

УДК 621.391

## Оценивание эффективности телекоммуникаций аудиообмена в условиях внешних акустических помех

Кропотов Ю. А., Белов А. А., Колпаков А. А., Проскуряков А. Ю.

**Постановка задачи:** в работе рассматриваются вопросы оценивания эффективности систем обмена речевой информацией, систем громкоговорящей связи (ГГС). Рассматриваются основные критерии оценивания эффективности обмена, в соответствии со шкалой MOS (Mean Opinion Score – средняя субъективная оценка). Показано, что одной из основных оценок эффективности обмена информацией речевыми сигналами является слоговая разборчивость. Система телекоммуникаций аудиообмена и система ГГС считается эффективной, если передаваемая речевая информация воспринимается полностью, слоговая разборчивость в этом случае составляет не менее 93% или оценка MOS составляет не менее 3,9 баллов. Однако, вопросы понижения влияния внешних факторов, внешних акустических помех на значение слоговой разборчивости и на оценку MOS на стороне приёма речевых сообщений для случая оперативно-командных систем требуют дополнительных исследований. **Целью работы** является исследование влияния отношения сигнал/шум на слоговую разборчивость при обмене речевыми сообщениями телекоммуникационными системами громкоговорящей связи. **Используемые методы:** инструментально-расчетный метод оценивания слоговой разборчивости, методы теории спектрального анализа, методы статистической радиотехники. **Новизна:** в статье рассмотрено влияние на слоговую разборчивость отношения сигнал/внешний акустический шум, исследуется влияние формантной разборчивости, зависимость коэффициента восприятия формант от относительного уровня интенсивности формант, зависимость формантного параметра от среднегеометрической частоты  $i$ -ой полосы спектра речевого сигнала. **Результат:** в соответствии с результатами исследований формантной разборчивости получена функция зависимости слоговой разборчивости от отношения сигнал/шум, по которой становится возможным определение значения выходного отношения сигнал/шум в системе телекоммуникаций аудиообмена для получения заданной слоговой разборчивости. **Практическая значимость:** в результате исследований в работе определено минимальное значение отношения сигнал/шум на выходе канала системы телекоммуникаций аудиообмена для получения слоговой разборчивости не менее 93 %, для обеспечения полного восприятия передаваемой речевой информации.

**Ключевые слова:** обмен речевой информацией, телекоммуникационная система аудиообмена, эффективность систем аудиообмена, слоговая разборчивость, формантная разборчивость, речевой сигнал, акустический шум, отношение сигнал/шум.

### Введение

Системы телекоммуникаций обмена аудиоинформацией, в том числе оперативно-командные системы громкоговорящей связи (ГГС), получают широкое применение на многофункциональных объектах, в системах массового обслуживания, так как являются важным средством обеспечения оперативного управления, обеспечения функционирования сложных объектов. Основным параметром, определяющим эффективность систем связи обмена речевой инфор-

---

#### Библиографическая ссылка на статью:

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. 193-203. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10112

#### Reference for citation:

Kropotov Y. A., Belov A. A., Kolkakov A. A., Proskuryakov A. Y. Evaluation of the effectiveness of telecommunications audio exchange under external acoustic interference. *Systems of Control, Communication and Security*, 2019, no. 1, pp. 193-203. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10112 (in Russian).

мацией, является слоговая разборчивость  $S$  % или величина оценки речевого сигнала по шкале MOS (Mean Opinion Score – средняя субъективная оценка) [1, 2]. В соответствии с вышеуказанными параметрами, системы телекоммуникаций аудиообмена являются эффективными, если передаваемая речевая информация воспринимается абонентом полностью и без затруднений, слоговая разборчивость в этом случае составляет не менее  $S \geq 93$  % или оценка MOS должна составлять не менее 3,9 баллов по пятибалльной шкале [3].

