

конструкциях, "завалом" модуляционной характеристики на более высоких акустических частотах, различными уровнями шума в полосах равной разборчивости. Кроме того, на требуемую спектральную плотность маскирующего шума влияют технические характеристики аппаратуры разведки, радиус контролируемой зоны и точка ведения разведки.

Предполагается, что при наличии УПЛО и УУЗ возможно синтезировать адаптивные средства противодействия, в основу которых будут положены описанные выше методы.

Проведена оценка возможности совместного использования пассивных средств в оптическом и акустическом диапазоне, позволяющая компенсировать недостатки, присущие каждому из них в отдельности.

Таким образом, возможно проведение оптимизации предлагаемых и существующих мер защиты при их комплексном использовании. Однако наличие большого количества противоречивых требований и ограничений требует проведения многоаспектной оценки эффективности системы защиты объекта от лазерных систем перехвата речи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каталинский А. В. Реорганизация разведывательных служб США// Зарубежное военное обозрение. 1993. № 3. С. 9—12.
2. Вартанов В. А. Радиоэлектронная разведка. — М.: Воениздат, 1991. 254 с.
3. Технические средства разведки// Под ред. В. И. Мухина. — М.: РВСТ, 1992. 394 с.
4. Эйдем Ф. За кулисами ЦРУ// Пер. с англ. — М.: Воениздат, 1979. 464 с.
5. Предпринимательство и безопасность. — М.: Универсум. 1991. С. 215—216.
6. Квантовая электроника. 1989. № 7. С. 1494—1498.
7. Opticonics. 1991. V. 10, № 10. P. 89—100.
8. Majer W. C., Lammer G. B. Interaction of light and ultrasonic surface waves// JASA. 1967. V. 42. P. 1255.
9. Кособурд В. П. Влияние крупномасштабных фазовых шумов на визуализацию периодических фазовых рельефов// Опт. и спектроскоп. 1993. Т. 54. С. 1099.
10. Kessler L. W. Imaging with dynamic-ripple diffraction// Acoustic Imaging. Plenum Press, N.-Y. - London. 1976. P. 1255.
11. Басс Ф. Г., Фукс И. М. Рассеяние волн на статически неровной поверхности. — М., 1972. С. 424.
12. Патент № 4319088 (США). МКЧЗ Н04К 3/00; Н 03 Р 3/00.

ТОНАЛЬНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ РЕЧЕВЫХ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

В. К. ЖЕЛЕЗНЯК, канд. техн. наук

Речь, речевые сигналы являются одним из основных видов акустической (речевой) информации. Источниками возбуждения первичных речевых сигналов являются человек, вторичных — электроакустические преобразователи.

Функциональная схема акустической информационной системы представлена на рис. 1. Речевые сигналы обуславливают упругие колебания среды в виде акустического поля. Источники акустических помех и шумов создают акустическое поле помех. Акустические поля сигнала и помех воздействуют на акустический преобразователь приемника. Возможность обнаружения в точке приема речевого акустического сигнала зависит от отношения сигнал — шум, которая определится спектральной плотностью речевого сигнала, спектральной плотностью фоновых акустического шума в точке приема, кривой чувствительности уха, уровнем речевого сигнала. Последний

определяется его ослаблением при распространении от точки излучения к точке приема, затуханием ограждающей конструкции, если источник излучения находится внутри помещения.

Защита речевых акустических сигналов, извлечение информации для оценки ее защищенности с необходимыми характеристиками (помехоустойчивость, точность, надежность, быстродействие, оперативность) в условиях изменения помеховой обстановки весьма актуальна.

Ограниченные физические возможности по протяженности распространения в воздушном пространстве акустического (речевого) сигнала не исключает его извлечение и обработку. В этой связи к числу важнейших научных задач принадлежит его защита от извлечения и контроль невозможности извлечения по акустическому каналу в любых заданных точках,

находящихся за пределами выделенных помещений, на основе расчета измерения разборчивости речи.

Важной задачей является обоснование рационального метода контроля (оценки) защищенности.



Рис. 1 Функциональная схема акустической информационной системы

Защищенность речевого сигнала оценивают нижней границей предельно допустимой понятности, т. е. низкой разборчивостью [1]. Нижнюю границу предельно допустимой понятности предложено оценивать разборчивостью при фоновом акустическом шуме, т. е. в отсутствии посторонних искусственных источников помех.

