

И.В. ГАВРИЛОВ  
**МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА МАСКИРУЮЩЕГО  
ШУМА**

---

*Гаврилов И.В. Методика оценивания качества маскирующего шума.*

**Аннотация.** Эффективная защита конфиденциальной речевой информации генераторами маскирующего шума является достаточно важной задачей для большинства государственных и коммерческих учреждений. Тем не менее, в настоящее время нет единого подхода к оценке качества маскирующих шумов для зашумления речевой информации, а существующие методики нуждаются в серьёзной доработке. В статье представлена модифицированная методика оценивания качества шума, используемого при маскировании речевой информации. Данная методика на основе введённого параметра равномерности амплитудного спектра позволяет учитывать и рассчитывать степень провалов в частотной области шумового сигнала.

**Ключевые слова:** маскирующий шум, энтропия, частотный спектр сигнала, средства активной защиты.

*Gavrilov I.V. Method of Evaluating the Quality of Masking Noise.*

**Abstract.** Effective protection of confidential information by using masking noise generators is quite an important task for most government and commercial institutions. However, there is currently no common approach to the assessment of the quality of voice information noise masking and the existing techniques require major improvements. The article presents a modified method of evaluating the quality of noise used for masking voice information. This methodology based on the entered uniformity parameter of amplitude spectrum allows one to consider and calculate the degree of failure in the frequency domain of the noise signal.

**Keywords:** masking noise, entropy, frequency spectrum of signal, means of active protection.

---

**1. Введение.** В современном мире с нарастающими объёмами обрабатываемых данных растёт и количество речевой информации в государственных учреждениях и на предприятиях, в процессе проведения различных совещаний, конференций, собраний, пленумов, заседаний и при ведении переговоров. Зачастую обсуждаются сведения конфиденциального характера, которые могут быть отнесены к коммерческой или государственной тайне. Очевидно, что в таких условиях необходимо обеспечивать гарантированную защиту упомянутых сведений, которую можно организовать с использованием активных средств, например, таких, как генераторы маскирующего шума, описанные в [1–3]. Но зашумлённый информативный сигнал может быть подвергнут фильтрации и в случае некачественного маскирования злоумышленник получит доступ к защищаемым сведениям. Поэтому возникает важная задача, связанная с оценкой качества шумового сигнала, порождаемого средствами активной защиты.

**2. Критерии качества шумового сигнала для защиты информации.** Оценивание защищённости речевой информации в настоящее время проводится в соответствии с методиками, изложенными

в [4–6], путём расчёта словесной или формантной разборчивости речи, по которым косвенно можно судить о качестве маскирующего шума.

Для определения оценочных характеристик маскирующего шума используются информационные [7] и энергетические [8, 9] критерии. Первая группа критериев рассматривает статистические параметры шумовых сигналов во временной области и позволяет непосредственно определить числовой коэффициент качества шума. На основе расчёта математического ожидания, дисперсии и энтропии мгновенных значений временных отсчётов и их огибающей вычисляется степень приближения к некоторым эталонным распределениям. Такие методы направлены на нахождение степени неопределённости мгновенных значений шумовых сигналов, выражаемых, например, через энтропийный коэффициент качества маскирующего шума [7].

Критерии из второй группы для гарантированной защиты информации используют постулат о необходимости превышения энергетики шума над маскируемым сигналом. Поэтому с целью проверки качества шума используются интегральные показатели, учитывающие превышение уровня шума над уровнем информативного сигнала. Например, весь частотный диапазон маскирующего шума может разбиваться на несколько октавных полос, на средних частотах каждой из которых измеряется уровень шума [8].

С точки зрения энергетической эффективности генерации маскирующих шумов, а также для непосредственного определения их вероятностных свойств наибольший интерес представляют информационные критерии. Поэтому в статье рассмотрена методика оценки качества маскирующего шума, подробно описанная в [7], которая относится к группе информационных критериев.

