

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ

В статье рассматривается оценка защищенности речевой информации путем анализа эффективности зашумления речевого сигнала различными видами помех.

Ключевые слова: разборчивость речи, речевой сигнал, акустический шум.

У статті розглядається оцінка захищеності мовленнєвої інформації шляхом аналізу ефективності зашумлення мовного сигналу різними видами перешкод.

Ключові слова: розбірливість мови, мовленнєвий сигнал, акустичний шум.

In this paper the estimation of the security of speech information is examined by the analysis of efficiency of noise of speech signal by the different types of hindrances.

Key words: legibility of speech, speech signal, acoustic noise.

Защита речевой информации является одной из главных задач в общем комплексе мероприятий по обеспечению информационной безопасности объекта информационной деятельности. Для перехвата информации злоумышленник может использовать все многообразие портативных средств акустической разведки.

В зависимости от важности речевой информации и поставленной задачи защиты предлагаются два критерия:

- в принятом (перехваченном) сообщении невозможно определить содержание информации и предмет повествования;
- в принятом сообщении невозможно определить присутствие информационных речевых сигналов.

Данные критерии предлагается ввести в связи с тем, что невозможно полностью исключить утечку информации. В любом случае вероятность утечки информации будет больше нуля, поэтому нужно определить допустимые границы.

Информативность речи характеризуется ее разборчивостью, под которой понимают относительное или процентное количество правильно принятых специально тренированными слушателями элементов речи из общего количества переданных по тракту. Соотношения между понятностью речи и соответствующими ей значениями разборчивости приведены в таблице 1.

Таблица 1

Разборчивость речи для разных градаций понятности передачи

Понятность	Разборчивость, %	
	слоговая, S	словесная, W
предельно допустимая	25–40	75–87
удовлетворительная	40–56	87–93
хорошая	56–80	93–98
отличная	80 и выше	98 и выше

Понятность речи была определена для обычных абонентов в процессе ведения телефонных переговоров. При этом понятность считалась отличной, если переговоры велись без переспросов; хорошей, если были отдельные переспросы редко встречающихся слов или неизвестных фамилий, названий и т.д., о которых нельзя догадаться по смыслу; удовлетворительной, если требовались частые неоднократные переспросы одного и того же материала в передаче отдельных слов по буквам и с полным напряжением слуха. В этой связи в [1] предложено в качестве предельных значений разборчивости слогов и слов принять соответственно $S = 25 \%$ и $W = 75 \%$. Но там же [1] рассматривается количественная оценка достоверности сообщений по схеме Кента, в соответствии с которой диапазон возможных изменений достоверности разбивается на 7 интервалов и достоверность конкретной информации оценивается в шансах:

- достоверная информация (вероятность отсутствия ложной информации близка к 1);
- почти определенно, что информация достоверна (9 шансов против одного);
- имеется много шансов, что информация достоверна (3 шанса против одного);
- шансы примерно равны (1 за, 1 против);
- имеется много шансов что информация недостоверна (3 шанса против одного);
- почти определенно, что информация недостоверна (9 шансов против одного);
- недостоверная информация (вероятность ложной информации близка к 1).

Видимо, при оценке защищенности речевой информации следует ориентироваться на 3 последних шанса. Но если в качестве допустимой нормы принять разборчивость слов $W = 75 \%$, то в соответствии с приведенной на рис. 1 зависимостью фразой разборчивости от разборчивости слов получим разборчивость фраз $I = 93 \%$, т.е. отдадим противнику практически достоверную информацию (9 шансов против одного).

