

А.В. ИВАНОВ, В.А. ТРУШИН, В.Е. ХИЦЕНКО  
**О ВЫБОРЕ МОДЕЛИ ТЕСТОВОГО СИГНАЛА ПРИ ОЦЕНКЕ  
ЗАЩИЩЕННОСТИ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ ОТ УТЕЧКИ  
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ КАНАЛАМ**

---

*Иванов А.В., Трушин В.А., Хиценко В.Е. О выборе модели тестового сигнала при оценке защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам.*

**Аннотация.** Производится переоценка базовых зависимостей, лежащих в основе методики оценки защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам. Описывается постановка и результаты эксперимента по определению формантного распределения для случаев обычной и форсированной речи. Используя данные распределения возможно определить вклады частотных полос в суммарную разборчивость речи. Получена зависимость словесной разборчивости от формантной для случая форсированной речи. Проведен эксперимент по определению амплитудного состава речи, по результатам которого сделаны выводы о достаточных уровнях тестового сигнала при проведении оценки защищенности речевой информации.

**Ключевые слова:** разборчивость речи, тестовый сигнал, амплитудный состав речи, формантное распределение.

---

*Ivanov A.V., Trushin V.A., Khitcenko V.E. Choice of Model of Test Signal at an Assessment of Security of Speech Information from Leakage through Technical Channels.*

**Abstract.** Reevaluation of the basic dependences which are used in the method of an assessment of security of speech information from leakage through technical channels is made. The statement and results of experiment for definition of formant distribution for cases of the usual and forced speech are described. Using these distributions it is possible to define contributions of frequency bands to total legibility of speech. Dependence of word legibility on formant legibility for a case of forced speech is received. The paper presents an experiment to determine amplitude structure of the speech by results of which conclusions of sufficient levels of a test signal are drawn for an assessment of security of speech information.

**Keywords:** legibility of the speech, test signal, amplitude structure of the speech, formant distribution.

---

**1. Введение.** В помещениях, предназначенных для проведения переговоров, возможна утечка речевой информации по техническим каналам (акустический, вибрационный, акустоэлектрический). Оценку защищенности речевой информации принято производить по методике [1], основанной на формантном подходе [2]. Количественным критерием защищенности в данной методике является словесная разборчивость. В последнее время в ряде работ обсуждается возможность усовершенствования данной методики с учетом специфики задач защиты информации (ЗИ) [3, 4, 5]. При этом, в качестве тестового сигнала, имитирующего диктора, принято использовать широкополосный сигнал (белый шум) с огибающей спектра соответствующей речевому сигналу и интегральным уровнем равным 70дБ (спокойная речь). Вме-

сте с тем, в процессе дискуссии часто бывают ситуации, когда возникает эффект форсирования речи (например, когда говорящие пытаются перекричать друг друга).

Еще одним важным фактором является выбор уровня тестового сигнала. Данный уровень возможно определить по известной функции распределения амплитудного состава речи [2, с. 115 (рисунок 5.6), с. 152 (рисунок 6.17)]. Так в работе [5], на основе анализа данной функции, делается вывод о целесообразности задания определенной вероятности обеспечения требуемого уровня защищенности с последующим нахождением соответствующего этой вероятности интегрального уровня речи. Так, для вероятности 0,95 обеспечения заданного показателя защищенности  $W$  необходим интегральный уровень тестового сигнала в 85 дБ. Однако, необходимо отметить, что используемые зависимости были получены Покровским Н.Б. для условий, существенно отличающихся от задач ЗИ: так, расстояние от источника звука до микрофона принималось равным 8 см (в обсуждаемой методике требуется 1 м), за средний уровень речи принято 82 дБ (а не 70 дБ), амплитудное распределение форсированной речи не исследовалось вообще.