**3. Методика оценки качества маскирующего шума.** Способы оценки качества маскирующего шума различного рода были описаны в следующих источниках [7, 10–13]. Данные способы сводятся к ряду вычислительных операций, производимых с квантованными измеренными значениями электрического сигнала, к которому преобразуется маскирующий шум. Основу данных способов составляет расчёт меры неопределённости (энтропии) закона распределения мгновенных значений маскирующего шума, а также энтропии закона распределения значений огибающей шумового сигнала.

В данных работах вводится понятие энтропийного коэффициента качества шума. Указанные коэффициенты рассчитываются относительно некоторых эталонных законов распределения. Для мгновенных значений маскирующего шума в условиях ограничений, накладываемых на среднюю мощность, эталонным является нормальный закон

распределения, а для огибающей нормально распределённых мгновенных значений маскирующего шума – закон распределения Релея [7].

Данную методику можно представить в виде последовательности приведённых далее основных операций.

1. Вычисление математического ожидания и среднеквадратического значения напряжения шумового сигнала по полученным в результате процедур дискретизации и квантования мгновенным значениям напряжения и рассчитанным вероятностям пересечения уровней квантования.

2. Определение энтропийного коэффициента качества маскирующего шума по мгновенным значениям относительно параметров нормального распределения по следующей формуле:

$$\eta^M = \frac{e^H}{\sqrt{2\pi\sigma^2}}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – среднеквадратическое значение напряжения шумового сигнала;  $H$  – энтропия закона распределения мгновенных значений напряжения шумового сигнала.

3. Определение энтропийного коэффициента на основе вероятностей распределения значений огибающей по уровням квантования, математического ожидания натурального логарифма значений огибающей и второго момента закона распределения значений огибающей маскирующего шума.

$$\eta^0 = \frac{e^{H^0}}{e^{H^P}} = e^{H^0 + m - 2 \ln r - \frac{\sigma_0}{2r^2}}, \quad (2)$$

где  $H^0$  – энтропия закона распределения огибающей напряжения шумового сигнала;  $m$  – математическое ожидание натурального логарифма значений напряжения огибающей;  $r$  – параметр закона распределения Релея;  $\sigma_0$  – второй момент закона распределения значений напряжения огибающей шумового сигнала.

4. Расчёт общего энтропийного коэффициента качества маскирующего шума производится перемножением полученных с помощью выражений (1) и (2) энтропийных коэффициентов.

В результате расчёта относительного энтропийного коэффициента качества без затраты значительных ресурсов появляется возможность оценивания маскирующих шумов.

Основным недостатком описанного выше подхода является учёт только временных составляющих маскирующего шума. Данный факт

не позволяет проводить анализ неравномерности частотного спектра, поэтому возможно наличие провалов и подъёмов шумовых сигналов в различных частотных областях, что может серьёзно повлиять на качество маскировки сигналов [2, 14, 15].

**4. Уточнение энтропийного коэффициента качества маскирующего шума.** Для устранения указанного недостатка предлагается доработать методику оценки маскирующего шума, учитывая его частотные свойства.

В соответствии с требованиями нормативных документов по технической защите информации спектр маскирующего шума должен соответствовать спектру маскируемого сигнала [14], другими словами, наиболее эффективным маскирующим шумом является формантоподобный [6].

Речевой сигнал представляет из себя шумоподобный процесс со случайной модуляцией. Усреднённые характеристики типовых речевых сигналов экспериментально получены. Средние спектральные уровни и артикуляционные параметры для равноартикуляционных и октавных полос речи представлены в [5]. С практической точки зрения зашумлённость речевого сигнала легче оценивать в октавных полосах, при этом погрешность измерений по сравнению с равноартикуляционными полосами составит менее 10%.

Примеры спектров речи дикторов (женщины и мужчины) с указанием семи октавных полос представлены на рисунках 1 и 2.