Тональный метод измерения и расчета разборчивости речи разработан для телефонного канала [2]. Для оценки защищенности речевого сигнала по акустическому каналу предложено учитывать спектральную плотность речи, фоновый акустический шум в точке приема, кривую чувствительности уха, уровень речевого сигнала с учетом его ослабления ограждающими конструкциями и при распространении.

Распространение звука и распределение его уровня в ограниченном пространстве помещения, его пере-

излучение (проникание) через ограждающие конструкции с частотно-зависимым затуханием в смежные помещения, в прилегающую территорию, с прилегающей территории в помещении соседних строений, через вентиляционные каналы в соседние помещения, либо в окружающее пространство обуславливает его искажение. Метод измерения при частотном искажении спектра реального сигнала обусловит значительную методическую погрешность измерения. Тональный метод не исключает использования шумового метода, однако имеет ряд преимуществ. Гармонические измерительные сигналы обнаруживают, обрабатывают, накапливают сигналы, известные точно. Превышение шумового измерительного сигнала над шумом должно быть не менее 10 дБ. Это исключает погрешность измерения отношения шумового измерительного сигнала к шуму.

При измерении параметров акустического сигнала в расчетной точке должна учитываться направленность источника акустического излучения, отражения акустического речевого сигнала от отражающих поверхностей. Для упрощения методики измерения, повышения точности измерения уровня акустического речевого сигнала в расчетной точке необходимо формировать зоны прямого измерительного сигнала в расчетной точке. Расчетные точки, в которых измеряются параметры измерительного сигнала, должны, по возможности, находиться в дальней зоне.

Измерение параметров слабых переменных акустических полей источников излучения существенно зависит от рациональной модели, учитывающей условия решаемой задачи, приспособленной к применяемым средствам измерения и алгоритмам обработки. Существенное снижение уровней акустических полей источников излучения в расчетных точках обуславливает необходимость учитывать изменившиеся условия решаемой задачи, измеряя параметры при более низком пороге чувствительности средства измерения, их основные метрологические характеристики.

Методика расчета разборчивости речи [1] учитывает свойства речи (рис. 2, 3), слуха человека (рис. 4), электрические характеристики тракта передающего сигнала и акустическую обстановку, в которой происходит передача и прием речевого сигнала. Расчет предполагает вычисление разборчивости формант с пересчетом к другому виду разборчивости, например к звуковой, словесной.

Общепринятый форматный метод разборчивости речи обладает недостатком [1, 3, 4], так как для его реализации требуется привлечение специально обученной тренированной бригады экспертов, обработка

результатов трудоемка, не позволяет автоматизировать процесс получения результата.

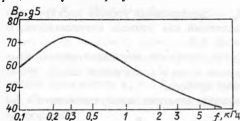


Рис. 2. Спектр русской речи

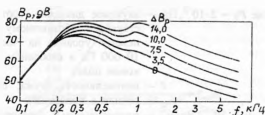


Рис. 3. Искажение спектра речи при различной степени форсирования

Тональный метод расчета разборчивости речи [2] предусматривает использование измерительных гармонических сигналов, учитывая свойства речи и слуха

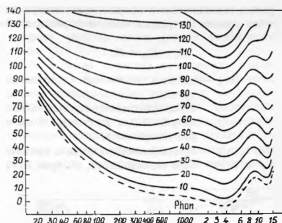


Рис. 4. Семейство кривых равной громкости и порога слышимости

(зависимость порога чувствительности уха и спектральной плотности речи от частоты (см. рис. 3—4), и поэтому формантную разборчивость рассчитывают в полосах равной разборчивости, средние частоты и частотные пределы которых представлены в табл. 1 [3, 5].

