

УДК 004.056

Возможность и целесообразность учета частотных зависимостей характеристик методики оценки защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам*

А.В. ИВАНОВ¹, В.А. ТРУШИН², Т.В. БОРБОТЬКО³

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук. E-mail: andrej.ivanov@corp.nstu.ru

² 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук, старший научный сотрудник. E-mail: rastr89@mail.ru

³ 220013, Республика Беларусь, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, доктор технических наук, профессор. E-mail: kafzi@bsuir.by

Работа посвящена рассмотрению экспериментально-расчетной методики оценки защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам, основанной на формантном методе Н.Б. Покровского [1]. На основании анализа свойств органов слуха человека (а именно он является конечным «анализатором» речевой информации) следует вывод о наличии частотной коррекции акустических сигналов. Данная методика не учитывает то, что человеческое ухо по-разному воспринимает акустические сигналы на различных частотах. Рассмотрены несколько из возможных подходов к учету подобных зависимостей. Первый из подходов реализован с использованием кривых равной громкости (переход от уровней акустического давления к громкости), перевод осуществлен в соответствии с ГОСТ Р ИСО 226-2009. В результате данного перехода влияние на значение разборчивости речи оказывают в основном частотные полосы ниже 500 Гц, так как именно на этом интервале кривые равной громкости идут не параллельно друг другу. Второй подход реализован на основе предложенного А.Н. Продеусом использования различных функций расчета коэффициента восприятия для каждой октавной полосы. В результате значение разборчивости речи снижается, что требует обоснования и противоречит ранее поставленным многочисленным экспериментам, указывающим на то, что в современных условиях (связные тексты, возможность многократного прослушивания, шумоочистка) разборчивость речи существенно увеличивается по сравнению с результатами Н.Б. Покровского (методика разрабатывалась для оценки качества линий связи). В результате возникает вопрос о необходимости выбора подхода к учету влияния частотных характеристик. Также необходимо экспериментально произвести пересмотр функции коэффициента восприятия от уровня ощущений с учетом современных условий защиты информации.

Ключевые слова: разборчивость речи, акустические сигналы, кривые равной громкости, громкость, фоны, коэффициент восприятия, уровень ощущений

DOI: 10.17212/1814-1196-2017-4-85-94

* Статья получена 24 августа 2017 г.

ВВЕДЕНИЕ

Оценка защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам является неотъемлемой частью аттестации помещений, предназначенных для проведения переговоров, совещаний и т. д., содержащих информацию ограниченного доступа. Критерием оценки защищенности речевой информации является показатель словесной разборчивости речи W . Данный показатель рассчитывается с использованием соответствующей расчетно-экспериментальной методики [2], суть которой заключается в следующем:

- весь частотный диапазон речевого сигнала разбивается на пять октавных полос со среднегеометрическими частотами: 250, 500, 1000, 2000, 4000 Гц;
- в каждой октавной полосе измеряются средние спектральные уровни шума $L_{шi}$ и смеси сигнал + шум $L_{(с+ш)i}$;
- вычисляется уровень сигнала для каждой октавной полосы:

$$L_{ci} = 10 \log(10^{0.1L_{(с+ш)i}} - 10^{0.1L_{шi}}); \quad (1)$$

- вычисляются уровни ощущений для каждой октавной полосы:

$$E_i = L_{ci} - L_{шi} - \Delta A_i, \quad (2)$$

где ΔA_i – формантное превышение;

- по известной зависимости $P(E)$ вычисляются коэффициенты восприятия P_i для каждой октавной полосы;
- вычисляется формантная разборчивость речи

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

где g_i – вклад i -й октавной полосы в суммарную разборчивость;

- осуществляется переход по известной зависимости от формантной разборчивости к словесной.

1. УЧЕТ КРИВЫХ РАВНОЙ ГРОМКОСТИ

Конечным «анализатором» речевой информации является человек, его органы слуха, на которые воздействует акустический сигнал, характеризующийся такими объективно измеряемыми величинами, как акустическое давление и частота (раздражающее воздействие), которые органы слуха воспринимают в виде ощущений (громкость, высота тона, тембр).

Связь между силой раздражающего воздействия и ощущениями устанавливает универсальный психофизиологический закон Вебера–Фехнера, который для слуха имеет вид

$$E = 10 \lg \frac{I}{I_0}, \quad (4)$$

где $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м² (порог слышимости на частоте 1кГц). Единицей измерения громкости по закону Вебера–Фехнера является фон [3–4].

