

УДК 621.391

DOI: 10.30987/1999-8775-2020-5-49-55

Н.Е. Холкина

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМ ОПОВЕЩЕНИЯ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ АУДИООБМЕНА В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ

Представлены вопросы исследования зависимости отношения акустический сигнал/шумовая помеха на обеспечение требуемой слоговой разборчивости для возможности повышения эффективности функционирования систем телекоммуникаций и обмена информацией, которые функционируют в условиях сложной помеховой обстановки. Проанализировано влияние, которое оказывают на слоговую разборчивость и полноту восприятия информации абонентами системы такие параметры, как интегральный индекс артикуляции, определяющий формантную разборчивость, а также отношение сигнал/акустический шум, воздействующий на систему передачи сообщений извне. Рассмотрена зависимость формантной разборчивости от значения среднегеометрических частот в каждой i -ой

полосе частотного спектра акустических речевых сигналов. Полученные характеристики обеспечивают возможность формирования функций, отображающих степень влияния на слоговую разборчивость отношения акустический речевой сигнал/шумовая помеха. Определено, что для полного восприятия абонентом речевой информации слоговой разборчивости уровнем более 93 %, требуется обеспечение отношения акустический сигнал/помеха значением не менее 20 дБ.

Ключевые слова: телекоммуникации аудиообмена, помеховая обстановка, отношение сигнал/шум, эффективность передачи, слоговая разборчивость речи, формантная разборчивость, обмен речевыми сообщениями.

N.E. Kholkina

INFORMATION TRANSFER EFFECTIVENESS OF WARNING AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS OF AUDIO-EXCHANGE UNDER NOISE CONDITIONS

In the paper shown there is presented an approach to the solution of the problem of the effectiveness parameter assessment in telecommunication systems of operational and command communication, systems of warning speakerphone and audio-exchange.

There are considered the matters of the dependence investigation of the acoustic speech signal/noise ratio to the assurance of the required syllabic legibility for the possibility to increase the function effectiveness of telecommunication systems and information exchange operated under complex noise situation. There is shown the dependence of formant legibility upon the meaning of average geometric frequencies in each i -th band of a frequency spectrum of acoustic

speech signals. The degree of the impact upon syllabic legibility of the acoustic speech signal/noise ratio is shown. In the paper it is shown that for obtaining speech information with syllabic legibility higher than 93% required for complete perception by a subscriber it is necessary to ensure the acoustic signal/noise ratio at the level no less than 20 dB. The problems in the probability density approximation of acoustic signals with the use of generalized polynomials on function basis systems are presented.

Key words: audio-exchange telecommunications, noise situation, signal/noise ratio, transfer effectiveness, speech syllabic legibility, formant legibility, speech information exchange.

Введение

Качественная передача речевой информации на многофункциональных объектах является значимой проблемой, решение которой обеспечит достоверное доведение оперативно-командной информации до абонентов системы. Поэтому повышение эффективности функционирования таких систем, как системы оповеще-

ния, системы громкоговорящей связи, системы обмена речевыми аудиосообщениями является актуальной проблемой и требует проведения дальнейших исследований. Наиболее значимым параметром, который определяет эффективность функционирования систем передачи информации речевыми сообщениями, служит слоговая

разборчивость, обозначаемая S %. Слоговая разборчивость является мерой оценки качества акустических речевых сигналов по шкале средней субъективной оценки восприятия данных, называемой шкалой MOS (Mean Opinion Score) [1]. В стандарте определено, что система передачи речевых сообщений может считаться эффективной, при условии, что вся передаваемая речевая информация будет восприниматься принимающими абонентами полностью и без

каких-либо существенных затруднений [2]. В обратном случае эффективность функционирования объекта массового обслуживания или многофункционального объекта системы существенно снижается. Стандарт определяет минимальный уровень слоговой разборчивости значением $S \geq 93$ % для обеспечения полного восприятия передаваемых данных, что эквивалентно оценке в 3,9 баллов по шкале MOS.

