

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
"Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники"

Кафедра радиоэлектронных средств

**В.М. Алефиренко, Ю.В. Шамгин**

## ***ОСНОВЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ***

Практикум  
для студентов специальностей  
«Техническое обеспечение безопасности»  
и «Моделирование и компьютерное проектирование радиоэлек-  
тронных средств»  
дневной формы обучения

В 2-х частях

Часть 1

Минск 2004

УДК 004.056 (075.8)

ББК 32.97 я 73

А 48

Р е ц е н з е н т:

профессор кафедры сетей и устройств телекоммуникаций БГУИР,  
доктор технических наук Л. М. Лыньков

**Алефиренко В.М.**

А 48 Основы защиты информации: Практикум для студ. спец. «Техническое обеспечение безопасности» и «Моделирование и компьютерное проектирование радиоэлектронных средств» дневной формы обучения: В 2 ч. Ч.1/В.М. Алефиренко, Ю.В. Шамгин. – Мн.: БГУИР, 2004. – 43 с.: ил.

ISBN 985-444-597-6 (ч.1)

В первой части практикума приводится описание двух практических работ по курсу «Основы защиты информации», выполняемых студентами в рамках практических занятий с применением вычислительной техники.

В работе № 2 использовались результаты научных исследований, проводимых в отраслевой лаборатории НИЛ 5.3 кафедры РЭС под руководством Г.В. Давыдова.

Разработка и отладка программного обеспечения осуществлялась студентами-дипломниками: А.Н. Жардецким, Д.И. Богдановичем и Н.Г. Метлицким.

УДК 004.056 (075.8)

ББК 32.97 я 73

ISBN 985-444-597-6 (ч.1)

ISBN 985-444-609-3

© Алефиренко В.М., Шамгин Ю.В., 2004

© БГУИР, 2004

# **Практическая работа №1**

## **Определение уровня качества технических средств защиты информации**

### **1.Цель работы**

Изучение методов определения показателей качества технических средств защиты информации и практическое определение их уровня качества с использованием комплексных показателей.

### **2.Теоретические сведения**

#### **2.1. Основные понятия, термины и определения теории качества**

Технические средства защиты информации (ТСЗИ) в большинстве случаев представляют собой радиоэлектронные устройства (РЭУ), предназначенные для обнаружения и подавления прослушивающих устройств, шифрования и кодирования информации, защиты информации в возможных каналах утечки. К ним относятся индикаторы и анализаторы различных полей, широкополосные приемники, генераторы виброакустических и ради шумов, скремблеры (телефонные кодирующие устройства), блокираторы сотовых телефонов, видеокамеры, мониторы и другие подобные устройства.

Многообразие подобных РЭУ даже одного назначения, имеющих к тому же различные технические характеристики, затрудняет их правильный выбор для оптимального и эффективного решения поставленной задачи по защите информации.

Поэтому знание методов определения уровня качества выпускаемой продукции и умение использовать их на практике является важной задачей как для производителя, так и для потребителя продукции.

Рассмотрим основные понятия и определения теории качества продукции, к которой относятся РЭУ, и в частности ТСЗИ.

**Качество продукции** – совокупность свойств продукции, обусловливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением [1].

**Продукция** – материализованный результат процесса трудовой деятельности, обладающий полезными свойствами, полученный в определенном месте за определенный интервал времени и предназначенный для использования потребителями в целях удовлетворения их потребностей как общественного, так и личного характера.

**Единица продукции** – отдельный экземпляр штучной продукции или определенное в установленном порядке количество нештучной или штучной продукции (партия изделий, определенная емкость или объем).

Единицы продукции служат не только для исчисления ее количества. Деление продукции на определенные единицы имеет существенное значение при управлении качеством продукции, и в частности при оценке ее качества при контроле каждой единицы (сплошной контроль) или некоторых единиц (выборочный контроль).

**Изделие** – единица промышленной продукции, количество которой может исчисляться в штуках или экземплярах.

Любое РЭУ является частным случаем единицы промышленной продукции. Количество изделий может быть охарактеризовано дискретной величиной, исчисляемой в штуках или экземплярах. Однако в некоторых случаях количество определенных изделий (например крепежных деталей) может характеризоваться непрерывной величиной, применяемой для нештучной продукции, и исчисляться, в частности, в единицах массы. Видами изделий, представляющими объекты конструкторской документации, являются детали, сборочные единицы, комплексы и комплекты.

**Свойство продукции** – объективная особенность продукции, которая может проявляться при ее создании, эксплуатации или потреблении.

Любая продукция, в том числе и РЭУ, имеет множество различных свойств, которые могут проявляться при разработке, производстве, испытаниях, хранении, транспортировании, техническом обслуживании, ремонте и использовании. Свойства продукции можно разделить на простые и сложные. Примером сложного свойства является надежность изделия, обусловленная такими относи-

тельно простыми его свойствами, как безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Деление свойств продукции на технические, экономические и т.п. является неправомерным (неоднозначным), так как одно и то же свойство продукции может быть для различных целей (в разных случаях) охарактеризовано техническим или экономическим показателем. Например, свойство ремонтпригодности можно охарактеризовать как вероятностью выполнения ремонта в заданное время (технический показатель), так и средней стоимостью ремонта (экономический показатель).

**Признак продукции** – качественная или количественная характеристика любых свойств или состояний продукции.

К качественным признакам, например, относятся цвет материала, форма изделия, вид покрытия детали (защитное, декоративное), способ настройки или регулировки технического устройства (ручной, автоматический). Среди качественных признаков при определении качества продукции большое значение имеют альтернативные признаки, которые могут иметь только два взаимоисключающих варианта, например, наличие или отсутствие дефектов в изделии, возникновение или отсутствие отказа при испытаниях.

Количественный признак продукции является ее параметром.

**Параметр продукции** – признак продукции, количественно характеризующий любые ее свойства или состояния, в том числе и входящие в состав качества продукции. Следовательно, показатель качества может быть частным случаем параметра продукции.

Многие показатели качества продукции являются функциями ее параметров. Качественный признак продукции может влиять на вид функциональной зависимости показателей качества продукции от ее параметров. Например, способ резервирования (качественный признак) оказывает существенное влияние на вид зависимости показателя безотказности резервирования (структурный параметр).

Связь понятий «признак», «параметр» и «показатель качества продукции» показана на рис.1.1.