Уровень громкости определяется не только уровнем интенсивности или акустического давления, но и частотой, что отражено в так называемых кривых равных громкости (КРГ) (рис. 1), ГОСТ ИСО 226-2004 [5].

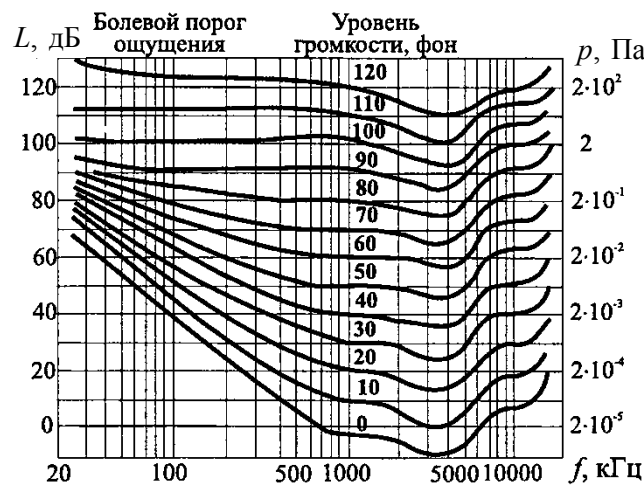


Рис. 1. Кривые равной громкости для бинаурального слуха

При этом коэффициент восприятия формант P_i является функцией уровня ощущения формант и полагается частотно-независимым.

$$L_N = 40 \lg B_f + 94, \quad (5)$$

где L_N – уровень сигнала в фонах;

$$B_f = \left(0.4 \cdot 10^{\left(\frac{L_p - L_U}{10} - 9 \right) \alpha_f} \right) - \left(0.4 \cdot 10^{\left(\frac{T_f + L_U}{10} - 9 \right) \alpha_f} \right) + 0.005135, \quad (6)$$

где L_p – уровень сигнала в децибелах относительно порога слышимости; L_U , T_f , α_f – величины, зависимости значений которых от частоты приведены в ГОСТ Р ИСО 226-2009.

Расчет зависимости словесной разборчивости от отношения сигнал/шум для розового и формантоподобного шумов с учетом кривых равной громкости и по классической методике [2] приведен на рис. 2 и 3.

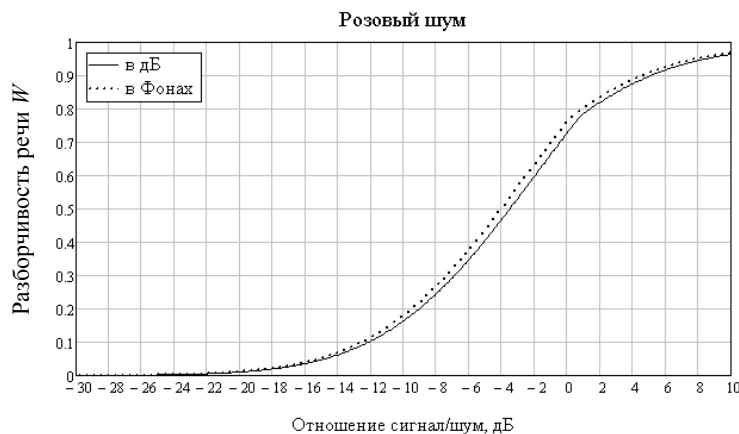


Рис. 2. Зависимость разборчивости от отношения сигнал/шум при использовании розового шума с учетом кривых

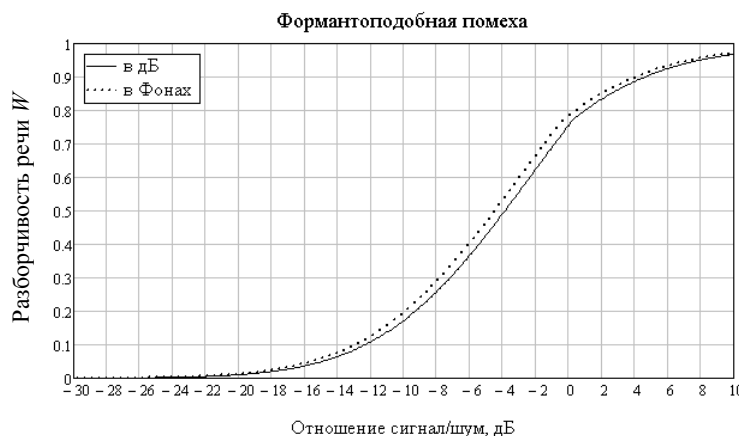


Рис. 3. Зависимость разборчивости от отношения сигнал/шум при использовании формантоподобного шума с учетом кривых

Из вышеприведенных рисунков видно, что разница в W составляет не более 0.05, что легко объясняется спецификой методики, основанной на вычислении разницы между сигналами. Из рис. 1 видно, что в области частот выше 500 Гц и уровня сигналов больше 60 дБ кривые равной громкости идут практически параллельно и разница между уровнями входных сигналов в децибелах и уровнями громкости в фонах практически одинакова. Область частот ниже 500 Гц вносит несущественный вклад в формантную разборчивость речи (меньше 5 %).