Таким образом, для корректировки методики [1] как для случая спокойной (нормальной) речи, так и при возникновении эффекта форсирования, необходимо определить амплитудный состав речи, по которому можно будет сделать вывод о выборе достаточного уровня тестового сигнала. Также для случая форсирования необходимо определение зависимости разборчивости формант от частоты, что позволяет пересчитать весовые коэффициенты вклада в суммарную разборчивость частотных полос и влечет за собой изменение зависимости словесной разборчивости от формантной.

**2. Формантное распределение.** Экспериментальное определение формантного распределения (зависимость разборчивости формант от частоты) производится аналогично экспериментам Покровского [2, с. 146], но с использованием связных текстов, а не слоговых таблиц, как для спокойной речи, так и в случае форсирования. Пересмотр данного распределения также влечет за собой изменение зависимости словесной разборчивости от формантной. Эффекта форсирования добивались путем воздействия на диктора шумом через наушники (для исключения влияния этого шума на запись). Подробно данная часть эксперимента изложена в работе [6].

Эксперимент заключается в следующем:

– для каждой записи речи диктора при прослушивании аудитором с применением НЧ и ВЧ фильтров определяется такая частота сре-

за фильтров  $f_0$ , чтобы полученные после фильтрации две записи, включающие частоты от 90 Гц до  $f_0$  и от  $f_0$  до 10 кГц, обладали одинаковой словесной разборчивостью речи;

– полагается, что, поскольку формантная разборчивость ( $R$ ) обладает свойством аддитивности, каждая из полученных записей будет обладать формантной разборчивостью  $R = 0.5$ ;

– параллельно с этим определяется и словесная разборчивость ( $W$ ) полученных записей;

– далее каждая из полученных записей подвергается повторно подобному анализу, только теперь каждая из «четвертинок» будет обладать формантной разборчивостью  $R = 0.25$  и т.д.

Следует отметить, что под словесной разборчивостью понимается количество правильно принятых слов при использовании связных текстов, тогда как у Покровского данный термин обозначал количество правильно принятых слов при использовании некоррелированных таблиц слов.

Работа в частотной области анализируемых записей речи производилась с использованием ПО Adobe Audition. В исследовании использовались 8 записей речи дикторов (4 мужских и 4 женских, как для спокойной, так и для форсированной речи), каждую из которых проанализировали 4 аудитора. Результаты эксперимента представлены на рисунке 1. Для сравнения приводится функция распределения, используемая в методике.

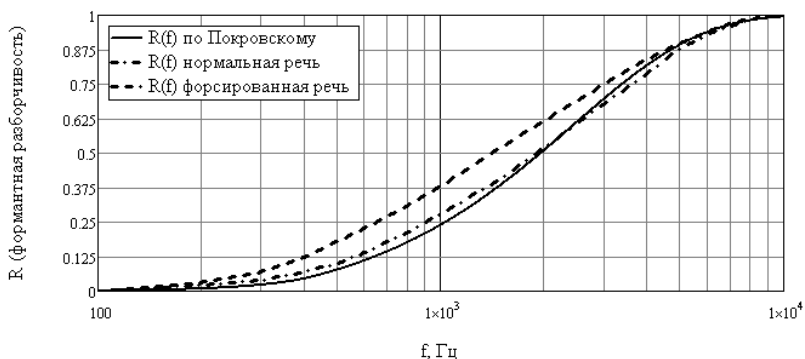


Рис. 1. Формантное распределение для обычной речи, форсированной и используемое в общепринятой методике

Полученная зависимость для обычной речи практически совпала с результатами Покровского Н.Б., а для форсированной существенно отличается, что требует пересчета значений весовых коэффициентов вклада в суммарную разборчивость частотных полос.

### 3. Зависимость словесной разборчивости от формантной.

Вторым результатом данного эксперимента являются приведенные на рисунке 2 зависимости словесной разборчивости от формантной  $W(R)$ .