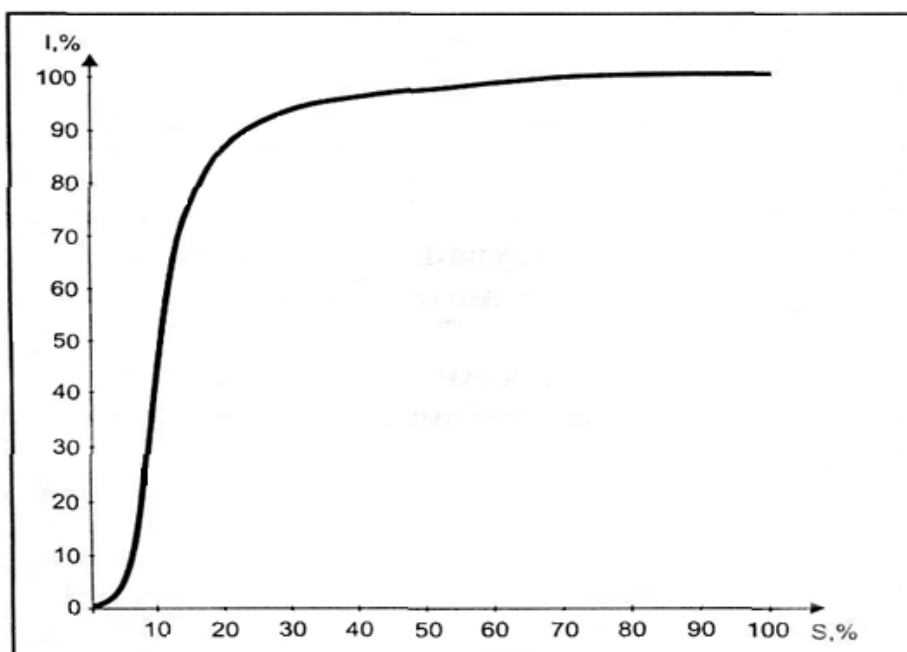


Рис. 1. Залежність фразової розборчивості від розборчивості слів

С учетом сказанного предлагается в качестве допустимой нормы для первого критерия (невозможно определить содержание информации и предмет повествования) принять разборчивость слов $W = 30-40 \%$, что будет соответствовать разборчивости фраз $I = 18-33 \%$ и шестому интервалу схемы Кента (3 шанса против одного), а для второго критерия (отсутствие признаков речи) $W = 15-20 \%$, что будет соответствовать седьмому интервалу схемы Кента (9 шансов против одного, что информация недостоверна).

В то же время известно, что если записанную речевую информацию с низкой разборчивостью представить тренированной бригаде артикулянтов, то после трехкратного прослушивания текстов и обмена мнениями после каждого прослушивания разборчивость повышается примерно вдвое. Поэтому можно принять в качестве нормируемых значений разборчивости слов $W = 18 \%$ для первого критерия и $W = 8 \%$ для второго критерия. В том случае, если нет возможности записать информацию в целях ее последующего прослушивания, то можно ориентироваться на приведенные ранее значения $W = 30-40 \%$ и $I = 18-33\%$, выбрав для однозначности $W = 36 \%$. На практике во многих случаях удобнее оперировать не разборчивостью речевой информации, а отношением напряжений сигнала к помехе (шуму). Воспользуемся зависимостью словесной разборчивости речи W .

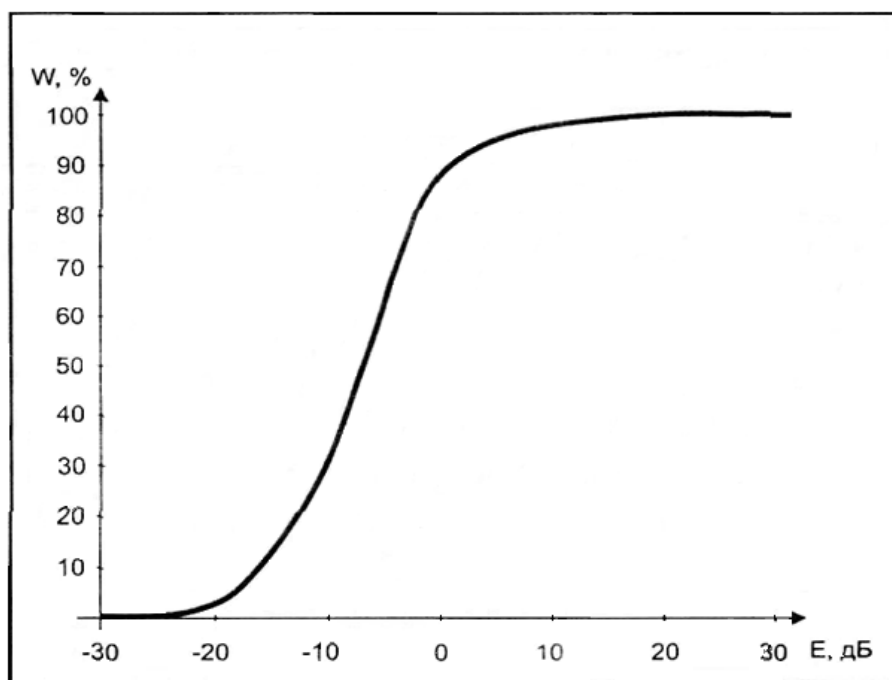


Рис. 2. Залежність словесної розборчивості речи W від інтегрального відношення сигнал/ "білий" шум в полосе частот 175-5600 Гц від інтегрального відношення сигнал/ шум E в полосе частот 175-5600 Гц

