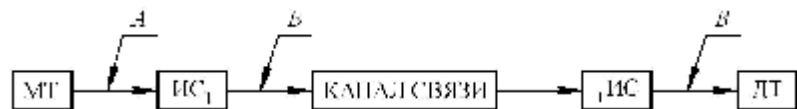


Рис. 3.27. Структурная схема линии связи с частотной инверсией спектра речи: МТ – микрофон телефона, ДТ – динамик телефона, ИС₁ и ИС₂ – инверторы спектра, осуществляющие соответственно прямую и обратную частотную инверсию



Рис. 3.28. Частотные спектры исходного, скремблированного и восстановленного сигналов при частотной инверсии

На приемной стороне канала связи инвертор вновь преобразует прошедший скремблированный сигнал в первоначальный, т. е. восстанавливает этот сигнал в виде, близким к исходному.

Данный способ аналогового преобразования обеспечивает недостаточно высокий уровень закрытия речевой информации, так как при осуществлении ее перехвата злоумышленником легко устанавливается значение частоты, соответствующее средней точке инверсии в полосе спектра речевого сигнала.

Заметное повышение уровня закрытия речевой информации обеспечивает комбинация перестановок и инверсии частотных полос. Техническая реализация этого способа может быть представлена скремблером, позволяющим разделить речевой спектр на несколько частотных полос равной ширины и выполнить их перемешивание и инверсию по некоторому правилу, определяемому ключом криптографического преобразования. Так функционирует, например, четырехполосовой скремблер (рис. 3.29).

Для получения более высокой степени защиты речевой информации ключ криптографического преобразования может динамично меняться. При этом изменение ключа, хотя и повышает степень закрытия (секретности) речевого сообщения, но требует

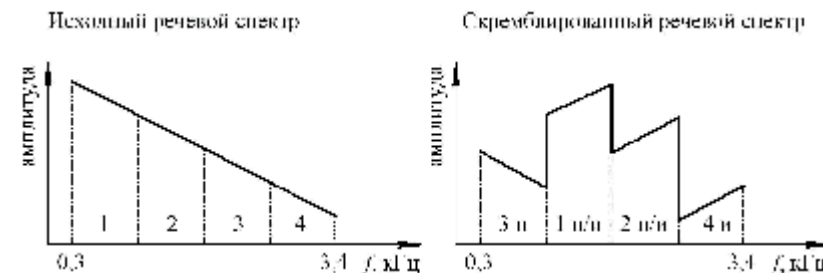


Рис. 3.29. Частотные спектры исходного речевого сообщения и преобразованного в виде комбинации перестановок и инверсии частотных полос у четырехполосового скремблера (п – перестановка; и – инверсия; п/и – перестановка + инверсия)

введения синхронизации на приемной стороне канала связи. Такая синхронизация, как уже отмечалось, достигается за счет выделения специального участка частот в полосе спектра речевого сигнала, что приводит к некоторому снижению его качества.

Если необходимо сохранить конфиденциальность информации при возможных попытках ее перехвата конкурентами или злоумышленниками, целесообразно в процессе телефонных переговоров применять аналоговое скремблирование с динамично меняющимся ключом. Естественно, что такие криптографические системы будут дороже, чем системы закрытия речевой информации с фиксированным (статическим) ключом, однако они настолько осложняют работу злоумышленников по разработке дешифрующего алгоритма, что время, затраченное на это, значительно обесценит добытую информацию из перехваченного в ТФЛ сообщения.

Аналогичные обстоятельства доминируют при скремблировании во временной области (см. рис. 3.24). Обычно при этом скремблировании исходная речь дробится на определенные, равные по длительности временные промежутки продолжительностью от 0,2 до 0,6 с. В пределах каждого из этих промежутков происходит дополнительное их дробление на более мелкие временные информационные интервалы длительностью 20 – 60 мс. Всего таких малых по длительности временных информационных интервалов может быть от нескольких единиц до нескольких десятков. Эти информационные интервалы до передачи в канал связи записываются в каком-либо запоминающем устройстве, преобразуются по определенному правилу, после чего



Рис. 3.30. Структурная схема линии связи с временным скремблированием: МТ – микрофон телефона, ДТ – динамик телефона, ЗУ – запоминающие устройства

сформированный таким образом сигнал передается в канал связи. На приемном конце канала связи, где алгоритм преобразования известен, осуществляется обратный процесс «сборки» исходного речевого сигнала (рис. 3.30).

Скремблеры, осуществляющие скремблирование во временной области, основаны на двух основных способах закрытия речевой информации:

- *инверсии во времени информационных интервалов малой длительности;*
- *временной перестановки малых по длительности информационных интервалов.*

В скремблерах с *временной инверсией* каждый получаемый малый по длительности временной информационный интервал передается в канал связи инверсно во времени – с конца (аналогично воспроизведению в обратном направлении по отношению к записи). В скремблерах с *временной перестановкой* малые по длительности информационные интервалы перемешиваются между собой по определенному закону, после чего сформированный таким образом скремблированный сигнал передается в ТФЛ.

Для повышения защищенности речевого сообщения, передаваемого по ТФЛ, часто используют *комбинацию инверсии и перестановки* временных информационных интервалов, когда в качестве ключа выступают законы перемешивания и инверсии этих интервалов (рис. 3.30, 3.31). При этом динамично меняющийся ключ, в частности, позволяющий получить переменную перестановку временных информационных интервалов под управлением криптоблока, обеспечивает более высокую степень защиты речевой информации, чем статический ключ.

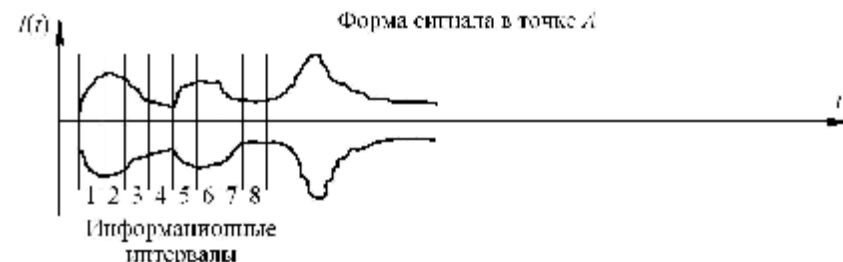


Рис. 3.31. Комбинация инверсии и перестановки временных информационных интервалов.

Рассматривая скремблирование во временной области, нужно всегда иметь в виду, что чем меньше длительность временных информационных интервалов, на которые разбивается исходный речевой сигнал, и чем больше элементов участвуют в операции перестановки, тем сложнее процесс восстановления речи по скремблированному сигналу, прошедшему по ТФЛ. При этом с учетом характеристик реальных ТФЛ длительность временных информационных интервалов должна быть ограничена снизу на уровне 20 мс с тем, чтобы не ухудшать качество речевого сигнала.

Из опыта известно, что увеличение числа перемешиваемых временных информационных интервалов ограничено возрастанием задержки восстановленного сигнала на приеме. При телефонных переговорах заметные неудобства возникают при задержке более 0,3 с, а при задержке более 1 с диалог двух абонентов становится невозможным. Оба указанных фактора определяют общее число перемешиваемых временных информационных интервалов на уровне 16 – 64 элементов.

Временные перестановки и временная инверсия при правильном выборе параметров криптографических преобразований эффективно защищают канал связи при непосредственном прослушивании злоумышленником речевых сигналов в ТФЛ. Однако при наличии высококлассной аппаратуры у злоумышленника он может при оперативном анализе перехваченных сигналов по спектральным и амплитудным связям временных информационных интервалов все же восстановить исходную речь. Поэтому в настоящее время пользователи предпочитают для обеспечения наиболее высокого уровня закрытия речевой информации применять комбинацию временного и частотного скремблирования, так как при этом временные манипуляции позволяют разрушить смысловой строй, а частотные перестановки с инверсией перемешивают гласные звуки.

Главным недостатком аналогового преобразования параметров речи (аналогового скремблирования) является его не всегда удовлетворительная стойкость к несанкционированному восстановлению зашифрованного речевого сигнала, перехваченного злоумышленником.

Альтернативным методом аналоговому скремблированию служит цифровое шифрование. Этот метод шифрования речевых сигналов, преобразуемых в цифровую форму перед их подачей в канал связи, обеспечивает более высокий уровень закрытия речевой информации, по сравнению с аналоговым скремблированием. В основе цифровых шифраторов, работающих по указанному принципу, лежит представление речевого сигнала в виде цифровой последовательности, закрываемой по одному из криптографических алгоритмов. При этом передача данных, представляющих дискретизированные цифровые отсчеты речевого сигнала или его параметры, осуществляется по обычным телефонным сетям с помощью модема (рис. 3.32).



Рис. 3.32. Структурная схема линии связи с цифровым шифрованием:
 МТ – микрофон телефона, ДТ – динамик телефона,
 АЦП – аналого-цифровой преобразователь, ЦАП – цифроаналоговый преобразователь, ПСП – псевдослучайная последовательность

Модем (модулятор–демодулятор) представляет собой отдельное устройство, осуществляющее при передаче данных преобразование кодовых сигналов к виду, принятому в определенном типе канала связи (модуляцию), и обратное преобразование (демодуляцию) при использовании, в частности, линии телефонной сети общего пользования в качестве канала связи. Наиболее совершенными являются модемы, осуществляющие уплотнение сигналов и повышение достоверности передаваемых данных для поддерживаемых стандартов связи.

Следует особо подчеркнуть, что системы закрытия речи с цифровым шифрованием не передают какой-либо части исходного речевого сигнала. Речевые компоненты кодируются в цифровой поток данных, который смешивается с псевдослучайной последовательностью, вырабатываемой ключевым генератором по одному из криптографических алгоритмов. Полученное таким образом закрытое речевое сообщение передается с помощью модема в канал связи, на приемном конце которого производится обратное преобразование, с целью восстановления исходного речевого сигнала.

При ведении телефонных переговоров работа генератора псевдослучайной последовательности происходит по заданному алгоритму, причем начальная установка для каждого нового разговора вырабатывается и устанавливается заново сразу после ввода ключа в блок цифровой обработки, обеспечивающий закрытие речевого сообщения. При этом в современном скремблере с цифровым шифрованием синхронизация осуществляется настолько быстро, что абоненты, ведущие телефонные переговоры, никаких временных задержек не замечают.

При технической реализации систем с цифровым шифрованием, каналом связи для которых служит линия телефонной сети общего пользования, главной трудностью является высокая сложность алгоритмов сжатия речевых сигналов, осуществляемых в настоящее время в так называемых *вокодерных устройствах* (от англ. *voice coder*).

Вокодеры представляют собой систему связи, в которой на передающей стороне речевая информация преобразуется анализатором звука в кодовые сигналы, обеспечивающие на приемной стороне восстановление речи посредством синтезатора звука. Строго говоря, вокодеры передают не саму речь, а лишь некоторую совокупность голосовых параметров, определяемых и рассчитываемых в анализаторе передающей части и затем вновь синтезируемых в звук в приемной части. Тем не менее, за счет использования специальных сложных алгоритмов преобразования и восстановления, удается получать практически полную естественность воспроизводимого голоса при относительно низкой скорости цифрового потока, пропускаемого стандартными ТФЛ.

Основа для передачи данных в вокодерах заложена в свойстве звуковых сигналов человеческого голоса иметь не какие угодно параметры, а только те, которые может обеспечить голосовой аппарат человека, причем, несмотря на все различия, голоса разных людей имеют много общего и могут быть сформированы из относительно простой совокупности тональных и шумовых сигналов. Другими словами, для того чтобы передавать человеческий голос по ТФЛ можно изначально запрограммировать аппаратуру вокодера только на передачу реально возможных голосовых параметров или создать базовый вокодер для некоего «усредненного» голоса, не несущего никаких индивидуальных голосовых характеристик конкретного абонента и его интонаций. В современных вокодерах по ТФЛ передаются даже не параметры голоса, а только сведения об отличиях фактического речевого сигнала от ранее рассчитанного на основе его предыдущих значений.

К другим серьезным проблемам, возникающим при цифровом шифровании речевого сигнала, следует отнести ввод ключей с обязательной строгой синхронизацией. В последнем случае необходимо добиться того, чтобы дешифратор на приемном и шифратор на передающем концах линии связи начинали работать

одновременно и не сбивались ни на один такт во время всего сеанса связи, обеспечивая такие ценные качества телефонной связи, как удобство ведения переговоров любой продолжительности и быстроту вхождения в связь.

Цифровой способ кодирования речевой информации является существенно более стойким к несанкционированной дешифровке, чем любой способ аналогового преобразования параметров речи. Для кодирования сигнала, предварительно преобразованного в цифровой вид, применяются довольно сложные, и даже изощренные ключи. При этом к достоинствам систем с цифровым шифрованием следует отнести возможность применения открытого распределения ключей: в такой аппаратуре перед каждым сеансом связи, передающий и приемный блоки автоматически обмениваются открытыми ключами, на основе которых обычно вычисляется секретный сеансовый ключ. Использование данного метода снимает проблему изготовления и рассылки ключей, а также исключает утечку конфиденциальной информации из-за халатного отношения к хранению ключей или небрежного обращения с ключевыми носителями.

К недостаткам устройств такого класса относится техническая сложность и высокая стоимость, а также неустойчивая работа в каналах связи с большим затуханием и высоким уровнем помех.

ГЛАВА 4

ВИЗУАЛЬНЫЕ И ОПТИКО-ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ СРЕДСТВА ИНФОРМАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

§ 4.1. Системы и средства наблюдения и основные задачи, решаемые ими

Системы и средства наблюдения являются элементами комплексных систем защиты объектов и предназначены для визуального контроля состояния защищаемого объекта. Системы наблюдения часто условно подразделяют по следующим основным признакам:

- по способу регистрации оптического сигнала (системы непосредственного визуального наблюдения и телевизионные системы наблюдения;
- по уровню естественной освещенности (системы дневного и ночного наблюдения).

По способу регистрации оптического сигнала на передний план выходят **системы непосредственного визуального наблюдения** (СНВН), к которым, прежде всего, следует отнести глаз как первый оптический инструмент, которым природа вооружила человека. На внутренней поверхности глаза (на его сетчатке) образуется оптическое изображение, воспринимаемое человеком как зрительный образ. Однако возможности глаза ограничены. Глаз видит только те предметы, которые расположены непосредственно перед ним на сравнительно близком расстоянии, и не может различать отдельные детали далеко расположенных предметов, как не может различать и отдельные детали очень мелких предметов, хотя и расположенных вблизи от глаза.

Человеческий глаз не видит в полной темноте, поэтому, чтобы вызвать зрительное ощущение, ему необходим свет. Свет, делающий для глаза окружающий мир видимым, по современным воззрениям представляет по своей сущности единство двух процессов –

волнового и квантового. Связь волновой характеристики света (длины волны λ) и его квантовой характеристики (массы фотона m_ϕ) для вакуума описывается равенством:

$$\lambda = c/\nu_e = h_n/(m_\phi \cdot c),$$

где h_n – постоянная Планка, ν_e – частота электромагнитной волны, c – скорость света в вакууме. При этом энергия ϵ_ϕ фотона (кванта) определяется по известной формуле:

$$\epsilon_\phi = h_n \cdot \nu_e = m_\phi \cdot c^2.$$

Таким образом, квантовому характеру движения фотонов соответствует волновой процесс с частотой ν_e , причем скорость движения фотонов (квантов) в вакууме такая же, как скорость распространения в вакууме электромагнитных волн, и округленно эта скорость (т. е. скорость распространения света) составляет величину $c \approx 300\,000\text{ км/с} = 3 \cdot 10^8\text{ м/с}$.

Здесь целесообразно отметить, что скорость света только в вакууме не зависит от длины волны. В любой другой среде, кроме вакуума, скорость света зависит от длины волны λ . И лишь частота ν_e остается постоянной в разных изотропных средах, т. е. средах, физические свойства которых одинаковы по всем выбранным в них направлениям.

Вышеприведенные соотношения позволяют оценить чувствительность глаза $U_{(z)}$ в квантах за 1 секунду, так как известно, что нормальный глаз человека способен реагировать на очень малые потоки энергии, приблизительно равные $P_{min(z)} = 3 \cdot 10^{-10}\text{ эрг/с}$.

Пример 4.1. Определим чувствительность глаза $U_{(z)}$ в квант/с для $\lambda = 600\text{ нм}$, полагая скорость света $c = 3 \cdot 10^8\text{ м/с}$, а постоянную Планка $h_n = 6,62 \cdot 10^{-27}\text{ эрг} \cdot \text{с}$

Решение. Так как излучение с длиной волны $\lambda = 600\text{ нм} = 0,6 \cdot 10^{-6}\text{ м}$ имеет частоту $\nu_e = c/\lambda = 3 \cdot 10^8 / 0,6 \cdot 10^{-6} = 5 \cdot 10^{14}\text{ Гц}$ (или с^{-1}), а энергия одного рассматриваемого фотона (кванта) $\epsilon_\phi = h_n \cdot \nu_e = 6,62 \cdot 10^{-27} \cdot 5 \cdot 10^{14} = 3,31 \cdot 10^{-12}\text{ эрг}$ (на квант), то чувствительность глаза как оценочная величина определяется по формуле $U_{(z)} = P_{min(z)} / \epsilon_\phi = 3 \cdot 10^{-10} / 3,31 \cdot 10^{-12} \approx 90\text{ квант/с}$.

Таким образом, можно заключить, что для глаза ощущение света на физиологическом пределе вызывают всего лишь 90 квантов в секунду, т. е. *человеческий глаз – весьма чувствительный приемник излучения.*

При визуальных наблюдениях *человеческий глаз может работать как автономно, так и в комплексе с оптическими приборами.* При этом под **оптическим прибором** визуального наблюдения обычно понимают прибор, в котором основные функции выполняет *оптическая система*, формирующая изображение, рассматриваемое глазом. К таким системам традиционно относят зеркальные и линзовые системы, а также их комбинации, функционально причисляемые, в частности, к лупам, микроскопам и зрительным трубам (телескопическим системам).

Так, *невооруженный глаз* может различать предметы величиной приблизительно 0,1 мм. Применение лупы повысило эту возможность до 0,01 мм, а с помощью микроскопа стало возможным различать малые объекты величиной до 0,00019 мм.

Зрительная труба, предназначенная для визуального наблюдения удаленных предметов, обычно состоит из объектива и окуляра, между которыми чаще всего располагается оборачивающая система. Наибольшее распространение получили зрительные трубы, такие как телескопы, бинокли, подзорные трубы и др. Увеличение зрительной трубы равно отношению фокусного расстояния объектива к фокусному расстоянию окуляра и может достигать больших значений.

Глаз, работающий совместно с оптическими приборами, налагает определенные спектральные ограничения на рабочий диапазон длин волн. При этом на всей протяженной области длин волн оптического излучения (от 1 нм до 1 мм) условно принято различать:

- *видимое излучение*, которое воспринимается глазом и способное непосредственно вызывать зрительное ощущение в диапазоне длин волн от 380 нм до 780 нм;

- *инфракрасное (ИК) излучение* (невоспринимаемое глазом), длины волн которого больше 780 нм и меньше 1 мм = 10^6 нм, т. е. $780 \text{ нм} < \text{ИК} < 10^6 \text{ нм}$;

- *ультрафиолетовое (УФ) излучение* (невоспринимаемое глазом), длины волн которого меньше 380 нм и больше 1 нм, т. е. $1 \text{ нм} < \text{УФ} < 380 \text{ нм}$.

Следует подчеркнуть, что границы между этими участками являются условными. Например, ультрафиолетовое излучение перекрывается рентгеновским, а инфракрасное – радиоволнами.

Системы непосредственного визуального наблюдения (СНВН), особенно включающие в свой состав фото- и видеоаппаратуру, также как и **телевизионные системы наблюдения (ТВСН)** обеспечивают решение следующих основных задач:

- *контроля текущего состояния различных зон объекта;*
- *оценки степени опасности угроз и обеспечения адекватных мер защиты;*
- *обнаружения нештатных ситуаций и вторжений нарушителей;*
- *регистрации происшествий для последующего анализа и идентификации личности нарушителя.*

Необходимо отметить, что СНВН и ТВСН обычно входят в интегрированные системы обеспечения безопасности, но могут эффективно использоваться и самостоятельно в качестве систем охранного наблюдения, обозревающих охраняемую территорию и замечающих любые движущиеся объекты на ней. Это позволяет указанным системам наблюдения кроме вышеперечисленных задач *решать задачу профилактики (недопущения) планируемого преступления.* Так, просматривая сделанную видеозапись, сотрудники службы безопасности могут выявить скрытое наблюдение за охраняемым объектом, когда обнаруживается и идентифицируется наиболее часто проезжающий мимо объекта автомобиль или мотоцикл, а также одиночка или группа лиц, ведущих наблюдение.

Среди современных технических средств, привлекаемых для решения некоторых из вышеперечисленных задач, особое положение занимают системы наблюдения, в состав которых входит ЭОП (электронно-оптический преобразователь). ЭОП – электровакуумный прибор, разработанный на основе применения внешнего фотоэффекта, когда оптическое изображение, создаваемое на фотокатоде, преобразуется в промежуточное электронное, а затем снова и окончательно – в видимое изображение, получаемое на люминесцентном экране. ЭОП может служить как для усиления яркости изображения, так и для преобразования оптического изображения, формируемого на фотокатоде невидимыми лучами (вне видимого спектрального диапазона 380 нм – 780 нм), в видимое глазом изображение.

Здесь следует напомнить, что внешний фотоэффект – это испускание электронов веществом при его облучении световыми фотонами, когда поглощение фотонов света сопровождается вылетом электронов *за пределы* облучаемой поверхности.

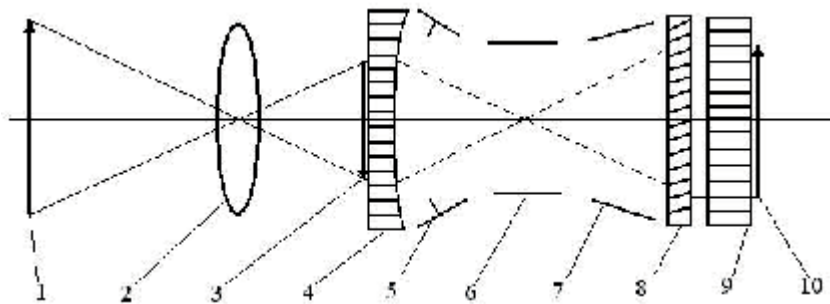


Рис. 4.1. Принципиальная схема ЭОП с электростатической фокусировкой и каналным электронным умножителем на базе МКП:

1 – объект; 2 – объектив; 3 – оптическое изображение;
4 – плосковогнутая стекловолоконная пластина с фотокатодом на вогнутой внутренней поверхности; 5 – фокусирующий электрод;
6 – конический анод; 7 – электрод, корректирующий электронное изображение; 8 – МКП (микроканальная пластина – каналный электронный умножитель); 9 – стекловолоконная пластина с люминесцентным экраном на её внутренней поверхности;
10 – видимое изображение объекта.