Исследование влияния отношения акустический сигнал/шумовая помеха на слоговую разборчивость

Исследование зависимости уровня слоговой разборчивости от разнообразных факторов, оказывающих влияние на функционирование телекоммуникационных систем передачи речевых сообщений, проводилось в ряде научных работ [3-8]. Однако, в рассмотренных вышеуказанных источниках, результаты проведенного анализа и исследований по зависимости слоговой разборчивости речи от ОСШ (отношение акустический сигнал/шумовая помеха) при передаче речевых сообщений в системах связи представлены в недостаточной степени, что обосновывает значимость проводимых исследований. В работе использовались разнообразные подходы и методы, такие как метод оценивания формантной разборчивости R (в англоязычной литературе называемой интегральным ин-

дексом артикуляции), метод оценивания значения слоговой разборчивости в соответствии с параметром разборчивости формант речи, метод вычисления коэффициентов восприятия формантных составляющих при разных значениях отношений сигнал/шум.

Первоначально были исследованы вопросы восприятия формантных составляющих p_i . На графике (рис. 1) представлена функция зависимости вычисленных коэффициентов формантных составляющих речевых сигналов от значения параметра интенсивности формант Q_i , которые вычислялись в каждой частотной полосе i на заданной среднегеометрической частоте $f_{cp.i}$.

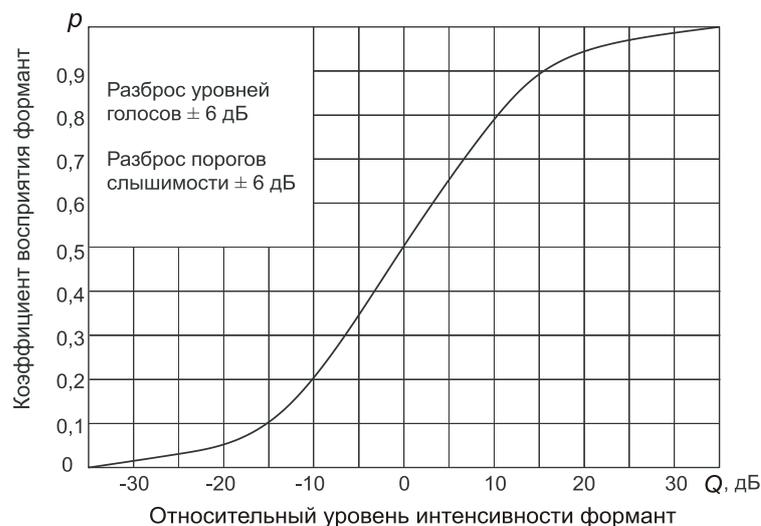


Рис. 1. График функциональной зависимости p_i от значений Q_i

При этом параметр формантной интенсивности Q_i , определялся в соответствии с выражением

$$Q_i = q_i - \Delta A_i, \quad (1)$$

в котором q_i – ОСШ в i -той формантной частотной полосе.

В том случае, если количество октавных полос $N=5$, то становится возможным вычисление параметров пределов $f_{н.i}$ и $f_{в.i}$ по частотным полосам, а также определение $f_{ср.i}$ которые отражают среднегеометрические значения частоты в i -той частотной полосе, по которым вычисляются значения ΔA_i , представляющие формантные параметры.

Формантные параметры ΔA_i , позволяют с помощью (1) найти значения относительных уровней интенсивности формант Q_i , находящихся в зависимости от ОСШ q_i .

По графику, представленному рис. 1, возможно определение коэффициентов восприятия формант p_i в соответствии со значениями Q_i для всех частотных полос i , при изменении значений ОСШ.

Чтобы вычислить формантную разборчивость R_i , требуется найти весовые коэффициенты k_i , отображающие вероятность нахождения формант речевых сообщений в частотных полосах i в соответствии с выражением

$$k_i = k(f_{в.i}) - k(f_{н.i}), \quad (2)$$

в котором $k(f_{в.i})$ и $k(f_{н.i})$ – весовые коэффициенты верхней ($f_{в.i}$) и нижней ($f_{н.i}$) граничных частот в i -той полосе частотного спектра акустических речевых сигналов.

Параметры $k(f_{в.i})$, $k(f_{н.i})$ находятся по графику, который изображен на рис. 2.