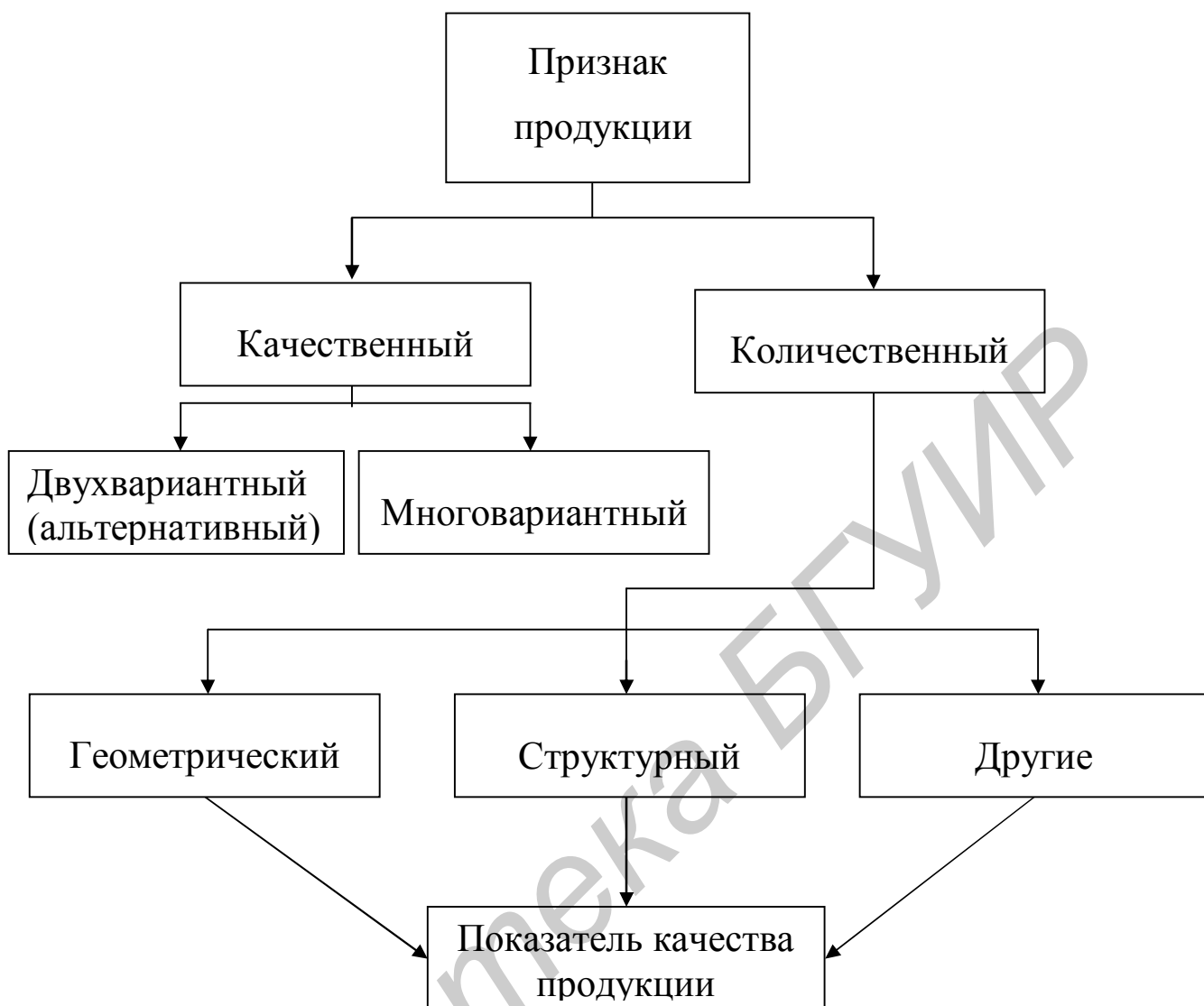


Рис. 1.1. Связь понятий «признак», «параметр» и «показатель качества продукции»

Геометрические параметры продукции обеспечиваются, как правило, конструктивно, а структурные – конструктивно и технологически.

Следует отметить, что иногда бывает сложно установить наличие и вид связи между некоторыми параметрами продукции и показателями ее качества. Например, параметр, характеризующий проницаемость корпуса РЭУ для радиоактивных излучений, устанавливаемого на автомобиле, обычно не принимается в расчет при оценке качества РЭУ. Однако если автомобиль предназначен для пересечения местности, зараженной радиоактивными веществами,

то указанный параметр следует считать одним из важнейших показателей качества РЭУ.

## 2.2. Единичные показатели качества РЭУ

Для оценки качества РЭУ используются показатели качества, под которыми понимают количественные характеристики одного или нескольких свойств РЭУ, рассматриваемые применительно к определенным условиям его создания и эксплуатации.

Качество РЭУ является многогранным свойством. Для описания различных сторон этого свойства используются единичные показатели качества [1, 2].

Основными единичными показателями качества РЭУ являются следующие.

Входные параметры:

- входное напряжение;
- входное сопротивление;
- диапазон принимаемых частот;
- число принимаемых каналов;
- чувствительность.

Выходные параметры:

- выходное напряжение;
- выходное сопротивление;
- излучаемая мощность;
- диапазон передаваемых частот;
- полоса воспроизводимых частот.

Внутренние параметры:

- объем памяти;
- быстродействие;
- тактовая частота;
- промежуточная частота преобразования;
- время преобразования;
- время задержки.

Параметры энергопотребления:

- напряжение питания;
- частота питающего напряжения;
- ток потребления;
- мощность потребления.

Массогабаритные параметры:

- масса;
- размеры;
- объем;
- занимаемая площадь;
- площадь для обслуживания.

К единичным показателям качества РЭУ могут быть отнесены параметры надежности, технологичности, стоимости и тому подобные, которые не включают в себя другие параметры.

Многие единичные показатели находятся в противоречивой связи, то есть улучшение одного показателя ухудшает другой. Например, возрастание надежности РЭУ влечет за собой повышение ее стоимости. Кроме того, большинство показателей выражаются разными параметрами и значениями этих параметров. Все это затрудняет объективную оценку качества как существующих, так и вновь разрабатываемых РЭУ.

О качестве РЭУ можно судить не только по абсолютным, но и по относительным показателям. Например, вновь разрабатываемое РЭУ сравнивают с существующим прототипом или с образцом, принятым за эталон. При этом используют метод экспертных оценок и показатели выражают в баллах.

Однако такая оценка даже при высокой квалификации экспертов носит субъективный характер и не может быть абсолютной.

Для преодоления указанных трудностей используют комплексные показатели качества.

### 2.3. Комплексные показатели качества РЭУ

Комплексные показатели качества, в отличие от единичных, характеризуют несколько свойств РЭУ и учитывают единичные показатели [1, 2].

Простым примером комплексного показателя является коэффициент готовности  $K_{Г}$ , который вычисляется по формуле

$$K_{Г} = \frac{T_{Н}}{T_{Н} + T_{В}}, \quad (1.1)$$



где  $T_H$  – наработка на отказ (показатель безотказности);

$T_B$  – среднее время восстановления (показатель ремонтпригодности).

Как видно из формулы (1.1), коэффициент готовности характеризует два свойства РЭУ – безотказность и ремонтпригодность.

Другим примером комплексного показателя качества является средневзвешенный показатель  $K_K$ , который вычисляется по формулам, приведенным ниже.

Средневзвешенный арифметический:

$$K_K = \sum_{i=1}^m \alpha_{Hi} K_{Hi}; \quad (1.2)$$

средневзвешенный геометрический:

$$K_K = m \sqrt[m]{\prod_{i=1}^m K_{Hi}^{\alpha_{Hi}}}; \quad (1.3)$$

средневзвешенный гармонический:

$$K_K = \frac{\sum_{i=1}^m \alpha_{Hi}}{\sum_{i=1}^m \frac{\alpha_{Hi}}{K_{Hi}}}, \quad (1.4)$$

где  $\alpha_{Hi}$  – нормированный коэффициент, характеризующий вес (значимость, важность)  $i$ -го единичного показателя;

$K_{Hi}$  – нормированный  $i$ -й единичный показатель;

**m** – количество единичных показателей, принятых во внимание.

Как видно из формул (1.2 – 1.4), средневзвешенный показатель характеризует **m** различных свойств РЭУ.

Комплексный показатель **K<sub>Г</sub>** имеет определенное физическое содержание, а именно вероятность того, что оцениваемое РЭУ окажется работоспособным (готовым к выполнению заданных функций) в любой произвольно выбранный момент времени в промежутках между периодами планового технического обслуживания.

Комплексный средневзвешенный показатель **K<sub>К</sub>** представляет собой условную величину, выражаемую в условных единицах (в баллах, в относительных единицах), и реального физического содержания не имеет.

Деление показателей качества на единичные и комплексные является условным из-за условности деления свойств изделия на простые и сложные. Так, например, свойство ремонтпригодности по отношению к свойству готовности или к еще более сложному свойству надежности, является простым. Однако его простота является не абсолютной, а относительной, так как сам показатель ремонтпригодности **T<sub>В</sub>** в формуле (1.1) вычисляется в свою очередь по формуле

$$T_{В} = T_{О} + T_{у}, \quad (1.5)$$

где **T<sub>О</sub>** – среднее время, затрачиваемое на отыскание отказа;  
**T<sub>у</sub>** – среднее время, необходимое для устранения отказа.

Как видно из формулы (1.5), ремонтпригодность является сложным свойством РЭУ по отношению к таким более простым ее свойствам, как приспособленность к отысканию отказов и приспособленность к их устранению.

Следовательно, показатель **T<sub>В</sub>** относительно **K<sub>Г</sub>** можно рассматривать как единичный, а относительно **T<sub>О</sub>** и **T<sub>у</sub>** – как комплексный.

В инженерной практике в качестве комплексного показателя качества наиболее часто используются выражения (1.2, 1.3).

Весовые коэффициенты (коэффициенты значимости)  $\alpha_i$  зависят от функционального назначения РЭУ и устанавливаются обычно с позиции заказчика (потребителя) с использованием, например, метода экспертных оценок. При определении коэффициентов значимости экспертным методом обычно применяют методы ранжирования, последовательного сравнения, парного сравнения, расстановки приоритетов и балльный метод.

Метод расстановки приоритетов является модифицированным методом парного сравнения и в отличие от других методов не требует условия транзитивности (если **а** лучше **в**, а **в** лучше **с**, то и **а** лучше **с**). Поэтому результат парного сравнения этим методом наиболее точно отражает субъективное предпочтение, так как в этом случае на выбор налагаются минимальные ограничения и эксперту не навязываются априорные условия. Кроме того, при отсутствии требований транзитивности эксперт производит сопоставление параметров (показателей) объектов независимо от результатов других сопоставлений и одна допущенная ошибка не столь значительно влияет на результаты расчета значений приоритетов (коэффициентов значимости). Одним из основных недостатков метода парного сравнения является его малая применимость при увеличении числа сравниваемых объектов из-за непропорционально быстрого роста числа единичных парных сравнений.