В последних разработках ЭОП электронное изображение может быть сфокусировано на люминесцентном экране тремя способами:

- продольным магнитным полем;
- электростатическими потенциалами строго рассчитанной формы (электрическим полем);
- непосредственным переносом на малое расстояние (посредством так называемой близкой фокусировки).

Современный ЭОП часто содержит каналный электронный умножитель на базе МКП, т. е. на базе микроканальной пластины. МКП – микроканальная пластина (англ. *MCP* – *microchannel plate*) – представляет собой пучок параллельно уложенных полых сквозных стеклянных каналов диаметром 10 – 50 мкм, к торцам которых приложено высокое напряжение. На внутренней поверхности таких каналов образован тонкий полупроводниковый слой, обладающий большим сопротивлением и коэффициентом вторичной эмиссии 2 – 3. Толщина МКП находится в пределах от 0,5 мм до 1 мм, а иногда доходит до 2 мм и даже до 4 мм.

На рис. 4.1 показана схема ЭОП с электростатической фокусировкой и каналным электронным умножителем на базе МКП.

Конструктивно ЭОП состоит из вакуумированного стеклянного баллона, передняя стенка которого представляет собой плосковогнутую стекловолоконную пластину с фотокатодом на вогнутой поверхности. Задняя стенка такого баллона выполнена в виде стекловолоконной пластины с люминесцентным экраном на её внутренней поверхности. Между фотокатодом ЭОП и его анодом приложено постоянное напряжение 10 – 15 кВ. Объектив 2 строит на входе стекловолоконной пластины 4 оптическое изображение 3 наблюдаемого объекта 1. Под воздействием изображения, получаемого на фотокатод, с его поверхности совершается эмиссия фотоэлектронов, число которых в любой точке фотокатода пропорционально имеющейся там освещенности.

В момент выхода из фотокатода фотоэлектроны вылетают по различным направлениям. Благодаря ускоряющему электрическому полю фотоэлектроны с помощью электродов 5, 6 и 7 стягиваются в узкий пучок, ускоряются и направляются к МКП 8. В современных МКП каналы часто являются косо расположенными. Тем самым устраняется прямое попадание положительных ионов со стороны анода обратно на фотокатод и продлевается срок его службы, а также снижается фон ионных вспышек.

К торцам МКП прикладывается напряжение 2 – 3 кВ. Электроны с фотокатода, попадая внутрь каналов МКП, ударяются об их стенки, вызывая эмиссию вторичных электронов. Эти электроны увлекаются полем внутри каждого канала и совершают по мере его прохождения многократные акты вторичной эмиссии, в результате чего электронный поток на выходе такого канала во много раз превышает поток на его входе. Как показывает опыт реализации МКП, для обеспечения эффективного усиления электронного потока за счет вторичной эмиссии необходимо, чтобы отношение длины канала к его диаметру было в пределах 50 – 100. При этом коэффициент усиления ЭОП с МКП может достигать 10^5 – 10^7 .

Выходящий из каждого канала МКП поток электронов возбуждает на входе стекловолоконной пластины 9 люминесцирующий экран, в результате чего на выходе стекловолоконной пластины 9 формируется существенно усиленное по яркости и преобразованное по спектру видимое изображение объекта 10, рассматриваемое либо глазом, либо воспринимаемое передающей трубкой или матричным ПЗС (*прибором с зарядовой связью*), которые обычно входят в состав телевизионных камер.

Указанные достоинства электронно-оптических преобразователей с микроканальными пластинами послужили основой для создания многих специальных образцов оптико-телевизионных устройств, содержащих ЭОП с МКП и сочлененных на выходе этих устройств с матричными ПЗС. Такое сочленение обеспечивает значительное повышение энергетической чувствительности этих оптико-электронных систем, а также позволяет разработчикам создавать современные приборы ночного видения и телевизионную аппаратуру, эффективно работающую в невидимой глазу инфракрасной (ИК) области спектра.

Итак, получено представление о системах непосредственного визуального наблюдения (СНВН) и телевизионных системах наблюдения (ТВСН), разнящихся по способу регистрации оптического сигнала. Переходя к другому признаку условного деления систем наблюдения – **по уровню естественной освещенности** – следует отметить, что в настоящее время в условиях дневного наблюдения применяются многие оптические приборы, работающие в СНВН совместно с глазом, и оптические системы (разнообразные объективы), работающие в составе черно-белых и цветных камер ТВСН.

При ночном наблюдении можно обозревать охраняемую территорию только с помощью электронно-оптических устройств, снабженных инфракрасной оптикой, которые позволяют видеть все объекты, являющиеся более теплыми, чем фон, например, позволяют увидеть ночью тело нарушителя на фоне холодных стен, камней, асфальта, травы, кустов и деревьев. Более того, используя инфракрасную подсветку, можно вести наблюдение за охраняемой территорией в абсолютной темноте. При этом злоумышленник может думать, что он невидим, а на самом деле его можно отчетливо видеть на люминесцентном экране электронно-оптического устройства или на экране монитора, не хуже, чем днем. Здесь следует особо подчеркнуть, что это положительное качество указанных электронно-оптических устройств нередко объясняется введением в их состав ЭОП с МКП, преобразующих невидимое глазу инфракрасное изображение, создаваемое ИК-лучами, в видимое.

Позитивный опыт использования электронно-оптических устройств в системах наблюдения, особенно содержащих ЭОП с МКП, доказал их особую эффективность при работе в ночных условиях.

§ 4.2. Применение плоских зеркал в системах непосредственного визуального наблюдения

В торговых, коммерческих, банковских и тому подобных помещениях для целей визуального контроля часто применяют плоские зеркала. **Плоское зеркало** представляет собой гладкую, ровную поверхность, при отражении от которой параллельный пучок лучей остается параллельным, а угол падения, отсчитываемый от нормали, равен углу отражения по величине и противоположен по знаку.

Глядя в плоское зеркало прямо перед собой, наблюдатель видит как бы своего двойника и различные предметы, которые находятся вокруг и позади него. При этом наблюдателю представляется, что и его двойник и окружающие предметы располагаются перед ним, за зеркалом, хотя их там, разумеется, нет.

То, что наблюдатель видит в плоском зеркале – это *мнимое изображение* предметов. При этом наблюдателю только *кажется*, будто свет исходит от получаемого изображения, поскольку человеческий мозг воспринимает попадающий в глаза свет как свет от источника, находящегося перед наблюдателем. Лучи в действительности не сходятся в сформированном изображении, а потому, сделав попытку поместить, например, лист белой бумаги, фотопленку или матричный ПЗС в то место, где находится изображение, ни при каких обстоятельствах не удастся получить на них это изображение. Поэтому такое изображение относят к *мнимым* изображениям.

Предмет и его изображение располагаются симметрично по отношению к поверхности плоского зеркала. Таким образом, расстояние от зеркала до изображения равно расстоянию от зеркала до предмета. Кроме того, высота изображения, формируемого плоским зеркалом, равна высоте предмета.

Рассмотрим два примера использования плоских зеркал в СНВН. Первый из этих примеров связан с применением плоских зеркал в высокочувствительных оптических датчиках современных охранных устройств.

Пример 4.2. В высокочувствительном оптическом датчике, установленном в контролируемом помещении, тонкий пучок лучей, идущий от источника ИК-излучения *И*, расположенного под потолком, отражается от миниатюрного плоского зеркальца *З*, укрепленного,

к примеру, на паркетном полу, и возвращается обратно к потолку, где попадает в виде светового пятна в центр фоточувствительной поверхности координатного фотоприемника $П$, например, в центр четырехэлементного фотодиода, помещенного под потолком.

Деформация (прогиб) пола под тяжестью нарушителя приводит к повороту плоского зеркальца $З$, вследствие чего световое пятно, уйдя от центра фоточувствительной поверхности координатного фотоприемника $П$, смещается по этой поверхности, что влечет за собой изменение выходного сигнала от фотоприемника $П$ и вызывает сигнал тревоги.

Определим угол поворота $\alpha_{\text{зерк}}$ плоского зеркальца $З$, если из-за такого его поворота смещение светового пятна по фоточувствительной поверхности координатного фотоприемника $П$ произошло на величину $\Delta_x = 2$ мм. Высота потолка над полом в контролируемом помещении $h = 5$ м.

Полученная величина угла $\alpha_{\text{зерк}}$ может послужить доказательством высокой чувствительности рассмотренного оптического датчика.

Примечание. Для решения этой задачи необходимо получить зависимость между углом $\alpha_{\text{зерк}}$, т.е. углом поворота плоского зеркальца $З$, и углом $\alpha_{\text{луч}}$, т.е. изменением направления луча, отраженного от зеркальца $З$.

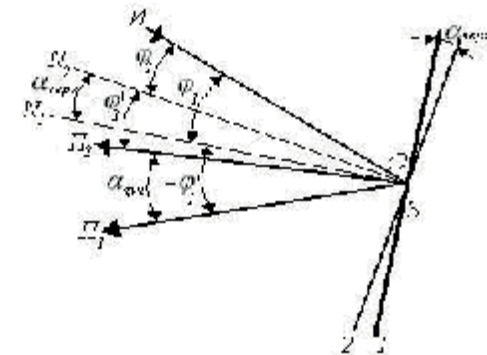
Решение. Полагаем, что луч $ИО$ отражается в точке $О$ от плоского зеркала, которое находится в положении 1 . При этом луч $ИО$, переходящий в луч $ОП_1$, образует с нормалью $ОН_1$ угол падения φ_1 и угол отражения $-\varphi'_1$, причем $\varphi_1 = -\varphi'_1$.

Пусть далее плоское зеркальце $З$ повернется на угол $\alpha_{\text{зерк}}$, заняв новое положение 2 . Очевидно, что при повороте зеркальца $З$ на угол $\alpha_{\text{зерк}}$ на такой же угол $\alpha_{\text{зерк}}$ повернется и исходная нормаль, став $ОН_2$. При этом образуются новые углы: φ_2 (угол падения) и $-\varphi'_2$ (угол отражения), причем $\varphi_2 = -\varphi'_2$, а, кроме того, имеем: $\varphi_2 = \varphi_1 - \alpha_{\text{зерк}}$, т.е. $\alpha_{\text{зерк}} = \varphi_1 - \varphi_2$.

Из приведенного рисунка нетрудно найти угол $\alpha_{\text{луч}}$, на который отклонится отраженный луч от своего первоначального положения $ОП_1$, заняв новое положение $ОП_2$:

$$\alpha_{\text{луч}} = [\varphi_1 + (-\varphi'_1)] - [\varphi_2 + (-\varphi'_2)] = 2\varphi_1 - 2\varphi_2$$

$$(\text{т.к. } \varphi_1 = -\varphi'_1, \text{ и } \varphi_2 = -\varphi'_2)$$



(нижний рисунок – это укрупненная часть верхнего рисунка около точки $О$, где для наглядности все углы показаны большими)

и отсюда находим $\alpha_{\text{луч}} = 2 \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) = 2 \cdot \alpha_{\text{зерк}}$
(т.к. $\alpha_{\text{зерк}} = \varphi_1 - \varphi_2$).

Таким образом, доказано, что при повороте плоской зеркальной поверхности на любой угол α (например, по направлению движения часовой стрелки) отраженный от этой поверхности луч поворачивается в ту же сторону на угол 2α (также по направлению движения часовой стрелки).

В данном примере рассматриваемые угловые величины определяются, исходя из дистанции около $5 \text{ м} = 5 \cdot 10^3 \text{ мм}$ от зеркальца $З$ до фотоприемника $П$ при смещении светового пятна по поверхности фотоприемника $П$ на малую величину $\Delta_x = 2$ мм. Отсюда следует, что искомый угол поворота зеркальца $\alpha_{\text{зерк}}$, будучи по величине очень небольшим, может быть определен из соотношений: $\alpha_{\text{луч}} \approx \arctg \frac{\Delta_x}{h} \approx \arcsin \frac{\Delta_x}{h} = 2\alpha_{\text{зерк}}$.

Таким образом, величина угла поворота плоского зеркальца 3 легко находится по формуле:

$$\alpha_{\text{зерк}} = \frac{1}{2} \arctg \frac{\Delta x}{h} = \frac{1}{2} \arctg \frac{2}{5 \cdot 10^3} = 0^\circ 0' 41'' = 41 \text{ угловая секунда.}$$

Получено доказательство, что оптический датчик, выполненный по рассмотренной схеме, действительно обладает высокой чувствительностью. Это становится тем более очевидным, что, например, при использовании в качестве фотоприемников, четырехэлементных фотодиодов, можно обеспечить оптимальный выбор их фоточувствительной площадки, которые в настоящее время изготавливают с размерами от $1 \times 1 \text{ мм}^2$ до $10 \times 10 \text{ мм}^2$. При этом величина смещения светового пятна по поверхности такого оптимально подобранного фотоприемника может быть существенно меньше, чем вышеуказанные 2 мм, что ведет к повышению чувствительности этого датчика.

Рассмотренное схемное решение высокочувствительного оптического датчика открывает возможность создания пилообразной световой ограды вокруг объекта, интересующего злоумышленника. Для этого необходимо видоизменить схему оптического датчика, сохраняя его первое звено, в котором тонкий пучок лучей, идущий от источника ИК-излучения И, расположенного под потолком, отражается от миниатюрного плоского зеркальца Z_1 , укрепленного на паркетном полу. После отражения от плоского зеркальца Z_1 пучок лучей идет к потолку, где вместо фотоприемника П устанавливается второе (дополнительное) миниатюрное плоское зеркальце Z_2 , а отраженный от него тонкий пучок лучей далее направляется на расположенное на паркетном полу третье (также дополнительное) плоское зеркальце Z_3 и т.д. вплоть до окончательного отражения лучей от последнего плоского зеркальца Z_n , укрепленного на паркетном полу. Отразившись от плоского зеркальца Z_n , пучок лучей идет к потолку и поступает на установленный там координатный фотоприемник П, где попадает в виде светового пятна в центр его фоточувствительной поверхности. Как уже было сказано, деформация (прогиб) пола под тяжестью злоумышленника приводит к повороту какого-либо из перечисленных зеркалец, укрепленных на полу, а это, в свою очередь, вызывает уход светового пятна от центра фоточувствительной поверхности координатного фотоприемника П и обуславливает изменение сигнала на его выходе, что в конечном итоге приводит к формированию сигнала тревоги и задержанию злоумышленника.

Второй из предлагаемых здесь примеров связан с использованием плоских зеркал в контролируемом помещении с целью исключения так называемых «слепых зон», недоступных визуальному контролю со стороны сотрудника службы безопасности.

Пример 4.3. В контролируемом помещении сотрудник службы безопасности, сидящий на посту контроля за рабочим столом, находится на расстоянии 3,15 м перед полуметровым вертикальным плоским зеркалом. Нижний край этого зеркала проходит на высоте 0,6 м над полом контролируемого помещения. Глаза сотрудника службы безопасности с высоты 1,23 м над полом имеют поле обзора 60° книзу (от горизонтальной плоскости) из-за ограничения столом его поля зрения, т.к. столешница располагается над полом на высоте 0,71 м.

Имеется ли в этом случае «слепая зона» на полу контролируемого помещения, т.е. зона, недоступная визуальному контролю со стороны сидящего за столом сотрудника службы безопасности? Если ответ утвердительный, то какова протяженность данной зоны и какой максимальной высоты опасный предмет может поместить в «слепую зону» нарушитель? Каков при этом горизонтальный габарит стола сотрудника службы безопасности? Что необходимо предпринять, чтобы ликвидировать «слепую зону» в случае, когда невозможно заменить стол сотрудника службы безопасности или уменьшить габариты этого стола?

Получим ответы на поставленные вопросы, полагая, что при габаритных расчетах можно пользоваться абсолютными величинами углов и отрезков.

Решение.

1. Искомый горизонтальный габарит стола сотрудника службы безопасности определяем из прямоугольного треугольника $\triangle EHN$. В данном прямоугольном треугольнике $\angle HEN = 30^\circ$, а $\angle HNE = 60^\circ$. При этом в общем случае, если в прямоугольном треугольнике известен катет «в», лежащий против угла 60° , то катет «а», расположенный напротив угла 30° и равный половине гипотенузы, легко определить по формуле: $a = \frac{6}{\sqrt{3}}$, т.к. по теореме Пифагора $a^2 + v^2 = 4a^2$, т.е. $a^2 = \frac{6^2}{3}$ или $a = \frac{6}{\sqrt{3}}$. Таким образом, горизонтальный габарит стола сотрудника службы безопасности: $HN = (EG - GH) / \sqrt{3} = 0,52 / \sqrt{3} = 0,3 \text{ м.}$



передающей трубки или ПЗС–матрицы. При этом для эффективного использования объективов в составе телевизионных камер (ТВК) необходимо, чтобы разрешающая способность объектива была выше (примерно в 2 раза), чем разрешающая способность фотопреобразователя ТВК (передающей телевизионной трубки, матричного ПЗС или сочлененного ЭОП с ПЗС). Следует заметить, что под разрешающей способностью объектива понимают его способность изображать раздельно две близрасположенные точки или два соседних минимальных фрагмента объекта.

Для систем наблюдения важными параметрами, характеризующими объективы, являются:

- заднее фокусное расстояние объектива;
- относительное отверстие объектива;
- поля зрения объектива;
- совместимость объектива с приемной системой восприятия изображения.

У большинства объективов все центры кривизны оптических поверхностей лежат на одной прямой, называемой *оптической осью*. Пучок лучей, идущих из пространства предметов и параллельных оптической оси, собирается объективом в точке, называемой *задним фокусом*. Уподобляя объектив тонкой линзе, в этом случае называют *задним фокусным расстоянием* $f'_{\text{фок}}$ дистанцию от центра такой линзы до её заднего фокуса. Фокусное расстояние $f'_{\text{фок}}$ измеряется в миллиметрах.

В зависимости от решаемой задачи в системах наблюдения могут использоваться объективы с постоянным фокусным расстоянием (*fixed focal length*), а также с ручной (*varyfocal*) и автоматической (*zoom*) перестройками его значения.

Объективы с постоянным фокусным расстоянием получили большое распространение как в СНВН, так и в ТВСН, и применяются для решения задач общего наблюдения. Объективы с ручным изменением фокусного расстояния используются в обеих системах наблюдения, но большей частью – в ТВСН, когда требуется максимально точное согласование размеров наблюдаемого объекта с полем зрения телевизионной камеры (ТВК). Если же в ТВСН телевизионная камера используется и при обнаружении, и при распознавании объектов, то необходимо применение объективов с автоматическим изменением фокусного расстояния (*вариообъективов* или *трансфокаторов*).

Для определения интенсивности света, собираемого объективом, важно знать диаметр наибольшего пучка параллельных лучей, который может пройти сквозь объектив. Диафрагма, ограничивающая этот пучок, называется *апертурной диафрагмой*. Вместе с тем, распространена иная трактовка апертурной диафрагмы, согласно которой – это диафрагма, ограничивающая пучок лучей, выходящих из точки пересечения плоскости предмета с оптической осью.

Если перед апертурной диафрагмой расположены какие-либо оптические элементы объектива (например, элементы зеркальной, линзовой или зеркально-линзовой оптики), то изображение апертурной диафрагмы, создаваемое ими в пространстве предметов, называется *входным зрачком*.

Светосила объектива, характеризующая его относительным отверстием, определяет способность объектива, как собирать свет, так и формировать качественное изображение. *Относительное отверстие* – абсолютное значение отношения удвоенного расстояния от оптической оси до точки преломления или отражения луча, параллельного оптической оси в пространстве предметов и проходящего через край апертурной диафрагмы, к заднему фокусному расстоянию объектива. При изменяемом диаметре апертурной диафрагмы (типа ирисовой диафрагмы) *наибольшее относительное отверстие объектива* (при полностью открытой диафрагме) нередко называют *светосилой*. При этом часто называют *относительным отверстием* – отношение диаметра D действующего диафрагмированного отверстия (входного зрачка или апертурной диафрагмы) к заднему фокусному расстоянию $f'_{\text{фок}}$ объектива. Обычно этот параметр записывают в виде дроби с числителем, равным единице:

$$\frac{D}{f'_{\text{фок}}} = \frac{1}{F} \quad \text{или} \quad 1:F = D:f'_{\text{фок}}, \quad \text{т. е.} \quad F = \frac{f'_{\text{фок}}}{D},$$

где F – знаменатель относительного отверстия объектива, который для краткости называют просто диафрагмой или диафрагменным числом. На объективах обычно указывают только эти числа.

Международным соглашением установлена последовательность значений диафрагм (диафрагменных чисел):

$$1 - 1,4 - 2 - 2,8 - 4 - 5,6 - 8 - 11 - 16 - 22 - 32.$$

Эти числа подобраны таким образом, что при переходе к следующему значению площадь отверстия диафрагмы уменьшается примерно в 2 раза, а для этого должно измениться в $\sqrt{2}$ раз значение диафрагмы (диафрагменное число).

В англоязычной научно-технической литературе принят термин “число F ” (“ F -number”), причем $F = \frac{f_{\text{фок}}}{D}$, а $f_{\text{фок}}$ означает абсолютную величину заднего фокусного расстояния объектива. Например, если в документе на английском языке для объектива указано $F 5$ или $F/5$, то отмечается, что этот объектив имеет относительное отверстие $1:5$, а *апертуру* $f_{\text{фок}}/5$ (лат. *aperture* – отверстие).

В литературе об объективах на немецком языке можно часто встретить дробь: $\frac{1^{\text{ое}} \text{ число}}{2^{\text{ое}} \text{ число}}$, которая означает $\frac{f'_{\text{фок}}}{f'_{\text{фок}}(\text{мм})}$.

Применительно к F обычно даются пояснения: чем меньше F , тем больше света пропускает объектив, т.е. минимальное значение диафрагмы F соответствует максимальной апертуре, когда объектив полностью открыт, а максимальное значение диафрагмы F соответствует минимальной апертуре, когда объектив почти полностью закрыт.

В зависимости от величины относительного отверстия $\frac{D}{f'_{\text{фок}}}$ объективы условно подразделяются на: 1) ультрасветосильные, от 1:1,1 и более (например, 1:0,9 и т.д.), 2) светосильные, от 1:1,1 до 1:3,5, 3) нормальные, от 1:3,5 до 1:6,3 и 4) малосветосильные, менее 1:6,3 (например, 1:10; 1:15 и т.д.).