### Постановка задачи

Зависимость слоговой разборчивости в системах телекоммуникаций обмена речевой информацией от влияния различных факторов исследована в ряде работ [1, 2, 5, 6]. Однако информация в известных источниках о влиянии отношения сигнал/шум (отношения с/ш) на слоговую разборчивость на стороне приема речевых сообщений для случая оперативно-командных систем аудиообмена недостаточна, поэтому в работе рассмотрена задача определения влияния отношения с/ш на слоговую разборчивость в телекоммуникационных системах обмена речевой информацией. Исследования проводятся методами оценивания формантной разборчивости  $R$  (индекса артикуляции), методами оценивания слоговой разборчивости в зависимости от значения формантной разборчивости, методом определения коэффициентов восприятия формант при различных значениях отношения с/ш [1, 4, 5]. При этом известная зависимость слоговой разборчивости от значения формантной разборчивости, представленная на графике рис. 1, не даёт представления о её зависимости от отношения с/ш [1, 2].

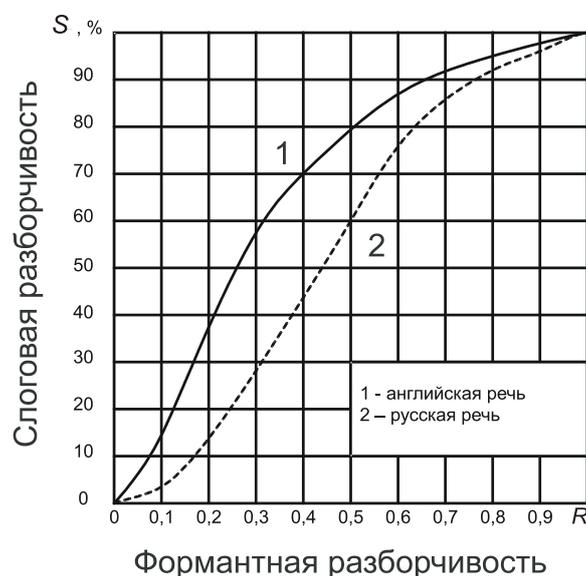


Рис. 1. Зависимость слоговой разборчивости  $S$  от формантной разборчивости  $R$

Таким образом, в работе ставится задача получения информации о зависимости слоговой разборчивости от отношения с/ш на выходе канала системы аудиообмена, которая осуществляется проведением исследований методом нахождения зависимости формантной разборчивости от отношения с/ш.

## Инструментально-расчетный метод оценивания формантной разборчивости и слоговой разборчивости

Известно [1], что оценку разборчивости речи можно осуществить методом артикуляционных измерений. При этом наиболее точными исследованиями оценивания формантной разборчивости и соответственно оценивания слоговой разборчивости является использование инструментально-расчетного метода [1]. В этом случае спектр речи разбивается на  $N$  частотных полос, например, октавных, в общем случае произвольных. Для каждой  $i$ -той частотной полосы, где  $i=1\dots N$ , со среднегеометрической частотой  $f_{cp.i} = \sqrt{f_{n.i} f_{s.i}}$ , определяется формантный параметр  $\Delta A_i$ , характеризующий энергетическую составляющую в  $i$ -той полосе частотного спектра речевого сигнала относительно среднего спектрального уровня речевого сигнала, в дБ. Под формантой понимается область частот частотного спектра речевого сигнала характерная для определенного звука речи. Значения формантных параметров в зависимости от  $f_{cp.i}$  представлены на графике рис. 2 [1].