Коэффициенты значимости  $\alpha_{Hi}$  для выражений (1.2, 1.3) должны выбираться соответственно таким образом, чтобы обеспечивалось одно из условий:

$$\sum_{i=1}^m \alpha_{Hi} = 1; \quad (1.6)$$

$$\prod_{i=1}^m \alpha_{Hi} = 1. \quad (1.7)$$

То есть коэффициенты значимости  $\alpha_{Hi}$  должны лежать в пределах  $0 < \alpha_{Hi} < 1$ .

Для получения нормированных (безразмерных) значений единичных показателей  $K_{Hi}$  могут использоваться следующие выражения:

$$K_{Hi} = \frac{K_i - K_{кр i}}{K_{opt i} - K_{кр i}}; \quad (1.8)$$

$$K_{Hi} = \frac{K_i}{K_{max i}}; \quad (1.9)$$

$$K_{Hi} = \frac{K_{min i}}{K_i}, \quad (1.10)$$

где  $K_i$  – исходное значение  $i$ -го единичного показателя;  
 $K_{кр i}$  – критическое значение  $i$ -го единичного показателя;  
 $K_{opt i}$  – оптимальное значение  $i$ -го показателя;  
 $K_{max i}$  – максимальное значение  $i$ -го показателя;  
 $K_{min i}$  – минимальное значение  $i$ -го показателя.

Если исходные значения  $K_i$  лежат в пределах  $K_{кр i} < K_i < K_{opt i}$  или  $K_{opt i} < K_i < K_{кр i}$ , то нормированные значения  $K_{Hi}$  будут лежать в пределах  $0 < K_{Hi} < 1$ .

Для определения комплексных показателей качества различных РЭУ (ТСЗИ) в практической работе используются выражения (1.2, 1.3, 1.6, 1.7, 1.8).

## 2.4. Интегральный показатель качества РЭУ

Интегральный показатель качества представляет собой отношение суммарного полезного эффекта от эксплуатации РЭУ к суммарным затратам на ее создание и эксплуатацию [1, 2]:

$$K_{\text{И}} = \frac{Q_{\Sigma}}{Z_{\Sigma}}, \quad (1.11)$$

- где  $Q_{\Sigma}$  – полная целевая отдача РЭУ данного типа за период эксплуатации (суммарный полезный эффект от эксплуатации РЭУ);
- $Z_{\Sigma} = Z_{\text{С}} + Z_{\text{Э}}$  – суммарные затраты (издержки) на достижение полной целевой отдачи;
- $Z_{\text{С}}$  – суммарные затраты на создание РЭУ;
- $Z_{\text{Э}}$  – суммарные затраты на эксплуатацию РЭУ.

Формула (1.11) справедлива для РЭУ, срок службы которого не превышает одного года. В этом случае единовременные и текущие затраты просто суммируются.

Для РЭУ, срок службы которого превышает один год, единовременные затраты  $Z_{\text{С}}$  должны быть приведены к последнему году срока службы РЭУ с использованием нормативного коэффициента, учитывающего самоокупаемость РЭУ.

Важное значение для оценки качества РЭУ имеет распределение полной целевой отдачи и суммарных затрат во времени (рис. 1.2).

Полная целевая отдача  $Q_{\Sigma}$  зависит от многих технических и организационных факторов: форм и методов организации эксплуатации РЭУ, условий его эксплуатации, квалификации обслуживающего персонала и др.

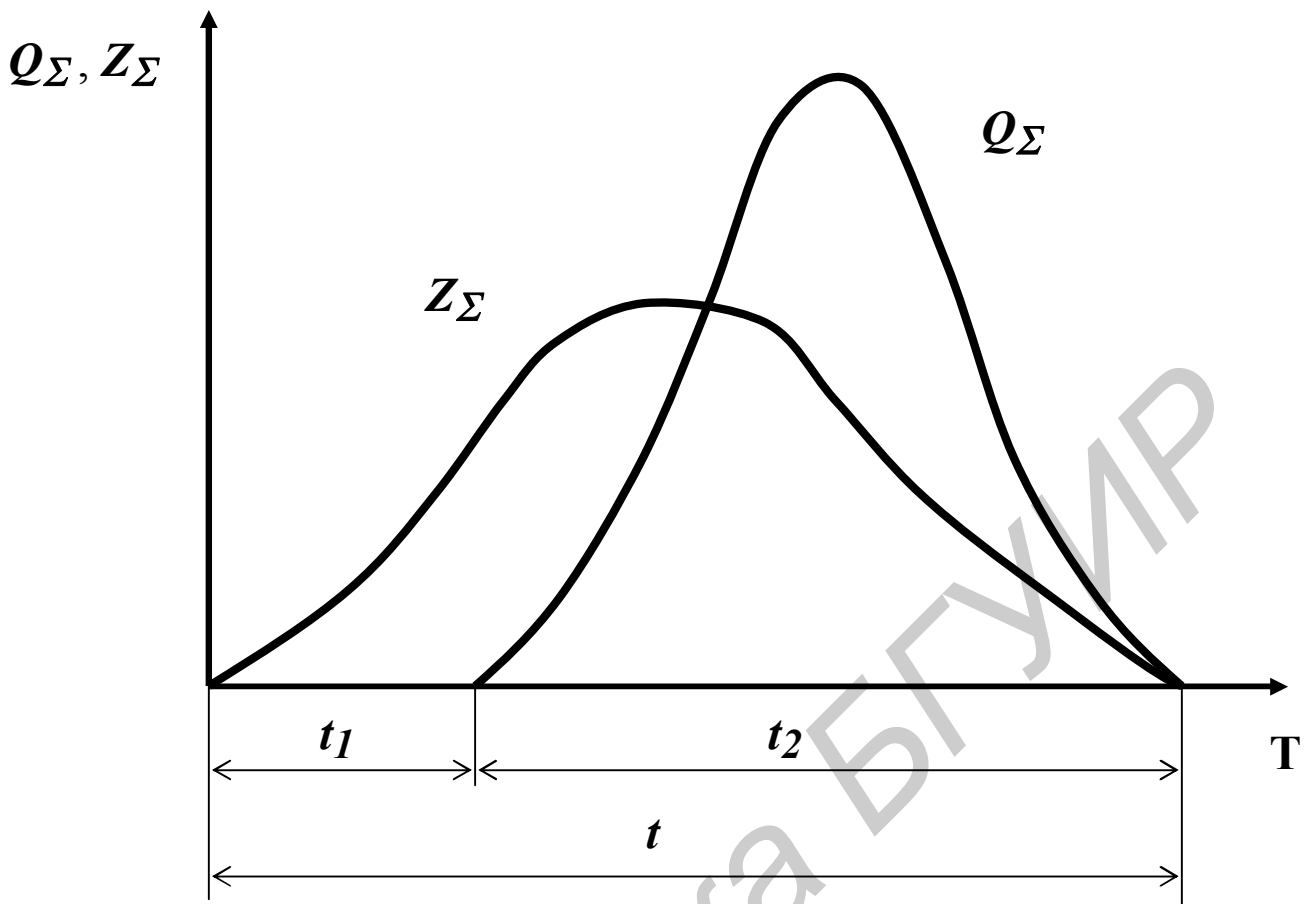


Рис. 1.2. Распределение полной целевой отдачи  $Q_{\Sigma}$  и суммарных затрат  $Z_{\Sigma}$  во времени ( $t_1$  – время проектирования, изготовления и подготовки к использованию РЭУ;  $t_2$  – время достижения полной целевой отдачи;  $t$  – период времени расходования средств)

Суммарные затраты на достижение полной целевой отдачи  $Z_{\Sigma}$  зависят от технического уровня предприятия, форм и методов организации производства, профессиональной подготовки кадров, технологичности конструкции РЭУ и др.

От правильного построения математических моделей (выражений) для величин  $Q_{\Sigma}$  и  $Z_{\Sigma}$  зависит правильность интегральной оценки качества РЭУ. На практике обычно не только сложно получить модели для расчета  $Q_{\Sigma}$  и  $Z_{\Sigma}$ , но иногда неясно, через какие параметры выразить полную целевую отдачу.

В реальных условиях не менее сложно подсчитать и суммарные затраты. Тем не менее общность применения интегрального пока-

зателя к различным видам РЭУ облегчает определение их уровня качества.

Наряду с интегральным показателем качества может использоваться величина, обратная ему и называемая удельными затратами на единицу эффекта.

## 2.5. Методы определения показателей качества РЭУ

Существуют следующие методы определения качества РЭУ [1]:

- измерительный;
- регистрационный;
- расчетный;
- органолептический;
- экспертный;
- социологический.