Любой реальный объектив, строящий изображение ограниченной части пространства предметов, часто поставленной при визуализации в прямоугольные рамки, характеризуется полем зрения. Величина *поля зрения* объектива определяет прямоугольный *формат изображения*, под которым понимают отношение его горизонтального размера к вертикальному.

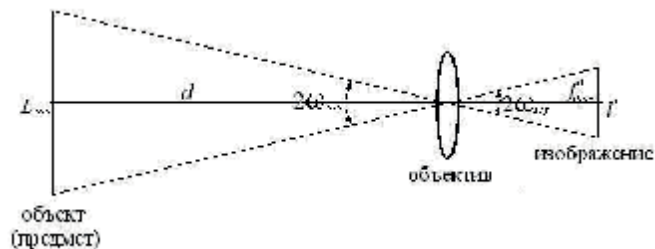


Рис. 4.2. К определению горизонтального углового поля зрения объектива

При известном формате изображения заднее фокусное расстояние определяет углы по горизонтали и вертикали, охватываемые объективом. Такие области охвата называют горизонтальным и вертикальным угловыми полями зрения объектива (рис. 4.2).

Горизонтальное угловое поле зрения объектива $2\omega_{\text{гор}}$ определяется по очевидной формуле: $2\omega_{\text{гор}} = 2 \arctg \frac{l'}{2f'_{\text{фок}}}$ и при этом $\frac{l'}{f'_{\text{фок}}} = \frac{L_{\text{гор}}}{d}$, где l' – горизонтальный размер прямоугольного изображения, формируемого объективом; $L_{\text{гор}}$ – размер контролируемой зоны по горизонтали на дистанции d от объектива.

Аналогично определяется вертикальное угловое поле зрения объектива: $2\omega_{\text{верт}} = 2 \arctg \frac{h'}{2f'_{\text{фок}}}$ и при этом $\frac{h'}{f'_{\text{фок}}} = \frac{H_{\text{верт}}}{d}$, где h' – вертикальный размер прямоугольного изображения, формируемого объективом; $H_{\text{верт}}$ – размер контролируемой зоны по вертикали на дистанции d от объектива.

Кроме горизонтального $2\omega_{\text{гор}}$ и вертикального $2\omega_{\text{верт}}$ угловых полей зрения часто соотносят поле зрения объектива, выраженное в угловой мере, с диагональю δ' прямоугольного изображения и при этом подчеркивается, что диаметр D входного зрачка (или апертурной диафрагмы) определяется величиной относительного отверстия объектива, а угол поля зрения $2\omega_{\text{диаг}}$ – размером диагонали δ' прямоугольного изображения, которая связана с $2\omega_{\text{диаг}}$ и задним фокусным расстоянием $f'_{\text{фок}}$ выражением: $\delta' = 2f'_{\text{фок}} \cdot \tg \omega_{\text{диаг}}$.

По величине угла поля зрения $2\omega_{\text{диаг}}$ объективы условно разделяются на: 1) узкоугольные, с полем зрения не более 40° , 2) нормальные, с полем зрения от 40° до 65° , 3) широкоугольные, с полем зрения от 65° до 104° и 4) сверхширокоугольные, с полем зрения более 104° . Вообще величина поля зрения объективов колеблется от 2° до 210° и напрямую зависит от заднего фокусного расстояния $f'_{\text{фок}}$. Обычно, чем больше это фокусное расстояние, тем более узким является угол поля зрения объектива.

Необходимо отметить, что узкоугольные длиннофокусные объективы с углом поля зрения менее 25° имеют малую глубину резкого изображаемого пространства предметов (малую глубину резкости) и используются на больших расстояниях или для наблюдения мелких предметов. В ТВСН, где необходима визуализация панорамы

наблюдения за объектом, используются нормальные объективы с углом поля зрения до 45° и широкоугольные (короткофокусные) объективы с углом поля зрения до 85° , так как они обычно обладают лучшей светосилой и большей глубиной резкости.

В ТВСН для скрытой установки малогабаритных телевизионных камер (ТВК) применяют специальные объективы с диаметром входного зрачка до 1 мм. Как правило, такие объективы, являясь широкоугольными, с углом поля зрения от 65° до 104° , а иногда и до 110° , имеют удовлетворительную светосилу от 1:2 до 1:3. Такие объективы используются в закамуфлированных ТВК, смонтированных за картинами, часами, зеркалами, указателями выхода, в корпусах пожарных и охранных датчиков и др. При этом скрытое видеонаблюдение можно использовать, например, для контроля лояльности сотрудников, соблюдения пропускного режима в выделенных помещениях и регистрации проводимых в них конфиденциальных переговоров. Для этих целей используются как черно-белые, так и цветные бескорпусные ТВК с максимальным габаритом не более 5 см.

Для современных объективов выбор угла поля зрения, определяющего размер контролируемой зоны, обычно основывается на компромиссе между стремлением обеспечить наиболее широкое поле зрения (т. е. видеть как можно больше) и требуемым качеством обнаружения и распознавания объектов в полученном изображении. В разработанных в последние годы рекомендациях сообщается, что для уверенного опознания даже знакомого человека он должен занимать не менее чем половину высоты (т. е. $\geq h/2$) прямоугольного изображения, сформированного объективом. Кроме того, т. к. размер контролируемой зоны по горизонтали $L_{гор}$ на дистанции d от объектива (см. рис. 4.2) оптически сопряжен с горизонтальным размером l' прямоугольного изображения, то целесообразно ориентироваться на следующие условия:

- чтобы заметить человека, требуется $L_{гор} = 20$ м;
- чтобы опознать знакомого, требуется $L_{гор} = 5$ м;
- чтобы опознать незнакомого, требуется $L_{гор} = 2$ м.

При распознавании различных объектов несомненным преимуществом обладают объективы с изменяемой величиной поля зрения, т. е. с изменяемым фокусным расстоянием (*zoom – объективы*), которые используются для приближения и укрупнения изображения объекта и его фрагментов с применением

автоматической регулировки (*трансфокаторы и вариообъективы*). Такие объективы наиболее пригодны для использования в ТВК кругового обзора совместно с поворотными устройствами, например, при их установке в людном помещении с несколькими входами. Одной камерой с таким объективом можно обозревать все помещение, рассматривать лица людей и следить за их поведением, укрупняя необходимые фрагменты изображения, либо обозревать сразу большую площадь, но с более крупными деталями.

Кроме объективов с автоматической перестройкой фокусного расстояния в настоящее время получили распространение объективы с автоматической регулировкой диафрагмы (объективы с *автодиафрагмой*). Эти объективы обычно используются в стационарных ТВК в условиях, когда освещенность изменяется в широких пределах.

§ 4.4. Телевизионные системы наблюдения и особенности их реализации для целей информационной защиты

Телевизионные системы наблюдения (ТВСН) часто называют системами внутреннего или замкнутого прикладного телевидения. В таких системах электрические сигналы (видеосигналы) не передаются за пределы контролируемого объекта, т. к. передача видеоинформации осуществляется замкнуто по кабельным линиям связи внутри этого объекта.

Все ТВСН базируются на телевизионном методе передачи и воспроизведения оптической информации, содержащейся в кадре. *Телевизионный кадр* – это изображение, содержащее полное число элементов, на которое оно разлагается с целью осуществления развертки. **Развертка изображения** – основополагающий принцип телевидения. Суть его заключается в том, что любое подлежащее передаче, а затем воспроизведению двумерное изображение (кадр) представляется как совокупность дискретных элементов, яркость которых последовательно и поэлементно при передаче преобразуется в одномерные электрические сигналы (видеосигналы), являющиеся функцией времени, а при воспроизведении изображения осуществляется обратное преобразование. При этом процесс поэлементной развертки изображения позволяет передавать информацию о яркости большого числа элементов изображения последовательно по одному каналу связи.

Таким образом, в ТВСН получаемое изображение преобразуется и образуется с помощью развертки. Такое изображение “рисуется” *развертывающей апертурой*, т. е. своеобразным развертывающим элементом, постоянно движущимся (сканирующим) слева направо, а затем перемещающимся вниз и снова сканирующим слева направо, подобно человеческому глазу при чтении страницы. Каждый проход развертывающей апертуры слева направо называется строкой. Пройдя одну строку до конца, развертывающая апертура возвращается к началу следующей строки, затрачивая время на так называемый обратный ход по строке. Когда площадь всей сканируемой поверхности пройдена полностью, развертывающая апертура возвращается вверх (выполняя обратный ход по кадру) и процесс повторяется.

Вышеописанный процесс относится к *линейной развертке*, при которой развертывающая апертура перемещается в прямоугольном растре с постоянной скоростью. *Прямоугольным растром* здесь называют совокупность строк, приходящихся на один кадр, причем *формат* такого прямоугольного раstra (отношение его ширины к высоте), как правило, соответствует формату изображения. Постоянство скорости в поперечном по отношению к строкам направлении обеспечивает равномерную плотность строк в прямоугольном растре, а в продольном направлении – идентичность условий образования видеосигнала во всех точках этого раstra. В настоящее время линейная развертка получила наибольшее распространение в виде построчной и чересстрочной развертки.

При *построчной развертке* сканирующая развертывающая апертура последовательно обегает все строки, причем развертка изображения всего кадра происходит за один цикл. В этом случае частота кадровой развертки и частота смены кадров совпадают.

При *чересстрочной развертке* сканирующая развертывающая апертура сначала последовательно обегает все нечетные строки, формируя поле нечетных строк, а затем возвращается вверх и выполняет сканирование всех четных строк кадра, формируя поле четных строк. При такой развертке отношение времени передачи одного поля ко времени передачи всего кадра составляет 1:2, т. е. частота кадровой развертки, равная частоте полей, оказывается в два раза выше частоты смены кадров. Это позволяет в два раза увеличить частоту мельканий изображения по сравнению с

построчной разверткой, имеющей ту же скорость в продольном направлении и ту же длительность передачи кадра. Такое увеличение в два раза частоты мельканий изображения в итоге является благоприятным фактором при визуализации изображения.

Вышеуказанные две основные операции – преобразование лучистой энергии в электрические сигналы (видеосигналы) и развертка изображения – осуществляются в *фотопреобразователях*. В современных телекамерах в составе ТВСН доминирующее положение занимают две главные категории фотопреобразователей:

- передающие телевизионные трубки, объединенные под общим названием «видикон»;
- твердотельные фотопреобразователи – «ПЗС», т. е. приборы с зарядовой связью (англоязычная аббревиатура – “*CCD*” – *charge-coupled device*).

При этом для всех телевизионных камер является общей следующая функциональная схема:

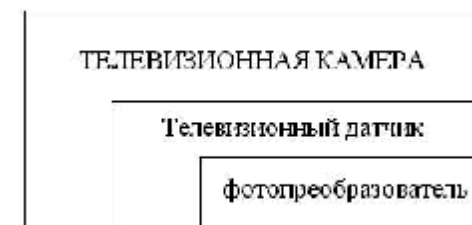


Рис. 4.3. Функциональная схема телекамеры

Фотопреобразователь входит в состав телевизионного датчика, являющегося главным компонентом любой телевизионной камеры (ТВК), служащей в свою очередь входным звеном ТВСН. *Телевизионный датчик* – совокупность оптических, электронных и механических устройств, обеспечивающих получение и преобразование оптического изображения наблюдаемого пространства или объекта в электрический сигнал, пригодный для дальнейшей обработки.

В *телевизионный датчик* входят:

- оптическая система (объектив);
- фотопреобразователь (передающая трубка класса «видикон» либо ПЗС);

- устройство развертки изображения;
- предварительный усилитель;
- цепи синхронизации.

Состав *телевизионной камеры* шире, чем состав телевизионного датчика, так как в ТВК кроме этого датчика часто входят дополнительные устройства, например, устройство дистанционного управления фокусным расстоянием объектива, устройство автоматической регулировки его диафрагмы, а также устройство смены объективов.

Одними из основных показателей качества работы ТВСН являются телевизионная дальность обнаружения и телевизионная дальность опознавания объекта. При этом под *телевизионной дальностью обнаружения* понимают максимальное расстояние между телевизионной камерой (ТВК) и объектом наблюдения, на котором с заданной вероятностью обеспечивается обнаружение этого объекта. *Телевизионная дальность опознавания* – это максимальное расстояние между ТВК и объектом наблюдения, на котором с заданной вероятностью обеспечивается опознавание наблюдаемого объекта.

В частности, максимальная дальность обнаружения человека определяется, исходя из условия, согласно которому на высоту человека h должно приходиться не менее 10% раstra. Для этого случая телевизионная дальность обнаружения $d_{обн}$ определяется из соотношения:

$$\frac{d_{обн}}{h} = \frac{f'_{фок}}{0,1 \cdot l_{пр}},$$

где h – высота человека, $f'_{фок}$ – заднее фокусное расстояние объектива, формирующего изображение, $l_{пр}$ – размер фоточувствительной площадки приемника по выбранной координате (чаще всего – по горизонтали). Если, например, задана максимальная дальность наблюдения, при которой должен быть обнаружен человек, то по вышеприведенной формуле можно рассчитать требуемое значение заднего фокусного расстояния $f'_{фок}$ объектива при известных параметрах фотопреобразователя ТВК.

При фиксированном значении $f'_{фок}$ телевизионная дальность опознавания $d_{опоз}$ будет примерно в пять раз меньше телевизионной дальности обнаружения, т.е. $d_{опоз} \approx d_{обн}/5$, так как, к примеру, для опознавания человека необходимо, чтобы на его высоту приходилось около 50 % раstra.

Наиболее эффективным способом обеспечения, как обнаружения, так и опознавания объекта одной телевизионной камерой является применение объектива с переменным фокусным расстоянием, т.е. *zoom* – объектива. К объективам такого типа принадлежат современные трансфокаторы, которые имеют как минимум шестикратный диапазон изменения фокусного расстояния, а потому способны обеспечить решение поставленной задачи обнаружения и опознавания объекта наблюдения.

ТВСН могут быть различны по сложности – от простой ТВК с монитором до многокамерных компьютерных систем с цифровой обработкой изображения в реальном масштабе времени. Однако как бы ни была сложна ТВСН, она обязательно содержит телевизионную камеру (видеокамеру).

В настоящее время для ТВСН разработано и выпускается большое количество типов и моделей телевизионных камер, которые можно весьма условно классифицировать нижеследующим образом.

1. *Видиконовые камеры*, в которых в качестве фотопреобразователей используются передающие телевизионные трубки класса «видикон». Камеры этого вида выпускаются давно; их положительными качествами являются: простота конструкции, низкая стоимость, высокая разрешающая способность и удовлетворительная светочувствительность. К отрицательным качествам можно отнести: сравнительно небольшой диапазон передаваемых яркостей, значительную инерционность, относительно короткое время службы (1 – 2 года), резкое ухудшение характеристик по мере старения. Такие камеры в основном применяются для контроля за помещениями и территориями с мало меняющейся освещенностью.

2. *ПЗС - камеры*, в которых в качестве твердотельных фотопреобразователей используются приборы с зарядовой связью, занимающие основное место в современных разработках ТВК. Такие камеры имеют меньшие габариты, чем у видиконовых камер; характеристики ПЗС – камер не ухудшаются со временем; они имеют высокую разрешающую способность, низкую инерционность и большую, чем у видиконовых камер долговечность. Кроме того, некоторые ПЗС – камеры могут работать при слабой освещенности (например, при свете луны).

3. *Сверхвысокочувствительные камеры* с ЭОП и МКП для работы при предельно малой освещенности, практически в темноте.

4. *Специальные камеры с ЭОП, МКП и инфракрасной подсветкой для наблюдения в самое темное ночное время.*

5. *Специальные малогабаритные камеры для скрытого наблюдения с диаметром входного зрачка объектива около 1 мм.*

Кроме вышеуказанных ТВК, которые большей частью являются *черно-белыми*, в последнее время нашли широкое применение *цветные телевизионные камеры*.

Для большинства задач видеонаблюдения и распознавания вполне достаточно *черно-белых камер*, так как они по сравнению с цветными обладают большей светочувствительностью (в среднем на 1 – 2 порядка большей, чем у цветных) и большей разрешающей способностью. При этом они работают не только в видимом диапазоне спектра, но и в инфракрасном (ИК) спектральном диапазоне при сочленении их фотопреобразователей с ЭОП и МКП. Кроме того, черно-белые камеры можно использовать в полной темноте, применяя в некоторых случаях невидимую ИК - подсветку.

Цветные камеры выгодно отличаются от черно-белых большей информативностью, например, когда требуется получить данные о цвете проехавшего автомобиля или детально описать внешний вид злоумышленника. Вместе с тем, цветные камеры имеют ряд недостатков: они работают только в видимом диапазоне длин волн и лишь при сравнительно высокой освещенности объекта, имеют более низкую светочувствительность и разрешающую способность, несовместимы с работающим ИК – прожектором.

Современные ТВСН часто эксплуатируются в условиях, когда в светлое время суток необходимо получать цветное изображение, а ночью иметь возможность работать практически в темноте. На данный момент идеальным объединяющим решением является применение *видеокамер класса «день-ночь»*, сочетающих в себе достоинства черно-белых и цветных камер. Подобные устройства формируют цветное видеоизображение вплоть до обозначенной минимальной освещенности, а при дальнейшем её снижении работа камеры на аппаратном или программном уровне переводится в черно-белый режим с более высоким разрешением и светочувствительностью. Нередко камеры «день-ночь» имеют выход для синхронизации с внешним ИК – прожектором, а это значит, что при прохождении критической освещенности

рабочий спектр источника видеосигнала смещается в инфракрасную область. Такие камеры в составе ТВСН предоставляют телевизионным системам наблюдения большую гибкость и информативность.

К основным характеристикам ТВК обычно относят следующие:

- формат камеры;
- разрешающая способность;
- светочувствительность;
- диапазон допустимого уровня освещенности наблюдаемого объекта;
- вид передаваемого изображения.

Формат камеры – это выражаемый в дюймах размер по диагонали фоточувствительной площадки приемника. Применительно к телевизионным трубкам класса «видикон» наиболее распространены: однодюймовый формат и 2/3–дюймовый, т. е. 1" и 2/3" (25,4 и 16,93 мм соответственно). Для ПЗС – камер предпочитают форматы: 1", 1/2", 2/3", 1/3" и 1/4", а также разрабатываемый перспективный формат 1/8".

В широко распространенных ПЗС – камерах с кадровым переносом фоточувствительная поверхность матричного ПЗС состоит из двух одинаковых секций – накопления и хранения, а также выходного регистра, причем секция хранения и выходной регистр надежно защищены от светового воздействия. Имеющаяся *секция накопления*, где формируется изображение, обладает следующими ориентировочными размерами (по вертикали × по горизонтали) для распространенных форматов матриц:

- однодюймовая матрица – 9,2 × 12,7 мм;
- полудюймовая матрица – 4,9 × 6,6 мм;
- 2/3-дюймовая матрица – 6,6 × 8,8 мм;
- 1/3-дюймовая матрица – 3,6 × 4,8 мм;
- 1/4-дюймовая матрица – 3,1 × 4,2 мм.

Понятие «формат матрицы ПЗС» ассоциируется с понятием «оптический формат». *Оптический формат* – это выражаемый в дюймах диаметр изображения, сформированного качественным объективом на фоточувствительной поверхности ПЗС-матрицы. Такому диаметру соответствует длина диагонали применяемой матрицы, и в общем случае оптический формат должен быть не меньше формата матрицы ПЗС.

Разрешающая способность камеры как составной части ТВСН характеризуется её способностью раздельно воспроизводить мелкие (но порой значительные по важности) детали изображения. Так как при работе ТВСН получателем конечной информации является видеооператор, то его зрительный аппарат включается в состав системы наблюдения.

Перед определением разрешающей способности ставят перед камерой специальный тест-объект (штриховую миру) в виде последовательности чередующихся предельно контрастных черных и белых линий (штрихов). Тогда разрешающая способность камеры характеризуется максимальным числом таких черных и белых линий (штрихов), приходящихся на *высоту раstra* h и различаемых видеооператором на экране монитора. Разрешающая способность R_p выражается в этом случае в телевизионных линиях (твл): $R_p = h/l_d^p$, где l_d – толщина наблюдаемой линии (штриха) на пороге её различения.

В телевизионных системах с ПЗС – камерами разрешающую способность при линейной развертке изображения обычно оценивают в двух направлениях – поперек и вдоль строк, т. е. по вертикали и горизонтали прямоугольного раstra. При этом у такого раstra разрешающая способность по вертикали и горизонтали различна, что обусловлено, во-первых, различием размеров фоточувствительного элемента (пикселя) матрицы, а во-вторых, меняющимся числом этих элементов на строке от одной модели ПЗС-матрицы к другой.

Реальная разрешающая способность ПЗС – камер по вертикали находится в пределах 300 – 400 твл, а по горизонтали для разных моделей матриц может изменяться от 250 до 580 твл. Эти значения примерно на 30 – 40 % меньше числа фоточувствительных элементов в конкретной ПЗС-матрице по соответствующей координате. В частности, для получения оценочных величин разрешающей способности ПЗС-матрицы нужно умножить число фоточувствительных элементов по выбранной координате на 0,75. Например, в некоторых ПЗС-камерах стандартного разрешения используются матрицы с числом элементов секции накопления 500×582 , обеспечивающие разрешающую способность по вертикали 375 - 380 твл для черно-белых и ≈ 330 твл для цветных ТВК.

Так как при работе ТВСН зрительный аппарат видеооператора включается в состав системы наблюдения, то следует отдельно остановиться на процессе принятия решения видеооператором

о возможном вторжении на охраняемый объект. Этот процесс состоит из четырех взаимосвязанных этапов: обнаружения, классификации, различения и опознавания. Под обнаружением понимается выделение объекта на видимом фоне и отнесение его к классам объектов, представляющим потенциальный интерес. Под классификацией подразумевается отнесение обнаруженного объекта к одному из широких классов (например, транспортное средство, человек). Различение означает отнесение наблюдаемого объекта к более узкому подклассу (грузовой автомобиль, легковой автомобиль, мужчина, женщина, подросток). Наконец, на этапе опознавания можно установить тип объекта (марка автомобиля, знакомый человек или незнакомец).

Практика эксплуатации ТВСН показала, что видеооператор может обнаружить нарушителя, если на экране монитора на высоту изображения обнаруживаемого человека приходится около 50 твл. В случае необходимости опознавания видеооператором личности знакомого человека на экране монитора должно приходится на высоту его изображения примерно 250 твл, а идентификация индивидуальных признаков незнакомца требует полного количества строк, т. е. не менее 500 твл.