Следует отметить следующие обстоятельства:

- КРГ справедливы, строго говоря, для тональных сигналов;
- кроме логарифмического закона Вебера–Фехнера существует экспоненциальный закон Стивенсона, выражающий громкость в тонах; специалисты по психоакустике не дают четкого ответа на области их применения.

2. ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ВОСПРИЯТИЯ ОТ ЧАСТОТЫ

Как уже отмечалось выше, в формантном методе Н.Б. Покровского, положенного в основу существующей методики оценки защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам, принято считать зависимость коэффициента восприятия формант от уровня их ощущений $P(E)$ частотно-независимой. В то же время в ряде работ выявлен факт частотной зависимости $P(E)$ и приведены данные об этих зависимостях в разных октавных полосах. В частности, в работе [6] представлены аналитические описания этих зависимостей в виде полиномов с указанием коэффициентов.

Результаты расчетов по этим данным представлены на рис. 4.

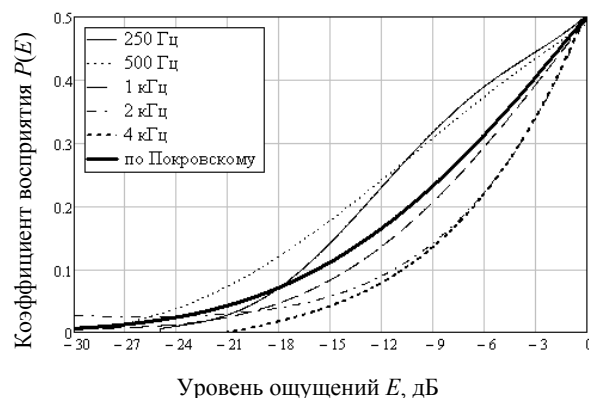


Рис. 4. Зависимости коэффициента восприятия формант от уровня ощущений $P(E)$ по Продеусу и Покровскому

Графики приведены для области отрицательных уровней ощущений, так как именно эта область представляет интерес для задач защиты информации.

На рис. 5 и 6 приведены рассчитанные зависимости словесной разборчивости от отношения сигнал/шум для розового и формантоподобного шумов с учетом различных подходов к определению $P(E)$.

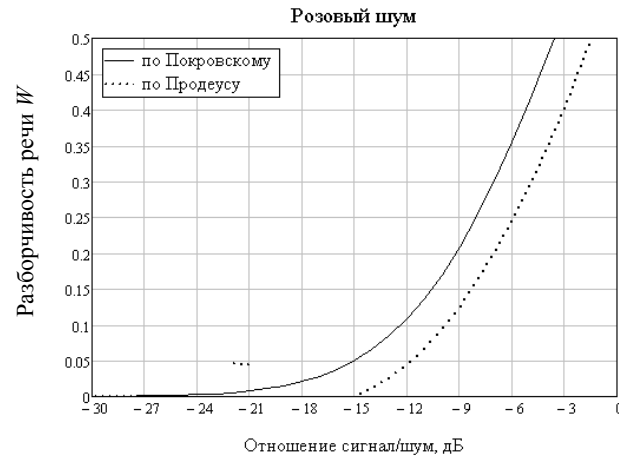


Рис. 5. Зависимость разборчивости от отношения сигнал/шум для розового шума $P(E)$ по Продеусу и Покровскому