**Измерительный метод** осуществляется на основе технических средств измерений и базируется на информации, получаемой с использованием этих средств. С помощью измерительного метода определяют значения таких показателей качества РЭУ, как ток потребления, входное сопротивление, сопротивление изоляции, масса (вес) и т.п.

**Регистрационный метод** осуществляется на основе наблюдения и подсчета числа определенных событий, предметов или затрат. Он базируется на информации, получаемой путем регистрации и подсчета числа определенных событий, например, числа отказов РЭУ или его компонентов при проведении испытаний, подсчета числа дефектных изделий в партии и т.п.

**Расчетный метод** осуществляется на основе использования теоретических и (или) эмпирических зависимостей показателей качества продукции от ее параметров. Он применяется в основном на стадии проектирования РЭУ, когда оно не может быть объектом экспериментального исследования. Этим же методом могут быть установлены и зависимости между отдельными показателями качества РЭУ. Расчетный метод используется для определения массы (веса), показателей надежности, потребляемой мощности РЭУ и т.п.

**Органолептический метод** осуществляется на основе анализа восприятий органов чувств человека, которые выдают информацию

о получении соответствующих ощущений. Значения показателей качества находятся путем анализа полученных ощущений на основе имеющегося опыта. Поэтому точность и достоверность полученной информации зависит от квалификации, навыков и способностей лиц, которые ее определяют. Органолептический метод не исключает возможности использования технических средств (лупа, микроскоп, микрофон и т.п.), повышающих восприимчивость и разрешающие способности органов чувств человека. Этот метод широко применяется для определения качества продукции, использование которой обусловлено или связано с эмоциональным воздействием на потребителей (напитки, кондитерские, табачные, парфюмерные изделия). Однако он может использоваться и для определения качества РЭУ, например, такого показателя, как художественное оформление (дизайн РЭУ). Показатели качества, определяемые органолептическим методом, выражаются обычно в баллах (относительных единицах).

**Экспертный метод** осуществляется на основе решения, принимаемого экспертами, которые дают оценку качественным показателям продукции в баллах (относительных единицах). Экспертный метод используется и для определения коэффициентов весомости показателей качества продукции.

**Социологический метод** осуществляется на основе сбора и анализа мнений фактических или возможных потребителей продукции. Сбор таких мнений может осуществляться устным способом (непосредственно или с помощью телефона), с помощью распространения анкет-вопросников, путем проведения конференций, совещаний, выставок и т.п. Социологический метод иногда может применяться и для определения коэффициентов весомости показателей качества продукции.

## **2.6. Методы определения качества РЭУ**

Для определения качества РЭУ на практике широко используются дифференциальный, комплексный, смешанный и статистический методы.

Дифференциальный метод основан на использовании единичных показателей качества РЭУ.



Комплексный метод основан на использовании комплексных показателей качества РЭУ.

Смешанный метод основан на одновременном использовании единичных и комплексных показателей качества РЭУ.

Статистический метод основан на правилах математической статистики.

При решении практических задач по определению качества РЭУ обычно прибегают к сочетанию рассмотренных методов.

## 2.7. Применение экспертных методов для определения качества РЭУ

Экспертные методы (методы экспертных оценок) используются в тех случаях, когда единичные показатели не могут быть явно выражены количественными мерами, например, художественное оформление (дизайн) или удобство в техническом обслуживании. Для учета подобных единичных показателей используются методы экспертных оценок. В этих методах единичному показателю дает независимую оценку (например в баллах) группа специалистов-экспертов. Результирующую окончательную оценку обычно получают путем усреднения. В простейшем случае подсчитывают среднее арифметическое значение по формуле

$$k = \frac{\sum_{j=1}^n k_j}{n}, \quad (1.12)$$

где  $k_j$  – численное значение оценки, сделанное  $j$ -м экспертом;

$n$  – число экспертов, участвующих в процедуре экспертной оценки единичного показателя качества.

Лучшие результаты дает усреднение с учетом весовых коэффициентов, учитывающих значимость мнения (опыт, квалификацию, авторитет и т.п.)  $j$ -го эксперта. В этом случае используют формулу

$$k = \frac{\sum_{j=1}^n \alpha_j k_j}{\sum_{j=1}^n \alpha_j}, \quad (1.13)$$

где  $\alpha_j$  – весовой коэффициент  $j$ -го эксперта.

При использовании метода экспертных оценок для определения качества РЭУ важным этапом является правильный выбор экспертов. Принципы отбора потенциальных экспертов основываются на анализе следующих характеристик:

- стаж работы в той области исследований, к которой принадлежит оцениваемое РЭУ;
- научная степень и звание;
- количество публикаций в соответствующей области;
- наличие изобретений в соответствующей области и т.д.

При формировании экспертной группы отбор экспертов проводится на основе качественной и количественной оценки.

При качественной оценке анализируется степень соответствия экспертов предлагаемым требованиям (компетентность, уверенность, объективность, деловитость, заинтересованность).

При количественной оценке проводится количественная оценка качества экспертов. Наиболее важным свойством, характеризующим качество эксперта, является свойство «компетентность». Поэтому при количественной оценке чаще всего учитывается только это свойство. Количественная оценка может определяться на основе упрощенной комбинированной оценки, зависящей от самооценки и взаимооценки, по формуле

$$K_{\text{Э}} = 0,4K_{\text{С}} + 0,6K_{\text{В}}, \quad (1.14)$$

где  $K_{\text{С}}$  – самооценка компетентности;

$K_{\text{В}}$  – взаимная оценка компетентности экспертной группы.

Оценивая величину  $K_C$ , эксперт оценивает свою информированность и степень знакомства с различными аспектами оцениваемой РЭУ. Значение самооценки  $K_C$  определяется по формуле

$$K_C = \sum_{i=1}^P \beta_i K_{Ci}, \quad (1.15)$$

где  $\beta_i$  – весомость (значимость) показателей информированности и степени знакомства;

$K_{Ci}$  – значение самооценки по информированности и степени знакомства с  $i$ -м показателем;

$P$  – число показателей, по которым проводится расчет самооценки.

Значения  $\beta_i$  и  $K_{Ci}$  определяются таким образом, чтобы

$$\sum_{i=1}^P \beta_i = 1, \text{ а } 0 \leq K_{Ci} \leq 10. \text{ Отсюда } 0 \leq K_C \leq 10.$$

Взаимооценку  $K_B$  члены экспертной группы дают друг другу по профессиональной компетентности, например, по пятибалльной системе. Значение оценки компетентности каждого эксперта определяется как среднее из значений оценок, назначенных всеми остальными экспертами. Взаимооценка менее субъективна, чем самооценка, но имеет специфический недостаток, состоящий в том, что члены экспертной группы могут слабо знать друг друга.

В результате проведенного отбора на основе качественной и количественной оценки в состав экспертной группы включается необходимое количество наиболее квалифицированных экспертов.

### 3. Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Провести самопроверку теоретических знаний, ответив на поставленные вопросы.
3. Получить вариант задания и ознакомиться с параметрами ТСЗИ, используемыми для определения его качества.
4. Заполнить таблицу недостающими исходными данными (значениями коэффициента значимости) с соответствующим устным или письменным обоснованием принятых значений.
5. Привести к одной величине значения единичных показателей, выраженных несколькими величинами (габаритные размеры, диапазон частот и т.п.).
6. Скорректировать значения единичных показателей, отмеченные звездочками, с соответствующим устным или письменным обоснованием принятых значений.
7. Провести нормировку коэффициентов значимости, используя выражения (1.6, 1.7).
8. Провести нормировку единичных показателей, используя выражение (1.8).
9. Провести расчет комплексных показателей качества для предложенных вариантов ТСЗИ, используя выражения (1.2, 1.3).
10. Определить по полученным значениям комплексных показателей вариант ТСЗИ, имеющий наивысший уровень качества.
11. Оформить отчет и защитить работу. Если студент индивидуально выполнил указанный ему вариант, то необходимость в представлении письменного отчета и защите работы отпадает.

### 4. Описание программы для ЭВМ

Программа позволяет проверять теоретические знания студентов, выдавать варианты заданий индивидуально для каждого студента или группы студентов, проверять правильность корректировки исходных данных, правильность текущих расчётов и окончательного результата. Имя программы **LEVEL**.

## Литература

- 1.ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия, термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 26 с.
- 2.Боровиков С.М. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности. – Мн.: Дизайн ПРО, 1988. – 336 с.

Библиотека БГУИР

# Практическая работа № 2

## Исследование разборчивости речи методом артикуляционных измерений при защите речевой информации различными видами маскирующих сигналов

### 1. Цель работы

Изучение метода определения разборчивости речи с помощью артикуляционных измерений и практическое использование его для исследования защиты речевой информации маскирующими сигналами различных видов.