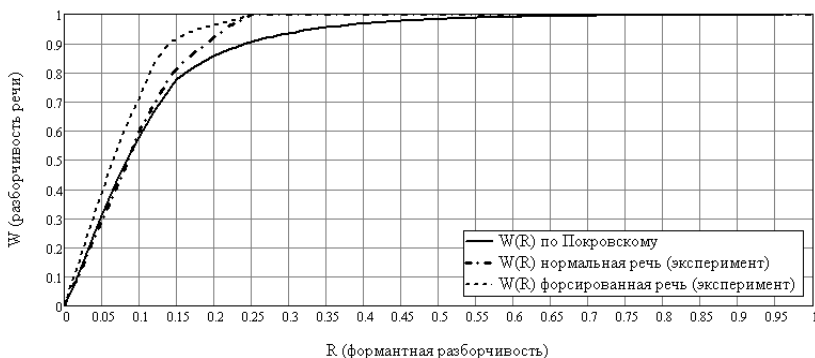


Рис. 2. Зависимости словесной разборчивости от формантной для обычной речи, форсированной и используемая в общепринятой методике

При проведении работ по оценке защищенности речевой информации, диапазон значений разборчивости речи, представляющий интерес для задач защиты информации, составляет от 0,1 до 0,6. По результатам опубликованных исследований [7], можно сделать вывод о том, что при словесной разборчивости выше 0,6 возможно составить подробную справку о содержании переговоров, при разборчивости же меньше 0,1 чаще всего уже невозможно даже установить сам предмет разговора. Исходя из этого, предлагается ограничить зависимости  $W(R)$  и линеаризовать их (рисунок 3).

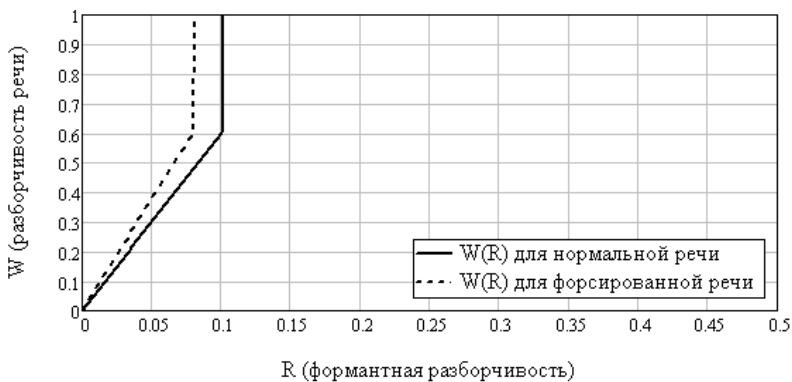


Рис. 3. Зависимости словесной разборчивости речи от формантной для обычной и форсированной речи

В аналитической форме зависимость для обычной речи выражается следующим образом:

$$W(R) = \begin{cases} 6 \cdot R, & \text{если } R \leq 0,1; \\ 1, & \text{если } R > 0,1. \end{cases} \quad (1)$$

для форсированной:

$$W(R) = \begin{cases} 7,5 \cdot R, & \text{если } R \leq 0,08; \\ 1, & \text{если } R > 0,08. \end{cases} \quad (2)$$

**4. Амплитудный состав речи.** Амплитудный состав речи анализировался аналогично эксперименту, приведенному у Покровского Н.Б. [2, с. 148]. Для исследования были созданы записи 8 дикторов (4 мужчины и 4 женщины) с обычной и форсированной речью. Запись производилась с использованием шумомера ZET 110 и микрофона ВС501 с частотой дискретизации 50 кГц. Длительность каждой из записей составляла 600 с. Из-за большого количества отсчетов обработка производилась частями по 100 с.

Эксперимент заключается в следующем:

- по полученным отсчетам находятся среднеквадратичные значения на интервалах времени по 0,125 с;
- динамический диапазон полученных значений разбивается на коридоры шириной по 1дБ (относительно порога слышимости 20 мкПа);
- рассчитывается количество попаданий среднеквадратичных значений в каждый из коридоров;
- строятся гистограммы (рисунки 4, 5) и функции распределения (рисунок 8).

