* + 1. **Понятность и разборчивость речи**

Основной характеристикой любого канала передачи речи является по- нятность речи. Для определения этой характеристики применяется стати- стический метод с участием большого числа слушателей и дикторов. Раз- работан косвенный количественный метод определения понятности речи через ее разборчивость. Под разборчивостью речи понимают относитель- ное или процентное количество принятых (понятых) элементов речи из общего числа переданных по каналу. Элементы речи составляют слоги, звуки, слова, фразы, цифры. В соответствие им поставлены слоговая, зву- ковая, словесная, смысловая и цифровая разборчивость. Преимуществен- ное применение на практике получили слоговая, звуковая и словесная раз- борчивость. Для измерения разборчивости разработаны артикуляционные таблицы слогов, звукосочетаний и слов с учетом встречаемости их в рус- ской речи.

Измерение разборчивости производится с помощью артикуляционной группы тренированных слушателей и дикторов без нарушения слуха и ре- чи, поэтому и метод называется артикуляционным.

Для определения связи между разборчивостью, измеренной артику- лянтами, и понятностью речи для обычных людей были проведены массо- вые испытания. Разговор велся по специальным разговорникам в обе сто- роны, как при телефонных переговорах. При этом контролировалось понимание абонентами друг друга. Оценка понятности ставилась по пяти- бальной системе. Одновременно для каждого из условий испытаний и каж- дого тракта были измерены величины разборчивости речи с помощью тре- нированной бригады.

В таблице приведены градации понятности речи и соответствующие им разборчивости [37].

|  |  |
| --- | --- |
| Понятность | Разборчивость, % |
| Слоговая | Словесная |
| Предельно допустимая | 25–40 | 75–87 |
| Удовлетворительная | 40–50 | 87–93 |
| Хорошая | 50–80 | 93–98 |
| Отличная | 80 и выше | 98 и выше |

Одновременно с указанными испытаниями были измерены статистиче- ские зависимости между слоговой, словесной, звуковой и смысловой раз- борчивостью для русского языка.

Формантная теория, разработанная Флетчером и Коллардом, позволи- ла установить непосредственную связь между разборчивостью речи и ха- рактеристиками тракта передачи речи [37, 42].

Звуковые единицы характеризуются различными свойствами в зависи- мости от различных факторов их рассмотрения. Образованию звуковых единиц соответствует артикуляционный фактор, который называют анато- мо-физиологическим. Акустический фактор относится к свойствам звуко- вых единиц в результате работы произносительных органов и определяет звучание речи. Восприятие звуков человеком относится к перцептивному фактору.

Первоначально описания звуковых систем осуществлялось на основе анализа артикуляций. Но с развитием техники акустического анализа зву- ков исследователи приходят к выводу, что акустические характеристики речи наиболее важны. Современная фонетика учитывает тесную связь и взаимообусловленность между артикуляционными и акустическими харак- теристиками речи.

Исследования восприятия речевых единиц показывает, что они вос- принимаются не так, как любые другие звуки. Это объясняется как способ- ностью человека преобразовывать их в соответствующие артикуляции, так и функциональными свойствами речевых звуковых единиц.

Звуки речи являются сложными звуками в основном из-за того, что процесс речеобразования сопровождается резонансными явлениями, соб- ственные частоты которых изменяются в зависимости от того, какой звук в данный момент произносится.

Источник звука вызывает в системе резонаторов речеобразующего тракта собственные колебания. Звуки на собственных частотах резонаторов являются наиболее усиленными. Собственные частоты резонаторов назы- вают формантами звука, так как они формируют характерное звучание гласных и согласных.

Частоты формант определяются конфигурацией речевого тракта и свойства источника звука на них не влияет. Это одно из важнейших поло- жений акустической теории речеобразования. Это положение позволяет связывать частоты формант только со спецификой артикуляции и по часто- там формант судить о положении артикуляционных органов.

Число формант, существенно характеризующих определенный звук речи, исследователи определяют по разному, но в большинстве случаев ис- следователи считают, что в образовании определенного звука участвуют четыре форманты.

Форманты звуков речи заполняют весь частотный диапазон от 150 до 7000 Гц. Средняя вероятность появления формант в том или ином участке частотного диапазона для каждого языка вполне определенна. Условились делить весь частотный диапазон на 20 полос (в том числе и для русского

языка) с одинаковой вероятностью появления формант в каждой из них. Соответствующие полосы назвали полосами равной разборчивости. Оказа- лось, что при достаточно большом объеме передаваемой речи вероятности появления формант подчиняются правилу аддитивности. Вследствие этого вероятность появления формант в каждой полосе равной разборчивости равна 0,05.

Если воспринимать речь в условиях шумов и помех, то ее разборчи- вость получается меньшей. Это связано с тем, что форманты имеют раз- личные уровни интенсивности: у громких звуков выше, чем у глухих. По- этому при повышении уровня шумов сначала маскируются форманты с низкими уровнями, а затем с более высокими. При увеличении уровня шу- мов и помех вероятность восприятия формант постепенно уменьшается. Коэффициент, определяющий это уменьшение, называют коэффициентом восприятия или коэффициентом разборчивости *w*. В каждой полосе равной

разборчивости вероятность приема формант будет

*A*  0,05*w*.