Из рис. 2 находим, что значению $W = 18 \%$ соответствует $E = -11$ дБ, значению $W = 8 \%$ соответствует $E = -14$ дБ. Результаты приведены в таблице 2.

Таблиця 2

Параметры защищенности речевой информации

Критерий	Разборчивость слов, W%	Отношение речевой сигнал/“белый” шум, E, дБ
Отсутствие смысловой информации (предмета повествования)	18	-11
Отсутствие признаков речи	8	-14

Графиками зависимости разборчивости речи от отношения сигнал/шум можно пользоваться только для случая неискаженной речи. Если ограничивать полосу частот или пропускать речевой сигнал через тракт с неравномерной амплитудно-частотной характеристикой, то зависимостью $W = f(E)$ пользоваться нельзя.

Оценку акустической и вибрационной защищенности речевой информации предлагается производить в пяти октавных полосах со среднегеометрическими частотами 250 Гц, 500 Гц, 1000 Гц, 2000 Гц, 4000 Гц, что вполне допустимо, поскольку спектр акустических помех в помещениях и на улице не имеет резких выбросов и равномерно спадает с ростом частоты. Звукоизоляция ограждающих конструкций помещений и зданий (двери, окна, стены, межэтажные перекрытия) обычно монотонно растет с увеличением частоты или остается практически неизменной в диапазоне речевых частот в отличие от неравномерных электроакустических характеристик вспомогательных технических средств и систем, эксплуатируемых в защищаемых помещениях, для которых оценку защищенности в пяти октавных полосах вряд ли можно использовать.

Измерение и последующий расчет акустической защищенности проводят в следующей последовательности.

1. Выставляют требуемый уровень акустического сигнала L_{si} перед ограждающей конструкцией для каждой i -й октавной полосы.

2. Измеряют уровни акустических сигналов L_{ci} и акустических помех $L_{шi}$, в месте возможного размещения аппаратуры речевой разведки (в точке контроля).

3. Рассчитывают отношения, “уровень речевого сигнала/уровень шума” $E_i = L_{ci} - L_{шi}$, дБ.

4. По полученным значениям E_i находят разборчивость слов W , которую сравнивают с допустимой, на основании чего делают вывод о защищенности информации по данному каналу.

Такой же алгоритм предлагается для оценки вибрационной защищенности речевой информации. Однако в [2] предлагается уровень скрываемого сигнала L_{ci} определить по формуле

$$L_{ci} = L_{si} - Q_i + M_{ap} + G_i.$$

где L_{si} – средний спектральный уровень речевого сигнала в месте установки источника тестовых акустических сигналов в i -й октавной полосе, дБ; Q_i – коэффициент ослабления уровня речевого сигнала в i -й октавной полосе при его распространении в тракте “источник речи – приемник аппаратуры речевой разведки”, дБ;

$$Q_i = L_{si} - L_{ci}$$

правда, вводить без необхідності излишнее значение Q_i не имеет смысла;

$$M_{ap} = 10 \lg(N_p/N_k),$$

где N_p – чувствительность микрофона аппаратуры акустической разведки, мВ/Па;

N_k – чувствительность микрофона аппаратуры контроля, мВ/Па.

Введение в формулу коэффициента M_{ap} ошибочно, поскольку уровень скрываемого речевого сигнала L_{ci} на входе аппаратуры разведки в точке возможного ее размещения не зависит от чувствительности микрофона, а определяется только уровнем исходного сигнала и его затуханием при распространении до места установки микрофона. Имело смысл учитывать собственные шумы аппаратуры разведки и контроля, если бы они превышали или хотя бы были соизмеримы с акустическими шумами, но акустические шумы в помещениях и, тем более, уличные шумы существенно превышают шумы аппаратуры контроля.