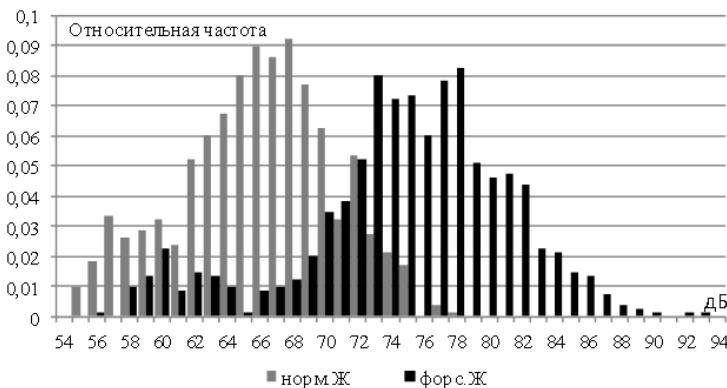


Рис. 4. Гистограммы распределения нормальной и форсированной речи дикторов женщин

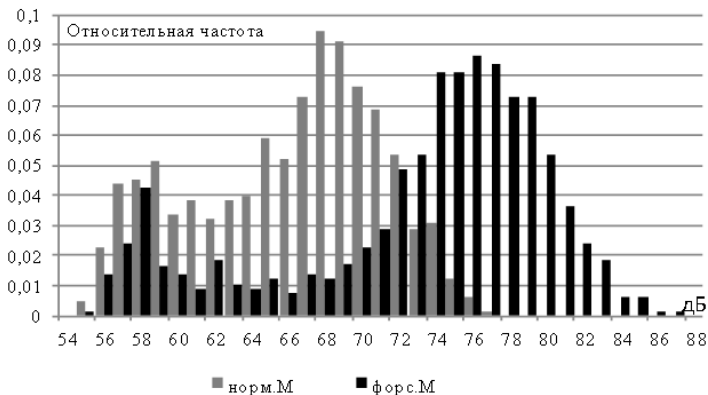


Рис. 5. Гистограммы распределения нормальной и форсированной речи дикторов мужчин

Внешний вид гистограмм позволяет предположить модель амплитудного состава речи на фоне естественного шума в виде смеси двух близких к гауссовским законам распределения.

Механизм, порождающий такую смесь, по-видимому, выглядит так. В некоторых интервалах усреднения ( $\Delta t = 0,125c$ ) речь диктора не звучала, и долю таких пауз, где слышен только шумовой фон, обозначим  $\alpha$ . Остальная доля измерений  $(1 - \alpha)$  это аддитивная сумма речевого и шумового сигналов

Таким образом, имеем гипотезу: плотность состава речи равна:

$$f(x, m_1, m_2, \sigma_1, \sigma_2, \alpha) = (1 - \alpha)\varphi(x, m_1, \sigma_1) + \alpha\varphi(x, m_2, \sigma_2), \quad (3)$$

где  $\varphi$  - гауссовская плотность,  $(m_1, \sigma_1)$  и  $(m_2, \sigma_2)$  – параметры закона речи и шума соответственно,  $\alpha$  - доля шумовой составляющей.

На рисунке 6 показаны гистограмма амплитудного состава нормальной речи и аппроксимирующая ее плотность вида (3), где параметры  $m_2 = 57,70$  дБ и  $\sigma_2 = 1,28$  дБ были предварительно оценены по выборке шумовой составляющей. Параметры  $m_1 = 67,02$  дБ,  $\sigma_1 = 4,10$  дБ и  $\alpha = 0,1$  подбирались по минимуму критерию  $\chi^2$  до достижения значимости, превышающей 0,05 и не позволяющей отклонить гипотезу (3). Таким образом, паузы в этом речевом сигнале составляют примерно 10%.