Здесь целесообразно отметить неблагоприятное влияние шумов на изображение, наблюдаемое видеооператором на экране монитора, так как шумовой компонент в определенной мере определяет вероятность правильного распознавания получаемых изображений, а также потенциальную разрешающую способность и количество градаций яркости, воспроизводимых ТВСН. При этом все указанные факторы тесно взаимосвязаны. Так, из-за влияния шумов нарушается распределение градаций яркости по динамическому диапазону, а это приводит к ухудшению распознавания объекта и его деталей, изображаемых на экране монитора, т. к. распознавание изображений основано на различении перепадов яркости, называемых градациями яркости. Кроме того, переменная составляющая шума создает флуктуации яркости на экране монитора, что ухудшает различимость отдельных мелких деталей изображения, т. е. снижает разрешающую способность системы.

Светочувствительность – это минимальная *освещенность* на объекте наблюдения, при которой обеспечивается заданное качество изображения на фоточувствительной площадке приемника ТВК. При этом светочувствительность измеряется в люксах (лк).

Некоторые производители телевизионной аппаратуры указывают в технических условиях или паспорте ТВК светочувствительность как минимальную освещенность на фоточувствительной площадке приемника (а не на объекте наблюдения), и с технической точки зрения это правильнее, т. к. в данном случае не нужно оговаривать характеристики применяемого объектива. Однако пользователю при установке телекамеры удобнее работать с освещенностью объекта, которую он может измерить или заранее знает. Поэтому в паспортных данных ТВК обычно указывают минимальную освещенность в люксах применительно к объекту наблюдения.

Часто кроме минимальной освещенности наблюдаемой сцены такой параметр телевизионной камеры как светочувствительность указывается с учетом светосилы объектива, когда его относительное отверстие выражено через диафрагменное число F , например, 0,1 лк ($F1,4$).

В ТВСН для наблюдения при низком уровне освещенности используют ТВК с очень высокой чувствительностью. Например, в современных высокочувствительных телевизионных камерах светочувствительность часто находится в пределах от 0,003 лк ($F1,2$) до 0,00004 лк ($F0,8$), а в последних разработках ТВК даже доходит до величины $2 \cdot 10^{-7}$ лк.

Диапазон допустимого уровня освещенности наблюдаемого объекта обусловил деление телевизионных камер на пять категорий, согласованных с вышеприведенной классификацией ТВК:

- 1) камеры, которые могут работать только при нормальном дневном освещении объекта (при уровне освещенности $E \approx 50$ лк);
- 2) камеры, способные работать при низкой освещенности наблюдаемого объекта вплоть до наступления сумерек (уровень освещенности $E \approx 4$ лк);
- 3) камеры, работающие при лунном свете, соответствующем освещенности от четверти луны в безоблачную ночь (уровень освещенности объекта наблюдения $E \approx 0,1 - 0,4$ лк);
- 4) камеры, способные работать при уровне освещенности, создаваемой безлунным звездным небом в безоблачную ночь (диапазон освещенностей $E \approx 0,0007 - 0,002$ лк);
- 5) камеры, предназначенные для работы с дополнительными ИК – осветителями и ИК – прожекторами в условиях полного отсутствия освещения объекта в видимом спектральном диапазоне.

В последние годы разработаны ТВК с управляемой диафрагмой (автодиафрагмой) и электронным затвором, которые позволяют работать камере в диапазоне освещенностей наблюдаемого объекта $0,2 - 10^5$ лк.

По виду передаваемого изображения можно разделить ТВК на черно-белые и цветные камеры. Использование информации о цветовой структуре объектов, наблюдаемых при достаточном освещении, значительно повышает достоверность различения объектов и их фрагментов. При дефиците освещенности на объекте наблюдения изменяется режим работы у современных видеокамер, например, камеры класса «день-ночь» в этих условиях автоматически переходят из режима цветного видеоизображения в черно-белый режим, намного увеличивая тем самым свою разрешающую способность и светочувствительность.

В качестве упражнения по ранее изложенному материалу рассмотрим абстрактный нижеследующий пример.

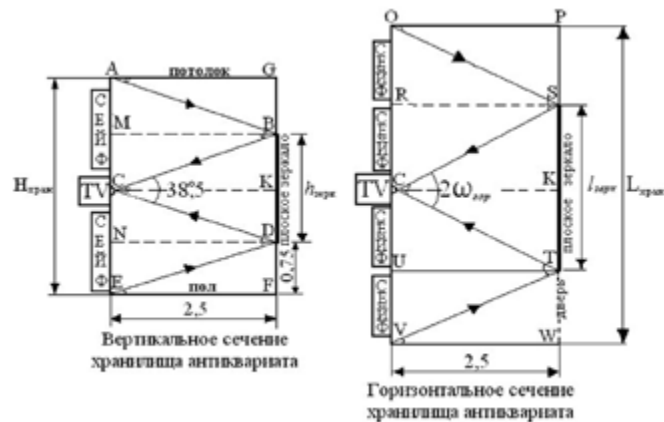
Пример 4.4. В контролируемом помещении прямоугольной формы (хранилище антиквариата) на его длинной стене закреплено продолговатое плоское зеркало рядом с входной дверью, примыкающей к углу этого помещения. На противоположной стене такого помещения в средней её части установлена ПЗС-камера скрытого наблюдения с объективом, имеющим вертикальное угловое поле зрения $38,5^\circ$. Кроме того, в ту же стену вмонтированы сейфы, между которыми расположена эта видеокамера. Формат ПЗС-камеры совпадает с форматом объектива и равен $1/3$ дюйма, что обуславливает стандартные размеры секции накопления $3,6 \times 4,8$ мм (по вертикали $\times$ по горизонтали) у матрицы ПЗС.

Найти рациональный вариант ориентации в вертикальной плоскости данной видеокамеры и высоту её крепления над полом, позволяющие видеооператору службы безопасности видеть на экране монитора всю стену с сейфами целиком, то есть по горизонтали (в длину) и по вертикали (по высоте от пола до потолка), отражаемую в продолговатом плоском зеркале, и следить за теми, кто, подойдя к сейфам, производит с ними какие-либо действия.

Определить для указанных условий, каковы должны быть вертикальный и горизонтальный размеры продолговатого плоского зеркала, и на какой высоте над полом должен находиться его верхний край, если от нижнего края зеркала до пола $0,75$ м, а расстояние от зеркала до видеокамеры $2,5$ м, что соответствует ширине хранилища.

Получить оценочные величины всех габаритов хранилища антиквариата, для которого возможна реализация установки видеокamеры между сейфами на одной стене и продолговатого плоского зеркала на другой стене.

Решение.



1. Введем обозначения для вертикального сечения хранилища антиквариата:

$$CK = EF = AG = 2,5 \text{ м}; \quad DF = 0,75 \text{ м}; \quad \angle DCB = 2\omega_{\text{верт}} = 38,5^\circ; \\ BD = h_{\text{зерк}}; \quad AE = GF = H_{\text{хран}}.$$

Определим сначала условия, позволяющие через объектив видеокamеры видеть отражаемую от нижнего края плоского зеркала ту часть стены с сейфами, которая начинается от пола хранилища.

Для этой цели необходимо, чтобы идущий из точки E луч ED, переходящий в луч DC, попал в объектив C видеокamеры после его отражения в нижней точке D плоского зеркала. При этом угол падения луча ED равен углу отражения луча DC, т.е. $\angle NDE = \angle NDC$. Не представляет трудности получить значение этого угла. Так, $\angle NDE = \angle FED$ (как углы внутренние накрест лежащие), а по условию имеем $DF = 0,75 \text{ м}$, $EF = 2,5 \text{ м}$ и, следовательно, $\angle FED = \arctg(0,75/2,5) = 16,7^\circ$, т.е. $\angle NDE = \angle NDC = \angle FED = 16,7^\circ$. Кроме того, $\angle END = \angle CND$ (т.к. $\angle NDE = \angle NDC$, $\angle END = \angle CND$ – прямые углы и сторона ND – общая), а потому имеем равенства: $CN = NE = DF = KD = 0,75 \text{ м}$.

Отсюда следует, что высота крепления видеокamеры над полом хранилища равна $CE = CN + NE = 0,75 + 0,75 = 1,5 \text{ м}$.

Далее, необходимо определить вертикальный размер $h_{\text{зерк}}$ продолговатого плоского зеркала, высоту BF его верхнего края над полом и вертикальный габарит хранилища антиквариата $H_{\text{хран}}$.

Имеем $\angle NDC = \angle KCD = 16,7^\circ$ (как углы внутренние накрест лежащие), а так как по условию величина вертикального углового поля зрения объектива видеокamеры $2\omega_{\text{верт}} = 38,5^\circ = \angle DCB$, то получаем для этого объектива значение угла обзора верхней части стены с сейфами, отражаемой от верхнего края плоского зеркала: $\angle KCB = \angle DCB - \angle KCD = 38,5^\circ - 16,7^\circ = 21,8^\circ = \angle MBC$ (как углы внутренние накрест лежащие). При этом $\angle MBA = \angle MBC$ (потому что угол падения луча AB равен углу отражения луча BC).

Вместе с тем, т.к. $\triangle AMB = \triangle CMB$ (где $\angle MBA = \angle MBC$, $\angle AMB = \angle CMB$ – прямые углы и сторона MB – общая), то $AM = MC = GB = BK = 2,5 \cdot \tg 21,8^\circ = 1 \text{ м}$.

Таким образом, вертикальный размер $h_{\text{зерк}}$ продолговатого плоского зеркала определяется по формуле: $h_{\text{зерк}} = BD = BK + KD = 1 + 0,75 = 1,75 \text{ м}$, а высота его верхнего края над полом $BF = BD + DF = 1,75 + 0,75 = 2,5 \text{ м}$ (и при этом по условию от его нижнего края до пола $0,75 \text{ м} = DF$).

Высота стены с вмонтированными в неё сейфами, т.е. вертикальный габарит хранилища антиквариата $H_{\text{хран}}$ составляет величину:

$$H_{\text{хран}} = AE = AM + MC + CN + NE = 1 + 1 + 0,75 + 0,75 = 3,5 \text{ м}.$$

2. Введем обозначения для горизонтального сечения хранилища:

$$CK = VW = OP = 2,5 \text{ м}, \quad \angle TCS = 2\omega_{\text{гор}}, \quad ST = l_{\text{зерк}}, \quad OV = PW = L_{\text{хран}}.$$

Определим горизонтальный размер $l_{\text{зерк}}$ продолговатого плоского зеркала, полагая, что его размеры $h_{\text{зерк}} \times l_{\text{зерк}}$ и размеры секции накопления ПЗС–матрицы $3,6 \times 4,8 \text{ мм}$ (по вертикали $\times$ по горизонтали) являются оптически сопряженными. В этой связи, прежде всего, необходимо найти заднее фокусное расстояние $f'_{\text{фок}}$ объектива видеокamеры, исходя из величины его вертикального углового поля зрения $2\omega_{\text{верт}} = 38,5^\circ$ и вертикального размера $3,6 \text{ мм}$ секции накопления ПЗС–матрицы:

$$f'_{\text{фок}} = \frac{3,6}{2 \cdot \tg \frac{38,5^\circ}{2}} = \frac{1,8}{\tg 19,25^\circ} = 5,1544 \approx 5,15 \text{ мм}.$$

Зная величину заднего фокусного расстояния объектива $f'_{\text{фок}} = 5,15 \text{ мм}$ и горизонтальный размер $4,8 \text{ мм}$ секции накопления

ПЗС–матрицы, получим значение горизонтального углового поля зрения объектива видеокамеры:

$$\angle TCS = 2\omega_{\text{гор}} = 2 \arctg \frac{4,8}{2 \cdot f'_{\text{фок}}} = 2 \arctg \frac{2,4}{5,15} = 50^\circ, \text{ а } \omega_{\text{гор}} = 25^\circ.$$

Так как видеокамера должна быть установлена точно в средней части стены с сейфами, то и на противоположной стене симметрично её центральной вертикали должно располагаться продолговатое плоское зеркало длины $l_{\text{зерк}}$, отстоящее на расстоянии 2,5 м от видеокамеры. Таким образом, горизонтальный размер продолговатого плоского зеркала определяется по формуле:

$$l_{\text{зерк}} = 2 \cdot 2,5 \cdot \tg \omega_{\text{гор}} = 5 \cdot \tg 25^\circ = 2,33 \text{ м.}$$

При этом $\angle UTV = \angle UTC$ и $\angle RSO = \angle RSC$, т. к. угол падения луча на плоское зеркало равен углу отражения, а $\angle KCT = \angle UTC = \omega_{\text{гор}}$, $\angle UTV = \angle WVT$ и $\angle KCS = \angle RSC = \omega_{\text{гор}}$, как углы внутренние накрест лежащие. Отсюда следует, что $\angle WVT = \angle UTV = \angle UTC = \angle KCT = \angle KCS = \angle RSC = \angle RSO = \angle POS = \omega_{\text{гор}}$, а из равенства соответствующих прямоугольных треугольников имеем:

$$VU = UC = CR = RO = PS = SK = KT = TW = l_{\text{зерк}}/2.$$

Следовательно, горизонтальный габарит хранилища антиквариата составляет величину $L_{\text{хран}} = l_{\text{зерк}}/2 + l_{\text{зерк}} + l_{\text{зерк}}/2 = 2l_{\text{зерк}} = 4,66 \text{ м}$, а расстояние по горизонтали от угла хранилища до видеокамеры равно $L_{\text{хран}}/2 = 2,33 \text{ м}$.

Итак, получены следующие результаты:

- высота крепления видеокамеры над полом хранилища антиквариата равна 1,5 м, а расстояние по горизонтали от угла хранилища до видеокамеры 2,33 м;
- вертикальный размер продолговатого плоского зеркала $h_{\text{зерк}} = 1,75 \text{ м}$, а его горизонтальный размер $l_{\text{зерк}} = 2,33 \text{ м}$;
- высота верхнего края продолговатого плоского зеркала над полом хранилища составляет 2,5 м, а его нижнего края 0,75 м;
- габариты хранилища, для которого возможна реализация установки видеокамеры между сейфами на одной стене и продолговатого плоского зеркала на другой стене: $L_{\text{хран}} \times 2,5 \times H_{\text{хран}} = 4,66 \times 2,5 \times 3,5 \text{ м}$.

Подводя итог вышеизложенным сведениям, целесообразно выделить функциональную последовательность работы компонентов видеокамеры.

Так, в телевизионной камере объектив строит изображение, которое фотопреобразователем посредством устройства развертки подается в виде электрических сигналов (видеосигналов) по кабелю на монитор, пройдя предварительно процедуру усиления и обработки видеоизображения.

К современным системам обработки видеоизображения необходимо отнести электронные устройства, предназначенные для объединения нескольких исходных видеосигналов от телевизионных камер в один общий с его подачей на монитор. Таким сравнительно простым электронным устройством является *квадратор*, обеспечивающий одновременный вывод на один монитор изображений с нескольких (до четырех) аналоговых видеокамер. Если к входам квадратора подключить все четыре видеокамеры, а к его выходу – монитор, то на экране монитора будет изображение, состоящее из четырех четвертей экрана, расположенных квадратом 2×2 , каждое из которых представляет собой уменьшенное изображение со своей видеокамеры (рис.4.4).

Квадратор позволяет не только просматривать поступающие в реальном времени видеоизображения, но и записывать эти изображения на видеорегистратор (видеомагнитофон или устройство цифровой записи) сразу от четырех видеокамер. Кроме того, он дает возможность увеличить изображение с любой из четырех камер, а при тревоге автоматически включает изображение с нужной камеры, подает сигнал управления на видеорегистратор и при отключении сигнала от видеокамеры (в частности, из-за её разрушения) подает сигнал тревоги и показывает последнее поступившее от неё видеоизображение.

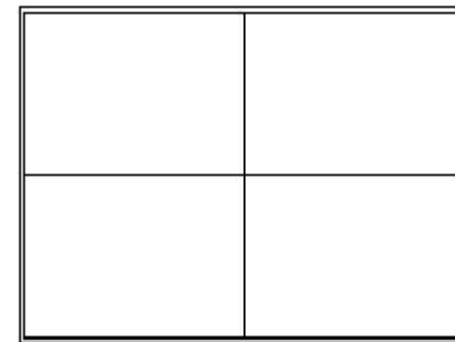


Рис. 4.4. К пояснению работы квадратора.

Квадратор представляет собой сложное аналого-цифровое устройство, ранее широко применявшееся в аналоговых системах ТВСН в качестве промежуточного оборудования. В настоящее время в связи с замещением аналоговых систем цифровыми системами функции квадраторов взяли на себя другие устройства в составе ТВСН – цифровые видеосерверы.

По сравнению с квадраторами наибольшее число возможностей предоставляют видеомультиплексоры (или для краткости просто – мультиплексоры). *Мультиплексор* – это электронное устройство, выполняющее мультиплексирование (переключение) по времени входящих видеосигналов с нескольких камер видеонаблюдения и формирующее два типа выходных видеосигналов: один для просмотра на мониторе полиэкранного отображения в реальном времени поступающей видеоинформации, а другой – для её записи на видеорегистратор. Мультиплексоры, позволяющие либо производить обработку видеоизображений (мультиплексирование) для записи на видеорегистратор, либо просматривать изображения подключенных видеокамер, получили название – *симплексный видеомультиплексор*.

На рис. 4.5 в качестве примера показан полиэкранный режим работы видеомультиплексора, когда на один экран выводится 13 изображений от видеокамер.

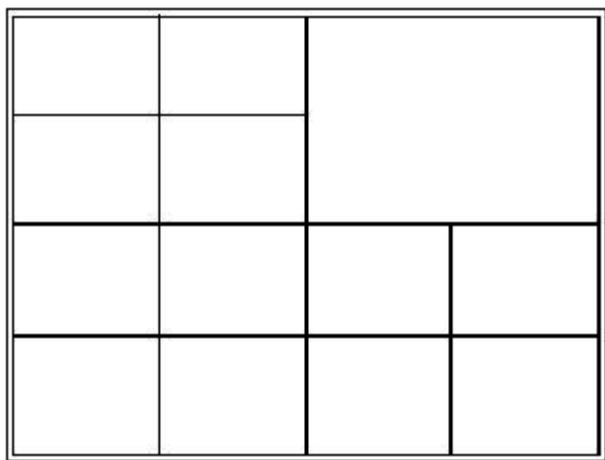


Рис. 4.5. К объяснению работы видеомультиплексора

Видеосигналы, поступающие с выхода мультиплексора на монитор, одновременно формируют на его экране изображения со всех видеокамер. Так, если к мультиплексору подключено 16 видеокамер, то на экране монитора будут отображаться видеоизображения с каждой видеокамеры, по одному в каждом из 16 окон. В то же время видеооператор службы безопасности может выбирать любую видеокамеру для полноэкранного отображения её видеоинформации на мониторе.

Схемное решение и принцип работы симплексного мультиплексора не позволяют ему выполнять одновременно две вышеперечисленные функции – просмотр ранее записанных картин и наблюдение полиэкранного отображения в реальном времени поступающей видеоинформации. Одновременное выполнение этих функций реализуют *дуплексные мультиплексоры*, представляющие собой два видеомультиплексора в одном корпусе. Один мультиплексор предназначен для записи видеоинформации на видеомагнитофон или устройство цифровой записи, а другой – либо для наблюдения полиэкранного отображения в реальном времени поступающей видеоинформации, либо для воспроизведения ранее сделанных видеозаписей.

Для того чтобы одновременно выполнить все три функции – обеспечить запись видеоинформации, а также осуществить на одном мониторе просмотр ранее записанных картин и наблюдение полиэкранного отображения в реальном времени поступающей видеоинформации применяются *триплексные мультиплексоры*. Однако далеко не всегда существует необходимость одновременного выполнения всех трех функций, а потому дорогостоящие триплексные мультиплексоры не получили пока широкого распространения.

Некоторые модели перечисленных мультиплексоров могут иметь дополнительные функциональные возможности, позволяющие им формировать стоп-кадр, изменять масштаб и положение рассматриваемой области в пределах поля зрения камеры, производить цифровое увеличение изображения наблюдаемого объекта, контролировать отключение сигнала от видеокамеры.

Многие мультиплексоры имеют встроенный детектор движения с настраиваемой чувствительностью. Такие детекторы позволяют обнаруживать движение в поле зрения камеры на основе сравнения очередного кадра с предыдущим или эталонным (опорным) кадром, записанным в памяти. При появлении подозрительной активности в зоне видеонаблюдения и срабатывании детектора движения, изображение с соответствующей видеокамеры будет автоматически переключено в полноэкранный режим просмотра на мониторе. Кадры от этой камеры

при записи на видеорегистратор получают повышенный приоритет и записываются чаще, чем от других видеокамер. Дополнительно определяется момент фиксации нарушителя с предоставлением служебной информации о дате и времени нарушения, а также о номере, присвоенном конкретной видеокамере.

Телевизионный *монитор*, преобразующий электрический сигнал в изображение наблюдаемой картины на экране, является важным компонентом ТВСН. Конструкция монитора во многом схожа с конструкцией обычного телевизора, а отличие заключается в том, что у монитора нет приемной части, с помощью которой, подключив телевизионную антенну, настраиваются на прием программ вещательного телевидения.

Мониторы условно различают по следующим основным параметрам:

- размер экрана по диагонали (указывается в сантиметрах или дюймах); при этом наиболее распространенный размер экрана монитора для современных ТВСН – 23 дюйма;
- разрешающая способность, которая определяется максимально возможным количеством телевизионных линий (твл), различаемых на экране монитора, причем этот параметр у современных мониторов (примерно 600 – 800 твл по горизонтали) должен быть не хуже разрешающей способности видеокамеры.

Разрабатывая систему видеонаблюдения, следует учитывать, что чрезмерное увеличение количества мониторов приводит к снижению внимания видеооператоров службы безопасности, повышению их утомляемости и, соответственно, возрастанию вероятности ошибок. Практика показывает, что наибольшее внимание одного видеооператора может быть сосредоточено на просмотре 4-х – 6-ти мониторов. Остальные мониторы должны обслуживаться другими видеооператорами или работать в режиме включения от сигнала тревоги.