### 2. Теоретические сведения

#### 2.1. Параметры и характеристики звукового поля

##### 2.1.1. Звуковые волны

Звуковой волной называется процесс распространения деформаций сжатия или растяжения в сплошной среде, происходящий с конечной скоростью [1, 2].

Звуковая волна может возникать и распространяться только в такой среде, которая обладает определенной *упругостью* (сжимаемостью) и *инерционностью* (плотностью). Сплошная среда, обладающая только этими двумя физическими свойствами, называется *идеальной*. В отличие от нее *реальная среда* характеризуется еще и *диссипативными свойствами*, приводящими к потере энергии волнового движения.

**Звуковой луч** – это направление распространения звуковых волн, а поверхность, включающая смежные точки звукового поля с одинаковыми фазами колебания, называется *фронтом волны*.

**Звуковое поле** – это пространство, в котором происходит распространение звуковых колебаний. Звуковые колебания среды обычно возбуждаются за счет колебаний различных механических

устройств или голоса. Звуковые колебания в жидкой и газообразной среде (воздухе) представляют собой продольные колебания, так как частицы среды колеблются вдоль линии распространения звука. Вследствие этого образуются сгущения и разрежения среды, движущейся от источника колебаний с определенной скоростью, называемой *скоростью звука*.

### 2.1.2. Скорость звука

Скорость звука является постоянной величиной для данной среды и метеорологических условий и определяется по формуле

$$c = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P_{ст}}{\rho}}, \quad (2.1)$$

где  $\gamma$  – показатель адиабаты для воздуха (отношение удельных теплоемкостей воздуха при постоянном давлении и постоянном объеме,  $\gamma=1,41$ );

$P_{ст}$  – статическое давление среды ( $P_{ст}=101325$  Па при давлении 760 мм рт.ст.);

$\rho$  – плотность среды (для воздуха при  $20^\circ\text{C}$  и нормальном давлении  $\rho =1,22$  кг/м<sup>3</sup>).

Скорость звука в воздухе при нормальных условиях равна 330 м/с. Для сравнения: скорость звука в воде равна 1500 м/с, а в стали – 6000 м/с. Связь между скоростью звука, длиной волны и частотой (периодом) колебаний определяется соотношением

$$c = \lambda \cdot f = \frac{\lambda}{T}, \quad (2.2)$$

где  $\lambda$  – длина волны;

$f$  – частота колебаний;

$T$  – период колебаний.

Следует отметить, что данное соотношение справедливо для *плоской* и *сферической* формы фронта звуковой волны.

### 2.1.3. Звуковое давление и интенсивность звука

**Звуковое давление.** Если считать, что давление среды в отсутствие звуковых колебаний равно  $P_{ст}$  (статическое давление), то при распространении звуковой волны в любой точке звукового поля полное давление будет изменяться, увеличиваясь при прохождении сжатий и уменьшаясь при следовании разрежений. Разность между мгновенным значением полного давления  $P_M$  и статическим давлением среды  $P_{ст}$  называется *звуковым давлением*:  
$$p = P_M - P_{ст}.$$

Звуковое давление является знакопеременной величиной и определяется как сила, действующая на единицу площади. Звуковое давление измеряется в паскалях ( $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$ ).

**Интенсивность звука.** Интенсивностью звука называется количество звуковой энергии, проходящей в единицу времени через единицу площади, перпендикулярной к направлению распространения звуковой волны. Интенсивность звука измеряется в ваттах на метр квадратный и связана с действующим значением звукового давления соотношением

$$I = \frac{p^2}{\rho c}, \quad (2.3)$$

где  $\rho c$  - удельное акустическое сопротивление среды (для воздуха при нормальных атмосферных условиях  $\rho c = 412 \text{ кг/м}^2\text{с}$ ).

Среднее количество звуковой энергии, приходящейся на единицу объема, называется *плотностью энергии* и измеряется в джоулях на метр кубический.

**Уровни интенсивности звука и звукового давления.** Вследствие логарифмического закона восприятия звуковых колебаний (частот) слуховым анализатором (ухом) человека и широкого диа-



пазона интенсивностей слышимых звуков для объективной оценки введено понятие уровня интенсивности:

$$L_I = 10 \lg(I/I_0), \quad (2.4)$$

где  $I$  – интенсивность исходного звука;

$I_0$  – нулевой (пороговый) уровень интенсивности звука  
( $I_0 = 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>).

В соответствии с квадратичной зависимостью между интенсивностью звука и звуковым давлением (2.3) уровень *звукового давления* определяется как

$$L_p = 20 \lg(p/p_0), \quad (2.5)$$

где  $p$  – звуковое давление исходного звука;

$p_0$  – нулевой (пороговый) уровень звукового давления  
( $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па).

За пороговый уровень интенсивности звука (звукового давления) принимается уровень звука на частоте 100 Гц, который воспринимается человеком с вероятностью 0,5. Уровни интенсивности звука и звукового давления являются относительными величинами и измеряются в децибелах.

Вычисление уровня интенсивности или звукового давления сложного звука следует производить, суммируя интенсивности (давления) компонент:

$$L_{IY} = 10 \lg \left( \sum_{i=1}^n I_k / I_0 \right); \quad (2.6)$$

$$L_{pY} = 20 \lg \left( \sum_{i=1}^n p_i / p_0 \right).$$

Если известны уровни звуковых давлений в децибелах нескольких источников звука, то определение общего уровня осуществляется путем внесения соответствующей поправки, определяемой или путем вычисления, или на основе номограммы. Так, например, если  $L_{p1}=85$  дБ,  $L_{p2}=82$  дБ, то вначале определяется разность  $L_{p1} - L_{p2} = 3$  дБ, а затем по номограмме с учетом этой разности определяется соответствующая поправка, которая составляет 1,7 дБ. Тогда общий уровень  $L_{p\Sigma} = 85+1,7=86,7$  дБ.

## 2.2. Характеристики и свойства слухового анализатора человека

Слуховой анализатор человека состоит из уха, слухового нерва, сложной системы нервных связей и центров мозга. В аппарат, обозначенный термином «ухо», входит наружное (звукоулавливающий аппарат), среднее (звукотрансмитирующий аппарат) и внутреннее (звукоспринимающий аппарат) ухо. Наружное ухо воспринимает определенные частоты звуков благодаря функциональной способности волокон его мембраны к резонансу. Физиологическое значение наружного и среднего уха заключается в проведении и усилении звуков.

Слуховой анализатор человека улавливает форму волны, частотный спектр чистых тонов и шумов, осуществляет анализ и синтез в определенных пределах частотных компонент звуковых раздражений, обнаруживает и опознает звуки в большом диапазоне интенсивностей и частот. Слуховой анализатор позволяет дифференцировать звуковые раздражения и определять направление звука, а также удаленность его от источника.

Слуховой анализатор человека воспринимает как слышимый звук колебания в диапазоне 20 Гц...20 кГц, что соответствует диапазону длин волн в воздухе 17 м...17 мм. Ухо наиболее чувствительно к колебаниям в области средних частот 1...4 кГц. Звуки частот ниже 20 Гц называются *инфразвуками*, а выше 20 кГц – *ультразвуками*. Инфразвуки и ультразвуки могут также оказывать воздействие на организм, но оно не сопровождается слуховым ощущением. Минимальное звуковое давление, обнаруживаемое нормальным слухом, составляет 20 мкПа, или  $2 \cdot 10^{-5}$  Па, что соответствует уровню звукового давления 0 дБ. Максимальный уровень звукового давления, воспринимаемого ухом, составляет 120 дБ,

или в  $10^6$  раз больше, чем минимальное давление. Вот почему удобно использовать логарифмическую шкалу звуковых колебаний, которая позволяет сжать диапазон  $1 \dots 10^6$  до диапазона шириной  $0 \dots 120$  дБ.

Для справки можно привести уровни звуковых давлений в децибелах хорошо известных человеку звуков.

Звуки природы (лес, птицы).....	10...20
Библиотека.....	30...40
Офис.....	60...70
Речь человека.....	65...75
Легковой автомобиль.....	80...90
Грузовой автомобиль.....	90...95
Пневматический инструмент.....	100...105
Реактивный самолет (взлёт).....	120...125

К преимуществам логарифмической шкалы относится также то, что она более точно, чем линейная шкала, соответствует субъективному восприятию относительной громкости звука. Это обуславливается тем, что слух реагирует на процентные изменения интенсивности (давления) звука и, следовательно, на изменения его уровня. Уровень в 1 дБ является наименьшим обнаруживаемым слухом изменением уровня звука, отображающим идентичное относительное изменение в любой точке логарифмической шкалы.