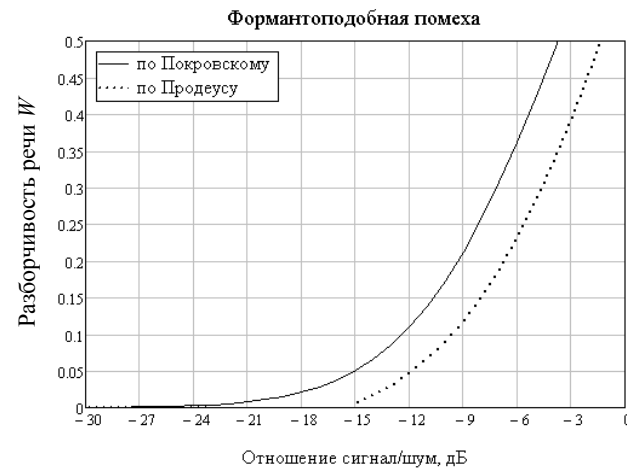


Рис. 6. Зависимость разборчивости от отношения сигнал/шум для формантоподобного шума $P(E)$ по Продеусу и Покровскому

Данные результаты показывают, что учет влияния частотной характеристики через замену функции $P(E)$ приводит к снижению разборчивости речи примерно на 0.1 по сравнению с результатами Н.Б. Покровского.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что учет частотных зависимостей характеристик формантной методики оценки защищенности речевой информации на основе кривых равной громкости не вносит существенных изменений в оценку W в сравнении с классическим подходом.

Учет частотной зависимости коэффициента восприятия формант $P(E)$ для разных октавных полос дает более ощутимую разницу (порядка 0.1) по сравнению с зависимостями Н.Б. Покровского, но приводит к существенному усложнению методики.

Следует заметить, что в методе Н.Б. Покровского учитывается зависимость коэффициента восприятия от частоты, поскольку значения P_i зависят от значения E , которое, в свою очередь, может быть разным для разных частотных полос. Также важно отметить, что зависимости словесной разборчивости, приведенные на рис. 5 и 6, входят в еще большее противоречие (чем классическая методика) с результатами, полученными авторами данной работы, основанными на многочисленных артикуляционных испытаниях со связанными текстами [7–15].

Учитывая большое количество появившихся в последнее время публикаций, связанных с критическим анализом принятого формантного подхода к оценке защищенности речевой информации, по-видимому, настала необходимость существенной корректировки этого подхода с учетом последних достижений в области ведения акустической речевой разведки, моделей описания речевых сигналов, достижений психоакустики и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Покровский Н.Б. Расчет и измерение разборчивости речи. – М.: Связьиздат, 1962. – 390 с.
2. Железняк В.К., Макаров Ю.К., Хорев А.А. Некоторые методические подходы к оценке эффективности защиты речевой информации // Специальная техника. – 2000. – № 4. – С. 39–45.
3. Акустика: справочник / под общ. ред. М.А. Сапожкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1989. – 336 с.
4. Алдошина И.А., Приттс Р. Музыкальная акустика. – СПб.: Композитор, 2006. – 717 с.
5. ГОСТ Р ИСО 226–2009. Акустика. Стандартные кривые равной громкости. – М.: Стандартинформ, 2010. – 20 с.
6. Дидковский В.С., Дидковский М.Л., Продеус А.Н. Акустическая экспертиза каналов речевой коммуникации: монография. – Киев: Имекс-ЛТД, 2008. – 420 с.
7. Трушин В.А., Рева И.Л., Иванов А.В. Экспериментальная оценка разборчивости речи в задачах защиты информации на основе модифицированных артикуляционных испытаний // Материалы X Международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения»: АПЭП-2010, 22–24 сентября 2010 г.: в 7 т. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. – Т. 7. – С. 133–135.
8. Трушин В.А., Рева И.Л., Иванов А.В. Усовершенствование методики оценки разборчивости речи в задачах защиты информации // Ползуновский вестник. – 2012. – № 3/2. – С. 238–241.
9. Экспериментальные исследования защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам с учетом эффекта форсирования речи / А.В. Иванов, В.А. Трушин, А.В. Береснева, Г.В. Маркелова // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП-2014): материалы XII международной конференции, 2–4 октября 2014 г.: в 7 т. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014 – Т. 3 – С. 164–170.
10. Иванов А.В., Трушин В.А. О модели речевого сигнала при оценке защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам // Доклады ТУСУР. – 2014. – № 2 (32), ч. 1. – С. 87–90.
11. Иванов А.В., Трушин В.А., Хиценко В.Е. О выборе модели тестового сигнала при оценке защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам // Труды СПИИРАН. – 2015. – № 3. – С. 122–133.

12. Трушин В.А., Иванов А.В., Рева И.Л. О корректировке методики оценки защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам // Специальная техника. – 2016. – № 6. – С. 22–30.