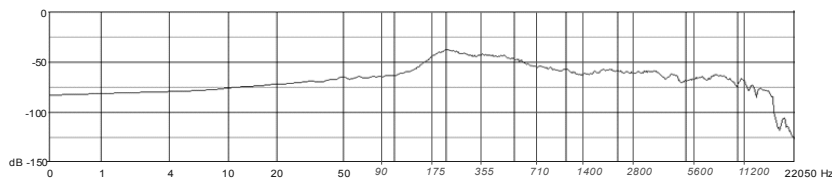


Рис. 1. Усреднённый спектр речи диктора (женщины)

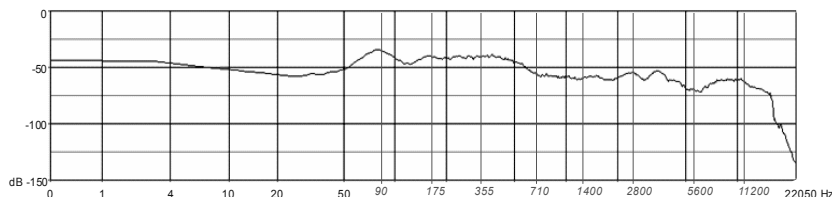


Рис. 2. Усреднённый спектр речи диктора (мужчины)

Рассматривая особенности работы слухового аппарата человека, необходимо упомянуть критические полосы слуха, соответствующие разрешающей способности уха по частоте [16]. Шириной критических

полос определяется слуховая чувствительность уха. Критические полосы для частот до 1 кГц в среднем составляют 35-50 Гц. В то же время минимальная ширина октавной полосы составляет 125 Гц [5]. Это означает, что критическая полоса в несколько раз меньше октавной, поэтому возникает важная задача по оценке равномерности маскирующего шума в отдельных октавных полосах.

Также из отмеченного выше следует, что наиболее приемлемым маскирующим шумом будет случайный шум с нормальным распределением плотности вероятности мгновенных значений и равномерным частотным спектром в октавных полосах. [2, 14, 15].

Для определения степени равномерности спектра маскирующего шума в отдельных октавных полосах был введён коэффициент равномерности амплитудного спектра маскирующего шума [17]. Указанный коэффициент оценки маскирующего шума для выбранного частотного диапазона рассчитывается на основе усреднения относительных коэффициентов схождения к среднему значению.

Подробное описание процесса определения коэффициента равномерности в октаве в виде последовательности действий можно продемонстрировать следующим образом.

1. Нахождение среднего значения амплитуд спектральных составляющих маскирующего шума, например, с помощью быстрого преобразования Фурье.
2. Разбиение требуемого частотного диапазона на  $M$  частотных областей таким образом, чтобы в каждой области оставалось более двух значений амплитуд спектральных составляющих (рисунок 3).

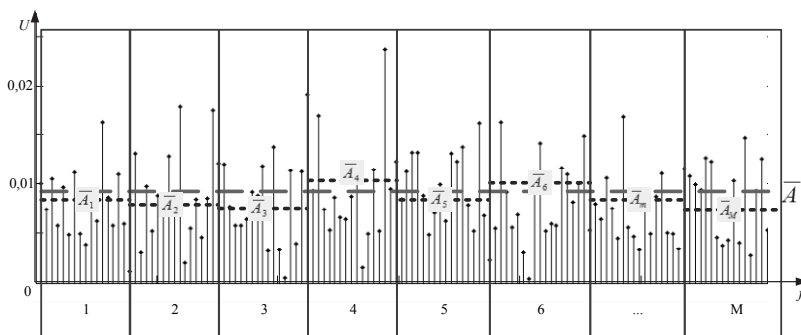


Рис. 3. Иллюстрация сущности процесса определения коэффициента равномерности

3. Расчёт относительных коэффициентов схождения к среднему значению амплитуд спектральных составляющих  $\bar{A}$  для каждой  $m$ -ой частотной области по следующей формуле:

$$K_m = \frac{\left| \bar{A} - \frac{1}{p_m} \sum_{j=1}^{p_m} A_j \right|}{\bar{A}}, \quad (3)$$

где  $\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i$  – среднее значение амплитуд;  $A_j$  – значение амплитуды спектральных составляющих;  $p_m$  – количество спектральных составляющих в границах  $m$ -ой частотной области;  $n$  – количество спектральных составляющих в заданной ограниченной полосе частот.