В литературе [8, 9] описаны различные методы оценивания параметров смеси распределений применительно к задачам классификации. В основном это модификации метода моментов и метода максимального правдоподобия. Наиболее эффективным представляется так называемый EM-алгоритм.

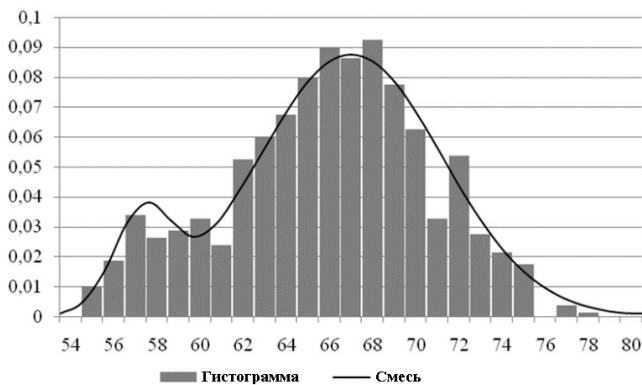


Рис. 6. Гистограмма и теоретическая плотность (смесь) нормальной речи

Оценка математического ожидания уровня смеси определяется по:

$$m = (1 - \alpha)m_1 + \alpha m_2, \quad (4)$$

и для нормальной речи составляет приблизительно  $66,09\text{дБ}$ .

Однако эти вопросы выходят за рамки настоящей работы. Для задачи выбора уровней тестовых сигналов достаточно сопоставить эмпирическую функцию распределения и теоретическую, найденную по:

$$f(x, m_1, m_2, \sigma_1, \sigma_2, \alpha) = (1 - \alpha)\Phi(x, m_1, \sigma_1) + \alpha\Phi(x, m_2, \sigma_2), \quad (5)$$

где  $\Phi$  – функция Лапласа. Варьируя параметрами  $\alpha, m_1, \sigma_1$ , добиваемся практического совпадения эмпирической и теоретической квантилей уровня 0,95. На рисунке 7 хорошо видно данное совпадение.

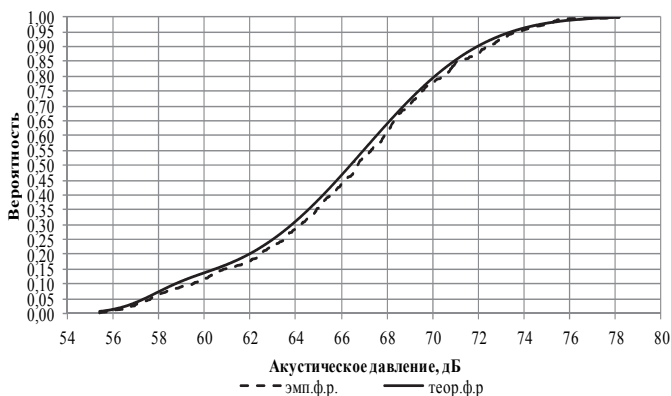


Рис.7. Эмпирическая и теоретическая функции распределения нормальной речи

Для рассмотренных четырех видов речевых сигналов (мужской спокойный, женский спокойный, мужской форсированный, женский форсированный) на рисунке 8 сведены результаты экспериментов в виде зависимостей вероятности превышения тестового сигнала от его уровня.

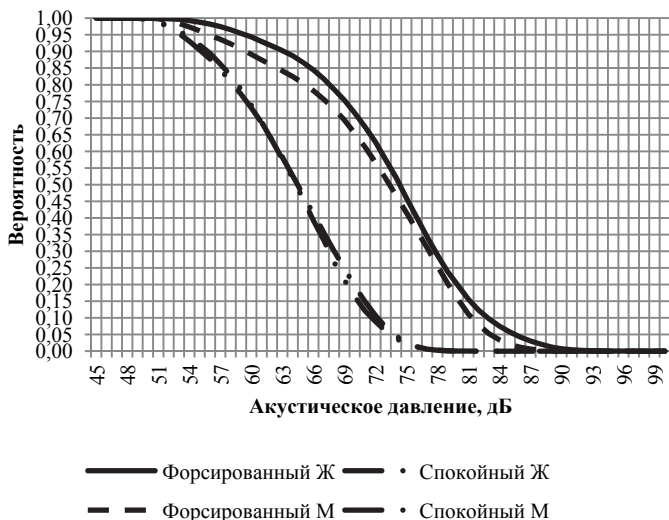


Рис. 8. Амплитудные составы спокойной и форсированной речи дикторов (мужчин и женщин)