13. Ivanov A.V., Trushin V.A. Choosing characteristics of hardware-software systems for word intelligibility of speech scoring // The 8 International Forum on Strategic Technologies (IFOST 2013). – Ulaanbaatar, Mongolia, 2013. – Vol. 2. – P. 241–244.

14. Авдеев В.Б. Совершенствование методик оценки и контроля защищенности речевой информации от ее утечки по техническим каналам // Специальная техника. – 2015. – № 5. – С. 46–59.

15. Козлачков С.Б., Дворянкин С.В., Бонч-Бруевич А.М. Ограничения формантной теории разборчивости речи в приложениях защиты речевой информации // Вопросы кибербезопасности. – 2016. – № 5 (18). – С. 28–35.

Иванов Андрей Валерьевич, доцент кафедры защиты информации факультета автоматики и вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – защита информации. Имеет 30 публикаций. E-mail: andrej.ivanov@corp.nstu.ru

Трушин Виктор Александрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий кафедрой защиты информации факультета автоматики и вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – защита информации. Имеет более 100 публикаций, в том числе одну монографию, 22 патента. E-mail: gastr89@mail.ru

Борботько Тимофей Валентинович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. Основное направление научных исследований – разработка радиопоглощающих материалов для различных применений, нанотехнологии, информационная безопасность. Имеет более 250 научных трудов, в том числе учебно-методических пособий – 13, монографий – 10, статей и тезисов докладов – 195, патентов – 37. E-mail: kafzi@bsuir.by

Possibility and expediency of accounting frequency dependences of characteristics of the valuation method of voice information protection from leakage through technical information leakage channels*

A.V. IVANOV¹, V.A. TRUSHIN², T.V. BORBOT'KO³

¹Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, PhD (Eng.). E-mail: andrej.ivanov@corp.nstu.ru

²Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, PhD (Eng.), senior research associate. E-mail: rastr89@mail.ru

³Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 6 St. P. Brovki, Minsk, 220013, Republic of Belarus, D.Sc. (Eng), professor. E-mail: kafzi@bsuir.by

This paper studies an experimental estimation technique of voice information protection from leakage through technical information leakage channels based on a N.B. Pokrovsky formant method. Analysis of properties of human ear which is a final analyzer of voice information leads to the conclusion that there is a frequency correction of audible tones. This technique does not consider human ear to hear audible tones at different frequencies in different ways. Several possible approaches of taking similar dependences into account are investigated. The first is implemented with the use of equal loudness contours (transition from acoustic pressure levels to volume); conversion is performed according to GOST R ISO 226-2009. As a re-

* Received 24 August 2017.

sult of this conversion, frequency bands lower than 500 Hz mostly affect the value of speech intelligibility; since it is in this interval that equal loudness contours are not parallel to each other. The second approach is based on the use of various function of perception coefficient calculation for each octave band suggested by A.N. Prodeus. As a result, the speech intelligibility value decreases, which needs validation, and contradicts numerous experimental results obtained earlier. These experiments reveal that in modern conditions (connected texts, a possibility of repeated listening, noise cleaning) the speech intelligibility significantly increases in comparison with N.B. Pokrovsky's results (the technique was developed for assessing the quality of communication lines). As a result, the question of the necessity to choose an approach to the accounting of the influence of frequency characteristics arises. In addition, it may be necessary to experimentally revise the dependence of the perception coefficient function on the level of perception by taking modern conditions of information security into account.

Keywords: speech intelligibility, audible tones, equal loudness contours, volume, background, perception coefficient, level of perception