4. Вычисление коэффициента равномерности амплитудного спектра через усреднённое значение относительных коэффициентов схождения к среднему значению в соответствии со следующим выражением:

$$\bar{K} = 1 - \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M K_m. \quad (4)$$

С использованием полученного коэффициента равномерности амплитудного спектра корректируется общий энтропийный коэффициент качества шума.

**5. Оценка эффективности предложенной методики определения качества маскирующего шума.** Целью модифицированной методики является повышение точности оценивания маскирующего шума. Для расчёта получаемого эффекта предлагается использовать значение коэффициента отклонения от среднего значения. Указанный коэффициент демонстрирует отклонение спектра маскирующего шума от равномерно распределённого спектра в октавных полосах с энергетикой, эквивалентной рассматриваемому маскирующему шуму [17].

$$\bar{K}_0 = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{\left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i - \frac{1}{p_m} \sum_{j=1}^{p_m} A_j \right|}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где  $M$  – количество частотных областей;  $n$  – количество спектральных составляющих в заданной ограниченной полосе частот;  $p_m$  – количество

во спектральных составляющих в границах  $m$ -ой частотной области;  $A$  – значение амплитуды спектральных составляющих.

На примере отрезка записи маскирующего шума, амплитудно-частотный спектр которого представлен на рисунке 4, произведён расчёт коэффициента равномерности.

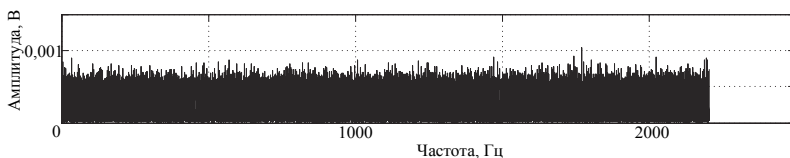


Рис. 4. Амплитудно-частотный спектр экспериментального маскирующего шума

При вычислении общего энтропийного коэффициента качества, порядок действий для определения которого представлен в п.3, по выражениям (1) и (2) получено значение 0,1.

Дальнейший порядок действий соответствует модифицированной методике оценивания качества маскирующего шума, рассмотренной в п.4. Спектр указанного маскирующего шума представлен 262 145 спектральными составляющими. Весь частотный диапазон в данном случае был разделён на 20000 частотных областей. Иллюстрацией к производимым расчётам для первых 15 частотных областей является рисунок 5.

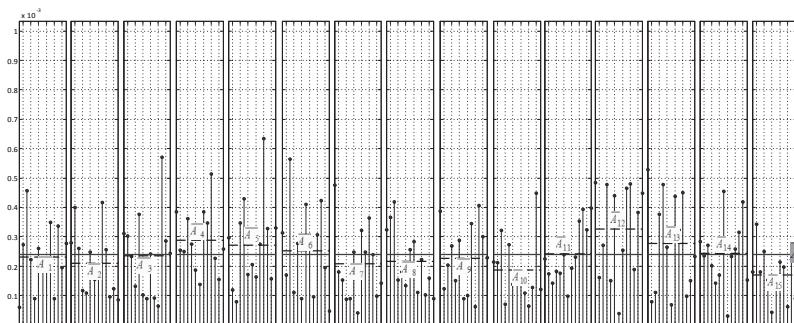


Рис. 5. Первые частотные области амплитудно-частотного спектра экспериментального маскирующего шума

Для каждой частотной области рассчитаны относительные коэффициенты схождения к среднему значению по формуле (3). В соответствии с выражением (4) для коэффициента равномерности получено значение 0,877. В результате корректировки значение энтро-

пийного коэффициента качества для рассмотренного маскирующего шума составило 0,087.

По выражению (5) эффект в результате применения данного способа оценки при корректировке энтропийного коэффициента рассматриваемого маскирующего шума составил 12,3%. Таким образом была повышена точность оценивания маскирующего шума, что свидетельствует о достижении поставленной цели.