G_i – коэффициент пространственной селекции микрофона аппаратуры акустической разведки в i -й октавной полосе, дБ. Введение данного коэффициента в формулу также ошибочно, поскольку величина сигнала в месте размещения аппаратуры разведки не зависит ни от чувствительности, ни от селективности микрофона. Если и учитывать коэффициент пространственной селекции, то только при оценке акустических помех, т.е. не увеличивать уровень сигнала, а уменьшить уровень помех, что физически объяснимо. При этом следует учитывать, что если сигнал и помеха воздействуют на микрофон с одного направления, то применение направленных микрофонов не дает выигрыша в соотношении сигнал/помеха.

Поэтому в общем случае следует определить отношение речевой сигнал/шум E_p в контрольной точке при заданном значении исходного речевого сигнала и по полученному отношению определить разборчивость слов W .

При проектировании и реконструкции объектов в качестве нормы требуется задавать для проектировщиков звукоизоляцию ограждающих конструкций, определяемую как $Q_i = L_{si} - L_{ci}$.

Для речи со средним уровнем громкости на расстоянии 1 м от источника можно принять интегральный уровень $L_s = 70$ дБ, а для очень громкой речи, усиленной техническими устройствами, $L_s = 84$ дБ [2].

Соответствующие этим уровням значения речи в октавных полосах приведены в таблице 3. Допустимый уровень акустического речевого сигнала в месте возможного размещения аппаратуры противника определяется по формуле

$$L_{ci} = L_{ui} + E_i.$$

Таблица 3

Уровни речевого сигнала в октавных полосах

Номер полосы речевого сигнала	Средняя частота октавной полосы, Гц	Уровни речи в октавных полосах L_s , дБ	
		$L_s=70$ дБ	$L_s=84$ дБ
1.	250	66	80
2.	500	66	80
3.	1000	61	75
4.	2000	56	70
5.	3000	53	67

Чтобы получить значения E_i для $W = 18 \%$, $W = 36 \%$ и не проводить сложных расчетов, воспользуемся значениями E_i для ближайших значений $W = 20 \%$ и $W = 40 \%$, для розового шума. Спектр реальных акустических помех равномерно уменьшается с ростом частоты по закону, близкому для розового шума (таблица 4). При выборе уровней акустических шумов для нормирования внутри зданий проанализированы результаты около сотни измерений и выбраны уровни шума, вероятность появления ниже которых не превышает 0,3.

Статистика по измерению шумов на улице существенно уступает количеству измерений внутри зданий (были проведены около 30 измерений).

Таблица 4

Значения сигнала/розовый шум

Словесная разборчивость, W, %	Отношение с/ш E_i в октавных полосах					Отношение с/ш в полосе частот 180–5600 Гц
	250	500	1000	2000	4000	
20	-5,9	-5,9	-11,4	-15,9	-19,4	-8,8
40	-1,9	-1,9	-7,4	-11,9	-15,4	-4,9

Значения звукоизоляции, определяемые из выражения $Q_i = L_{si} - L_{ci} = L_{si} - L_{ui} - E_i$ и округленные до целого числа, приведены в таблице 5.

Примерно похожие требования по звукоизоляции приведены в материалах по защите конфиденциальной информации, правда, в них приводятся нормированные значения коэффициентов звукоизоляции, независимы от частоты, в то время, как видно из таблицы 5, требования к звукоизоляции внутренних конструкций на частоте 4000 Гц по отношению к частоте 250 Гц выше более чем на 20 дБ.

Кроме того, обеспечивать неоправданно высокую звукоизоляцию на низких частотах довольно сложно, а заниженные значения звукоизоляции на высоких частотах могут привести к утечке информации. После возведения объекта и пуска его в эксплуатацию необходимо провести контрольные исследования акустической защищенности выделенных помещений объекта.

Таблица 5

Рекомендуемые значения звукоизоляции ограждающих конструкций

Конструкция	Звукоизоляция конструкций, Q_i , дБ				
	250	500	1000	2000	4000
Окна, наружные стены, выходящие на: тихую улицу;	28	32	39	44	49
шумную улицу.	16	20	27	32	37
Внутренние конструкции	33	36	43	48	53

В материалах по конфиденциальной информации вибрационную защищенность предлагается оценивать с помощью коэффициента виброизоляции, понимая под ним отношение вибросигнала на озвучиваемой конструкции к вибрационному сигналу на границе контролируемой зоны.