Так как вся энергия звуков речи в основном сосредоточена в форман- тах, то уровни формант практически совпадают с уровнями звуков речи.

Порог слышимости в шумах определяется спектральными уровнями шумов. Разность между средним спектральным уровнем речи и спектраль- ным уровнем шумов будет определять вероятность появления формант выше уровня шумов.

Коэффициент разборчивости *w* определяется уровнем ощущения формант

где

*E*  *B*p  *B*ш ,

*B*p – средний спектральный уровень речи;

(1.77)

*B*ш – спектральный уровень

шумов.

Для уровней ощущения, находящихся в пределах 0–18 дБ, коэффици- ент разборчивости можно определить по приближенной формуле *w*  (*E*  6) 30 .

Для каждой полосы равной разборчивости коэффициент разборчиво- сти ( *wn* ) будет разным. Тогда суммарная вероятность приема формант (разборчивость формант) определяется как

20

*A*ф   0,05*wn* .

*n*1

(1.78)

* + 1. **Частотный диапазон и спектры**

Акустические сигналы от источников звука в большинстве случаев имеют непрерывно изменяющиеся форму и частотный спектр. Спектры могут быть низкочастотными, высокочастотными, дискретными и непре-

рывными. Даже у однотипных источников звука спектры имеют индивиду- альные особенности, определяющие окраску звука, называемую тембром. Понятие высоты звука отражает субъективную оценку восприятия зву-

ка по частотному диапазону. Как отмечалось ранее, ширина критических полос слуха на средних и высоких частотах примерно пропорциональна частоте, поэтому субъективный масштаб восприятия звука по частоте при- мерно соответствует логарифмическому закону. По этой причине все час- тотные характеристики устройств передачи звуков представляют в лога- рифмическом масштабе.

За объективную единицу высоты звука принята октава – отрезок рав- номерной шкалы, начальное и конечное значения частоты на котором от- личаются в два раза. Октаву делят на части: полуоктавы и третьоктавы (рис. 1.37).

Для третьоктав стандартизован ряд частот в килогерцах (рис. 1.37): 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10.

Основной интерес представляют средний спектр для источников звука.

Он может быть сплошным и иметь достаточно сглаженную форму.

Сплошные спектры характеризуют зависимость спектральной плотно- сти от частоты. Эту зависимость называют также энергетическим спек- тром. Спектральной плотностью называется интенсивность звука в полосе частот шириной, равной единице частоты. Для акустики эту полосу берут

равной 1 Гц. Спектральная плотность

*J*  *I**f*

*f* ,

где

*I**f*

* интенсивность

звука, измеренная в узкой полосе

*f* с помощью узкополосных фильтров.

В акустике введена логарифмическая мера плотности – спектральный уровень

*B* 10lg(*J I*0 ),

(1.79)

где

*I*0 1012 Вт/м2

* интенсивность звука, соответствующая нулевому

уровню.

Октавы

Третьоктавы

1 1, 2 5 1, 6 2 2 ,5 3 ,1 5 4 5 6 ,3 8 1 0

Рис. 1.37. Октавная и третьоктавная шкалы частот

*F* , кГ ц

В качестве характеристики спектра можно вместо спектральной плот- ности использовать интенсивности и уровни интенсивности, измеренные в октавной, полуоктавной и третьоктавной полосе частот. Связь между спек- тральным уровнем и уровнем в октавной (полуоктавной или третьоктав- ной) полосе можно установить, записав (1.79) в виде

*B* 10lg(*J I*0 ) 10lg(*I**f* окт

и определив уровень в октавной полосе как

*f*окт *I*0 )

(1.80)

*L*окт 10lg(*I**f* окт

*I*0 ).

(1.81)

Вычитая выражение (1.80) из (1.81), определяем

*L*окт

* *B* 10lg(*I**f* окт *I*0

) 10lg(*I*

*f* окт *f*окт *I*0

) 10lg *I**f* окт*f*окт *I*0 10lg*f I*0*I**f* окт

окт

(1.82)

При известном спектре сигнала можно определить его суммарную ин- тенсивность. Если спектр задан в уровнях интенсивности для третьоктав- ных полос, то необходимо пересчитать эти уровни в каждой из полос в ин-

тенсивности

*I*окт  *I*0100,1*L*окт , а затем просуммировать все интенсивности

[37]. Сумма всех составляющих

*I*окт

дает суммарную интенсивность

*I*сум

для всего спектра. Суммарный уровень определяется как

*L*сум 10lg(*I*сум

*I*0 ).

(1.83)

Приближенно суммарный уровень можно определить делением час-

тотного диапазона на *n* полосок шириной

*fk* , в пределах которых спек-

тральный уровень *Bk*

примерно постоянен, и вычислением по формуле

*L*сум

10lg

*n* 100,1*Bk* *f*

*k* 1



*k*

. (1.84)