**6. Заключение.** В результате проведённых исследований разработана модифицированная методика оценивания качества маскирующего шума, которая позволяет уточнить существовавший подход к определению качества маскирующего шума [7], создаваемых средствами активной защиты речевой информации, через расчёт энтропийного коэффициента качества этого шума.

Таким образом, в результате проведённых исследований получена возможность вычисления оценочного показателя, учитывающего качество маскирующего шума не только во временной, но и в частотной области.

Данные исследования позволят в будущем более объективно оценивать качество маскирующего шума, а на основе полученных оценок делать вывод о функционировании средств активной защиты.

### Литература

1. *Зайцев А.П., Шелупанов А.А., Мещеряков Р.В. и др.* Технические средства и методы защиты информации: учеб. для вузов // М.: ООО «Издательство Машиностроение». 2009. 508 с.
2. *Халяпин Д. Б.* Защита информации. Вас подслушивают? Защищайтесь! // М.: НОУ ШО «Баярд». 2004. 432 с.
3. *Хорев А. А.* Защита информации от утечки по техническим каналам. Часть 1. Технические каналы утечки информации : учеб. пособие // М. : Гостехкомиссия России. 1998. 320 с.
4. *Покровский Н.Б.* Расчёт и измерение разборчивости речи // М.: "Связьиздат", 1962. 392 с.
5. *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.
6. *Иванов А.В., Рева И.Л., Трушин В.А.* Реализация оптимальной помехи при защите речевой информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам // Научный вестник НГТУ. 2011. №4(45). С. 151–154.
7. *Герасименко В.Г., Лаврухин Ю.Н., Тупома В.И.* Методы защиты акустической речевой информации от утечки по техническим каналам // М. : РЦИБ "Факел". 2008. 258 с.
8. *Дворянкин С.В., Макаров Ю.К., Хорев А.А.* Обоснование критериев эффективности защиты речевой информации от утечки по техническим каналам // Защита информации. Инсайд. 2007. № 2. С. 18–25.
9. *Козлачков С.Б.* Дополнительные критерии оценки защищённости речевой информации // Спецтехника и связь. 2011. № 2. С. 44–47.



10. *Тупота В.И. и др.* Способ оценки качества маскирующих частотно-модулированных шумовых помех // Патент РФ № 2346390. 2009. Бюл. № 4. 6 с.
11. *Тупота В.И. и др.* Способ оценки качества маскирующего акустического (виброакустического) шума // Патент РФ № 2350023. 2009. Бюл. № 8. 10 с.
12. *Тупота В.И. и др.* Способ оценки качества маскирующих амплитудно-модулированных шумовых помех // Патент РФ № 2351076. 2009. Бюл. № 9. 6 с.
13. *Тупота В.И. и др.* Способ оценки качества маскирующих прямошумовых помех // Патент РФ № 2353057. 2009. Бюл. № 11. 9 с.
14. *Бузов Г.А., Калинин С.В., Кондратьев А.В.* Защита от утечки информации по техническим каналам: учеб. пособие // М.: Горячая линия – Телеком. 2005. 416 с.
15. *Каторин Ю.Ф., Куренков Е.В., Лысов А.В., Остапенко А.Н.* Энциклопедия промышленного шпионажа // СПб: ООО «Издательство Полигон». 2000. 512 с.
16. *Сапожков М.А.* Электроакустика: учебник для вузов. М.: «Связь». 1978. 272 с.
17. *Гаврилов И.В. и др.* Способ оценки качества маскирующего шума // Патент РФ № 2550353. 2015. Бюл. № 13. 13 с.