Видеоинформация на экране монитора, послужившая причиной сигнала тревоги, должна быть достаточной для оперативной оценки данного сигнала видеооператором службы безопасности. При этом так называемая зона оценки нештатной ситуации, отображаемая на экране монитора, должна занимать не менее 75% площади экрана и находиться по центру изображения. Такая зона оценки позволяет определить место вторжения и число нарушителей, а также, по возможности, выявить их оснащение, что способствует выработке правильного решения видеооператором о противодействии нападению и направлению в нужное место сил реагирования службы безопасности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ специальной техники контроля и защиты информации показывает, что в настоящее время номенклатура технических средств незаконного получения конфиденциальной информации неуклонно расширяется. Активно внедряются новые способы проникновения и несанкционированного доступа к охраняемым секретам, разрабатываемые на основе самых последних достижений науки и техники. Все это делает задачу надежного блокирования утечки информации по техническим каналам исключительно сложной. В современных условиях решение подобной задачи становится возможным только при углубленной подготовке квалифицированных специалистов и использовании профессиональных технических средств, в основу которых положен классический принцип: средства защиты должны быть адекватны средствам нападения. Поэтому специалист по защите информации должен уметь выполнять многоплановые работы, связанные с *обеспечением комплексной защиты информации* на основе как типовых, так и специально разработанных программ и методик. В своей практической деятельности ему неизбежно придется изучать возможные источники и каналы утечки информации, составлять методики расчетов и программы экспериментальных исследований по технической защите информации, выполнять расчеты в соответствии с разработанными методиками и программами, проводить сопоставительный анализ данных исследований и испытаний, обеспечивать необходимые организационные и инженерно-технические меры защиты информационных систем и т. п.

Авторы надеются, что настоящее пособие будет полезным при подготовке специалистов для решения всех этих непростых задач в той части, которая касается защиты информации от возможных утечек по техническим каналам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Халяпин Д. Б. Защита информации. Вас подслушивают? Защищайтесь! – М.: НОУ ШО «Баярд», 2004. – 432 с.
2. Ярочкин В. И. Информационная безопасность. / Учебник для студентов вузов. – М.: Гаудеамус (Gaudeamus), 2-е изд., 2004. – 544 с.
3. Хорев А. А. Техническая защита информации. / Учебное пособие для студентов вузов в 3 т. Т. 1. Технические каналы утечки информации. – М.: НПЦ «Аналитика», 2008. - 436 с.
4. Максимов Ю. Н., Сонников В. Г., Петров В. Г. и др. Технические методы и средства защиты информации. / Под общ. ред. Сонникова В. Г. – СПб.: ООО «Издательство Полигон», 2000. – 320 с.
5. Гарсиа М. Проектирование и оценка систем физической защиты. / Пер. с англ.- М.: Мир: ООО «Издательство АСТ», 2002. - 386 с.
6. Бегунов Б. Н. Геометрическая оптика. / Учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во Московского университета, 2-е изд., 1966. – 209 с.
7. Никитин В. В., Цыцулин А. К. Телевидение в системах физической защиты. / Учебное пособие. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2001. – 135 с.
8. Терминологический словарь по электронной технике / Вениаминов В. Н., Грязин Г. Н. и др. / Под ред. Грязина Г. Н. и Жеребцова И. П. – СПб.: Политехника, 2001. - 783 с.
9. Грязин Г. Н. Основы и системы прикладного телевидения. Учебное пособие для вузов. / Под ред. Н. К. Мальцевой. – СПб.: Политехника, 2011. – 274 с.
10. Ишанин Г. Г., Панков Э. Д., Челибанов В. П. Приемники излучения. Учебное пособие для студентов вузов. – СПб.: «Папирус», 2003. – 527 с.

Расширение терминологического понятия «децибел»

Бел (Б) – единица логарифмической меры, служащая для измерения разности уровней одноименных величин – как энергетических (мощность, интенсивность и т. п.), так и силовых (напряжение, сила тока и т. п.). Чаще всего при этом используются десятичные логарифмы. В частности, если P/P_0 – отношение двух мощностей, причем P_0 – исходный уровень мощности, то разность уровней этих величин в беллах составляет

$$\beta_{P[\text{Б}]} = \lg \frac{P}{P_0}.$$

Например, дана величина разности уровней мощности, равная 1 Б. Это значит, что $\beta_{P[\text{Б}]} = \lg P - \lg P_0 = 1$ или $\lg(P/P_0) = 1$ и $P/P_0 = 10^1 = 10$, т. е. при $\beta_{P[\text{Б}]} = 1$ Б мощности различаются в 10 раз: $P = 10P_0$.

Из-за того, что бел – единица избыточно крупная, она не нашла широкого применения, однако ее десятая доля, т. е. 0,1 Б или **децибел (дБ)**, прочно заняла свое место в практике измерений.

Для выраженных в децибелах энергетических величин, в частности для мощности, используется формула вида

$$\beta_{P[\text{дБ}]} = 10 \lg \frac{P}{P_0}. \quad (\text{А.1})$$

Так, если задана величина разности уровней мощности 1 дБ, то это означает, что изменение мощности по сравнению с исходным уровнем составляет $P/P_0 = 10^{1/10} = 1,25893$ раза.

На практике часто выражают в децибелах разности уровней напряжения или силы тока. Для этих случаев нетрудно преобразовать формулу (А.1), используя закон Ома в виде $i = u/r$ (где i – сила тока, u – напряжение на отрезке проводника, а r – его сопротивление) и классические соотношения для мощности тока в виде $P = iu = u^2/r = i^2r$. Таким образом, имеем:

$$\beta_{u[\text{дБ}]} = 10 \lg \frac{u_2^2}{u_1^2} = 10 \cdot 2 \lg \frac{u_2}{u_1} = 20 \lg \frac{u_2}{u_1};$$

$$\beta_{i[\text{дБ}]} = 10 \lg \frac{i_2^2}{i_1^2} = 10 \cdot 2 \lg \frac{i_2}{i_1} = 20 \lg \frac{i_2}{i_1}.$$

Отсюда следует, что изменение напряжения (силы тока) по сравнению с исходным уровнем в $10^{1/20} = 1,122$ раза составляет 1 дБ.

В децибелах выражают также конкретные значения мощности, напряжения, силы тока и т.п., приняв условно за нулевой (исходный) уровень какое-либо определенное значение. Чаще всего выбирают мощность $P_0 = 1$ мВт (0,001 Вт), рассеиваемую на сопротивлении 600 Ом, и тогда ей соответствует напряжение $u_0 = 0,775$ В и ток $i_0 = 1,29$ мА. Такую единицу называют «децибел-милливаттом» и обозначают дБм или дБ(мВт). В этом случае единицу логарифмической меры вычисляют по одной из следующих формул:

$$\begin{aligned}\beta_P[\text{дБм}] &= 10 \lg P/P_0 = 10 \lg P - 10 \lg P_0 = 10 \lg P - 10 \lg 0,001 = \\ &= 10 \lg P - 10 \cdot (-3) = 10 \lg P + 30 ; \\ \beta_u[\text{дБм}] &= 20 \lg u/u_0 = 20 \lg u/0,775 ; \\ \beta_i[\text{дБм}] &= 20 \lg i/i_0 = 20 \lg i/0,00129 .\end{aligned}$$

В некоторых случаях можно также встретить другие «спецдецибелы», которые используют нулевой (т.е. исходный) уровень 6 или 12,5 мВт при сопротивлении 500 Ом. Очевидно, что перевод децибел в другие единицы возможен только в том случае, если известно по какой формуле они вычислены. В настоящее время рекомендуется, как правило, употреблять шкалу децибел применительно к измеряемым уровням мощности и при этом для конкретности следует указывать в скобках нулевой (исходный) уровень, например $\beta_p = 5$ дБ(1 мВт), что соответствует мощности $P = 10^{-25/10} = 3,162 \cdot 10^{-3}$ Вт = 3,162 мВт. В акустике за нулевой (исходный) уровень принимают величину интенсивности звука на пороге слышимости:

$$I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2.$$

В децибелах также выражается затухание, определяемое как характеристика уменьшения уровня измеряемой величины на выходе физической (электрической и т.п.) цепи по сравнению с ее значением на входе цепи. Таблица А.1 иллюстрирует зависимость затухания δ_P в децибелах от отношений полных мощностей $P_{\text{вх}}/P_{\text{вых}}$ согласно формуле

$$\delta_P = 10 \lg \frac{P_{\text{вх}}}{P_{\text{вых}}},$$

где $P_{\text{вх}}$ — мощность на входе цепи, а $P_{\text{вых}}$ — мощность на ее выходе.

Таблица А.1

Затухание δ_P при различных отношениях полных мощностей $P_{\text{вх}}/P_{\text{вых}}$

δ_P , дБ	$P_{\text{вх}}/P_{\text{вых}}$	δ_P , дБ	$P_{\text{вх}}/P_{\text{вых}}$	δ_P , дБ	$P_{\text{вх}}/P_{\text{вых}}$
0,1	1,02	4	2,51	8	6,31
1	1,26	5	3,16	9	7,94
2	1,58	6	3,98	10	10
3	1,99	7	5,01	10,5	10,7

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Расширение терминологического понятия «фон»

«Фон» как условная единица измерения уровня громкости является критерием *субъективного слухового восприятия*. Известно, что при одинаковом звуковом давлении на ушную барабанную перепонку и одинаковой звуковой интенсивности громкость звуков различной частоты по-разному воспринимается человеческим ухом. Человеческое ухо также способно воспринимать одинаковыми по громкости звуки разной интенсивности с резко различающимися частотами. Поэтому громкость звука в фонах для любой частоты условились оценивать, сравнивая ее с громкостью чистого тона частотой 1 000 Гц. Поскольку на частоте 1 000 Гц человеческое ухо обладает не только наибольшей чувствительностью, но и воспринимает самый большой диапазон звуковых интенсивностей, то при определении громкости в фонах используется именно эта частота.

Уровень звуковой интенсивности в децибелах стандартного чистого тона с частотой 1 000 Гц столь же громкого, как и измеряемый звук, называют **уровнем громкости данного звука в фонах** β_{ϕ} . Для человеческого уха нижней границей восприятия является порог слышимости в 0 фон, а верхней границей является порог болевого ощущения звука приблизительно в 130 фон. Между ними находится область слышимости, представленная на диаграмме рис. Б.1 в виде графиков зависимости звуковой интенсивности от частоты при разных фиксированных уровнях громкости.

На диаграмме кривые равной громкости получены путем субъективного сравнения чистых тонов разной частоты и различной интенсивности со стандартным чистым тоном частотой 1 000 Гц и его уровнем интенсивности. Из этой диаграммы, например, следует, что при 120 Гц интенсивность звука должна быть примерно в 100 раз больше для того, чтобы вызвать такое же восприятие звука громкостью в 40 фон, как и при 1 000 Гц. Кривые равной громкости позволяют без вычислений определять громкость β_{ϕ} для каждого тона по заданной частоте и уровню интенсивности звука.

Фон, как и децибел, служит единицей логарифмической меры и представляет собой умноженный на 10 десятичный логарифм отношения звуковых интенсивностей. При этом, если β_{ϕ} – громкость в фонах, I – звуковая интенсивность, которая отвечает стандартному

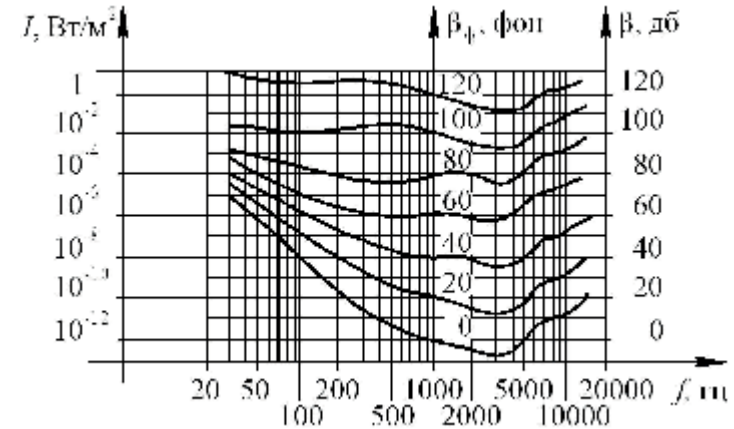


Рис. Б.1. Зависимость звуковой интенсивности от частоты при разных фиксированных уровнях громкости

чистому тону с частотой 1 000 Гц, воспринимаемому как звук с громкостью, равной громкости измеряемого звука, $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м² – звуковая интенсивность на пороге слышимости, то $\beta_{\phi} = 10 \lg(I/I_0)$ фон. Последнее соотношение подчиняется закону Вебера – Фехнера для акустики, согласно которому слуховое раздражение пропорционально логарифму интенсивности звука. При этом следует отметить, что для тона с частотой 1 000 Гц уровень интенсивности β (в дБ) совпадает с громкостью β_{ϕ} (в фонах).

С помощью приведенной диаграммы можно определять только громкость чистых тонов, т. е. синусоидальных звуковых волн. Если же имеется смесь частот, т. е. рассматриваются звуковые волны несинусоидальной формы, то сравнительные измерения и вычисления сильно затрудняются. Тогда вместо громкости определяют так называемый оценочный уровень интенсивности звука. Он определяется с помощью прибора, получившего название измерителя уровня интенсивности и состоящего из микрофона, усилителя и индикатора. При этом благодаря дополнительному корректирующему элементу частотная характеристика такого прибора приближается к чувствительности человеческого уха. В качестве выходных параметров этого прибора разработаны и утверждены международные оценочные кривые.

Наш сегодняшний собеседник – дед факультета повышения квалификации преподавателей Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики, заслуженной кафедрой проектирования компьютерных систем.

Уже более 40 лет его жизнь связана с этими вузами, в прошлом – знаменитым ЛПИМО. Помимо сугубо научной работы (профессор Гатчин – автор более 100 трудов по информационным технологиям), вторая сторона жизни Юрия Арменаковича – работа в подрастающем поколении. В студенческие годы была строительно-строительная БИМА, работа в комсомольской и партийной организации вуза. Были и награды – медали «За трудовые отличия» и «За трудовую доблесть». Затем – руководителем институтского парткома, а уже в наше время – активное участие в воссоздании КПРФ в петербургском отделе Ланского комсомола (сегодня Юрий Гатчин – секретарь Санкт-Петербургского городского КПРФ по работе с молодежью и научной общественностью).

Нашими словами, достойная трудовая и политическая биография. Вроде бы ничего необычного? А между тем за строгими биографическими данными скрывается факт, способный сегодня удивить многих. Профессор Гатчин уже полтора десятилетия работает с талантливыми молодежью из русской глубины, занимается профориентацией и поиском сельских школьников, способных обучаться в высшем учебном заведении, в том числе и в таком престижном вузе, как вечерний ЛПИМО, специализирующийся СБГУПИМО. Как, почему и зачем он это делает? Об этом сам Юрий Гатчин рассказывает в интервью «Петербургской правде».

– Детство и юные годы мои прошли в Калининской (ныне Тверской) области, в Молоковском районе. Мама у меня – русская, отец – армянин. В 1967 году я окончил восьмилетку с золотыми медалью, на один патрик (а три года назад мою первую школу закрыли – учиться там теперь никому...). Потом мы переехали в соседний район, в город Бежика. Там я в 1969 году окончил среднюю школу №5 с двумя четверками. После выпускного поехал в Ленинград и без подготовки, без всяких репетиторов поступил в ЛПИМО.

Со своей малой родиной, с тверской землей контакта в юности не терял. Как говорил, сам поговаривал, а товарища выучил – это в характере русского человека. Как мне пришла в голову эта идея? Да просто вспоминал себя, выпускника сельской школы... Это в советское время, в шестидесятые годы такой, как я, мог просто прийти в большой город и поступить в хороший, престижный вуз – привлечь благодаря только своим знаниям и желанию заниматься наукой. А сегодня все мы прекрасно знаем, благодаря чьей помощи обладатели диплома о высшем образовании не могут своей юности лишиться без сожаления.

В общем, когда всё это стало очевидно – в середине 90-х – я поехал в Тверскую область, но не просто навестить родные места, а в совершенно определенной цели. Сначала в Бежице, а теперь уже и в других районах и городах области – Максикте, Удомле, Красном Холме. Со мной – мы вывозили талантливых ребят, чтобы дать им возможность учиться. И вот за эти годы уже около 300 тверских парней и девочек получили высшее образование в Петербурге или учатся сейчас.

– Как это удалось сделать?

Чтобы не угасли таланты на Руси

1 сентября – День знаний

Часто теперь приходится слышать о том, что система образования, как и практически всё в России, превращена в источник извлечения прибыли. Увы, находится всё больше подтверждений тому, что так оно и есть. И на этом фоне особенно радуют известия о том, что в каждой из активно «реформируемых» сфер жизни общества находится человек, верный выбору, сделанному в молодости – правде, справедливости, добру.

Сегодня «Петербургская правда» представляет одного из таких людей. Это доктор технических наук, профессор Юрий Арменакович ГАТЧИН.



Профессор Юрий Гатчин с группой выпускников вуза. Фото пресс-службы ГУПИМО, 2010 год.

– Тут всё делается, само собой разумеется, на законном основании, совершенно легально и во давно известным способом мы проводили вузовские олимпиады в школах. Был на сей счет договор с отделом образования города Бежицы, мы встречались с директором школы, определяли планы подготовки и проведения олимпиад по точным дисциплинам, – а потом выкалывали самых способных. Как правило – и это логично – среди победителей таких олимпиад много тех, кто заканчивал школы с золотом и серебряными медалями. Потом, обучаясь в ВУЗе, эту планку многим ребятам удалось удерживать. К примеру, три года подряд – в 2007–09 годах – поехали из тех, кто пришел в вуз благодаря этой нашей программе, получили красные дипломы. Например, в этом году диплом с отличием получил наш выпускник Сергей Стергов. Ещё раз подчеркну, что тут нет никакой протекции – всех успехов ребята добиваются сами, а мы просто, как говорится, даём им направление.

– Удается ли сохранить эту прелесть и в условиях ликвидации преемственности ЦРТ?

– Конечно, обязательно-уравнительная система ЕГЭ будет сильно мешать. Но тут мы должны найти выход, найти профориентационную работу среди школьников, исходя из склонностей и устойчивых способностей ребят. Мы назначаемых учителей, как учить тех, кто по окончании школы войдет в вуз. Есть, например, интернет-олимпиады, которые проводятся в режиме обучения. Это, к слову, министерская программа, но тоже помогает. Внимание мы стараемся уделять и психологической подготовке – с тем, чтобы укреплённая сила была кроме адаптироваться к незнакомой для них жизни в большом городе.

отечественной системой образования и этой «оптимизацией», думаю, оценю каждого. А мы, юнцы будущей сферы политики, не «оптимизм» устроим, а умим. Не будем презумпционными, если скажем, что мы сохраним советскую систему обучения – не только даём знания, но и воспитываем человека, гражданина, патриота. Никуда из наших работ и деления за границу не собираемся.

– Наверное, стоит назвать хотя бы несколько имён тех ребят, кто получил такую «спецкультуру»?

– Конечно. Вот, к примеру, Сергей Савков – золотый медалист, окончил наш вуз на отлично, сейчас учится в аспирантуре. Он – парень из Бежицы, из простого села. Кстати, есть под Бежицей в пятидесяти километрах деревня Зобин – оттуда четыре человека у нас получили высшее образование. Среди них – два череповецких земляка. Павел Семёнов пришёл к нам учиться уже после армии. Было тяжёлое начало, но он не просто справился, но и преуспел. Его земляк, а теперь и кандидат-инженер Володя Попов в своё время вообще в первый раз с компьютерными технологиями столкнулся в университете... Завершил вуз с одной «четвёркой», анализ в аспирантуре – во он решил сделать себя практиком. Сейчас наших тверских сыновей-дочек можно продолжать долго.

– Иногда спрашивают: «Да зачем, собственно, «деревенским» нужно образование, и тем более высшее?»

– Да, бывает, – сталкивался. С моей точки зрения, даже такая – парадоксальная закономерность! Не всё же отцу-женщина родом из села, получившая профессиональную подготовку и хорошее воспитание, а если угодно – и определённый уровень культуры, – и детей своих будет учить с высотами полученных знаний, чтобы новые поколения не росли безграмотными. Надо надеяться на лучшее время и делать всё от каждого зависящее, чтобы они наступили. Не только у тех, кто живёт в столице, должна быть возможность учиться. Кстати, отдавая должное сельским учителям советской подготовки – ведь и получают гроши они, но миру дороже.

– В этом году добрая традиция продолжается?

– Да, и я уверен, что нужно всеми силами (у кого какие есть) поддерживать интеллектуальный потенциал нашего народа. Видя, в каком бедственном положении мой родной тверской край, который оставил Москва на пути к Новгороду, а не могу оставаться к этому равнодушным или оставаться на уже достигнутом. Как представитель высшей школы, как уроженец русской деревни и как коммунист я просто обязан помогать талантливым русской молодежи из глубины страны, без коммерческой составляющей! Получить высшее образование, найти достойный путь в жизни. А ещё (может быть, это и главное) – дать им возможность повернуть в то, что не всё потеряно в реальном крае и в России есть великое будущее.

Я часто бываю там. Если угодно, в черную жебенную силу от этого родника. Каждый раз, когда в Бежице, а тем более там, что наиболее близка к нам, размышляю – развал, разброд и т.д. И вижу и вижу, умные глаза ребятников – их, истории на то, что, как, почему. В общем, я уверен, тем, кто сам тянется к знаниям, надо расчистить путь от «благ цивилизации» в виде превращённых вестей и вестей в вестях. За деньги не ум не купишь. Нельзя дать угаснуть таланту на Руси!

Здесь нужно отметить, что у наших подопечных по-прежнему нет своего жилья в Петербурге. Но полученная квалификация и, соответственно, заработок позволяют молодым специалистам снимать жильё.

Хочу обратить внимание и на то, что мы не ограничиваемся только и исключительно профессиональной подготовкой студентов и аспирантов. Есть у нас и воспитательная функция. Сегодня чиновничество, начиная с президента, вызывает нашу сферу деятельности как «важным образовательным услугой» – разрыв в подходах между традиционной

Беседовал
Сергей СВЕРЧКОВ

ЧАСТЬ II

ЛИНИЯ ЖИЗНИ И ALMA MATER

(под редакцией Н.К. Мальцевой)

Ю.А. ГАТЧИН

Абитуриент

Когда в 1969 году я окончил среднюю школу и получил аттестат, единственной мечтой было стать шофером, поскольку в деревне, где мы жили эта профессия была самой почитаемой. Но тут вмешалась моя мама ... : сказав, жаль будет, если получив почти «отличный» аттестат о среднем образовании, я потом всю жизнь буду просто «крутить баранку», она протянула мне 36 рублей, с которыми я и отправился в Ленинград поступать в институт. Изучив справочник для поступающих в Ленинградские высшие учебные заведения в 1969 году, я пришел к выводу, что, пожалуй, больше всего меня привлекают радиотехнические специальности. Правда, и о них я знал лишь очень поверхностно: ведь кроме обычной радиоточки в доме в нашей Калининской области сталкиваться с радиотехникой мне не приходилось.

