

УДК 004.056

В.А. Трушин, И.Л. Рева, А.В. Иванов

О методических погрешностях оценки словесной разборчивости речи в задачах защиты информации

Анализируются методические погрешности оценки защищенности речевой информации по критерию словесной разборчивости.

Ключевые слова: разборчивость речи, технические каналы утечки информации, методические погрешности.

Оценка защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам (акустическим, виброакустическим, акустоэлектрическим и др.) – необходимая составляющая аттестации защищаемых помещений объектов информатизации.

Основным количественным критерием защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам является коэффициент словесной разборчивости W , оценка которого осуществляется расчетно-экспериментальным путем по методу Н.Б. Покровского [1], адаптированному в соответствующую методику [2], суть которой состоит в следующем:

– весь частотный диапазон речевого сигнала разбивается на 5 октавных полос с центральными частотами 250, 500, 1000, 2000, 4000 Гц соответственно;

– для каждой i -й полосы измеряется уровень шума $B_{ш i}$ и уровень смеси «сигнал + шум» $B_{(с+ш) i}$;

– вычисляются уровни сигнала $B_{с i}$ для каждой октавной полосы;

– вычисляются уровни ощущений

$$E_i = B_{с i} - B_{ш i} - \Delta B_i, \quad (1)$$

где ΔB_i – формантное превышение;

– по известной зависимости $P(E)$ вычисляются коэффициенты восприятия P_i для каждой октавной полосы;

$$P_i = \begin{cases} \frac{0,78 + 5,46 \cdot \exp[-4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (27,3 - |E_i|)^2]}{1 + 10^{0,1|E_i|}}, & \text{если } E_i \leq 0, \\ \frac{1 - 0,78 + 5,46 \cdot \exp[-4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (27,3 - |E_i|)^2]}{1 + 10^{0,1|E_i|}}, & \text{если } E_i > 0; \end{cases} \quad (2)$$

– вычисляется формантная разборчивость речи

$$R = \sum_{i=1}^5 R_i, \quad (3)$$

$$R_i = P_i \cdot k_i,$$

где k_i – вклад i -й октавной полосы в суммарную разборчивость (известны из формантного распределения русской речи).

По известной зависимости от формантной разборчивости переходят к словесной:

$$W = \begin{cases} 1,54 \cdot R^{0,25} \cdot [1 - \exp(-11R)], & \text{если } R < 0,15, \\ 1 - \exp\left(\frac{-11R}{1 + 0,7R}\right), & \text{если } R \geq 0,15. \end{cases} \quad (4)$$

Используемая расчетно-экспериментальная методика по существу представляет собой косвенные измерения, при которых искомая величина находится по известной функциональной зависимости между этой величиной и некоторыми другими, подлежащими прямым измерениям. При оценке защищенности речевой информации от утечки по акустическому каналу проводятся прямые измерения уровней шума и сигнала + шум для каждой октавной полосы. Далее вычисляются уровни сигнала и по известным аналитическим выражениям (1)–(4) находится искомая величина W [2].

В свете вышесказанного возникает естественный вопрос о погрешностях косвенных измерений W , хотя в данном случае корректнее говорить о погрешностях оценки, т.к. W – величина безразмерная. Однако вопрос о погрешностях оценки W не затрагивается ни в нормативных документах, ни в научных публикациях.

Вместе с тем деятельность по обеспечению информационной безопасности подпадает в сферу действия Федерального закона №102-ФЗ от 26.06.2008 «Об обеспечении единства измерений», который определяет необходимость обязательной аттестации методик (методов) измерений на предмет соответствия установленным показателям точности.

Таким образом, для ответа на вопрос о достоверности оценки защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам необходимо проанализировать методические погрешности измерений W (строго говоря, погрешности оценки).

Представляется, что основными источниками методических погрешностей могут быть следующие факторы:

- использование результатов артикуляционных испытаний с некоррелированными таблицами, не учитывающих специфику задач защиты речевой информации;
- использование зависимости $P(E)$, справедливой для уровня шума приблизительно в 40 дБ, в то время как средства защиты создают шум, превышающий уровень речи до 20 дБ. При повышении уровня шума зависимость $P(E)$ существенно деформируется;
- ступенчатая аппроксимация непрерывных кривых огибающих спектра речи и шума, что может привести к существенным отклонениям интегральных уровней речи и шума в октавных полосах;
- неучет частотной зависимости уровня слуховых ощущений;
- неучет погрешностей косвенных измерений (оценок).