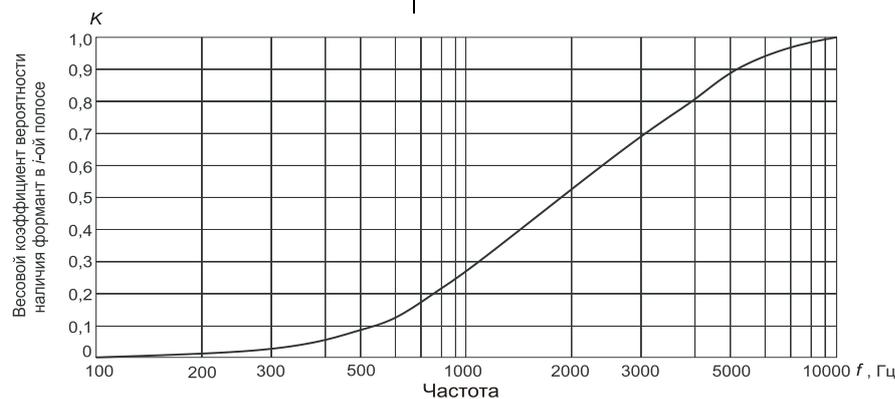


Рис. 2. График зависимости весового коэффициента вероятности наличия формант в различных частотных полосах

По полученным значениям весовых коэффициентов вероятности нахождения формант речевых сообщений в частотных полосах i , определяются значения пара-

метров разборчивости формант R_i в зависимости от ОСШ q_i , после чего параметры R_i позволили сформировать табл. 1.

Таблица 1

Значения разборчивости формант R_i , при различных значениях отношения с/ш

$R_i = p_i \cdot k_i$	$R_1 = p_1 \cdot k_1$	$R_2 = p_2 \cdot k_2$	$R_3 = p_3 \cdot k_3$	$R_4 = p_4 \cdot k_4$	$R_5 = p_5 \cdot k_5$
$q_i = 0$ дБ	$0.07 \cdot 0.03 = 0.002$	$0.180 \cdot 0.14 = 0.025$	$0.22 \cdot 0.18 = 0.039$	$0.29 \cdot 0.37 = 0.107$	$0.34 \cdot 0.29 = 0.098$
$q_i = 3$ дБ	$0.11 \cdot 0.03 = 0.003$	$0.021 \cdot 0.14 = 0.029$	$0.31 \cdot 0.18 = 0.055$	$0.38 \cdot 0.37 = 0.140$	$0.41 \cdot 0.29 = 0.118$
$q_i = 6$ дБ	$0.20 \cdot 0.03 = 0.006$	$0.300 \cdot 0.14 = 0.042$	$0.40 \cdot 0.18 = 0.072$	$0.48 \cdot 0.37 = 0.177$	$0.51 \cdot 0.29 = 0.147$
$q_i = 10$ дБ	$0.24 \cdot 0.03 = 0.007$	$0.410 \cdot 0.14 = 0.057$	$0.51 \cdot 0.18 = 0.091$	$0.53 \cdot 0.37 = 0.196$	$0.62 \cdot 0.29 = 0.179$
$q_i = 20$ дБ	$0.47 \cdot 0.03 = 0.014$	$0.600 \cdot 0.14 = 0.084$	$0.79 \cdot 0.18 = 0.091$	$0.81 \cdot 0.37 = 0.299$	$0.88 \cdot 0.29 = 0.255$
$q_i = 30$ дБ	$0.81 \cdot 0.03 = 0.024$	$0.900 \cdot 0.14 = 0.126$	$0.94 \cdot 0.18 = 0.169$	$0.96 \cdot 0.37 = 0.355$	$0.98 \cdot 0.29 = 0.284$

В результате проведённых исследований значений разборчивости формант R_i , представленных в таблице 1, возможно

нахождение зависимости уровня формантной разборчивости R от ОСШ, позволяющее получить зависимость слоговой раз-

борчивости при передаче речевых сообщений от ОСШ. Полученные результаты со-

ответствия слоговой разборчивости от ОСШ приведены в табл. 2.

Таблица 2

Слоговая и формантная разборчивость для различных значений ОСШ

Формантная разборчивость, R	0.273	0.348	0.4455	0.5323	0.7952	0.9589
Слоговая разборчивость, S	25%	35 %	53 %	65 %	93%	98.5%
ОСШ, q_i	0 дБ	3 дБ	6 дБ	10 дБ	20 дБ	30 дБ

Графическое изображение функциональной зависимости S от ОСШ приведено на рис. 3.