Исходя из результатов эксперимента можно сделать выводы о том, что для обеспечения доверительной вероятности 0,95 необходимо выбирать уровни тестового акустического сигнала 74 дБ для обычной речи и 85 дБ для форсированной.

**4. Заключение.** Проведен пересмотр зависимостей, лежащих в основе методики оценки защищенности речевой информации [1, 2], с учетом возникновения эффекта форсирования.

Экспериментально получена функция распределения формант, существенно отличающаяся от общепринятой в случае форсирования, что указывает на то, что весовые коэффициенты (вклады частотных полос в суммарную разборчивость) при форсировании речи будут другими (увеличивается вклад низких и средних частот).

Также, по результатам данного эксперимента, получена зависимость словесной разборчивости от формантной при форсировании, существенно отличающаяся от случая спокойной речи.



Показано, что распределение уровня речевого сигнала в реальных условиях шумов может быть представлено смесью двух гауссовских законов.

Произведена экспериментальная оценка амплитудного состава как обычной, так и форсированной речи, по результатам которой были определены достаточные уровни тестовых акустических сигналов. Для обычной (спокойной) речи – 74 дБ, для форсированной – 85 дБ.

Полученные результаты и зависимости позволяют скорректировать методику оценки защищенности речевой информации с учетом уровней тестового сигнала и эффекта форсирования.

### Литература

1. Железняк В.К., Макаров Ю.К., Хорев А.А. Некоторые методические подходы к оценке эффективности защиты речевой информации // М. Специальная техника. 2000. № 4. С. 39–45.
2. Покровский Н.Б. Расчет и измерение разборчивости речи // М.: Связьиздат. 1962. 390 с.
3. Трушин В.А., Рева И.Л., Иванов А.В. Усовершенствование методики оценки разборчивости речи в задачах защиты информации // Барнаул. Ползуновский вестник. 2012. №3/2. С. 238–241.
4. Иванов А.В., Рева И.Л., Трушин В.А., Тудэвагва В. Корректировка методики оценки защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам в условиях форсирования речи // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2014. № 2(55). С. 183–189.
5. Авдеев В.Б. О некоторых направлениях совершенствования методических подходов, применяемых при оценке эффективности технической защиты информации // Специальная техника. М. 2013. №2. С. 1–10.
6. Иванов А.В., Трушин В.А., Берсенева А.В., Маркелова Г.В. Экспериментальные исследования защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам с учетом эффекта форсирования речи // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП-2014). Новосибирск. Изд-во НГТУ. 2014. Т. 3. С. 164–170.
7. Хорев А.А., Макаров Ю.К. Оценка эффективности систем виброакустической маскировки // Вопросы защиты информации. 2001. № 1. С. 21–28.
8. Айвазян С.А. Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мещалкин Л.Д. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности // М.: Финансы и статистика. 1989. 607 с.
9. Королев В.Ю. EM-алгоритм, его модификации и их применение к задаче разделения смесей вероятностных распределений. Теоретический обзор // М.: ИПИ РАН. 2007. 102 с.