Таким образом, выбор у меня был не очень велик – всего три института (в то время в Ленинграде насчитывалось порядка 30 высших учебных заведения, включая военные училища). В первых двух, куда я направил свои стопы, мест в общежитии для абитуриентов радиотехнических специальностей не предоставлялось. Так я оказался в здании ЛИТМО по переулку Гривцова, дом 14, где располагалась приемная комиссия. На моё счастье здесь вопросов с общежитием не возникло, и я подал документы для поступления на Радиотехнический факультет. Без труда сдал вступительные экзамены и стал студентом I курса кафедры Конструирования и проектирования радиоэлектронной аппаратуры (КиПРЭА).

Тогда я ничего не знал про историю своего факультета, выпускающей кафедры но очень гордился тем, что буду учиться именно здесь. В одной из глав этой книги рассказывается, как был создан и развивался РТФ, как произошло становление кафедры, которая сегодня называется кафедра Проектирования и безопасности компьютерных систем, кто из преподавателей здесь работал, кто из замечательных ученых и руководителей производства её закончил.

Годы учебы, комсомол и ССО

Учился я поначалу почти на «отлично», имел лишь по одной «четверке» в каждую сессию. В конце первого года обучения, как и большинство моих однокурсников, я записался в студенческий строительный отряд, который летом в каникулы должен был работать в Ленинградской области. Конечно, хотелось поехать летом домой в Тверскую (тогда Калининскую) область, к маме в деревню, порыбачить, походить за грибами и отдохнуть «на полную катушку». Но выбор пал на ССО - так началась совершенно новая страничка в моей жизни, повлиявшая на всю мою ЛИНИЮ ЖИЗНИ.

Расскажу все по-порядку. В то время отряды формировались под руководством комитета Комсомола института, каждый отряд состоял из 30-40 бойцов, руководство которого осуществляли командир, комиссар и мастер. Командир отвечал за всю работу отряда, мастер – за производственную деятельность.

Так, я закончил первый курс и оказался бойцом студенческого строительного отряда в поселке Лесное Гатчинского района Ленинградской области. Работали мы на строительстве животноводческого комплекса, командиром у нас был Юрий Аржанников.

После второго курса у меня уже не было сомнений – только стройка, только Гатчинский район. На этот раз наш отряд «Неподающиеся» работал и жил в деревне Жабино, строили мы жилые дома, пилораму и коровники.

Ну, а дальше уже сказался опыт полученный в первые два года работы в Гатчине, и мне в комитете ВЛКСМ предложили после 3-го курса поехать комиссаром этого же отряда. Не долго думая, я согласился: вот тут опять у меня началась новая страница в жизни... Сегодня я могу смело сказать, не было бы той стройки – не сложилась бы судьба деревенского парнишки, приехавшего учиться в большой город, так, как она сложилась сейчас.

Комиссар в отряде – это человек, который полностью организовывал весь быт, все свободное от работы время. Помню, как отчаянно я оформлял вместе с первокурсниками (в основном, они составляли костяк отрядов в Ленинградской области) наш бар – место, где мы проводили вечеринки, конкурсы и смотры; организовывал спортивную команду для участия в Спартакиаде отрядов в День строителя... Четыре года я ездил на стройки Ленинградской области в составе линейного отряда, из них два раза – комиссаром. В 1973 году,

когда я был комиссаром ССО «Неподдающиеся», наш отряд построил памятник курсантам Ново-петергофского пограничного политического училища, погибшим в 1941 году около деревни Жабино (одним из авторов проекта памятника был сам Юрий Гатчин – ком. редактора). И по сей день этот памятник находится в этой деревне и напоминает о подвиге защитников Ленинграда.

Но настоящая ответственность пала на меня тогда, когда в 1974 году в городском штабе студенческих строительных отрядов моя кандидатура была утверждена в качестве комиссара районного студенческого отряда «Ленинградский», который должен был работать во время третьего трудового семестра в городе Комсомольск-на-Амуре Хабаровского края Тогда я уже закончил пятый курс и чувствовал себя «ветераном» ССО.

Так покатились летние будни ... Всего я ездил в различные ССО 13 раз. Наверное, это был самый трудный и ответственный период в моей студенческой жизни...

Участие Юрия Гатчина в студенческих отрядах

Год	Территория	Зональный, Районный СО	Линейный СО	Населенный пункт	Должность
1970	Лен. обл.	Гатчинский	«Лесное-70»	п. Лесное	Боец
1971	Лен. обл.	Гатчинский	Неподдающиеся	д. Жабино	Боец
1972	Лен. обл.	Гатчинский	Неподдающиеся	д. Жабино	Комиссар ЛСО
1973	Лен. обл.	Гатчинский	Неподдающиеся	д. Жабино	Комиссар ЛСО
1974	Хабаровский край	Ленинградский	-	г. Комсомольск на -Амуре	Комиссар РСО
1975	Лен. обл.	Гатчинский	-	г. Гатчина	Командир РСО
1976	Лен. обл.	Гатчинский	-	г. Гатчина	Командир РСО
1977	Германская демократическая республика	-	ИнтерССО	г. Йена	Командир ЛСО
1978	Астраханская обл.	Ленинградский	-	г. Астрахань	Командир РСО
1979	Лен. обл.	Гатчинский	-	г. Гатчина	Командир РСО
1980	Астраханская обл.	Ленинградский	Петроградец	п. Прикаспийский	Зам. командира
1981	Астраханская обл.	Ленинградский	Петроградец	п. Прикаспийский	Командир ЛСО
1982	Астраханская обл.	Ленинградский	Петроградец	п. Прикаспийский	Командир ЛСО

Не расстанусь с Комсомолом – буду вечно молодым

Так сложилась моя судьба, что в профессию я вошел через общественную работу. Еще будучи студентом VI курса, я был избран секретарем комитета комсомола ЛИТМО и, соответственно, после получения диплома инженера по окончании вуза моё «распределение» (выражаясь современным языком – трудоустройство) было предопределено. Местом моей работы стал ЛИТМО (хотя формально я являлся сотрудником Петроградского райкома комсомола) и руководил комсомольской организацией до 1980 года.

Много интересных дел и событий произошло за эти пять с лишним лет. Думаю, самые замечательные из них запечатлены на фотографиях тех времен, которые и публикуются далее. Без сомнения могу сказать, что весь опыт работы моей в комсомольской организации сегодня оказывается очень полезным при общении с молодежью (абитуриентами, студентами, аспирантами и молодыми преподавателями), а это нередко бывает нелегко...

С 1980 года моя жизнь прочно связана с кафедрой Проектирования и безопасности компьютерных систем, история которой приводится ниже. Пользуясь случаем, хочу поблагодарить доцента нашей кафедры В.С. Салтыкова за творческий подход к написанию истории кафедры от основания до закрытия Радиотехнического факультета.



Трудно описать свою жизнь в ALMA MATER, так она многопланова и разнообразна и тесно связана со всей моей судьбой. Здесь я познакомился со своей супругой, отсюда ездил забирать из роддома своих детей (дочь – Юлию и сына Ивана), именно здесь я завел всех своих друзей, с которыми провожу немногие дни отдыха и праздную свои юбилеи.

Ю. Гатчин – комиссар Районного студенческого отряда «Ленинградский» на строительстве Байкало-Амурской магистрали, г. Комсомольск-на-Амуре, 1974 год



Боец студенческого строительного отряда «Неподдающиеся» Юрий Гатчин во время «посвящения» в бойцы (слева) и в подшефной школе (справа) дер. Жабино, Ленинградская область, 1971–1972 гг.



Комиссар ССО «Неподдающиеся» Юрий Гатчин вручает комсомольские путевки бойцам отряда, Ленинградская область, 1973 год



Президиум Ленинградского городского слета студенческих отрядов: во втором ряду в центре Юрий Гатчин, 1974 год



Секретарь комитета ВЛКСМ ЛИТМО Юрий Гатчин поздравляет с получением нового комсомольского билета студентку Аллу Дорожинскую, Ленинград, март 1975



Торжественное вручение «Паспорта комсомольской гарантии» выпускнику кафедры Технологии приборостроения Евгению Яблочникову, ЛИТМО, 22 февраля 1980 г.



(Прием американской делегации) Командир РССО «Гатчинский» Юрий Гатчин в гостях у ССО «Руссар», Ленинградская область, 1976 год



Слет районного районного студенческого строительного отряда «Гатчинский» в музее Революции: командир РССО Юрий Гатчин; почетный боец РССО, участник революционного движения, гражданской войны и социалистического строительства, дважды Герой Социалистического Труда (1975, 1985) В.П. Виноградов и комиссар линейного ССО «Руссар» Алла Дорожнинская, Ленинград, 1975 год



Конкурс агитбригад РССО «Гатчинский». В жюри комиссар Анатолий Чумак (второй слева), рядом справа командир Юрий Гатчин, Ленинградская область, 1976 год



Перед открытием XXVI отчетно-выборной конференции комсомольской организации ЛИТМО, 21 октября 1977 г.»



Митинг - начало 3-го трудового семестра: выступает командир линейного отряда А. Гриднев, (слева-направо): секретарь комитета ВЛКСМ ЛИТМО, комиссар РССО «Гатчинский» Юрий Колесников; член парткома Н. Ефимов; проректор ЛИТМО профессор Л.Ф. Порфирьев; секретарь Петроградского РК ВЛКСМ Александр Семенов, ветеран ССО Григорий Альтишулер, командир РССО «Гатчинский» Юрий Гатчин, комиссар отряда Алла Дорожнинская, 1979 год



*ЛСО «Петроградец» ЗСО «Наримановский» Ленинград-Астрахань, 1981:
Командир ЛСО Юрий Гатчин оценивает труд бойцов на полях
Астраханской области.*

СТУДЕНЧЕСКИЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ ОТРЯД «ПЕТРОГРАДЕЦ» ЛЕНИНГРАД АСТРАХАНЬ 1981



Командир Юрий Гатчин (третий справа во втором ряду) и комиссар Сергей Раков (третий слева во втором ряду) с бойцами ЛСО «Петроградец», Астрахань, 1981 год



Актив ССО ЛИТМО (справа-налево): Юрий Филатов, Дмитрий Шургаев, Александр Дернятин, Юрий Гатчин, Александр Захаров, (через одного человека) Александр Татаринов, Сергей Лысенков, 1981 год



Президиум слёта ССО ЛИТМО (слева-направо): второй секретарь Петроградского районного комитета ВЛКСМ Александр Семенов, секретарь комитета ВЛКСМ ЛИТМО Екатерина Жукова, главный инженер штаба проводников Ринат Магдиев, проректор профессор Николай Алексеевич Ярышев, член парткома института Юрий Гатчин, Ленинград, 27 ноября 1982 года



Фотография на память во время слета Ленинградских ССО, март 1984 года



Фотография на память после отчетно-выборной конференции комсомольской организации Петроградского района города Ленинграда. Первый ряд сидят третий слева секретари РК ВЛКСМ Александр Семенов, Надежда Каменева, Рыбников, второй ряд, четвертый слева Юрий Гатчин, за ним в четвертом ряду секретарь комитета ВЛКСМ ЛИТМО Юрий Колесников, Ленинград, 1984 год



*Городской слет ССО во Дворце молодежи, 1999 год
(первый ряд крайний слева – начальник штаба Ленинградского
студенческого отряда Александр Шпагин; второй ряд, крайние слева
первый командир РССО «Гатчинский» Павел Матвиенко и Юрий Гатчин))*



*Торжественное собрание к 100-летию Университета ИТМО.
В первом ряду слева – направо сотрудники кафедры ПКС
заведующий лабораторией В. Лакунин, зав. кафедрой Ю.А. Гатчин
и доцент А.В. Панков, 26 марта 2000 год*



*Ветераны ССО города на традиционной встрече
на Дворцовой площади. Слева направо – первый ряд: А.Г. Сафонов, Ю.А.
Гатчин, А.В. Матросов; второй ряд: Е. И. Домрачева, Г.М. Пивоварова, Е.С.
Мишин, В.И. Матвиенко, В.Т. Севрюков; третий ряд: А.Ф. Шпагин,
Р.Р. Магдиев и Е.В. Марченко, 2009 год*



*Губернатор Санкт-Петербурга В.И. Матвиенко приветствует
Ю.А. Гатчина во время традиционной встречи ветеранов ССО
на Дворцовой площади, 2009 год*

Кафедра ПБКС: история и современность

В период Великой Отечественной войны с большой наглядностью и разносторонностью проявились прогресс и рост значения электроники как одной из передовых и ведущих областей новой техники. Это способствовало развитию радиоэлектронного приборостроения: радиолокации, электронной аппаратуры для экспериментальных исследований, приборов и устройств атомной энергетики, аппаратуры воздушной и морской радионавигации, телеуправления стационарными и подвижными устройствами, приборов обработки информации, передачи данных и управления, автоматизации производственных процессов и т.п.

К концу войны стало ясно, как велико было наше отставание в области радиоэлектроники и как оно сказалось на увеличении тягот и потерь, понесенных нашей страной. Начались серьезные мероприятия в этой области. В 1943 году был утвержден Совет по радиолокации во главе с профессором (позже академиком) Аксель Ивановичем Бергом. Перед Советом были поставлены задачи расширения производства радиолокационных станций (РЛС) и научных исследований в области радиолокации, а также подготовки соответствующих научных и инженерно-технических кадров. Однако в военные годы приходилось ограничиваться лишь переквалификацией радиоинженеров: обучением их эксплуатации РЛС на краткосрочных курсах.

Очевидная необходимость в квалифицированных разработчиках радиолокационной аппаратуры потребовала вузовской подготовки таких специалистов. Первенцем, начавшим решать эту задачу, стал Ленинградский институт точной механики и оптики. В сентябре 1945 года в ЛИТМО был открыт факультет, названный сначала Электроприборостроительным, а позднее (с 1952 г.) – Радиотехническим. В его задачу входило пополнение промышленности инженерами, способными разрабатывать радиолокационную технику.

Преимуществом ЛИТМО в области подготовки инженеров являлся конструкторский уклон, расширявший сферу деятельности молодых специалистов. Благодаря этому промышленные предприятия, да и научно-исследовательские организации, ценили питомцев ЛИТМО весьма высоко.

Также здесь существовали достаточно благоприятные условия для расширения исследований в областях электроники, радиотехники и автоматики: большую учебную и научную работу вела кафедра Общей и специальной электротехники. На ней преподавались студентам всех специальностей такие дисциплины, как «Общий курс электротехники», «Электрические измерительные приборы», «Электронные и ионные приборы», «Основы автоматики и телемеханики», «Радиотехника». По этим курсам студентами выполнялось более 40 лабораторных работ.

Именно поэтому стал рассматриваться вопрос о возможности и целесообразности организации в ЛИТМО новых приборных специальностей, основанных на электронной технике, что также придавало институту характер политехнического приборостроительного вуза.

В мае 1945 года профессор Сергей Илларионович Зилитинкевич разработал и представил директору института Сергею Александровичу Шиканову проект организации нового факультета, основанный на преобразовании кафедры общей и специальной электротехники в пять специализированных кафедр и привлечении крупных ленинградских специалистов к руководству ими. Вскоре проект получил одобрение и поддержку Главного управления учебными заведениями Народного комиссариата. На его основе был издан приказ от 28 августа 1945 года об открытии в Институте точной механики и оптики факультета Электроприборостроения со специальностями «Радиоприборостроение» и «Электроприборостроение». Срок обучения составлял 5 лет 10 месяцев.

В сентябре 1945 года кафедра Общей и специальной электротехники была преобразована в следующие пять самостоятельных кафедр: Электротехники и электрических машин, Электрических измерений и приборов, Автоматики и телемеханики, Радиотехники, Радиолокации (кафедра №11).

Деканом нового факультета был назначен профессор Марк Львович Цуккерман.

Руководство кафедрами Радиотехники и Радиолокации (№11) было поручено профессору С. И. Зилитинкевичу. Предполагалось, что объединение указанных двух радиотехнических кафедр будет временным и в ближайшем будущем удастся привлечь для заведования кафедрой радиолокации соответствующего специалиста. Однако осуществилось это лишь через шесть лет. Исполнение

обязанностей заведующего кафедрой № 11 было возложено на старшего преподавателя А. Н. Иванова, а затем – на доцента А. И. Лебедева-Карманова. В период с 1954 года по 1957 год кафедру возглавлял доцент А. А. Тудоровский.

К чтению некоторых лекций были привлечены высококлассные специалисты из сторонних организаций: теоретические основы электротехники читал профессор ЛЭИС Л. Б. Слепян, курс электро-и радиоматериалов - доктор наук, профессор ЛПИ В. Ренне, курс специальных электрических машин - доктор наук, профессор ЛПИ Л. М. Пиотровский. Один из ведущих ленинградских специалистов по антенно-фидерным устройствам кандидат наук, доцент ЛЭИС. Фрадин вел на факультете соответствующий курс АФУ; кандидат наук, доцент ЛЭИС`а Кратиров – теорию электрических цепей; видный специалист в области приёма УКВ и прекрасный преподаватель, кандидат наук, доцент ЛЭИС В. В. Палшков читал курс лекций по радиоприёмным устройствам; начальник отдела одного из крупных предприятий радиотехнической промышленности, кандидат наук Г. М. Драпкин – радиопередающие устройства; кандидат наук, доцент ЛЭТИ Р. И. Юргенсон – устройства автоматики и телемеханики.

Уже в конце второго года существования Радиотехнического факультета состоялся первый выпуск инженеров-радиомехаников, и это были первые специалисты такого профиля в СССР, они были подготовлены в порядке переквалификации из лучших студентов пятого курса факультета Точной механики. Таким образом, первая группа радиоспециалистов вышла из стен института летом 1947 года, двое выпускников, закончивших обучение с отличием, поступили в аспирантуру. Второй выпуск состоялся в 1948 году. Это была группа, сформированная в год основания факультета из четверокурсников. Из 18 выпускников трое получили дипломы с отличием.

Государственную экзаменационную комиссию (ГЭК) РТФ, осуществлявшую аттестацию первых выпускников, возглавлял кандидат технических наук, доцент И. В. Бренев (позже профессор), заведовавший кафедрой Радиолокации Военно-морской академии им. А. Н. Крылова и стоявший у истоков отечественной радиолокации еще в довоенные годы. ГЭК от 4 июля 1947 года констатировал: *«Представленные дипломные проекты по радиоприборам и их защита в государственной комиссии показали, что факультету Электроприборостроения Ленинградского института точной механики и оптики удалось правильно сочетать*

при подготовке инженеров этого профиля, с одной стороны, необходимые знания в области технологии приборостроения и конструирования приборов, а с другой – серьезную теоретическую подготовку в области радиотехники и в области механической и электрической автоматики. Благодаря этому проекты, имевшие своим содержанием создание новых приборов и устройств в области радиотехники, сопровождались полноценными механическими и электрорадиотехническими расчетами и конструкциями и в нужной мере учитывали технологические условия производства соответствующей аппаратуры».

В итоговом отчете профессора С. И. Зилитинкевича от 5 декабря 1956 года процесс организации радиотехнической специальности в ЛИТМО изложен следующим образом: *«Несмотря на исключительно краткий срок, оставшийся после приказа о создании факультета для привлечения необходимых преподавателей и для организации занятий по совершенно новому для института инженерному профилю, учебные занятия в осеннем семестре 1945 года были начаты сразу на пяти курсах радиотехнической специальности. При этом на I, II и III курсах занятия начались по нормальному учебному плану специальности и с самого начала семестра, а на IV и V курсах – сразу же после того, как были утверждены соответствующие переходные планы. На эти оба старших курса радиотехнической специальности были направлены наиболее способные, а также выразившие желание учиться студенты последних курсов факультета точной механики».*

В начале первого года своего существования радиотехнические кафедры развивались чрезвычайно быстро.

Если в начале сентября 1945 года на них было всего два преподавателя (профессор С. И. Зилитинкевич и доцент Ф. Ф. Шарлай), то уже к концу осеннего семестра состав обеих кафедр вырос до 21 человека. При этом на кафедре работали три профессора и шесть доцентов. А к осени 1946 года, то есть через год после организации нового факультета, состав кафедр достиг 30 человек: 20 человек профессорско-преподавательского состава и 10 сотрудников лабораторий.

Из вновь привлеченных в течение этого времени преподавателей прежде всего следует отметить профессоров Б. А. Остроумова и Л. Б. Слепяна. Профессор Б. А. Остроумов с осени 1945 года активно включился в работу на кафедре радиотехники, где читал курсы «Электронные и ионные приборы» и «Радиотехнические

приборы». С осени 1946 года Б. А. Остроумову было поручено заведование кафедрой Электроники на вновь созданном Инженерно-физическом факультете института, при этом он продолжал принимать деятельное участие в работах радиотехнических кафедр.

Профессор Л. Б. Слепян с осени 1945 года был зачислен в институт на должность профессора кафедры Электротехники и электрических машин, где читал курс Теории электромагнитного поля. Одновременно он вел на кафедре №11 занятия по курсу «Усилительные и радиоприемные устройства». Весной 1948 года профессор Л. Б. Слепян был назначен заведующим вновь организованной кафедры Теоретических основ электротехники, продолжая свои занятия по указанным курсам и сохраняя тесную связь с радиотехническими кафедрами.

Осенью 1945 года на эти кафедры были зачислены на должности старших преподавателей и активно включились в работу А. Н. Иванов, А. И. Сапегин и И. Н. Щеглов. В это же время на кафедре Радиотехники в должности старшего лаборанта работала Н. В. Бухтеева, много сделавшая для роста и укрепления лабораторий электронных и ионных приборов и общей радиотехники.

В следующем 1946 году к работе на радиотехнических кафедрах приступили старший преподаватель А. А. Тудоровский, ассистенты Л. А. Горелик, К. Е. Медведев, Е. Н. Правиковская, И. В. Шаров, старшие лаборанты Г. В. Метр и П. Л. Космин. Они укрепили обе радиотехнические кафедры и много содействовали развитию кафедральных лабораторий, углублению курсового и дипломного проектирования.

Постепенно состав кафедры № 11 начал пополняться ее молодыми выпускниками. Курс «Антенны и распространение радиоволн» стал читать старший преподаватель Н. Н. Филиппов, курс «Радиолокационные системы» – выпускница кафедры 1948 года, кандидат технических наук А. Н. Гарина-Домченко, курс «Радиоприемные устройства» – ассистент Б. Н. Меньшов, курс «Электропитание радиоустройств» – старший преподаватель Н. В. Ефимов. Одновременно на кафедру поступало новое оборудование, в том числе современная измерительная аппаратура, что позволило создать собственную лабораторную базу по всем курсам. Большую работу провели ассистент Л. В. Щенников, старшие лаборанты Э. С. Кочанов, Г. Н. Грязин (позже профессор) и К. Г. Шаров, ставший затем заведующим лабораторией.