## References

1. Zaicev A.P., Shelupanov A.A., Mescheryakov R.V. i dr. *Tehnicheskie sredstva i metody zaschity informacii: uchebnik dlya vuzov* [Hardware and methods of information security: textbook for high schools]. М.: ООО «Издательство Mashinostroeniye». 2009. 508 p. (In Russ.).
2. Halyapin D. B. *Zaschita informacii. Vas podslushivayut? Zashischaite's!* [Information security. Did you overhear? Defend yourself!]. М.: NOU ShO «Bayard». 2004. 432 p.
3. Horev A. A. *Zaschita informacii ot utechki po tehniceskim kanalam. Chast'1. Tehnicheskie kanaly utechki informacii: ucheb. posobie* [Information protection against leakage via technical channels. Part 1. Technical channels of information leakage: tutorial]. М.: Gostehkomissiya Rossii. 1998. 320 p. (In Russ.).
4. Pokrovskiy N.B. *Raschyot i izmerenie razborchivosti rechi* [Calculation and measurement of speech intelligibility]. М.: «Sviaz' izdat». 1962. 392 p. (In Russ.).
5. Zhelezniak V.K., Makarov U.K., Horev A.A. [Some methodological approaches to evaluating the effectiveness of the protection of the speech information]. *Spetsial'naya tekhnika – Special equipment*. 2000. vol 4. pp. 39–45. (In Russ.).
6. Ivanov A.V., Reva I.L., Trushin V.A. [Implementation of optimal interference protection of speech information leakage on acoustic and vibro-acoustic channels]. *Nauchny'i vestnyk NGTU – Science bulletin of NSTU*. 2011. vol. 4(45). pp. 151–154. (In Russ.).
7. Gerasimenko V.G., Lavruhin Yu.N., Tupota V.I. *Metody zaschity akusticheskoi rechevoi informacii ot utechki po tehniceskim kanalam* [Methods of protection of the acoustic speech information leakage via technical channels]. М.: RCIБ "Fakel". 2008. 258 p. (In Russ.).
8. Dvoryankin S.V., Makarov Yu.K., Horev A.A. [Justification of the criteria the protection of the speech information leakage via technical channels]. *Zaschita informacii. Insaïd – Information security Inside*. 2007. vol. 2. pp. 18–25. (In Russ.).
9. Kozlachkov S.B. *Dopolnitel'nye kriterii ocenki zaschischnosti rechevoi informacii* [Additional criteria for evaluating the security of voice data]. *Spetsial'naya tekhnika i svyaz' – Special equipment and communication*. 2011. vol. 2. pp. 44–47. (In Russ.).
10. Tupota V.I. et al. *Sposob ocenki kachestva maskiruyushhih chastotno-modulirovannyh shumovykh pomekh* [Method for assessment of quality of masking frequency-modulated noise jamming]. Patent RF. no. 2346390. 2009. Bull. no. 4. 6 p. (In Russ.).

11. Tupota V.I. et al. *Sposob ocenki kachestva maskirujushhego akusticheskogo (vibroakusticheskogo) shuma* [Masking acoustic (vibroacoustic) noise quality test]. Patent RF. no. 2350023. 2009. Bull. no. 8. 10 p. (In Russ.).
12. Tupota V.I. et al. *Sposob ocenki kachestva maskirujushhih amplitudno-modulirovannyh shumovyh pomeh* [Method of evaluating quality of masking amplitude-modulated noise interference]. Patent RF. no. 2351076. 2009. Bull. no. 9. 6 p. (In Russ.).
13. Tupota V.I. et al. *Sposob ocenki kachestva maskirujushhih prjamoshumovyh pomeh* [Assessment method of masking direct noise interference quality]. Patent RF. no. 2353057. 2009. Bull. no. 11. 9 p. (In Russ.).
14. Buzov G.A., Kalinin S.V., Kondrat'ev A.V. *Zaschita ot utechki informacii po tehničeskim kanalam: ucheb. posobie* [Protection against leakage of information through technical channels: tutorial]. M.: Goryachaya liniya – Telekom. 2005. 416 p. (In Russ.).
15. Katorin Yu.F., Kurenkov E.V., Lysov A.V., Ostapenko A.N. *Enciklopediya promyshlennogo shpionaja. Pod obsch. red. Kurenkova E.V.* [Encyclopaedia of industrial espionage. edited by Kurenkov E.V.]. SPb: OOO «Izdatel'stvo Poligon». 2000. 512 p. (In Russ.).
16. Sapozhkov M.A. *E`lektroakustika: uchebnik dlja vuzov* [Electroacoustics: textbook for high schools.]. M.: «Sviaz'». 1978. 272 p. (In Russ.).
17. Gavrilov I.V. et al. *Sposob ocenki kachestva maskirujushhego shuma* [Quality assessment method of masking noise]. Patent RF. no. 2550353. 2015. Bull. № 13. 13 p. (In Russ.).