По графику (рис. 3) можно определить, что для обеспечения требуемой, для полного восприятия информации абонентами системы телекоммуникаций аудио-

обмена, слоговой разборчивости значением $S \geq 93 \%$, необходимо достижение ОСШ уровнем не менее 20 дБ. В результате исследований получена значимая, для практического применения, зависимость слоговой разборчивости от ОСШ.

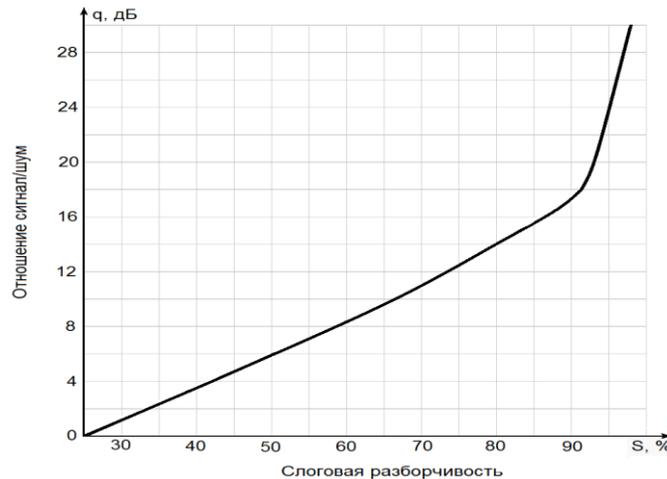


Рис. 3. Графическое соотношение между S и ОСШ (q).

Вычисление дисперсий речевых сигналов и акустических помех

Результаты проведенных исследований зависимости слоговой разборчивости передаваемых речевых сообщений от ОСШ показали, что возникает необходимость определения дисперсии таких случайных процессов, как речевые сигналы и сигналы внешних акустических помех. Чтобы обеспечить определение дисперсий речевых сигналов и акустических шумов и помех, требуется получение данных о плотности распределения вероятностей вышеуказанных сигналов [9, 10]. Поэтому необходимо проведение исследований, отражающих анализ применения существующих подходов к оценке функции плотности вероятностей акустических сигналов и шумовых помех. При этом формулируется задача аппроксимации плотности

вероятностей с использованием обобщенных многочленов по базисным системам функций.

Плотность вероятностей акустических сигналов и внешних шумовых помех с применением обобщенных многочленов по базисным системам независимых функций $\varphi_k(x, \theta)$ возможно представить в виде (3)

$$P(x, a, \theta) = \sum_{k=1}^m a_k \varphi_k(x, \theta). \quad (3)$$

Были исследованы вопросы возможности восстановления плотности вероятности речевых сигналов и акустических помех по эмпирически полученным данным. Проведены исследования применения различных аппроксимаций функции плотности вероятности полезных речевых

сигналов и акустических помех. В ходе аппроксимации плотности вероятностей, в работе применялись методы, основанные на использовании алгебраических, а также тригонометрических многочленов. Плотность вероятностей при этом можно вычислить с применением выражений

$$\rho(x) = \sum_{k=0}^M a_k x^{M-k}, \quad (4)$$

$$\rho(x) = \sum_{k=0}^M (a_k \cos(k\alpha x) + b_k \sin(k\alpha x)). \quad (5)$$

Поставленная проблема аппроксимации функций плотностей вероятностей требует проведение вычислений коэффициентов алгебраических и тригонометрических многочленов.

Параметр α , как правило, заранее известный, поэтому в задаче аппроксимации появляется вопрос определения коэффициентов многочленов, который может осуществляться рядом методов, например, методом решения системы линейных уравнений или методом с использованием МНК путем построения квадратичной функции потерь и осуществления операции её минимизации, при этом полученная невязка по эмпирическим данным будет обеспечивать оценку погрешности аппроксимации.

В этом случае невязка вычисляется по выражению следующего вида

$$Q(\theta) = \sum_{k=0}^M (\bar{f}(x_k, \theta) - P(x_k))^2,$$

где $\bar{f}(x_k, \theta)$ – распределение плотности вероятностей эмпирической гистограммы на интервале за номером k .

Минимизация невязки по эмпирическим данным осуществляется с учетом значения вектора θ . При этом значения многочленов в виде алгебраических и тригонометрических уравнений определяется по значениям p_k , a_k и b_k в линейной зависимости.