Нельзя не отметить работу на кафедре Радиотехники

Справка об Р.Т.Ф.,
составленная деканом Г. О. Архиповым

30 августа 1945 г. приказом №367 Наркома вооружений СССР и ДИТМО был организован факультет «Электрорадиотехники» со следующими специальностями:

1. Радиоприборостроения
2. Электрорадиотехники

(до 1945 г. в ДИТМО велась подготовка только по двум основным специальностям):

1. Приборы точной механики
2. Оптико-механические приборы)

С 17 сентября 1945 г. начались занятия на 1, 2, 3 курсах по нормативному учебному плану, а на 4, 5 курсах с 8 и 23 октября 1945 г. по переходному учебному плану.

Первый выпуск молодых специалистов по вышеперечисленным факультетам состоялся в 1947 г.

Выпуск специалистов по годам:

1947 г. – 15 чел.

1948 г. – 20 чел.

1949 г. – 33 чел.

1950 г. – 36 чел.

1951 г. – 71 чел.

В 1952 г. в развитие постановления Совета Министров об увеличении выпуска специалистов по радиоэлектронике приказом Министра ДИТМО от 9 января 1952 г. предложено было организовать в ДИТМО Радиотехнический факультет.

Приказом № 22 от 7 февраля 1952 г. Министра ДИТМО факультет Электрорадиотехники был реорганизован в Радиотехнический факультет со следующими специальностями:

1. Радиотехнические приборы с двумя специализациями
2. Электромеханические приборы со специализациями:
 - а. Электромеханические приборы
 - б. Приборы автоматизации и телемеханики

Кафедра «Электромеханики» была реорганизована в кафедру «Электромеханических приборов» и переименована в Р.Т.Ф.

Приказом №18 1952 г. первоначально было поставлено задача значительно увеличить выпуск специалистов начиная с 1953 г.

Установлен был план приема на 1952 г. в количестве 225 человек и план выпуска на 1953-55 гг. было предложено организовать обучение с выпуском специалистов в 3,5 года.

Для выполнения постановления Совета Министров об увеличении выпуска специалистов был составлен план выпуска со сроком обучения 5 лет 3 месяца.

Начиная с 1952 г. выпуск молодых специалистов резко увеличился

Выпуск специалистов по годам:

1932 – 128 чел.

1933 – 134 чел.

1934 – 162 чел.

1935 назначено к выпуску 201 чел.

Таким образом к концу 1935 г. выпуск молодых специалистов увеличился в 13,5 раз по сравнению с 1917 годом.

Резко увеличился и контингент студентов по годам:

1945/46 учебный год – 223 человека (100%)

1946/47 учебный год – 291 человек

1949/50 учебный год – 318 человек

1953/54 учебный год – 378 человек

1954/55 учебный год – 1013 человек

1955/56 учебный год – 1200 человек (510%)

С первых дней существования РЛФ факультета ощущался острый недостаток в педагогическом кадре. Поэтому основное внимание после реорганизации факультета было обращено на подготовку специалистов кадров для факультета. Если до 1951 года не было кафедры ни одной кандидатской диссертации, то к периоду с 1951 по 1955 г. защитили кандидатскую диссертацию 17 человек из них:

историков – 13 человек

специалистов (технических факультетах) – 4 человека

Одновременно с этим значительная группа преподавателей перешла на высшее и среднюю квалификацию путем стажировки, организованной на факультете с 1952 г.

Принятая структура 8 человек: из них 6 человек – старшие преподаватели, 2 человека – ассистенты. Кроме того кадры преподавателей непрерывно пополнялись людьми, окончившими РЛФ.

В настоящее время 50% преподавательского состава являются воспитанниками ЛПИ(О). Среди них к.т.н. С.Н. Рогович, к.т.н. П.М. Иконев, к.т.н. Щелкунов, доц. А.Н. Газизов-Абмаченко, ст. преп. Н.Н. Филиппов, К.Е. Мещеряков и др.

Большая работа была проведена коллективом факультета по организации учебного процесса, подготовке и выпуску молодых специалистов, созданию новых кафедр и лабораторий. Достаточно сказать, что количество лабораторий на факультете увеличилось в 1 раз. Площадь жилищной казенной факультета увеличилась в 2 раза.

Большой вклад в деле организации факультета внесли проф. А.И. Зенитенков, С.И., проф. Цуккерман А.Л., доц. Калык А.В.

Очень много сделали по организации и развитию новых кафедр и лабораторий доц. Иванов В.В., доцент Иванов А.Н., к.т.н. Рогинский И.Ю., ст. преподаватель А.Я. Синятов, А.А. Зенитенков, ассистент В.П. Меньшиков, замруководителя лабораторий Мещеряков, Киритов, Шафров и др.

Научно-исследовательская работа на факультете по крупным проблемным работам в основном велась в кафедре по закрытым темам:

22 ноября 1955 года

старшего преподавателя, а затем доцента А. А. Тудоровского, взявшего на себя чтение курса «Радиотехнических измерения» и организацию соответствующей учебной лаборатории. В 1954 году А. А. Тудоровский был избран заведующим кафедрой №11.

Несколько позднее начали работать на кафедре Радиотехники доценты К. В. Сапрыкин (по совместительству) и Е. К. Алахов, старшие преподаватели В. З. Фейгельс и Б. Ф. Тархов, ассистенты Л. М. Артамонова и В. П. Сапрыкина, лаборант В. И. Ефимова. На кафедре №11 проводилась также большая научно-исследовательская работа. Так, в 1952–1953 годах по заказу Военно-медицинской академии был разработан и изготовлен первый отечественный вектор-электрокардиограф. В 1955–1957 годах под руководством заведующего кафедрой доцента А. А. Тудоровского по заказу танкового КБ проводились работы, связанные с созданием радиолокационной техники восьмимиллиметрового диапазона.

В 1957 году кафедры номер 11 и 76 были реорганизованы. На их базе были созданы кафедры Радиолокационных приборов и устройств (РЛПУ) и Радиоприемных и радиопередающих устройств (РППУ). Первую кафедру возглавил крупный специалист в области авиационной радиолокации, заведующий лабораторией одного из ОКБ кандидат технических наук Борис Сергеевич Мишин, второй кафедрой, переименованной позднее в кафедру радиотехнических приборов и устройств, стал заведовать доцент Анатолий Александрович Тудоровский.

На кафедре РЛПУ помимо перечисленных сотрудников, работали бывшие преподаватели кафедры №76 – доценты И. В. Иванов и И. Ю. Рогинский, старший преподаватель А. А. Зелетенкевич, ассистент Ю. Н. Пан ов. Были приняты на кафедру доцент В. А. Смирнов и только что окончивший аспирантуру к.т.н. наук В. С. Салтыков. Заведовали лабораторией сначала Н. В. Александров и затем В. М. Лакунин. Этот коллектив обеспечивал преподавание дисциплин «Расчет и конструирование узлов и деталей радиоаппаратуры», «Радиотехнические системы», «Детали приборов автоматики и телемеханики» и др. Кафедра выпускала ежегодно три группы студентов дневного и одну группу вечернего отделений.

После ухода Б. С. Мишина в 1964 году на пенсию кафедру в течение года возглавлял пришедший из ВНИИ телевидения доцент И. П. Захаров, а после его внезапной кончины, вплоть до закрытия факультета, – доцент А. Н. Иванов.

В середине 1960-х годов в стране стало ощущаться острая

нехватка конструкторов и технологов радиоаппаратуры, которую выпускали в модульном и микроэлектронном исполнении. В связи с этим кафедра РЛПУ ЛИТМО была перепрофилирована, переименована и начала подготовку инженеров по специальности Конструирование и производство радиоэлектронной аппаратуры. Были введены курсы «Расчет и проектирование микросхем», «Конструирование и надежность радиоэлектронной аппаратуры». Прежние курсы были сняты или существенно сокращены. Потребовалась коренная реорганизация лабораторной базы и переориентация преподавательского состава. Новые курсы стали читать доценты В. А. Смирнов, В. С. Салтыков и Г. Н. Грязин. Была организована научная работа по этому направлению, в частности был заключен большой договор с Петродворцовским часовым заводом на разработку электронного хронометра в микроминиатюрном исполнении. По окончании этой работы на данный хронометр были получены несколько авторских свидетельств.

За время своего существования кафедра № 11 (РЛПУ-КиПРЭА) выпустила свыше тысячи специалистов в области радиотехнических систем и конструирования радиоаппаратуры. В их числе заместитель директора ГОИ имени С. И. Вавилова, а затем генеральный директор, лауреат Ленинской премии профессор Б. А. Ермаков, доктора наук, профессора Е. А. Воробьев, Г. Н. Грязин, В. В. Новиков, Э. С. Кочанов и многие другие ученые, руководители промышленности. Долгое время в вузе работали и работают выпускники кафедры доценты А. А. Круглов, Ю. В. Кузнецов, В. С. Салтыков, В. С. Кулагин, Муханин Л. Г. и другие. Выпускник кафедры доцент Е. К. Алахов долгие годы заведовал кафедрой Радиотехники (после ухода на пенсию профессора С. И. Зилитинкевича).

В 1970 году РТФ был ликвидирован. Кафедру КиПРЭА переименовали в кафедру «Конструирования и производства электронно-вычислительной аппаратуры» (КиПЭВА) и включили в состав факультета Точной механики и вычислительной техники. Коренной переделке подвергся учебный план, по которому велась подготовка специалистов, были выделены два основных направления: автоматизация конструирования ЭВА и технология производства микроэлектронных устройств ЭВА.

В конце 1973 года на должность заведующего был избран д.т.н. профессор Ф. Г. Старос. Профессор Ф. Г. Старос являлся одним из основных родоначальников отечественной микроэлектроники. Он был главным разработчиком Советского центра микроэлектроники

в Зеленограде. Под его руководством был разработан и издан первым в мировой практике прообраз персонального компьютера – УМ-1-НХ. В связи с назначением профессора Ф. Г. Староса директором одного из институтов А.Н.СССР во Владивостоке в начале 1974 года, он вынужден был покинуть кафедру КиПЭВА и на должность заведующего кафедрой был избран выпускник ЛИТМО 1959 года к.т.н. доцент **В. В. Новиков** (впоследствии д.т.н. профессор). С приходом В. В. Новикова резко усилилась работа в области микроэлектроники, были открыты научно-исследовательские темы по применению новых физических принципов при разработке различных электронных устройств. Большое участие в этих разработках принимали доценты А. В. Панков и В. С. Салтыков. В это время на кафедру был принят специалист в области схемотехники доцент В. Г. Фейгельс и ведущие специалисты промышленности, занимающиеся микроэлектроникой профессор Я. М. Беккер и доцент А. М. Скворцов (впоследствии профессор). Была налажена работа с промышленностью. Так, по договору с заводом «Россия» на территории кафедры был открыт промышленный участок по разработке и производству современных пленочных микросхем. Было установлено современное оборудование для вакуумного напыления, открыта линия по фотолитографии и т.д. На этом участке помимо решения чисто производственных задач, проводились лабораторные и научно-производственные работы для студентов и преподавателей кафедры, а сотрудники завода «Россия» работавшие на этом участке привлекались для работы на кафедре (руководство курсовым и дипломным проектированием, руководство лабораторными работами и др.).

1976 по 1987 год и с 1993 по 1996 год кафедрой руководил известный специалист в области автоматизации проектирования электронных устройств профессор Г. А. Петухов. Научная деятельность была связана с автоматизацией проектирования и производства средств вычислительной техники.

С 1988 по 1992 год кафедру возглавлял ученик Г. А. Петухова известный специалист в области автоматизации проектирования электронных устройств д.т.н., профессор **С. А. Арустамов**. Окончил с отличием кафедру Вычислительной техники ЛИТМО (1974). Организатор и заведующий кафедрой Микроэлектроники и автоматизации проектирования (1988–92). Кафедра выпускала инженеров-конструкторов-технологов по микроэлектронике и автоматизации проектирования вычислительных средств

(специальность 2205). Выпускники кафедры имели хорошую технологическую подготовку и успешно работали как в производстве полупроводниковых интегральных микросхем, так и при их проектировании, используя современные методы автоматизации проектирования. Инженеры специальности 2205 востребованы микроэлектронной промышленностью и предприятиями-разработчиками вычислительных систем.

Основным направлением развития кафедры становятся исследования в области разработки систем автоматизированного проектирования РЭС. На кафедре проводится большая научно-исследовательская работа по автоматизации топологического проектирования БИС на базовых кристаллах, которую возглавляли профессора С. А. Арустамов и Г. А. Петухов. За это время из других подразделений института пришли на кафедру к.т.н., доцент А. Л. Кузнецов и к.т.н., с.н.с. С. Ю. Яковлева. Пришла на кафедру выпускница ЛИАПа Н. Ю. Иванова. Коллектив преподавателей пополнялся ее выпускниками: Н. С. Кармановским и Ю. А. Гатчиным. В 1988 году кафедра была переименована в кафедру Микроэлектроники и автоматизации проектирования (МАП). Кафедра становится одной из ведущих научных школ Советского Союза в этой области. Ведутся совместные научные работы в области САПР с научными школами из Таганрога, Еревана, Москвы, Львова, Пензы, Ташкента и на базе нашей кафедры защищают кандидатские и докторские диссертации. На кафедре создается один из первых собственных компьютерных классов в ЛИТМО.

В эти же годы коллектив преподавателей пополнялся ее выпускниками: Б. А. Крыловым, К. О. Ткачевым, В. А. Ткалич и Е. К. Фроловой.

С 1996 года кафедру возглавляет ее воспитанник д.т.н, профессор Юрий Арменакович Гатчин. Помимо традиционной подготовки инженеров конструкторов-технологов по микроэлектронике и автоматизации проектирования вычислительных средств для предприятий и фирм, разрабатывающих электронно-вычислительную аппаратуру, ее элементы и механизмы, а также предприятий других отраслей промышленности, разрабатывающих электронные системы (специальность 2205 - «Конструирование и производство электронных вычислительных средств»), была начата подготовка специалистов по специальности 0754 - «Комплексная защита объектов информатизации», причем основное внимание уделяется программно-аппаратной защите информации компьютерных систем. Ю. А. Гатчин, будучи опытным руководителем, не только

сохранил коллектив высококвалифицированных преподавателей, но и значительно расширил коллектив кафедры. Уже почти 50 лет преподает здесь доцент А. В. Панков, пришедший на кафедру сразу после окончания вуза, и защитивший здесь диссертацию на степень кандидата технических наук. В середине 70-х лет прошлого столетия начал свою педагогическую карьеру доцент Н. С. Кармановский, более 30 лет учит студентов доцент Н. Ю. Иванова.

В 1998 году кафедра была переименована и получила название «Кафедра проектирования компьютерных систем», что отразило содержание основных научных исследований и направления подготовки студентов и аспирантов. В 1999 году на кафедре начата подготовка специалистов по новому направлению «Информационная безопасность», создана соответствующая методическая и материальная база для организации учебного процесса. В начале нового века на кафедру пришли новые преподаватели, поставившие ряд курсов для ведения курсов по дисциплинам данного направления. Среди них доценты И. Э. Комарова, К. Н. Чиков. Вернулись в университет и преподают на кафедре доцент К. Н. Заикин и доцент В. Л. Жуков.

Приказом №527-од от 07.10.2011 кафедра Проектирования компьютерных систем переименована в кафедру Проектирования и безопасности компьютерных систем (сокращенно — ПБКС).

Подготовка специалистов на кафедре осуществляется по трем основным разделам:

- конструкторское (студентам даются фундаментальные знания по конструированию и компьютерному дизайну ЭВС);
- системы автоматизированного проектирования (студенты знакомятся с основными методами автоматизированного проектирования электронных систем с использованием современных программных средств и технологий проектирования);
- микроэлектроника (изучаются вопросы, связанные с технологией изготовления гибридных схем и полупроводниковых интегральных схем, включая СБИС).

Инженеры готовятся по специальностям:

- 090104 — «Комплексная защита объектов информатизации»,
- 210202 — «Проектирование и технология электронно-вычислительных средств» со специализацией: 210202.65.08 — «Проектирование, программирование и эксплуатация информационно-вычислительных систем».

С 2008 года на кафедре началась подготовка бакалавров и

магистров по направлениям «Информационная безопасность» и «Конструирование и технология электронных средств»

С 2011 года на кафедре осуществляется подготовка

- бакалавров по направлениям:
 - 090900 — «Информационная безопасность» по профилю: «Комплексная защита объектов информатизации»
 - 211000 — «Конструирование и технология электронных средств» по профилю: «Конструирование и технология электронных средств»
- магистров по направлениям:
 - 090900 — «Информационная безопасность» по магистерской программе «Проектирование комплексных систем информационной безопасности»
 - 211000 — «Конструирование и технология электронных средств» по магистерской программе «Технологии и инструментальные средства проектирования электронных систем».

В настоящее время кафедра является одной из крупнейших в (выпуск специалистов и магистров в 2012 году составляет порядка 200 человек) и одним из ведущих российских научных и образовательных центров, ориентированным на фундаментальные и прикладные исследования в области микроэлектроники и САПР. Процесс обучения осуществляют 54 высококвалифицированных преподавателя, в том числе 6 профессоров и 27 доцентов. К участию в учебном процессе привлекаются высококвалифицированные специалисты-практики. Для проведения занятий по ряду дисциплин привлечены преподаватели зарубежных университетов, специалистов и использована научно-техническая и производственная база промышленных предприятий Санкт-Петербурга и Российской Федерации (ФГУП СПб ОКБ «Электроавтоматика», ФГУП НИТИОМ ВНЦ «ГОИ им. С. И. Вавилова», ООО «Авионика – Вист», ЗАО научно-производственное предприятие «НПП ТЕЛДА», ОАО «Техприбор», ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, ФГУП «ЦНИИ Морфизприбор» и др.)

На кафедре обучаются 760 студентов из них:

- на очном отделении 660 студентов;
- на вечернем отделении 100 студентов.

Навыки практической работы с современными компьютерными системами, от их проектирования до производства, на всех этапах студенты получают в учебных лабораториях, в 3-х специализированных компьютерных классах, в 3-х исследовательских

лабораториях кафедры и во время производственной практики на различных предприятиях и фирмах. В процессе обучения используются последние версии программных продуктов ведущих фирм производителей.

Образовательный процесс обеспечен оборудованными учебными лабораториями:

- *Лаборатория микроэлектроники и схемотехники на 24 посадочных места*
- *Лаборатория защиты информации на 22 посадочных места*
- *Лаборатория проектирования компьютерных систем на 30 посадочных мест*

Выпускники кафедры – специалисты широкого профиля, способные работать в области исследований, разработки, конструирования и производства электронно-вычислительной аппаратуры различного типа и входящих в нее элементов, механизмов и узлов. Многие из воспитанников кафедры не теряют связь с университетом, участвуя в развитии её научно-технической базы. Так в 2003 году при содействии выпускника 1978 года, первого вице-президента Союза промышленников и предпринимателей (работодателей) Санкт-Петербурга, председателя совета директоров ЗАО «Красный химик» **Вячеслава Ефимовича Рутштейна** были выполнены переоборудование лаборатории и оснащение её компьютерами для занятий студентов. Позже 1 сентября 2006/2007 учебного года распахнулись двери переоборудованной лаборатории защиты информации им. Г. А. Петухова, финансирование проекта по ремонту и оснащению помещения новой техникой осуществлено генеральным директором «Фирмы Викон» **Максимом Александровичем Гудконом**, выпускником 1985 года.

В настоящее время коллектив кафедры в соответствии с приоритетными направлениями развития научных исследований ведет ряд важных НИР в инициативном порядке в области экологии и охраны окружающей среды, микроэлектроники и технологии производства оптико-электронных материалов, обработки оптических изображений, создания гибких элементов систем управления, САПР технологических систем и защиты информации. В научных исследованиях широкое участие принимают студенты, магистранты и аспиранты.

На кафедре проводятся научные исследования по следующим направлениям:

- анализ и синтез методов и алгоритмов автоматизации исследования и управления процессов проектирования и производства электронных устройств (ЭУ);
- разработка методик информационных технологий обучения в области САПР электронных устройств;
- разработка теории и методов защиты информации в САПР ЭУ.

При кафедре создана и успешно функционирует научно-исследовательская лаборатория интеллектуальных систем *AILAB*.

Среди профессорско-преподавательского состава и сотрудников кафедры немало молодых выпускников, которые принимают активное участие в мероприятиях НИУ ИТМО. Так, в 2009 при непосредственном участии сотрудников кафедры были организованы Международная конференция *NevaCamp* и Конференция разработчиков *HackDay*.

NevaCamp-2009 собрала более 250 участников из 10 стран, проходила в течении 3 дней. В рамках конференции был организован конкурс интернет-проектов и любой участник мог выступить в качестве докладчика. Основными целями конференции стали: развитие технологического предпринимательства в молодежной и студенческой среде, помощь проектам в поиске инвесторов и экспертов и создание площадку для обмена опытом и общения начинающих предпринимателей, разработчиков, инвесторов.

Конференция разработчиков *HackDay* (5-6 декабря 2009) была организована совместно кафедрой ПКС и бизнес-инкубатором QD. Студенты могли принять участие в мастер-классх и разработать свой проект в течение двух дней. Все разработанные проекты были показаны на демофесте.

12 октября 2009 года в Университете ИТМО молодыми сотрудниками кафедры была организована встреча с Крис Мессина (Chris Messina), на которой известная сотрудница корпорации Google, член Правления международных Ассоциаций OpenID и Open Web выступила с лекцией «Identity is the Platform», где рассказала о современных тенденциях в Интернете, значении личности и идентификации личности в Интернете, о возможностях экспортировать свои данные, социальные связи и социальные объекты, метаданные, а также о новых открытых форматах.

За прошедшие годы кафедра подготовила более 4500 дипломированных специалистов. Более 50 молодых ученых

защищали кандидатские диссертации, 10 человек защитили диссертации на соискание ученой степени доктора наук. Выпускники кафедры работают в ведущих научных центрах и учебных заведениях России, Европы, Азии и Америки в промышленных и коммерческих фирмах, лабораториях и кафедрах университета.





Студенты-дипломники консультируются у заведующего кафедрой Радиотехники профессора Зилитинкевича Сергея Илларионовича, 1949 год



Председатель Государственной экзаменационной комиссии РТФ, начальник кафедры Приборов управления реактивного оружия специального факультета ВМАКВ им. А.Н. Крылова А.П. Саминин (второй справа) поздравляет выпускника Е. Тихомирова, отлично защитившего дипломный проект, ЛИТМО, 1957 год.