Субъективное ощущение интенсивности звука (звукового давления) называется *громкостью* и измеряется в фонах (Ф). Уровень громкости звука в фонах численно равен интенсивности звука в децибелах для чистого тона частотой 1 кГц, воспринимаемого как равногромкий с данным звуком. Факторы, определяющие субъективную громкость звука, очень сложны. Одним из таких факторов является частотная зависимость чувствительности человеческого слуха, которая имеет максимальное значение в области средних частот и минимальное значение в области низких и высоких частот. Поэтому, чтобы обеспечить постоянную громкость звука, частота которого меняется, необходимо соответственно изменить его интенсивность или уровень звукового давления. Для этого используются графики кривых равной громкости в зависимости от уровня звукового давления и частоты. Так, например, звук с уровнем звукового давления 85 дБ и частотой 50 Гц оценивается как равный по громкости звуку с уровнем звукового давления 70 дБ и частотой

1 кГц. Таким образом, в данном случае повышение частоты компенсируется снижением уровня звукового давления.

Оценка громкости и высоты тона (частоты) очень коротких звуков затруднена. При длительности синусоидального тона 2...3 мс человек лишь отмечает его наличие как «щелчок», но не может определить его качеств. С увеличением длительности звука слуховое ощущение улучшается и человек начинает различать громкость и высоту тона. Минимальное время, необходимое для отчетливого ощущения уровня громкости и высоты тона, составляет примерно 50 мс.

Акустический анализатор позволяет определять расстояние до источника звука и направление на него. Важную роль в оценке изменения расстояния до источника звука играет различие изменений громкости. Звук, громкость которого увеличивается, воспринимается как приближающийся, и наоборот. Другим фактором оценки расстояний на слух является звуковысотное (звучастотное) различие. При приближении источника звука к человеку частота звуковых колебаний увеличивается, а при его удалении – уменьшается (эффект Доплера). Это отражается в слуховых ощущениях в форме изменения высоты звука. Значительное влияние на оценку расстояния оказывает тембр. Тембрированный звук, имеющий более сложную форму звуковой волны, оценивается как более удаленный, а менее тембрированный – как более близкий.

Точность определения направления зависит от положения источника звука относительно человека и от частоты звука. Наиболее точно определяется направление в горизонтальной плоскости. При этом на первом месте по точности оказывается правое направление, а затем левое. Достаточно хорошо определяется переднее направление. Но с ним часто смешивается верхнее и заднее. Точность оценки верхнего и заднего направления в два с лишним раза меньше по сравнению с левым и правым.

Для низких частот звука (до 800 Гц) точность определения направления в горизонтальной плоскости составляет около  $10^{\circ}$ . С увеличением частоты она уменьшается, достигая  $20^{\circ}$  в районе 3 кГц, а затем вновь увеличивается до  $13^{\circ}$  в районе 10 кГц.

Главную роль в восприятии направлений звука играет взаимодействие сторон акустического анализатора человека. Благодаря чему возникает бинауральный эффект, который определяется разностью времен прихода звуковой волны к правому и левому уху и

отношением амплитуд звуковой волны, поступающих на правое и левое ухо [1-4].

## 2.3. Восприятие речевых сигналов и их характеристики

### 2.3.1. Восприятие речи

Одним из наиболее эффективных исторически сложившихся средств передачи информации человеку является речь. Человеческая речь представляет собой шумоподобный акустический сигнал с амплитудной и частотной модуляцией.

Речь состоит из звуков, слогов, фраз и т.д. Наименьшим элементом речи является звук, который, как правило, в изолированном виде не существует, за исключением нескольких союзов и междометий. Точного определения понятия звука не существует. Так, в зависимости от произношения (почерка) звук может иметь много оттенков, причем из-за индивидуальности произношения на слух он может не отличаться от другого звука.

Типизированные звуки речи в технике передачи речи называются *фонемами*. В русском языке насчитывается свыше 40 фонем. Таким образом, фонем несколько больше, чем букв, так как многие из согласных букв соответствуют двум звукам – твердому и мягкому. В то же время почти половина гласных букв представляет из себя двойной звук (й+гласный). Каждая из фонем имеет свои характерные признаки, легко различимые на слух. Однако даже при самом точном произношении ее в связной речи, вследствие влияния соседних звуков, она может приобретать те или иные оттенки. Речевой звук является сложным. Он включает ряд обертонов (гармоник), находящихся в гармоническом отношении к основному тону. Важным условием восприятия речи является различение длительности произнесения отдельных звуков и их комбинаций. Среднее время длительности произнесения гласных равно примерно 0,35 с, а согласных – 0,02...0,3 с. При восприятии потока речи особенно важно различение интервалов между словами или группами слов. Исключение пауз или их неверная расстановка может привести к искажению смысла воспринимаемой речи. Восприятие и понимание речевых сообщений (аудирование) в значительной мере зависит от темпа их передачи. Оптимальным считается темп 120 слов/мин.

При восприятии отдельных слогов и слов существенное влияние оказывают фонетические закономерности. При восприятии словосочетаний в действие вступают синтаксические закономерности, а фонетические отступают на второй план. При переходе к фразам слушатель начинает ориентироваться уже не на отдельные элементы предложения, а на весь их сложный грамматический каркас.

Таким образом, *аудирование* представляет собой многоуровневый процесс, сочетающий фонетический (звуковой), синтаксический (словосочетательный) и семантический (смысловой) уровни. При этом вышележащие уровни играют ведущую роль, определяя ход всего процесса аудирования, что необходимо иметь в виду при организации речевых сообщений [1-4].

### 2.3.2. Характеристики речевого сигнала

**Звуковое давление речи** – это сила, с которой звуковая волна, вызываемая звуками речи, давит на единицу площади поверхности, расположенной перпендикулярно к губам говорящего на расстоянии 1 м от него. Уровни звукового давления речи лежат в диапазоне 0...65 дБ (негромкая речь) и 0...80 дБ (громкая речь, усиленная техническими средствами). С увеличением расстояния от говорящего уровень звукового давления речи падает. Так, например, увеличение расстояния в 2 раза приводит к уменьшению уровня на 6 дБ, в 4 раза – на 12 дБ, в 8 раз – на 18 дБ и т.д.

**Частота основного тона.** Формирование значительной части звуков речи происходит с участием голоса. Голосообразование, или фонация, связано с работой голосовых связок, колебания которых вызывают периодические изменения площади голосовой щели. Так как голосовые связки обладают определенной инерцией, обусловленной их массой, то для их размыкания и смыкания требуется определенное время. Отрезок времени, необходимый для полного цикла колебаний голосовых связок, называется *периодом колебаний*. Он определяет так называемую *частоту основного тона* голоса речи, которая в свою очередь обуславливает *высоту голоса*. Эта частота для всех голосов лежит в пределах 70...450 Гц. При произнесении речи она непрерывно меняется в соответствии с ударением, подчеркиванием звуков и слов, а также при проявлении эмоций. Изменение частоты основного тона называют интонацией. У каж-

дого человека свой диапазон изменения частоты основного тона и своя интонация. Основной тон, интонация, устный «почерк» и тембр (окраска) голоса могут служить для опознания человека. Частота основного тона определяет *спектральный состав* (гармоники) голоса конкретного человека.

**Спектральная плотность.** Речевой сигнал представляет собой шумоподобный сигнал. Он состоит из звуковых волн различных частот с различными интенсивностями, которые представляют собой *спектр сигнала*. *Спектральной плотностью* интенсивности речевого сигнала называется отношение средней интенсивности сигнала в заданной полосе частот  $\Delta I_{cp}$  к ширине этой полосы  $\Delta f$ :  $W = \Delta I_{cp} / \Delta f$ . Спектральная плотность измеряется в ваттах на метр квадратный на герц и численно равна интенсивности шума в полосе частот шириной 1 Гц.

«**Белый шум**» представляет собой случайный процесс, спектр которого равномерен по интенсивности шума в полосе частот от нуля до бесконечности, то есть спектральная плотность которого не зависит от частоты (в заданной полосе частот). Практически достаточно, чтобы это требование выдерживалось в полосе слышимых частот, если такой шум используется для исследований в данной области частот.

«**Розовый шум**» представляет собой случайный процесс, огибающая спектра которого спадает в сторону высоких частот со скоростью 3 дБ на октаву. Спектральный состав такого шума наиболее близок к спектральному составу речевого сигнала.

**Высота звука (голоса)** – это субъективная оценка восприятия звука по частотному диапазону. За объективную единицу высоты звука, приближенно отражающей субъективное восприятие, принята *октава*, которая характеризуется двукратным отношением частот – 1, 2, 4, 8, 16 и т.д. На практике октава может делиться на *полуоктавы* и *третьоктавы*. Если октавные частоты расположить на равных расстояниях по оси частот, то получится логарифмический масштаб, который соответствует субъективному восприятию звуков по частоте слуховым анализатором.