Частотные полосы равной разборчивости

Таблица 1

Номер полосы	Средняя частота f_{cp} , Гц	Ширина полос равной разборчивости, Δf , Гц	Границы полос, Гц	Порог слышимости по полю, β , дБ	Логарифмическая ширина критической полосы слуха K , дБ
1	250	320	100—420	12,0	15,2
2	500	150	420—570	5,5	15,5
3	650	140	570—710	5,0	15,8
4	800	155	710—865	4,8	16,1
5	960	165	865—1030	4,5	16,2
6	1125	190	1030—1220	4,0	16,5
7	1300	190	1220—1410	3,5	17,2
8	1500	190	1410—1600	3,0	17,4
9	1700	180	1600—1780	2,0	17,9
10	1875	180	1780—1960	1,0	18,3
11	2050	180	1960—2140	0,3	18,5
12	2225	180	2140—2320	0	18,8
13	2475	230	2320—2550	-0,2	19,0
14	2725	350	2550—2900	-0,5	19,4
15	3100	400	2900—3300	-1,0	20,0
16	3500	360	3300—3660	-2,5	20,4
17	3850	390	3660—4050	-4,8	20,8
18	4550	960	4050—5010	-3,5	21,5
19	6150	2240	5010—7250	5,5	21,8
20	8600	2750	7250—10 000	14,0	22,0

Уровень гармонического сигнала, соответствующий лицевому уровню на средней частоте форманты, дБ

$$B_r = B_{cp} + K,$$

где B_{cp} — средний в течение длительного времени уровень спектра речи на 1 Гц (распределение представлено на рис. 2 для расстояния 8 см от рта говорящего);

$K = 10 \lg \Delta f_k$ — логарифмическая ширина критической полосы слуха, дБ (рис. 5).

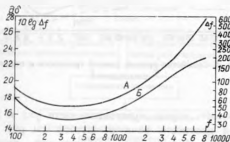


Рис. 5. Зависимость ширины критической полосы слухового восприятия в Гц (Δf — правая ордината) и в дБ ($10 \lg \Delta f$ — левая ордината) для бинаурального (кривая А) и моноурального (кривая В) слухания от частоты f (Гц)

Средний уровень спектральной плотности речи на другом расстоянии r , отличным от $R = 8$ см, определяется по формуле [2]

$$B'_{cp} + 20 \lg \frac{R}{r} + 10 \lg \Delta f_k.$$

При замене уровня спектра речи в критической полосе одним тоном его давление соответствует уровню

$$B'_r = B'_{cp} + 20 \lg \frac{R}{r} + 10 \lg \Delta f_k.$$

Зависимость степени маскировки M , дБ, т. е. ослабление слышимости или полного пропадания полевого звука на фоне мешающего, в критической полосе от уровня ощущения маскирующего шума Z , дБ, в точке излучения и в точках расчета определяется по методике [2, 3, 6—11]. Уровень шума в критической полосе рассчитывается, как средняя величина звукового давления, приходящая на 1 Гц.

Ощущение маскирующего шума, т. е. превышение уровня спектра шума над порогом слышимости

$$Z = B_{ш} - \beta_0 + K,$$

где $B_{ш}$ — спектральный уровень маскирующего шума, определяемый как уровень интенсивности, приходящейся на 1 Гц.

При отсутствии селективного прибора, измеряющего уровень шума в критической полосе, его измеряют в полосе прибора.

Звуковое давление шума, отнесенное к 1 Гц

$$B_{ш} = 20 \lg \frac{P}{P_0 \sqrt{\Delta f}} = 10 \lg \frac{I}{I_0 \Delta f}, \text{ дБ,}$$

где $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па — звуковое давление, соответствующее абсолютному нулевому уровню на частоте 10 000 Гц в свободном звуковом поле;

I — интенсивность шума, отнесенная к полосе Δf ;

$I_0 = 10^{-12}$ Вт/м² — интенсивность, соответствующая абсолютному нулевому уровню;

$K = 10 \lg \Delta f_k$ — логарифмическая ширина критической полосы слуха (см. табл. 1);

β_0 — порог слышимости чистого тона по полю, дБ (см. рис. 4, табл. 1).

На рис. 6 представлена зависимость $M = f(Z)$.

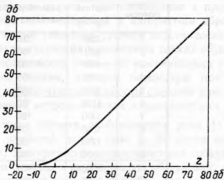


Рис. 6. Зависимость маскировки M (дБ) в критической полосе от уровня ощущения маскирующего шума Z (дБ)

Величина разборчивости определяется коэффициентом восприятия формант η_d , который зависит от уровня ощущения составляющих речи, то есть превышения составляющих речи над порогом слышимости

$$E_n = B_{\text{ср}} - (M + L) - \beta_0 + 10 \lg \Delta f_{\text{ср}} + 20 \lg \frac{R}{r} = \\ = B'_r - (M + L) - \beta_0,$$

где L — затухание звукового сигнала при распространении от точки излучения до точки расчета, рассчитываемое по методике [12, 13].