### References

1. Zheleznyak V.K., Makarov Ju.K., Horev A.A. [Some methodical approaches to an assessment of efficiency of protection of speech information]. *Special'naja tehnik* – *Special equipment*. 2000. vol. 4. pp. 39–45. (In Russ).
2. Pokrovskij N.B. *Raschet i izmerenie razborchivosti rechi* [Calculation and measurement of legibility of the speech]. Moscow: Svyazyizdat. 1962. 390 p. (In Russ).
3. Trushin V.A., Reva I.L., Ivanov A.V. [Improvement of a technique of an assessment of legibility of the speech in problems of information security]. *Polzunovskij vestnik* – *Polzunovsky messenger*. 2012. vol. 3/2. pp. 238–241. (In Russ).

4. Ivanov A.V., Reva I.L., Trushin V.A., Tudevdayga U. [Corrected methods for the assessment of audio information security against leakage through engineering channels for forced speech]. *Nauchnyj vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*. 2014. vol. 2(55). pp. 183–189. (In Russ).
5. Avdeev V.B. [About some directions of improvement of the methodical approaches applied at an assessment of efficiency of technical information security]. *Special'naja tehnika – Special equipment*. 2013. vol. 2. pp. 1–10. (In Russ).
6. Ivanov A.V., Trushin V.A., Beresneva A.V., Markelova G.V. [The experimental research of security of speech information of leakage from technical channels with account of forcing speech effect] *Aktual'nye problemy jelektronnogo priborostroeniya (APJeP-2014)* [Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2014)]. Novosibirsk. Izd-vo NGTU. 2014. Issue 3. pp. 164–170. (In Russ).
7. Horeev A.A., Makarov Ju.K. [Assessment of efficiency of systems of vibroacoustic masking]. *Voprosy zashhity informacii – Questions of information security*. 2001. vol. 1. pp. 21–28. (In Russ).
8. Ajvazjan S.A. Buhstaber V.M., Enjukov I.S., Meshalkin L.D. *Prikladnaja statistika. Klassifikacija i snizhenie razmernosti* [Applied statistics. Classification and decrease in dimension]. Moscow: Finansy i statistika, 1989. 607 p. (In Russ).
9. Koroljov V.Ju. *EM-algoritm, ego modifikacii i ih primenenie k zadache razdelenija smesej verojatnostnyh raspredelenij. Teoreticheskij obzor*. [EM-algorithm, its modifications and their application to a problem of division of mixes of probabilistic distributions. Theoretical review.]. Moscow: IPI RAN. 2007. 102 p. (In Russ).

**Иванов Андрей Валерьевич** — старший преподаватель кафедры защиты информации, Новосибирский государственный технический университет. Область научных интересов: защита информации. Число научных публикаций — 15. [andrej.ivanov@corp.nstu.ru](mailto:andrej.ivanov@corp.nstu.ru); пр. К. Маркса, 20, корпус 7, Новосибирск, 630073; п.т.: +7 383 346 0853.

**Ivanov Andrey Valer'evich** — senior lecturer of information security department, Novosibirsk State Technical University. Research interests: information security. The number of publications — 15. [andrej.ivanov@corp.nstu.ru](mailto:andrej.ivanov@corp.nstu.ru); 20, Prospekt K. Marksa, housing 7, Novosibirsk, 630073, Russia; office phone: +7 383 346 0853.

**Трушин Виктор Александрович** — к-т техн. наук, заведующий кафедрой защиты информации, Новосибирский государственный технический университет. Область научных интересов: защита информации, информационно-измерительные системы. Число научных публикаций — 70. [rastr89@mail.ru](mailto:rastr89@mail.ru); пр. К. Маркса, 20, корпус 7, Новосибирск, 630073; п.т.: +7 383 346 0853.

**Trushin Viktor Aleksandrovich** — Ph.D., head of information security department, Novosibirsk State Technical University. Research interests: information security, information-measuring systems. The number of publications — 70. [rastr89@mail.ru](mailto:rastr89@mail.ru); 20, Prospekt K. Marksa, housing 7, Novosibirsk, 630073, Russia; office phone: +7 383 346 0853.