**Гаврилов Илья Вячеславович** — аспирант, Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации. Область научных интересов: системы активной защиты информации. Число научных публикаций — 5. [ilya\\_vch@pisem.net](mailto:ilya_vch@pisem.net); Приборостроительная, 35, Орел, 302034; п.т.: +7(4862)549533.

**Gavrilov Ilya Vyacheslavovich** — Ph.D. student, The Academy of Federal Security Guard Service of the Russian Federation. Research interests: system of active information security. The number of publications — 5. [ilya\\_vch@pisem.net](mailto:ilya_vch@pisem.net); 35, Priborostrоitelnaya Street, Orel, 302034, Russia; office phone: +7(4862)549533.

## РЕФЕРАТ

*Гаврилов И.В.* **Методика оценивания качества маскирующего шума.**

В результате увеличения количества обрабатываемой речевой информации конфиденциального характера повышаются требования к её защите. А в качестве активных средств защиты используются генераторы маскирующего шума. Поэтому существует важная задача, связанная с оценкой качества шума.

После проведённого анализа методов определения качества шумового сигнала установлено, что одним из наиболее перспективных является метод, основанный на определении энтропийного коэффициента качества маскирующего шума. Но в данном методе есть существенный недостаток: он не позволяет оценивать частотную составляющую маскирующего шума.

Поэтому в работе предложен подход к определению частотных свойств маскирующего шума. Установлено, что наилучшими шумовыми свойствами обладает маскирующая помеха с равномерным частотным спектром.

В статье предлагается для оценки качества частотной составляющей маскирующего шума использовать коэффициент равномерности амплитудного спектра, который вычисляется через рассчитываемое усреднённое значение относительных коэффициентов схождения к среднему. В свою очередь энтропийный коэффициент качества для временной составляющей корректируется с учётом значения коэффициента равномерности для частотной составляющей.

Предложенный подход к определению качества маскирующего шума за счёт дополнительного учёта огибающей частотного спектра позволяет повысить точность проводимой оценки. Это показано в работе на примере расчёта коэффициента равномерности и корректировки энтропийного коэффициента для некоторой реализации маскирующего шума.

## SUMMARY

### *Gavrilov I.V.* **Method of Evaluating the Quality of Masking Noise.**

Increase in the amount of processed confidential voice information has led to increased requirements for its protection. Noise generators are used as active means of protection. Therefore, an important task arising is that of the assessment of the noise quality.

After conducted analysis of methods of determining the quality of a noise signal, it is established that one of the most promising methods is a method based on the determination of the entropy coefficient of the masking noise quality. However, this method has a major drawback: it does not evaluate the masking noise frequency component.

Therefore, in this paper we propose an approach to the determination of the frequency properties of masking noise. Masking interference with uniform frequency spectrum was found to have the best noise characteristics.

The paper proposes to assess the quality of the masking noise frequency component by using the uniformity coefficient of amplitude spectrum, which is calculated by the estimated average values of the relative coefficients regression to the mean. In its turn, the entropy quality coefficient for the time component is adjusted taking into account the values of the uniformity coefficient for the frequency component.

The proposed approach to the determination of the quality of masking noise due to additional accounting of an envelope of the frequency spectrum allows improving the accuracy of the assessment. In the paper, it is shown using the example of calculating the uniformity coefficient and adjusting the entropy coefficient for the implementation of masking noise.