Графическая зависимость $\eta_n = f(E_n)$, представленная на рис. 7, позволяет определить коэффициент восприятия формант.

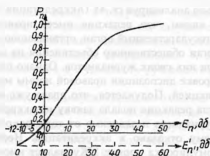


Рис. 7. Зависимость вероятности восприятия формант от уровня ощущения

Расчет разборчивости формант A производится по формуле [1, 3]

$$A = 0,05 \sum_{n=1}^N \eta_n$$

Используя табл. 2 [9] и кривые (рис. 8) зависимости разборчивости слогов (S) и слогов (W) от разборчивости формант (A), определяют словесную разборчивость.

Таблица 2

A	S	W	A	S	W
0,05	5	32	0,55	86,3	98
0,10	15	65	0,60	87,2	98
0,15	26	78	0,65	90,0	98,5
0,20	36	85	0,70	92,5	99,0
0,25	46	89	0,75	95,5	99,3
0,30	55	92	0,80	96,3	99,5
0,35	62,5	94	0,85	98,0	99,7
0,40	69,0	95	0,90	99,0	99,8
0,45	75,0	96	0,95	99,3	99,9
0,50	80,0	97	1,0	100	100

Тональный метод позволяет непосредственно измерять превышение уровня интенсивности данного звукового гармонического колебания над пороговым, то есть уровень ощущения формант E_n в точке излучения, в расчетных точках, затем рассчитать формантную и другие виды разборчивости. Для изме-

рения ощущения чистого тона в помещении устанавливают уровни излучения гармонического сигнала на средних частотах полос равной разборчивости (см. табл. 1).

Таким образом, показана возможность измерять и рассчитывать защищенность речевой информации тональным методом. Это позволяет использовать тональный метод без привлечения специалистов высокого класса, учесть специфику распространения акустического сигнала из помещения, увязать с существующими нормативными документами и снизить затраты на меры при защите речевой информации.

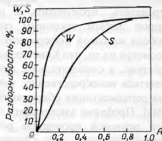


Рис. 8. Зависимость разборчивости слогов и слов от разборчивости формант

ЛИТЕРАТУРА

1. Акустика: Справочник/ А. П. Ефимов, А. В. Новиков, М. А. Сапожников, В. И. Шорюк; Под ред. М. А. Сапожкова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1989. 336 с.
2. Подъяков И. М., Талченко А. Д. Электроакустические тракты с обратной связью. — М.: Связь, 1969. 224 с.
3. Покровский Н. Б. Расчет и измерение разборчивости речи. — М.: Связьиздат, 1962. 392 с.
4. Быков Ю. С. Теория разборчивости речи и повышение эффективности радиотелефонной связи. М. — Л.: Госэнергоиздат, 1959. 351 с.
5. ГОСТ 8031—78. Аппараты телефонные. Тональный метод измерения разборчивости речи. — М.: Издательство стандартов, 1978. 9 с.
6. Вемян Г. В. Передача речи по сетям электросвязи. — М.: Радио и связь, 1985. 272 с.
7. Клячкин И. И., Колесников А. Е. Акустические измерения в судостроении. 2-е изд. — Л.: Судостроение, 1968. 396 с.
8. Сапожников М. А. Защита трактов радио и проводной телефонной связи от помех и шумов. — М.: Связьиздат, 1959. 254 с.
9. Иофе В. К., Янпольский А. А. Расчетные графики и таблицы по электростатике. — М.: ГЭИ, 1954. 524 с.
10. Сапожков М. А. Речевой сигнал в кибернетике и связи. — М.: Связьиздат, 1963. 452 с.
11. Быков Ю. С. Важнейшие акустические характеристики и артикуляционные таблицы русской речи. Труды Министерства тяжелой промышленности СССР, № 36. — М.: Оборонгиз, 1950. 22 с.
12. Строительные Нормы и правила (СНиП II—12—77). Защита от шума. — М.: Стройиздат, 1977. 50 с.
13. Справочник проектировщика. Защита от шума. Юдин Е. П., Никольский В. Н., Рассавина И. Д.; Под ред. Юдина Е. Я. — М.: Стройиздат, 1974. 134 с.