**Хиценко Владимир Евгеньевич** — к-т техн. наук, доцент, доцент кафедры защиты информации, Новосибирский государственный технический университет. Область научных интересов: социальная самоорганизация, прикладная статистика. Число научных публикаций — 60. [khits@is.cs.nstu.ru](mailto:khits@is.cs.nstu.ru); пр. К. Маркса, 20, корпус 7, Новосибирск, 630073; п.т.: +7 383 346 0853.

**Khitcenko Vladimir Evgen'evich** — Ph.D., associate professor, associate professor of information security department, Novosibirsk State Technical University. Research interests: social self-organization, applied statistics. The number of publications — 60. [khits@is.cs.nstu.ru](mailto:khits@is.cs.nstu.ru); 20, Prospekt K. Marksa, housing 7, Novosibirsk, 630073, Russia; office phone: +7 383 346 0853.

## РЕФЕРАТ

*Иванов А.В., Трушин В.А., Хиценко В.Е.* **О выборе модели тестового сигнала при оценке защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам.**

В работе рассматривается методика оценки разборчивости речи Н.Б. Покровского. Данная методика разрабатывалась для задач, условия которых существенно отличаются от условий защиты информации. Также в данном подходе не учитывается возможность возникновения эффекта форсирования речи. Все это приводит к необходимости переоценки базовых зависимостей, лежащих в основе данной методики.

В процессе оценки защищенности речевой информации используется система формирования тестового сигнала. Вопрос выбора достаточного уровня данного сигнала тоже является актуальным. А в случае форсирования речи, отсутствуют даже экспериментальные данные, на основе которых можно сделать вывод об уровне тест-сигнала.

Проставлен и проведен эксперимент по определению формантного распределения, используя которое возможно оценить вклад каждой частотной полосы в суммарную разборчивость речи. Для спокойной речи данный эксперимент проводился Н.Б. Покровским (результаты совпали), для форсированной подобная оценка была проведена впервые. Также произведена экспериментальная переоценка зависимости словесной разборчивости от формантной. В случае форсирования речи данная зависимость существенно отличается.

Проведена экспериментальная оценка амплитудного состава как обычной (спокойной) речи, так и форсированной. Опираясь на данные зависимости можно с заданной долей вероятности, например 0.95, определить достаточный уровень тестового акустического сигнала. Так, для обычной речи достаточный уровень 74дБ, для форсированной – 85дБ.

Полученные результаты позволяют существенно скорректировать методику оценки разборчивости речи, а также сформулировать методику, учитывающую эффект форсирования.

## SUMMARY

### *Ivanov A.V., Trushin V.A., Khitcenko V.E.* **Choice of Model of Test Signal at an Assessment of Security of Speech Information from Leakage through Technical Channels.**

In this work the method of an assessment of legibility of the speech by N.B. Pokrovsky is considered. This method was developed for tasks conditions of which significantly differ from information security conditions. In addition, in this approach possibility of effect of forcing of the speech is not considered. All this leads to the need for reevaluation of the basic dependences which are the cornerstone of this method.

In process of an assessment of security of speech information the system of formation of a test signal is used. The question of a choice of sufficient level of this signal is actual. And in case of forcing of speech, there are even no experimental data on the basis of which it is possible to draw a conclusion of test signal level.

Experiment to determine formant distribution is put down and made, using which it is possible to estimate a contribution of each frequency band to total legibility of speech. For normal speech this experiment was made by N.B. Pokrovsky (results coincided), for forced speech a similar assessment was carried out for the first time. Experimental reevaluation of dependence of word legibility on formant legibility is also made. In case of forcing of speech this dependence significantly differs.

The experimental assessment of amplitude structure of both normal (quiet) and forced speech is carried out. Relying on these dependences it is possible with a given probability, for example 0.95, to determine the sufficient level of a test acoustic signal. So for normal speech the sufficient level is 74dB and for forced speech is 85dB.

The received results allow to correct significantly a method of an assessment of legibility of speech, as well as formulate the method considering forcing effect.