Таким образом, зависимости распределений плотности вероятностей могут определяться путем аппроксимации для акустических речевых сигналов и акустических помех с использованием многочленов, по базисам систем гауссовых или экспоненциальных функций. В этом случае, многочлены могут иметь вид

$$\rho(x) = \sum_{k=1}^M A_k e^{-\frac{(x)^2}{B_k}}, \quad (6)$$

$$\rho(x) = \sum_{k=1}^M A_k e^{-\frac{|x|}{B_k}}. \quad (7)$$

Для того чтобы обеспечить вычисление параметров A_k и B_k возможно также использовать точечный метод наименьших квадратов.

Порядок многочленов (6), (7) определяется требуемой допустимой погрешностью аппроксимации распределения плотности вероятностей акустических речевых сигналов и шумовых помех, поэтому функциональная зависимость распределения разбивается на ряд областей, что приводит к решению задачи локальной аппроксимации на рассматриваемых интервалах.

В этом случае, нахождение коэффициентов многочленов (6) и (7) сводится к решению задачи минимизации функции невязки, которая представлена выражением

$$Q_l(\theta) = \sum_{k=0}^M w(x_k - v_l) (\bar{f}(x_k, \theta) - P(x_k))^2,$$

где $w(x)$ – функция, определяемая окном, из которого выделяются данные,

v_l – значение сдвига временного окна для l -ых интервалов аппроксимации, где l принимает значения в виде $l = 1, \dots, L$.

Найденная с применением описанного выше подхода последовательность $\theta_l = \arg \min_{\theta} Q_l(\theta)$ позволяет обеспечить ап-

проксимацию функции плотностей вероятностей акустических речевых сигналов и помех.

Модель функции распределения вероятностей акустических сигналов $\rho(x)$ в виде (6), (7) позволяет осуществить вычисление математического ожидания процессов \bar{x}_i и дисперсии σ^2 в соответствии с выражениями

$$\bar{x}_i = \sum_{i=-2^n+1}^{2^n-1} x_i \cdot P(x_i), \quad \sigma^2 = \sum_{i=-2^n+1}^{2^n-1} x_i^2 P(x_i),$$

где x_i – эмпирические данные отсчетов акустических сигналов, с нормированием максимальных значений отсчетов в виде

$$|x_{max}| = 1 \text{ В.}$$

В этом случае, дисперсия нормированного речевого сигнала принимает значение $\sigma^2 = 0,126$ Вт. Относительная интенсивность речевого сигнала в этом случае относительно нулевого уровня $I_0 = 10-12$

Заключение

С учетом вычисления дисперсии нормированного речевого сигнала, по результатам исследований формантной разборчивости передаваемых акустических речевых сообщений получена функция, демонстрирующая зависимость слоговой разборчивости от ОСШ, которая обеспечивает возможность определения значения выходного ОСШ в телекоммуникационных системах аудиообмена и оповещения, чтобы обеспечить заданный уровень слоговой разборчивости. Минимальное значе-

ние ОСШ, определяется как

$$\frac{I}{I_0} (\text{дБ}) = 10 \lg \frac{k\sigma^2}{SI_0} \cdot 10^{12},$$

где k – коэффициент направленности, $S = 4\pi R^2$ – площадь сферы.

ние ОСШ, полученное на выходах трактов передачи системы телекоммуникаций аудиообмена, должно составлять 20 дБ и более, чтобы получить значение слоговой разборчивости $S \geq 93\%$, минимально необходимое для полного понимания и восприятия оперативно-командной речевой информации абонентами системы телекоммуникаций, в условиях существенного воздействия внешних акустических шумов и помех.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вемян Г.В. Передача речи по сетям электросвязи. М.: Радио и связь. 1985. 272 с.
2. ГОСТ Р 50840-95. Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости. М.: ИПК Издательство стандартов. 1996. 230 с.
3. Кропотов Ю. А., Белов А. А., Колпаков А. А., Проскуряков А. Ю. Оценивание эффективности телекоммуникаций аудиообмена в условиях внешних акустических помех // Системы управления, связи и безопасности. 2019. № 1. С. 100-109.
4. Кропотов Ю.А., Белов А.А., Проскуряков А.Ю., Колпаков А.А. Методы проектирования телекоммуникационных информационно-управляющих систем аудиообмена в сложной помеховой обстановке // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 2. С. 165-183.
5. Кропотов Ю. А., Парамонов А. А. Методы проектирования алгоритмов обработки информации телекоммуникационных систем аудиообмена: монография. Москва-Берлин: Директ-Медиа. 2015. 226 с.
6. Колпаков А.А., Кропотов Ю.А. Аспекты оценки увеличения производительности вычислений

при распараллеливании процессоров вычислительных систем // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2011. № 13. С. 124-127.