DOI: 10.17212/1814-1196-2017-4-85-94

REFERENCES

1. Pokrovskii N.B. *Raschet i izmerenie razborchivosti rechi* [Calculation and measurement of speech intelligibility]. Moscow, Svyaz'izdat Publ., 1962. 390 p.
2. Zheleznyak V.K., Makarov Yu.K., Khorev A.A. Nekotorye metodicheskie podkhody k otsenke effektivnosti zashchity rechevoi informatsii [Some methodological approaches to evaluating the effectiveness of protection of speech information]. *Spetsial'naya tekhnika – Special Equipment*, 2000, no. 4, pp. 39–45.
3. Sapozhkov M.A., ed. *Akustika: spravochnik* [Acoustics: handbook]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1989. 336 p.
4. Aldoshina I.A., Pritts R. *Muzykal'naya akustika* [Musical acoustics]. St. Petersburg, Kompozitor Publ., 2006. 717 p.
5. *GOST R ISO 226–2009. Akustika. Standartnye krivye ravnoi gromkosti* [State Standart R ISO 226–2009. Acoustics – Normal equal-loudness-level contours (IDT)]. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 20 p.
6. Didkovskii V.S., Didkovskii M.L., Prodeus A.N. *Akusticheskaya ekspertiza kanalov rechevoi kommunikatsii* [Acoustic expertise of speech information channel]. Kiev, Imeks Publ., 2008. 418 p.
7. Ivanov A.V., Reva I.L., Trushin V.A. [Experimental assessment of intelligibility of speech in problems of information security on the basis of the modified articulation measurements]. *Materialy X Mezhdunarodnoi konferentsii Aktual'nye problemy elektronogo priborostroeniya, APEP-2010. V 7 t.* [Proceedings of 10th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE-2010). In 7 vol.], Novosibirsk, 22–24 September 2010, vol. 7, pp. 133–135. (In Russian).
8. Trushin V.A., Reva I.L., Ivanov A.V. Uovershenstvovanie metodiki otsenki razborchivosti rechi v zadachakh zashchity informatsii [Improvement of a technique of an assessment of an intelligibility of the speech in problems of information security]. *Polzunovskii vestnik – Polzunov Bulletin*, 2012, no. 3/2, pp. 238–241.
9. 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]. *Materialy XII Mezhdunarodnoi konferentsii "Aktual'nye problemy elektronogo priborostroeniya", APEP-2014. V 7 t.* [Proceedings of 12th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE-2014). In 7 vol.], Novosibirsk, 2–4 October 2014, vol. 3, pp. 164–170. (In Russian).
10. Ivanov A.V., Trushin V.A. O modeli rechevogo signala pri otsenke zashchishchennosti rechevoi informatsii ot utechki po tekhnicheskim kanalams [About model of a speech signal at an assessment of security of speech information by leaking from technical channels]. *Doklady Tomskogo*

gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki – *Proceedings of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics*, 2014, no. 2 (32), pt. 1, pp. 87–90.

11. Ivanov A.V., Trushin V.A., Khitsenko V.E. O vybore modeli testovogo signala pri otsenke zashchishchennosti rechevoi informatsii ot utechki po tekhnicheskim kanalams [Choice of model of test signal at an assessment of security of speech information from leakage through technical channels]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*, 2015, iss. 3, pp. 122–133.

12. Trushin V.A., Ivanov A.V., Reva I.L. O korrektyrovke metodiki otsenki zashchishchennosti rechevoi informatsii ot utechki po tekhnicheskim kanalams [On correction of estimation technique for voice information protection against leakage through TCIL]. *Spetsial'naya tekhnika – Special Equipment*, 2016, no. 6, pp. 22–30.

13. Ivanov A.V., Trushin V.A. Choosing characteristics of hardware-software systems for word intelligibility of speech scoring. *The 8 International Forum on Strategic Technologies (IFOST 2013)*, Ulaanbaatar, Mongolia, 2013, vol. 2, pp. 241–244.

14. Avdeev V.B. Sovershenstvovanie metodik otsenki i kontrolya zashchishchennosti rechevoi informatsii ot ee utechki po tekhnicheskim kanalams [Improved methods of evaluation and monitoring of security of voice data from its leakage through technical channels]. *Spetsial'naya tekhnika – Special Equipment*, 2015, no. 5, pp. 46–59.

15. Kozlachkov S.B., Dvoryankin S.V., Bonch-Bruevich A.M. Ogranicheniya formantnoi teorii razborchivosti rechi v prilozheniyakh zashchity rechevoi informatsii [Restrictions formant theory of speech intelligibility in speech applications, information security]. *Voprosy kiberbezopasnosti – Cybersecurity Issues*, 2016, no. 5 (18), pp. 28–35.

Для цитирования:

Иванов А.В., Трушин В.А., Борботько Т.В. Возможность и целесообразность учета частотных зависимостей характеристик методики оценки защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам // Научный вестник НГТУ. – 2017. – № 4 (69). – С. 85–94. – doi: 10.17212/1814-1196-2017-4-85-94.

For citation:

Ivanov A.V., Trushin V.A., Borbot'ko T.V. Vozmozhnost' i tselesoobraznost' ucheta chastotnykh zavisimostei kharakteristik metodiki otsenki zashchishchennosti rechevoi informatsii ot utechki po tekhnicheskim kanalams [Possibility and expediency of accounting frequency dependences of characteristics of the valuation method of voice information protection from leakage through technical information leakage channels]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2017, no. 4 (69), pp. 85–94. doi: 10.17212/1814-1196-2017-4-85-94.