**Динамический диапазон.** В процессе произношения любого речевого сообщения уровень акустического сигнала непрерывно изменяется. Зависимость уровня сигнала от времени называется *уровнеграммой*. *Динамический диапазон* определяется как разность

между максимальным и минимальным уровнем сигнала:  $D = L_{\max} - L_{\min}$ . Динамический диапазон речи человека составляет 25...35 дБ, а телефонных разговоров – 35...45 дБ.

**Пик-фактор** определяется как разность между максимальным и средним уровнем сигнала:  $\Pi = L_{\max} - L_{\text{ср}}$ .

**Форманты** – это области концентрации энергии в речевом частотном диапазоне, получающиеся при произнесении каких-либо звуков речи. Обычно форманты полностью заполняют весь частотный диапазон речи от 125 до 8000 Гц. Но в зависимости от частоты повторения звука речи частота встречаемости формант в определенной полосе частот различна. Каждая из формант дает свою часть информации о звуке речи, и эти части независимы друг от друга. Это дает возможность арифметически суммировать вероятности появления формант. Спектр гласных определяется двумя-тремя формантами. Первая имеет диапазон 300...1000 Гц, вторая – 900...2300 Гц, третья – 2200...2500 Гц. Спектр согласных чаще всего имеет один достаточно расплывчатый минимум.

**Слитность звучания.** Слуховое ощущение звука исчезает не сразу, а постепенно, плавно уменьшаясь до нуля. Длительность задержки слухового ощущения характеризуется постоянной времени слуха, которая в среднем равна 150...200 мс. Вследствие этого свойства наблюдается интегрирование кратковременных звуковых импульсов в слитное восприятие звуков, запаздывающих друг относительно друга. Для слитного восприятия двух звуков необходимо, чтобы последующий звук запаздывал относительно предыдущего на промежуток времени не более 50 мс. Но и при большем запаздывании слитность звучания может не нарушаться, если последующий звук имеет уровень значительно ниже первого. Приблизительно считается, что интенсивность звуков, запаздывающих на 60 мс и менее, полностью суммируется с интенсивностью основного звука, а звуки, запаздывающие более чем на 60 мс, полностью являются помехой. При больших интервалах запаздывания ощущение от первого звука уже становится малым и не маскирует второй. Поэтому оба звука воспринимаются отдельно.

**Прямое и диффузное звучание.** При распространении звуков речи в помещении звук, выходя из источника, распространяется прямолинейно до тех пор, пока не достигнет поверхности, от которой он отражается. Звук, распространяющийся прямолинейно до



момента своего отражения, называется *прямым звуком*, а звуковое поле – *свободным звуковым полем*. В то же время звук, многократно отражающийся от поверхностей, создает в каждой точке звукового поля помещения звуковую энергию, одинаковую во всех направлениях. Такое звуковое поле и звуки в нем называются *диффузными*.

**Индекс направленности слуха.** При перпендикулярном падении звуковой волны на ухо имеет место отражение волны и ее дифракция. Соотношение между интенсивностями отраженной и дифрагирующей волн зависит от отношения длины звуковой волны и размера головы. Так как волна отражается от головы, то звуковое давление у уха повышается. Это повышение может составлять 1...6 дБ в зависимости от частоты. В случае падения звуковой волны спереди явление отражения почти не сказывается. При падении звуковой волны под различными углами, как это свойственно диффузному полю, на низких частотах звуковое давление возле ушей примерно равно звуковому давлению диффузного поля, а на высоких частотах это давление удваивается. Величина повышения звукового давления у уха слушателя, выраженная в децибелах, по сравнению с диффузным звуком в помещении называется индексом направленности слуха [1, 2].

### 2.3.3. Эффект маскировки речевых сигналов

**Маскировкой речевого сигнала** называется явление, выражающееся в том, что восприятие звуков, несущих определенную информацию, ухудшается при одновременном звучании других мешающих звуков. В результате возникает потеря части или даже всей информации. Использование этого явления и лежит в основе одного из методов защиты речевой информации. Маскировка может быть нескольких видов: одновременная (помехой, действующей одновременно с сигналом), последовательная или остаточная (помехой, предшествующей сигналу), обратная (помехой, следующей после сигнала).

Количественно маскировка оценивается путем определения порога слышимости синусоидальных звуков в присутствии мешающего звука. Если изменять частоту испытательного тона и определять на каждой частоте уровень интенсивности, при которой он на-

чинает прослушиваться наряду с мешающим звуком, то можно получить *кривую порога слышимости* при наличии маскировки.

*Эффект маскировки* определяется разностью порогов слышимости (для чистого тона заданной частоты) в шумах и в тишине:

$$M = b_{\text{ш}} - b_{\text{т}}, \quad (2.7)$$

где  $b_{\text{ш}} = 10 \cdot \lg(I_{\text{ш}} / I_0)$  – уровень порога слышимости в шумах;

$b_{\text{т}} = 10 \cdot \lg(I_{\text{т}} / I_0)$  – уровень порога слышимости в тишине;

$I_{\text{ш}}$  – интенсивность шума;

$I_{\text{т}}$  – интенсивность звука в тишине (без шума);

$I_0$  – нулевой уровень ( $2 \cdot 10^{-5}$  Па).

Эффект маскировки зависит от ряда факторов. В первую очередь он определяется уровнем маскирующего звука. Существенное влияние имеет и форма огибающей спектра шумов: низкочастотные составляющие шумов маскируют звуки высокой частоты лучше, чем высокочастотные составляющие шумов – звуки низкой частоты. Наиболее распространенным видом помехи является «белый шум». Его маскирующее действие в основном определяется относительно узкой полосой частот, лежащих вблизи маскируемого тона. Когда общая энергия, приходящаяся на критический участок «белого шума», равна энергии тона, происходит полное подавление полезного сигнала.

В случае дискретных шумовых спектров эффект маскировки получается наибольшим для звуков, частотные составляющие которых располагаются вблизи частот маскирующих составляющих. На этом основаны методы зашумления речи с помощью маскирующих сигналов. При тональной помехе маскирующее действие выражается тем больше, чем ближе ее частота к частоте сигнала.

Специфическим видом маскировки является речевая смесь (речевой хор, речевой коктейль), при которой на речевой сигнал накладывается несколько других речевых сигналов (разговор двух или нескольких человек одновременно).

Чтобы речевые звуки были понятными, их интенсивность должна превышать интенсивность шумов в общем случае примерно на 6 дБ. Однако обнаружить звуки можно даже в том случае, когда интенсивность речи меньше интенсивности шума (примерно также на 6 дБ).

Понимание слов на фоне «белого шума» зависит от ряда факторов. Многосложные слова понимаются лучше, чем односложные. Это объясняется тем, что более длинное слово обладает большим числом опознавательных признаков, чем короткое. Слова, начинающиеся с гласного звука, понимаются лучше, чем начинающиеся с согласного. Определенное влияние на понимание оказывает место ударного слога. Слово понимается значительно лучше, если ударение находится в конце него. Длина фразы не влияет на понимание до уровня примерно в 11 слов, после чего понимание ухудшается. С увеличением глубины фразы понимание ухудшается, даже если длина фразы остается неизменной. При этом критической величиной является глубина фразы в 5...9 слов. Понимание в условиях «речевого коктейля» обусловлено также рядом факторов. Ухо способно различать нужный голос среди двух-трех абонентов. Из двух одновременных сообщений точнее воспринимается поступившее на 0,2...0,4 с раньше. Дифференцирование сообщений возможно разделением по смыслу, по индивидуальным голосовым характеристикам, по направлению звука на правое и левое ухо, использованием дополнительных визуальных индикаторов [1, 3, 4].

#### **2.3.4. Основы теории разборчивости речи**

Разборчивость речи при защите речевой информации должна рассматриваться в двух аспектах. С одной стороны, при озвучивании какого-либо сообщения, предназначенного для определенных слушателей, необходимо стремиться к тому, чтобы оно было услышано и точно понято. В этом случае разборчивость речи должна быть максимальной. С другой стороны, для обеспечения защиты речевой информации от возможного перехвата необходимо сделать речевой сигнал минимально разборчивым. При этом уменьшение разборчивости необходимо обеспечивать в местах возможной установки прослушивающих устройств, куда будет падать звуковая волна речевого сигнала. При этом необходимо иметь в виду, что приемником речевого сигнала является слух человека, имеющий характеристики, которые отличаются от характеристик обычно используемых приемников сигналов.