Подробное содержание и результаты артикуляционных испытаний со связными текстами, проведенных авторами, отражены в работах [3, 4], в которых показано существенное увеличение словесной разборчивости по отношению к общепринятой методике (рис. 1).

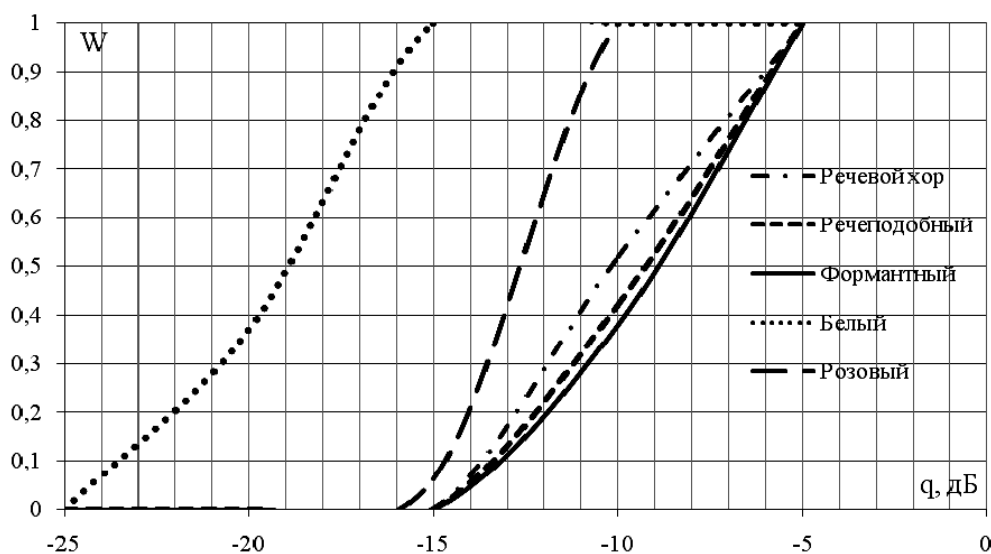


Рис. 1. Усредненные зависимости словесной разборчивости W от интегрального соотношения сигнал/шум для разных видов помех в 7 октавных полосах

Целью настоящей работы является анализ погрешности косвенных измерений коэффициента словесной разборчивости (оценки).

Для задач защиты информации требуемая разборчивость лежит в пределах 20–50% [6]. Минимальное отношение сигнал/шум, при котором можно добиться 50% разборчивости, составляет –9 дБ, а 20% разборчивости достигается при отношении сигнал/шум –22 дБ (см. рис. 1).

В связи с этим будем использовать интервал отношения сигнал/шум от –9 до –22 дБ и помехи типа: «белый шум» (наиболее распространённая помеха) и «формантоподобный шум» (наиболее эффективная помеха) в 7 октавных полосах с центральными частотами 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

Непосредственно измеряемые величины – уровень шума $B_{ш i}$ и уровень смеси сигнал плюс шум $B_{(с+ш)i}$ (для каждой i -й полосы).

В соответствии с [5] абсолютная погрешность Δy результата косвенного измерения для нескольких переменных определяется по формуле

$$\Delta y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot \Delta x_i \right)^2}, \quad (5)$$

где $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ – частная производная функции $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ по x_i , а Δx_i – абсолютная погрешность непосредственного измерения величины x_i .

Относительная погрешность ε_y может быть вычислена в общем случае по формуле

$$\varepsilon_y = \sqrt{\sum \left(\frac{\partial}{\partial x_i} \ln f(x_1, x_2, \dots, x_n) \right)^2 \cdot \Delta x_i^2}. \quad (6)$$

Результаты расчета погрешностей косвенного измерения (оценки) W приведены на графиках (рис. 2–5).