Реально вибрационный сигнал V_{c2} на границе контролируемой зоны определяется по формуле

$$V_{c2} = PxK_1/K_2,$$

где P – акустическое давление на конструкцию;

$K_1 = V_{c1}/P$ – коэффициент преобразования акустического давления P в вибрационный сигнал V_{c1} ;

$K_2 = V_{c1}/V_{c2}$ – коэффициент виброизоляции конструкции в относительных единицах (дБ)

$$V_{c2} = P + K_1 - K_2.$$

Таким образом, значение V_{c2} при нормированном давлении P зависит от двух коэффициентов и поэтому ориентироваться только на один из коэффициентов нельзя, тем более численно приравнять K_2 к коэффициенту звукоизоляции.

В качестве примера к сказанному рассмотрим экспериментальные результаты измерения вибрации на наружной стене здания, при которых акустическое воздействие осуществлялось на эту стену в кабинете на 3 этаже, измерение вибрации V_1 производилось на стене в этом же помещении, а затем на внутренней стороне стены на 2 этаже измерялась вибрация V_2 .

Измерения проводились точным импульсным шумомером RFT 00017 с вибродатчиком КД 35. Акустическое воздействие осуществлялось шумовым сигналом в октавных полосах.

Результаты измерения вибрации приведены в таблице 6, а результаты расчетов в таблице 7.

Таблица 6

Результаты измерения вибрации на стене

Номер октавной полосы	L_T , дБ	ΔL , дБ	$V_{ш1}$, дБ	$V_{ш2}$, дБ	$V_{(с+ш)1}$, дБ	$V_{(с+ш)2}$, дБ
1.	83	17	14	15	14	15
2.	86	20	10	14	14	16
3.	92	31	5	9	26	25
4.	86	30	3	4	24	13
5.	88	35	2	2	32	14

Таблица 7

Результаты расчета показателей защищенности

Номер октавной полосы	V_{c1} , дБ	V_{c2} , дБ	E_1 , дБ	E_2 , дБ	E_H , дБ	K_1 , дБ	K_2 , дБ
1.	-	-	-	-	-5,9	-	-
2.	12	12	-18	-22	-5,9	-74	0
3.	26	25	-10	-15	-11,4	-66	1
4.	24	12	-9	-22	-15,9	-62	12
5.	32	14	-5	-23	-19,4	-56	18

В таблицах введены обозначения:

L_T – уровень тестового акустического сигнала;

ΔL – превышение уровня тестового сигнала над нормированным для суммарного давления 70 дБ;

$V_{ш1}, V_{ш2}$ – уровни вибрационных шумов соответственно на стене в помещении и этаже ниже; $V_{(с+ш)1}, V_{(с+ш)2}$ – суммарные уровни сигнала и шума в измеряемых точках;

$V_{с1}, V_{с2}$ – уровни вибрации сигналов в измеряемых точках;

E_1, E_2 – отношение сигнал/шум в контрольных точках;

E_n – нормированные отношения сигнал/шум для розового шума и разборчивости слов $W = 0,2$ (таблица 7).

Как видно из таблицы 7, коэффициент виброизоляции стены K_2 не превышает 20 дБ, а на частоте 500 Гц $K_2 = 0$, но за счет низкого преобразования K_1 акустического давления в вибрационный сигнал соотношение сигнал/шум в контрольной точке 2 на всех частотах меньше нормированного E_n .

Выводы

Защита речевой информации достигается совокупностью инженерных решений, проведением организационных и технических мероприятий.

В зависимости от характеристики объекта и предъявляемых требований к эффективности защиты речевой информации используют те или иные методы и средства, где в качестве показателя оценки используют словесную разборчивость речи W .

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Покровский Н.Б. Расчет и измерение разборчивости речи / Н.Б. Покровский. – М. : Связьиздат, 1962. – 390 с.
2. Железняк В.К. Некоторые методические подходы к оценке эффективности защиты речевой информации / В.К. Железняк, Ю.К. Макаров, А.А. Хореев // Специальная техника. – 2000. – № 4. – С. 12–16.

Отримано 27.10.2016

Рецензент Рибальський О.В., д.т.н