При анализе условий передачи речи необходимо учитывать разницу в проведении ее оценки. В одних случаях речь оценивают только с точки зрения ее понятности, а в других – с точки зрения и

разборчивости и качества звучания, поскольку кроме понятности речи необходима и узнаваемость голоса.

*Разборчивостью речи* называется относительное или процентное количество принятых специально подготовленными слушателями элементов речи из общего количества переданных по тракту. В качестве элементов речи принимают слоги, звуки, слова, фразы (команды) и цифры. Соответственно этому различают слоговую, звуковую, смысловую и цифровую разборчивость. В соответствии с измеренной разборчивостью устанавливаются классы качества разборчивости речи и нормы разборчивости звуков и односложных слов. В частности, для радио- и телефонной аппаратуры установлены пять классов качества по нормам разборчивости [5]. Классы качества и их характеристики приведены в таблице.

Классы качества и нормы разборчивости речи  
(в соответствии с ГОСТ Р50840-95)

Класс качества	Характеристика класса качества	Норма слоговой разборчивости речи, %
Высший	Понимание передаваемой речи без малейшего напряжения внимания	Более 93
I	Понимание передаваемой речи без затруднений	86...93
II	Понимание передаваемой речи с напряжением внимания без переспросов и повторений	76...85
III	Понимание передаваемой речи с некоторым напряжением внимания, с редкими переспросами и повторениями	61...75
IV	Понимание передаваемой речи с большим напряжением, частыми переспросами и повторениями	45...60

Таким образом, для надежной защиты речевой информации в местах возможного ее перехвата необходимо обеспечивать разборчивость слов менее 60%.

### 2.3.5. Основные методы измерения разборчивости речи

Для измерения разборчивости речи используются следующие методы:

- метод артикуляционных измерений;
- расчетный метод остаточной разборчивости речи по формантной разборчивости;
- метод спектрального анализа речевого сигнала.

**Метод артикуляционных измерений** заключается в том, что слушатели воспринимают на слух определенное число односложных слов, фиксируют их, после чего проводится сравнение полученного результата с исходным текстом и определяется процент правильно принятых слов [1, 2, 5, 6].

**Расчетный метод остаточной разборчивости речи** по формантной разборчивости основан на том, что формантная разборчивость имеет однозначную связь со словесной разборчивостью для каждого конкретного языка. Поэтому, оценивая с помощью соответствующего расчета или измерения уровня ощущения формант, можно достаточно точно определить разборчивость речи в конкретных условиях ее произношения [1, 6].

**Метод спектрального анализа речевого сигнала** основан на том, что разборчивость формант определяется законами распределения вероятности формант по частотному и динамическому диапазону речи. Поэтому величина формантной разборчивости в практических условиях с достаточной степенью точности может быть определена произведением ширины частотного диапазона (в герцах) и средней величины эффективного динамического диапазона речи (в децибелах). После чего по формуле связи между словесной и формантной разборчивостями или по соответствующей таблице определяется словесная разборчивость.

Метод артикуляционных измерений является наиболее простым и не требует большого объема измерений и вычислений. Поэтому для определения разборчивости речи при исследовании защиты речевой информации с помощью маскирующих сигналов в данной практической работе используется указанный метод. Рассмотрим его более подробно.

### 2.3.6. Метод артикуляционных измерений

Для реализации этого метода необходимо наличие группы слушателей в составе не менее трех человек, трех и более дикторов, звукозаписывающей аппаратуры, источников маскирующих сигналов и шумомера для измерения уровней речи и шума. Слушатели принимают на слух некоторое число таблиц. Такие таблицы состоят из 50 односложных слов, например, «год», «док», «ток», «куб», «миг», «час» и т.п. Примеры таблиц приведены в [5, 6].

Перед проведением контрольных измерений слушатели должны провести пробный прием нескольких таблиц слов с целью адаптации и освоения метода измерений. Методика разборчивости слов заключается в следующем [5, 6].

Воспроизводятся записанные предварительно на магнитный или другой носитель таблицы слов с соответствующим видом и уровнем маскирующих сигналов. Слова должны произноситься со скоростью 1 таблица за 3 минуты ровным голосом без подчеркивания начальных и конечных согласных. В одном измерении не допускается повторное чтение одной и той же таблицы. Воспроизведение слов таблиц следует проводить при среднем уровне звукового давления 70 дБ, измеренного на расстоянии, на котором находятся слушатели от акустической системы. Уровни звукового давления маскирующих сигналов должны измеряться на том же расстоянии и меняться ступенчато через 3 дБ в диапазоне 60...80 дБ. При необходимости этот диапазон может быть расширен.

Слушатели записывают принятые слова в таблицы, в которых указывается номер таблицы, фамилия слушателя, дата, уровень полезного и маскирующего сигнала, вид маскирующего сигнала и, при необходимости, другие данные. Для удобства обработки таблиц слова необходимо записывать под своими порядковыми номерами. Пример такой таблицы приведен в [5, 6].

Проводится определение правильности записанных слов путем сравнения таблицы принятых слов и исходной таблицы.

Определяется разборчивость слов для каждой таблицы, принятой одним слушателем, по формуле

$$S_i = (N_{\Pi} / N) \cdot 100\%, \quad (2.8)$$

где  $N_{\Pi}$  – количество правильно записанных слов;

$N$  – общее количество воспроизведенных (записанных) слов.

Определяется среднее значение разборчивости слов и средне-квадратическое отклонение по формулам

$$S_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n}; \quad (2.9)$$

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - S_{\text{cp}})^2}{n-1}}, \quad (2.10)$$

где  $n = m \cdot k$  – общее число таблиц, принятых всеми слушателями;

$m$  – число слушателей;

$k$  – число переданных таблиц.

Если  $|S_i - S_{\text{cp}}| > 2\sigma_s$ , то данные результаты измерений исключаются и повторно проводятся вычисления по формулам (2.8 – 2.10) с учетом уменьшенного числа измерений [6].

### 3. Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Провести самопроверку теоретических знаний, ответив на поставленные вопросы.
3. Провести запись воспроизводимых слов таблиц для различных уровней полезного и маскирующих сигналов и их видов.
4. Определить число правильно принятых слов путем сравнения полученных результатов с исходными данными.
5. Провести расчет разборчивости слов по формулам (2.8 – 2.10).
6. Определить по полученным результатам вид маскирующего сигнала, наиболее подходящего для защиты речевой информации.
7. Оформить отчет и защитить работу.

## 4. Описание программы для ЭВМ

Программа позволяет проверять теоретические знания студентов, определять количество правильно принятых слов, рассчитывать необходимые параметры разборчивости слов и проверять правильность выбора маскирующего сигнала, обеспечивающего наилучшую защиту речевой информации, для каждой группы аудиторов и соответствующих вариантов, включающих различные комбинации экспериментов.

При комплектации ЭВМ звуковой картой и наушниками возможно акустическое воспроизведение вариантов для каждого студента индивидуально. Имя программы **SPEECH**.

### Литература

1. Сапожков М.А. Электроакустика. – М.: Связь, 1978. – 272 с.
2. Вахитов Я.Ш. Теоретические основы электроакустики и электроакустическая аппаратура. – М.: Искусство, 1982. – 415 с.
3. Основы инженерной психологии/ Под ред. Б.Ф.Ломова. – М.: Высш. шк., 1986. – 448 с.
- 4.Справочник по инженерной психологии/Под ред. Б.Ф. Ломова. – М.: Машиностроение, 1982. – 368 с.
5. ГОСТ Р50840-95. Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости. – М.: Госстандарт России, 1995. – 230 с.
6. Алефиренко В.М., Давыдов Г.В., Шамгин Ю.В. Расчет и измерение разборчивости речи для акустических устройств РЭС: Метод. указ. к практ. занятиям по курсу «Конструирование РЭС» для студ. спец. «Проектирование и производство РЭС». – Мн.: БГУИР, 1998.– 32 с.



Учебное издание

**Алефиренко Виктор Михайлович,  
Шамгин Юрий Васильевич**

## **Основы защиты информации**

Практикум для студентов специальностей  
«Техническое обеспечение безопасности»  
и «Моделирование и компьютерное проектирование  
радиоэлектронных средств»  
дневной формы обучения

В 2-х частях

Часть 1

Редактор Т.А. Лейко

Корректор Е.Н. Батурчик

---

Подписано в печать 5.04.2004.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Печать ризографическая.	Гарнитура “ Таймс ”.	Усл. печ. л.2,67.
Уч.-изд. л. 2,5.	Тираж 150 экз.	Заказ 634.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:

Учреждение образования

“Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники”

Лицензия ЛП №156 от 30.12.2002.

Лицензия ЛВ №509 от 03.08.2001

220013, Минск, П. Бровки, 6.