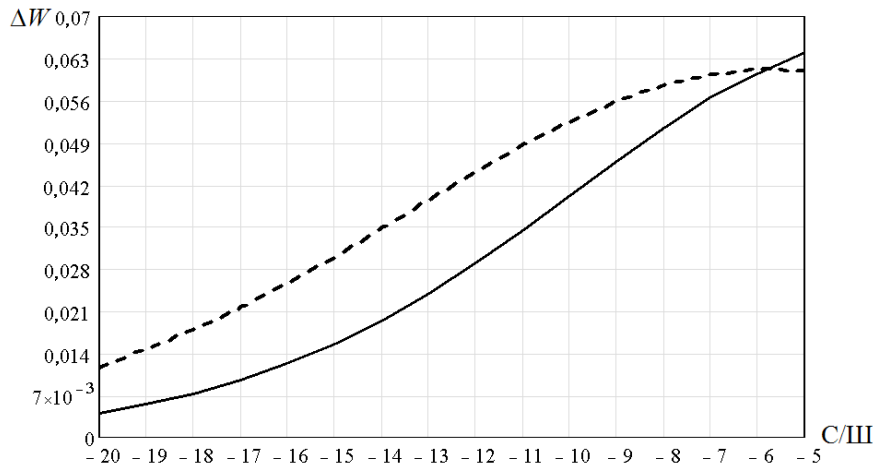


Рис. 2. Зависимость абсолютной погрешности оценки W от интегрального отношения сигнал/шум (сплошная линия – формантоподобный, пунктирная – белый шум)

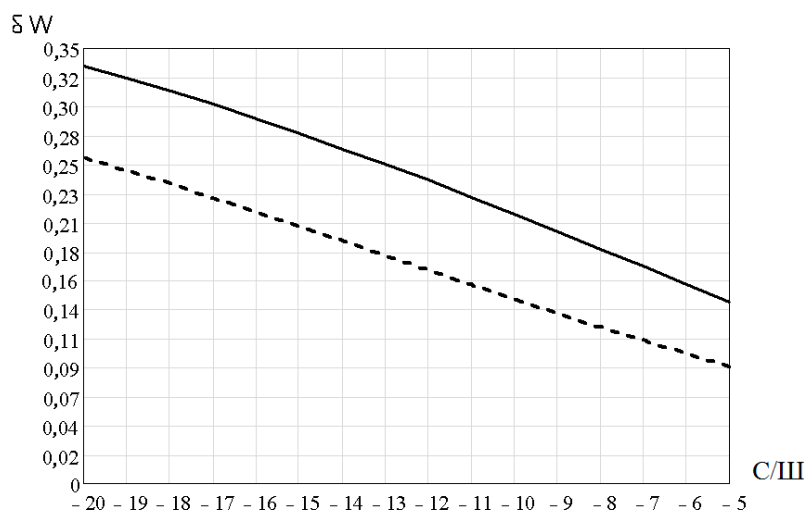


Рис. 3. Зависимость относительной погрешности оценки W от интегрального отношения сигнал/шум (сплошная линия – формантоподобный, пунктирная – белый шум)

Приведенные зависимости были получены при инструментальной погрешности прямых измерений, равной 1 дБ.

Из анализа полученных результатов следует, что погрешность косвенной оценки словесной разборчивости весьма значительна.

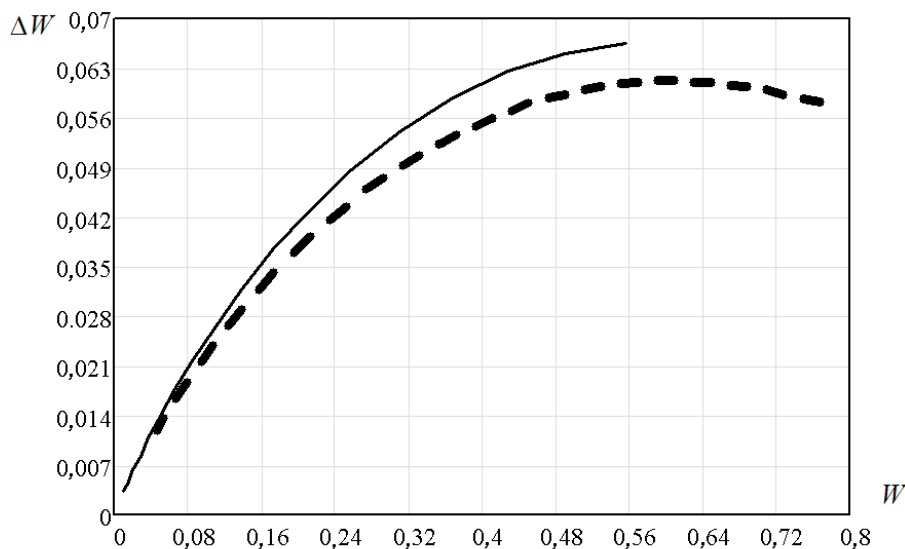


Рис. 4. Зависимость абсолютной погрешности оценки ΔW от значения W (сплошная линия – формантоподобный, пунктирная – белый шум)