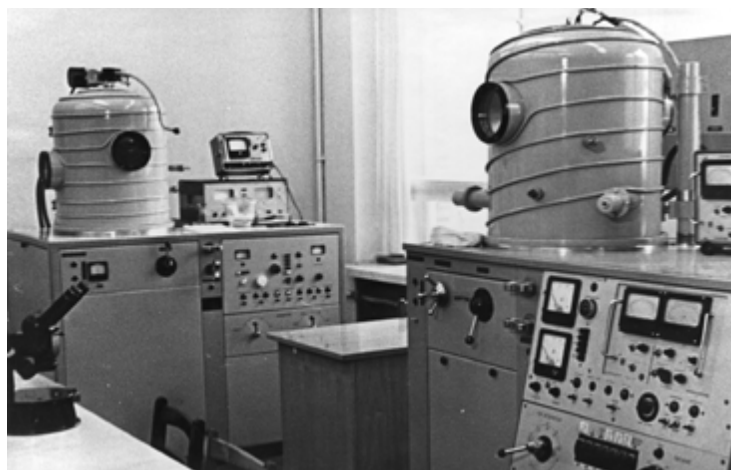
*Защита дипломных проектов на Радиотехническом факультете.
(слева-направо: председатель Государственной экзаменационной комиссии вице-адмирал А.П. Саминин, зав. каф. С.И. Зилитинкевич и доцент А.А. Тудоровский ЛИТМО, 1964 год*



Торжественное заседание Ученого совета ЛИТМО по случаю 70-летия профессора С.И. Зилитинкевича, поздравляет юбиляра профессор Б.А. Остроумов, 1964 год



Студенты на занятиях в лаборатории кафедры «Конструирование и производство электронно-вычислительной аппаратуры», ЛИТМО, 1978 год



В лаборатории кафедры Конструирования и производства электронно-вычислительной аппаратуры, ЛИТМО, 1978 год



Заведующий кафедрой Конструирования и производства электронно-вычислительной аппаратуры Г.А. Петухов знакомит заместителя министра высшего и среднего специального образования СССР Н.Ф. Краснова с работой кафедры, 1981 год



Заведующий кафедрой Конструирования и производства электронно-вычислительной аппаратуры доцент Г.А. Петухов (в центре) рассказывает о работе кафедры министру высшего и среднего специального образования СССР В.П. Елютину (1-ый слева), 1981 год



*Лакунин Владислав Михайлович -
заведующий лабораторией кафедры
Проектирования компьютерных
систем (1962-2008).*



*На торжественном открытии лаборатории проектирования
компьютерных систем ленточку перерезают (слева-направо)
выпускник 1978 года, первый вице-президент Союза промышленников и
предпринимателей (работодателей) Санкт-Петербурга, председатель
совета директоров ЗАО «Красный химик» Вячеслав Ефимович Рутштейн и
ректор Университета ИТМО профессор В.Н.Васильев, 2003 год*



*Страница с фотографиями преподавателей РТФ из альбома выпускника
кафедры РЛПУ 1957 года*



Лаборатория проектирования компьютерных систем сегодня



Лаборатория защиты информации, реконструированная и оснащенная выпускником кафедры М.А. Гудконом



М.А. Гудкон с супругой Е. Захаровой в стенах родной ALMA MATER, 2010 год



Студентка каф ПБКС выполняет лабораторную работу, 2011 год



Преподаватели и сотрудники после заседания кафедры ПБКС, март 2012 года



*Фотография на память, ветераны кафедры (слева-направо):
А.В. Панков, В.С. Салтыков и С.А. Арустамов, 2005 год*



На кафедре всегда доброжелательная атмосфера и в будни, и в праздники.

*Ректор НИУ ИТМО, профессор
В.Н. Васильев выступает
на конференции HackDay,
организованной молодыми
сотрудниками кафедры ПКС,
2009 год*



*Сборник трудов
молодых ученых,
аспирантов и
студентов научно-
педагогической школы
кафедры ПКС,
2010 год*

К. Н. Чиков

Мои воспоминания

Поступил я в наш вуз в 1958 году и все последующие шесть лет учился, как одержимый. Хотя и на общественную работу хватало времени. В основном отвлекался от учебы и занятий в студенческом научном обществе я в каникулы: каждое лето выезжал в студенческие строительные отряды, в зимние каникулы вместе со студентами Ленинградской консерватории им. Римского-Корсакова участвовал в работе агитколлективов, которые давали концерты в «глухих» деревнях и поселках Ленинградской области. После окончания вуза дважды ездил в Интеротряды (Чехословакия, Польша), но уже руководителем. Благодаря участию в общественной работе еще в те годы я и познакомился с Юрием Гатчиным. Тогда мы были просто приятелями, это уже позже стали коллегами и

Начал я свою трудовую деятельность в ЛИТМО после его окончания в 1964 г. заведующим лабораторией, а в сентябре следующего года стал преподавать на кафедре Спектральных и оптико-физических приборов (СОФП). Потом поступил в аспирантуру, но общественную работу не бросил: сначала был председателем Совета студенческого научного общества ЛИТМО, позже долгие годы являлся заместителем секретаря партийного комитета института.

В 1971 году защитил диссертацию и продолжил преподавать на кафедре СОФП, где также занимался научной деятельностью. Именно тогда в рамках одной из НИР кафедры мы создали первый в ЛИТМО лазер на основе стекла, активированного ионами неодима Nd.

Мне удивительно повезло тогда, и я дважды имел возможность стажироваться за рубежом в ведущих учебных заведениях Великобритании:

- в 1972 году в Имперском колледже (г. Лондон) ;
- в 1974 году в Редингском университете (г. Рединг).

Моя научная деятельность и далее складывалась удачно, я стал участником трёх интереснейших международных проектов: «Опал», «Фобос» и «Интербол», только работе над этими проектами с составе коллектива нашего вуза можно написать книгу.

Уже в XXI веке в силу изменившихся приоритетов в науке я «покинул» оптическую кафедру (хотя наукой в этой области знаний занимаюсь до сих пор) и начал свою преподавательскую деятельность на кафедре ПБКС под руководством Ю.А. Гатчина. Так наша общественная совместная работа в ЛИТМО переросла в научно-творческий союз и стала основой для публикации учебника по аппаратным методам защиты информации и подготовки данной книги.

Мой жизненный путь в стенах ALMA MATER иллюстрируют те фотографии, которые приведены далее.



*Студенческая жизнь
Константина Чикова.
Подготовка к отъезду в ССО*



Трудовые будни в отряде. Ленинградская область, 1959 год





Интернациональный стройотряд (Польша, 1970г.)



Интернациональный стройотряд (Польша, 1970) Отъезд из Польши.



*Колонна ЛИМТО на Первомайской демонстрации
(слева-направо) К.Н. Чиков, Ю.А. Гатчин, Г.А. Петухов и Д.М. Румянцев*

ОСНОВНЫЕ ДАТЫ ЖИЗНИ И НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ Ю.А. ГАТЧИНА

Специалист в области автоматизации проектирования сложных технологических комплексов и защиты информации.

Родился 16 апреля 1952 года в пос. Приисковый Красноярского края. В 1969 году закончил среднюю школу №5 г. Бежецка Калининской (Тверской) области. Трудовую деятельность начал мастером треста «Лентурбострой» на строительстве Металлического завода.

Окончил кафедру Конструирования и производства ЭВА факультета Точной механики и вычислительной техники Ленинградского института точной механики и оптики (1975). С 1975 по 1980 год работал секретарем комитета комсомола института. В 1974 году был комиссаром первого студенческого строительного отряда на строительстве Байкало-Амурской магистрали в г. Комсомольске-на-Амуре. Неоднократно руководил работой районных и зональных студенческих строительных отрядов в Ленинградской и Астраханской областях.



С 1980 года ведет научную и педагогическую работу. Защитил диссертацию на степень кандидата технических наук (1985), получил звание старшего научного сотрудника (1987) и доцента (1993).

Доктор технических наук (2002), профессор по кафедре Проектирования компьютерных систем (2003).

В настоящее время с 1996 года - заведующий кафедрой Проектирования и безопасности компьютерных систем, декан факультета Повышения квалификации преподавателей, член Ученого совета Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Член редакционных советов журналов «Научно-технический вестник» и «Вестник компьютерных и информационных технологий». (г. Москва) Академик Петровской академии наук искусств.

Автор более 150 научных и учебно-методических трудов, имеет 4 авторских свидетельства на изобретения.

Подготовил 13 кандидатов и 1 доктора технических наук, из них 8 человек защитили диссертации в 2011 году.

Работал секретарем парткома ЛИТМО. Избирался в состав Ленинградского обкома КПСС, был членом бюро Петроградского РК КПСС, в настоящее время Секретарь Санкт-Петербургского городского комитета КПРФ. В декабре 2011 года Ю. А. Гатчин избран депутатом Законодательного Собрания Санкт-Петербурга пятого созыва. Председатель постоянной комиссии по промышленности, экономике и собственности Законодательного собрания Санкт-Петербурга, член фракции КПРФ.

Лауреат премии Ленинградской комсомольской организации в области науки и техники за 1984 год.

Награжден советскими государственными наградами: медалями «За трудовое отличие» (1973), «За трудовую доблесть» (1981), российскими наградами: медалью ордена «За заслуги перед Отечеством II степени» (2001), «300 лет Российскому Флоту» (1996), «В память 300-летия Санкт-Петербурга» (2004). Награжден Почетной грамотой ЦК ВЛКСМ, Знаком ЦК ВЛКСМ «За активную работу в комсомоле», ценным подарком ГУВД Леноблгорисполкома, грамотами различных ведомств и организаций.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ Ю. А. ГАТЧИНА

Перу Юрия Арменаковича принадлежит более 150 научных работ, в их числе 9 учебников, учебных пособий и монографий, имеет 4 авторских свидетельства на изобретения.

Основные научные труды:

1. Гатчин Ю. А., Коробейников А. Г. Проектирование интегрированных автоматизированных технологических комплексов. - СПб: СПб ГИТМО (ТУ), 2000. - 171 с.
2. Гатчин Ю. А., Климова Е. В., Ожиганов А. А. Основы информационной безопасности компьютерных систем и защита государственной тайны. - СПб.: СПбГИТМО (ТУ), 2001. - 60 с.
3. Гатчин Ю. А., Коробейников А. Г. Математические основы криптологии. / Учебное пособие. - СПб: СПб ГУ ИТМО, 2004. - 106 с.
4. Гатчин Ю. А., Карпик А. П., Ткачев К. О., Чиков К. Н., Шлишевский В. Б. Теоретические основы защиты информации от утечки по акустическим каналам. / Учебное пособие. - Новосибирск: СГГА, 2008. - 194 с.
5. Гатчин Ю. А., Жариков И. О. Основы проектирования вычислительных систем интегрированной модульной авионики. - М.: Машиностроение, 2010. - 224 с.
6. Гатчин Ю. А., Ткалич В. Л., Виволанцев А. С., Дудников Е. А. Введение в микроэлектронику. - СПб: СПбГУИТМО, 2010. - 114 с.
7. Гатчин Ю. А., Сухостат В. В. Теория информационной безопасности и методология защиты информации - СПб: СПбГУИТМО, 2010. - 98 с.
8. Гатчин Ю. А., Донецкая Ю. В. Управление данными о промышленном изделии на этапе проектирования. Формирование электронных структур и документов. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. - 119 с.
9. Гатчин Ю. А., Климова Е. В. Введение в комплексную защиту объектов информатизации. - СПб: НИУ ИТМО, 2011. - 112 с.

ОСНОВНЫЕ ДАТЫ ЖИЗНИ И НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ К.Н. ЧИКОВА

К. Н. Чиков крупный специалист в областях: спектральные и оптико-физические приборы, физическая и теоретическая оптика и защита информации.

Начав свою деятельность в Ленинградском институте точной механики и оптики после его окончания в 1964 г. заведующим лабораторией, К. Н. Чиков зарекомендовал себя хорошим специалистом, что позволило уже в сентябре 1965 г. перевести его на преподавательскую работу по кафедре Спектральных и оптико-физических приборов (СОФП).

В годы учебы К. Н. Чиков наряду с отличной учебой и научной работой активно участвовал в общественной жизни института: каждое лето выезжал в студенческие строительные отряды, в зимние каникулы вместе со студентами Ленинградской консерватории им. Римского-Корсакова участвовал в работе агитколлективов, которые давали концерты в «глухих» деревнях и поселках Ленинградской области. После окончания вуза неоднократно руководил Интеротрядами (Чехословакия, Польша). Будучи аспирантом ЛИТМО был назначен председателем Совета студенческого научного общества ЛИТМО, позже долгие годы являлся заместителем секретаря партийного комитета института.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук Чиков К. Н. успешно защитил в 1971 году в Ленинградском институте точной механики и оптики по специальности «Оптические приборы (оптико-электронные)» (05.258).

В это время, работая на кафедре СОФП, К. Н. Чиков активно участвовал в разработке и создании первого в ЛИТМО лазера на основе стекла, активированного ионами неодима Nd.

В декабре 1974 г. ему присвоено звание старшего научного сотрудника, а в сентябре 1977 г. – доцента.

Дважды успешно прошел зарубежную стажировку в ведущих учебных заведениях Англии:

- в 1972 году в Имперском колледже (г. Лондон) и ему присвоено звание выпускника этого учебного заведения;

- в 1974 году в Редингском университете (г. Рединг).

Квалифицированный научный работник, К. Н. Чиков на высоком профессиональном уровне проводит разработки и исследования оптико-электронной аппаратуры со спектральной селекцией, причем последние два десятилетия занимался созданием бортовых приборных комплексов аэрокосмического базирования. Участник трёх международных проектов: «Опал», «Фобос» и «Интербол» Награжден медалью имени Ю. А. Гагарина. Участник выставок достижений народного хозяйства СССР 1984, 1987 и 1989 гг, К. Н. Чиков награжден двумя серебряными и бронзовой медалью ВДНХ. Успешно сотрудничает вплоть до настоящего времени с Институтом космических исследований РАН, выполняя НИР и ОКР.

Более 30 лет является научным руководителем научно-исследовательской группы «Коспектр», которая в 80-е годы одна из первых в стране начала разработку нового класса аэрокосмических приборов – видеоспектрометров.

Пройдя только на «отлично» курсы повышения квалификации в Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского по программе «Защита информации от иностранных технических разведок и её утечки по техническим каналам», Чиков К. Н. занял должность начальника отдела технической защиты информации вуза после согласования с Руководством Управления федеральной службы по техническому и экспортному контролю по Северо-Западному федеральному округу.

Требовательность, организованность, наряду с высокой квалификацией, позволили К. Н. Чикову заслужить авторитет среди сотрудников не только кафедры, но и всего университета.

К. Н. Чиков ведет большую педагогическую работу. Под научным руководством Чикова К. Н. постоянно проводится подготовка кадров высшей квалификации.

Имеет следующие награды:

- Нагрудный значок «ЗА ОТЛИЧНЫЕ УСПЕХИ В РАБОТЕ» (Министерство высшего и среднего спец. образования СССР, Президиум ЦК работников просвещения высшей школы научных учреждений, Удостоверение б/н от 19.05.1976)

- Медаль имени Ю.А. Гагарина (Президиум бюро Федерации Космонавтики СССР, Удостоверение ФК № 01077 от 12.03.1988)

- Медаль «50 лет Победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.» (Президент Российской Федерации Б. Н. Ельцин, Удостоверение Я № 0109466 от 22.03.1995)

- Медаль «300 лет РОССИЙСКОМУ ФЛОТУ» (Президент Российской Федерации Б. Н. Ельцин, Удостоверение А № 0753932 от 07.06.1996)

- Нагрудный знак «Почётный работник высшего профессионального образования Российской Федерации» (Министерство образования Российской Федерации, удостоверение ВПО № 5374 от 07.01.2002)

- Медаль «В ПАМЯТЬ 300-ЛЕТИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА» (От имени Президента РФ - и.о. губернатора Санкт-Петербурга А. Д. Беглов, удостоверение № 141537 от 19.02.2003)

- Медаль «В ЧЕСТЬ 60-летия ПОЛНОГО ОСВОБОЖДЕНИЯ ЛЕНИНГРАДА ОТ ФАШИСТСКОЙ БЛОКАДЫ» (Правительство Санкт-Петербурга, Администрация Красногвардейского района, удостоверение б/н от 27.01.2004)

- Медаль «60 ЛЕТ ПОБЕДЫ В ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЕ 1941-1945 гг.» (От имени Президента РФ - Глава администрации Красногвардейского района Санкт-Петербурга М. Д. Щербакова, удостоверение А № 7818387 от 29.03.2005)

- Медаль «В ЧЕСТЬ 65-летия ПОЛНОГО ОСВОБОЖДЕНИЯ ЛЕНИНГРАДА ОТ ФАШИСТСКОЙ БЛОКАДЫ» (От имени Губернатора Санкт-Петербурга - Глава администрации Василеостровского района А. В. Исаев, удостоверение б/н от 30.01.2009)

- Медаль «65 ЛЕТ ПОБЕДЫ В ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЕ 1941-1945 гг.» (От имени Президента РФ Глава администрации Василеостровского района Санкт-Петербурга В. В. Омельницкий, Удостоверение А № 3894653 от 26.01.2010)

- Нагрудный знак «Почётный работник науки и техники Российской Федерации» (Минобрнауки России, Заместитель министра В. Фридлянов, Удостоверение № 0970 от 25.02.2010)

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ К.Н. ЧИКОВА

Список научных трудов К.Н. Чикова превышает 140 наименований, из них – 18 авторских свидетельств на изобретения, 6 патентов РФ и 10 учебных пособий.

Основные научные труды:

1. Бухонин Ю. С., Чиков К. Н., Шлишевский В. Б. Новые методы спектроскопии. – Новосибирск: «Наука», 1982. – 222 с.
2. Avanesov G. A., Bonev B. I., Chikov K. N. et al. Television observations of Phobos. – Nature, vol. 341, № 6243, 19 October 1989.
3. Chikov K. N., Kuzmin A. K. Remote sensing possibilities from a new type of spaceborn spectrophotometric system of auroral and airglow processes. – IRF Scientific report 209, November 1992. Printed in Sweden: Swedish Institute of Space Physics. Kiruna, 1993.
4. Аванесов Г. А., Бонев Б. И., Чиков К. Н. и др. Телевизионные исследования Фобоса. – Москва: «Наука», 1994 – 168 с.
5. Chikov K. N., Kuzmin A. K. et al. Interball Mission and Payload. “CNES – IKI – RSA,” 1995.
6. Chikov K. N., Kuzmin A. K. Perspective panoramic auroral imager and its opportunities for tomographic mapping and diagnostics of ionospheric characteristics from the satellite. - Adv. Space Res. 2003. Vol.31, No.5, -Pp. 1321 – 1326.
7. Гатчин Ю. А., Карпик А. П., Ткачев К. О., Чиков К. Н., Шлишевский В. Б. Теоретические основы защиты информации от утечки по акустическим каналам – Учебное пособие. – Новосибирск: СГГА, 2008. – 194 с.
8. Груздев В. Н., Красавцев В. М., Марков А. В., Чиков К. Н., Шилин Б. В. Действующие образцы видеоспектрометров для малого космического аппарата. - Журнал Российской Академии наук «Региональная экология» № 3 (29), 2010. – С.
9. Гатчин Ю. А., Доброленский Ю. С., Красавцев В. М., Чиков К. Н. Полихроматор для дистанционного зондирования и мониторинга общего содержания озона в атмосфере Земли. – Вестник компьютерных и информационных технологий. № 12, 2011. – С.

Наименование предыдущих книг серии

- Вып. 1. Г. Н. Дульнев. Энергоинформационный обмен в природе. – 2000. – 134 с.
- Вып. 2. А. В. Сечкарев. Фотонная оптика. – 2000. – 220 с.
- Вып. 3. В. С. Игнатовский. Элементарные основы теории оптических приборов. – 2001. – 202 с.
- Вып. 4. К. Г. Коротков. Основы ГРВ биоэлектрографии. – 2001. – 360 с.
- Вып. 5. В. Н. Чуриловский. Теория оптических приборов. – 2001. – 274 с.
- Вып. 6. Ю. Г. Шнейдер. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. – 2001. – 264 с.
- Вып. 7. В. С. Меськин. Основы легирования стали. – 2002. – 236 с.
- Вып. 8. Э. С. Слив. Прикладная теория навигации. – 2002. – 132 с.
- Вып. 9. Г. М. Кондратьев, Г. Н. Дульнев, Е. С. Платунов, Н. А. Ярышев. Прикладная физика: Теплообмен в приборостроении. – 2003. – 550 с.
- Вып. 10. М. М. Русинов. Композиция нецентрированных оптических систем. – 2004. – 550 с.
- Вып. 11. В. И. Земский, Ю. Л. Колесников, И. К. Мешковский. Физика и техника импульсных лазеров на красителях. – 2004. – 150 с.
- Вып. 12. А. А. Акаев, С. А. Майоров. Оптические методы обработки информации. – 2005. – 240 с.
- Вып. 13. Жизнь и деятельность В. К. Прокофьева / Под общей редакцией проф. И. П. Гурова и проф. Ю. Л. Колесникова. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. – 92 с.
- Вып. 14. С. А. Сухопаров. На службе оптическому приборостроению. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. – 218 с.
- Вып. 15. Н. А. Ярышев. Научная школа и школа жизни. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. – 258 с.
- Вып. 16. А. Ф. Новиков Цвет молекул. Время. Свет. – СПб.: НИИ ИТМО, 2011. – 308 с.

**ВЫДАЮЩИЕСЯ УЧЕНЫЕ НАЦИОНАЛЬНОГО
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИТМО**

*Серия монографий ученых
НИУ ИТМО (бывшего ЛИТМО)*

Ю.А. Гатчин, К.Н. Чиков

**ЛИНИЯ ЖИЗНИ - ИНФОРМАЦИОННАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ**

Технический редактор	Н.К. Мальцева
Подготовка иллюстраций	О.Н. Ненарокомов, О. Перезябов, К.Н. Чиков
Компьютерная верстка	С.А. Фадеев
Дизайн обложки серии	С.А. Фадеев

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики.
197101, СПб. Кронверкский пр., 49

Подписано в печать 19.04.12. Тираж экз. Печать цифровая.

Центр распределенных издательских систем
НИУ ИТМО

199034, СПб. Биржевая линия, 16.
тел: +7 (812) 915-14-54,
zakaz@tibir.ru