7. Кропотов Ю.А., Кульков Я.Ю. Аппроксимация закона распределения вероятности амплитуд речевого сигнала // Радиотехника. 2006. № 11. С. 63-66.
8. Кропотов Ю.А. Экспериментальные исследования закона распределения вероятности амплитуд сигналов системы передачи речевой информации // Проектирование и технология электронных средств. 2006. № 4. С. 37-42.
9. Быков А.А., Кропотов Ю.А. Аппроксимация закона распределения вероятности отсчетов сигналов акустических помех // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2011. № 2. С. 61-63.
10. Кропотов Ю.А., Белов А.А., Проскуряков А.Ю., Холкина Н.Е. Оценивание моделей сигналов и акустических помех в телекоммуникациях аудиообмена // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 3. С. 1-13.

1. Venyan G.V. Speech transmission through electro-communication networks. M.: *Radio and Communication*. 1985. pp. 272.
2. GOST R 50840-95. *Speech Transmission through Communication Paths. Methods for Assessment of Quality, Legibility and Recognizability*. M.: IPK Standards Publishers. 1996. pp. 230.
3. Kropotov Yu.A., Belov A.A., Kolpakov A.A., Proskuryakov A.Yu. Assessment of audio-exchange

telecommunication effectiveness under conditions of external acoustic noise // *Systems of Control, Communication and Safety*. 2019. No.1. pp. 100-109.

4. Kropotov Yu.A., Belov A.A., Proskuryakov A.Yu., Kolpakov A.A. Methods of designing telecommunication information-control systems of audio-exchange in complex noise situation //

- Systems of Control, Communication and Safety*. 2015. No.2. pp. 165-183.
5. Kropotov Yu.A., Paramonov A.A. *Methods for Designing Algorithms for Information Processing of Telecommunication Systems of Audio-exchange*: monograph. Moscow-Berlin: Direct-Media. 2015. pp. 226.
 6. Kolpakov A.A., Kropotov Yu.A. Aspects of assessment of computation productivity increase at processor computer system paralleling // *Methods and Devices for Information Transmission and Processing*. 2011. No.13. pp. 124-127.
 7. Kropotov Yu.A., Kulkov Ya.Yu. Approximation of speech signal amplitude probability distribution law // *Radio Engineering*. 2006. No.11. pp. 63-66.
 8. Kropotov Yu.A. Experimental investigations of law of amplitude probability distribution of speech information transmission system // *Design and Technology of Electronic Means*. 2006. No.4. pp. 37-42.
 9. Bykov A.A., Kropotov Yu.A. Approximation of law of probability distribution of acoustic noise signal count // *Radio-engineering and Telecommunication Systems*. 2011. No.2. pp. 61-63.
 10. Kropotov Yu.A., Belov A.A., Proskuryakov A.Yu., Kholkina N.E. Assessment of signal models and acoustic noise in audio-exchange telecommunications // *Systems of Control, Communication and Safety*. 2018. No.3. pp. 1-13.

Ссылка для цитирования:

Холкина Н.Е. Эффективность передачи информации систем оповещения и телекоммуникаций аудиообмена в условиях помех // *Вестник Брянского государственного технического университета*. 2020. № 5. С. 49-55. DOI: 10.30987/1999-8775-2020-5-49-55.

Статья поступила в редакцию 13.01.20.

Рецензент: к.т.н., доцент Брянского государственного технического университета

Рытов М.Ю.,

член редсовета журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 20.04.20.

Сведения об авторах:

Холкина Наталья Евгеньевна, ст. преподаватель кафедры «Электроника и вычислительная техника» Муромского института (филиал) «Вла-

Kholkina Natalia Evgenievna, Senior lecturer of the Dep. "Electronics and Computer Engineering", Murom Institute (Branch) of Stoletovs State Univer-

ситетского государственного университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых», тел. (49234) 77-2-72, e-mail: kaf-eivt@yandex.ru.

sity of Vladimir, phone: (49234) 77-2-72, e-mail: kaf-eivt@yandex.ru.