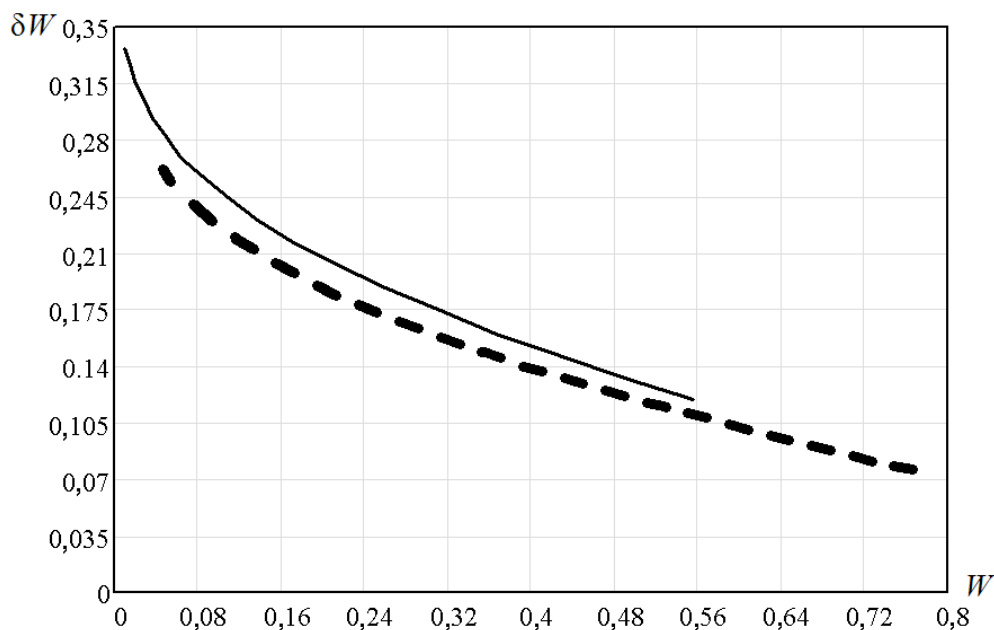


Рис. 5. Зависимость относительной погрешности δW от W (сплошная линия – формантоподобный, пунктирная – белый шум)

Относительная погрешность достигает 21% (при $W = 0,2$), а при учете разброса порога слышимости (± 6 дБ) для зависимости $P(E)$ относительная погрешность достигает 70%. Соответственно при такой погрешности можно упростить методику и отойти от большого количества экспоненциальных членов вычислительных формул, аппроксимирующих графики, полученные в [1] экспериментальным путем.

Литература

1. Покровский Н.Б. Расчет и измерение разборчивости речи. – М.: Связьиздат, 1962. – 392 с.
2. Хорев А.А. Оценка эффективности систем виброакустической маскировки / А.А. Хорев, Ю.К. Макаров // Вопросы защиты информации. – 2001. – № 1. – С. 21–28.

3. О достоверности оценки защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам / А.П. Бацула, А.В. Иванов, И.Л. Рева, В.А. Трушин // Доклады ТУСУРа. – 2010. – №1(21), ч. 1. – С. 89–92.

4. Трушин В.А. Экспериментальная оценка разборчивости речи в задачах защиты информации на основе модифицированных артикуляционных испытаний / В.А. Трушин, И.Л. Рева, А.В. Иванов // Актуальные проблемы электронного приборостроения: матер. X Междунар. конф. – Новосибирск, 2010. – Т. 3. – С. 133–135.

5. МИ 2083-90. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 17 с.

6. ГОСТ Р 50840–95 Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости. – М.: Госстандарт России, 1995. – 230 с.

Трушин Виктор Александрович

Канд. техн. наук, ст.н.с., зав. каф. защиты информации
Новосибирского государственного технического университета (НГТУ)
Тел.: (+7 383-3) 46-08-53
Эл. почта: gastr89@mail.ru

Рева Иван Леонидович

Аспирант каф. защиты информации НГТУ
Тел.: (+7-383-3) 46-08-53

Иванов Андрей Валерьевич

Аспирант каф. защиты информации НГТУ
Тел.: (+7-383-3) 46-08-53

Trushin V.A., Reva I.L., Ivanov A.V.

Method errors of estimate of speech intelligibility for information security

The article is considering the analysis of method errors of security of voice information by estimate of speech intelligibility.

Keywords: speech intelligibility, leaking by technical channels, method errors.