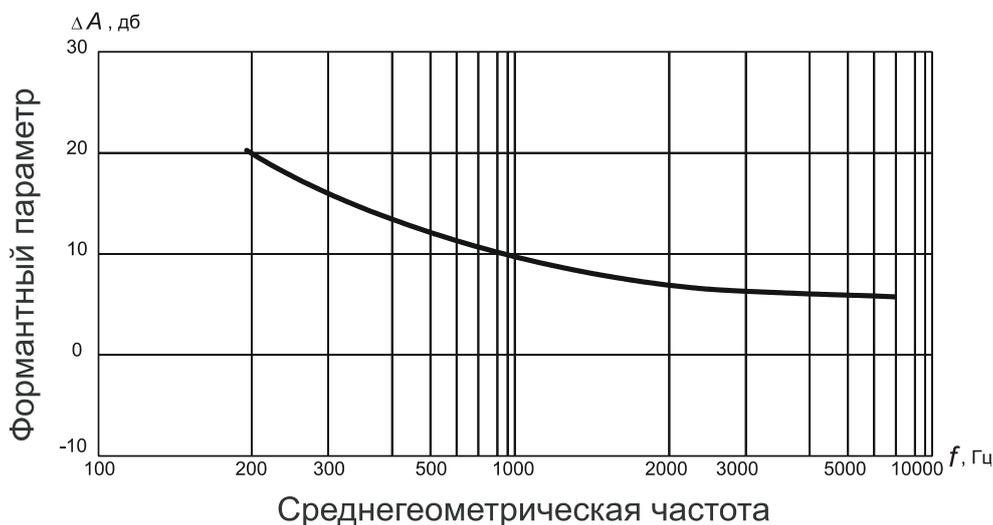


Рис. 2. Зависимость формантного параметра  $\Delta A_i$  от  $f_{cp.i}$

Полученные результаты зависимости формантного параметра  $\Delta A_i$  от значения среднегеометрической частоты  $f_{cp.i}$  позволяют осуществить определение значения формантной разборчивости  $R$  по формуле [1]

$$R = \sum_{i=1}^N R_i, \tag{1}$$

где  $R_i$  – разборчивость формант в  $i$ -той полосе частотного спектра речевого сигнала.

Значение разборчивости формант  $R_i$  вычисляется по выражению в виде

$$R_i = p_i k_i, \tag{2}$$

где:  $p_i$  – коэффициент восприятия формант,  $k_i$  – весовой коэффициент вероятности наличия формант речи в  $i$ -ой полосе.

Коэффициент восприятия формант  $p_i$  может быть определен для каждой  $i$ -той частотной полосы на среднегеометрической частоте  $f_{cp.i}$  с помощью графика на рис. 3 [1].

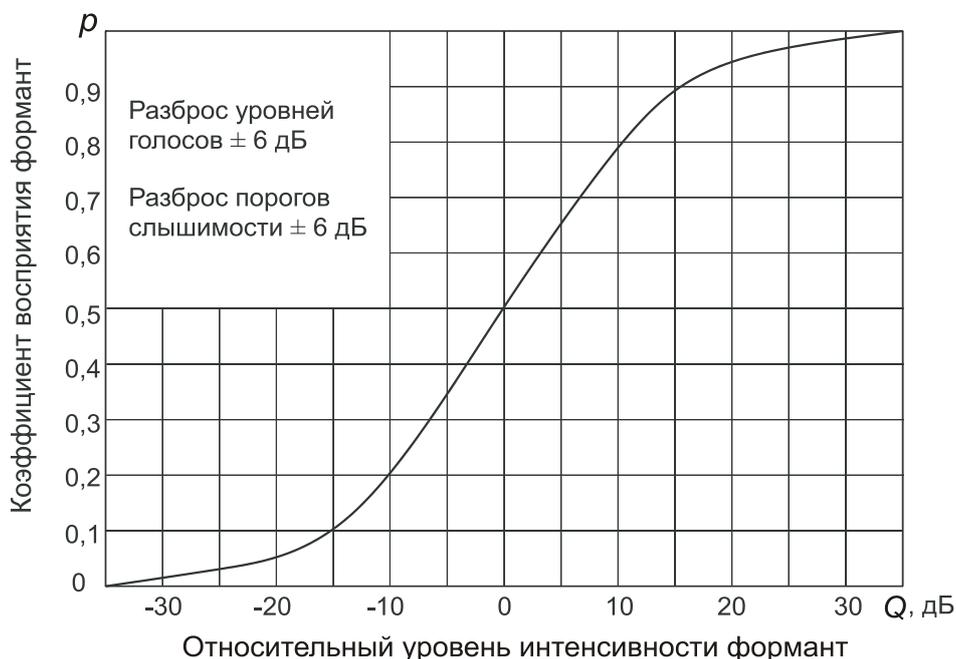


Рис. 3. Зависимость коэффициента восприятия формант  $p_i$  от относительного уровня интенсивности формант  $Q_i$

Как видно из графика на рис. 3, коэффициент восприятия формант  $p_i$  зависит от значения относительного уровня интенсивности формант  $Q_i$ , который определяется по выражению

$$Q_i = q_i - \Delta A_i,$$

где  $q_i$  – отношения с/ш в  $i$ -той формантной полосе.

Если принять число октавных полос  $N=5$ , то становится возможным определение значений пределов по частоте этих полос  $f_{н.i}$  и  $f_{в.i}$  и вычисление среднегеометрических значений частот  $i$ -тых полос  $f_{cp.i}$ . По среднегеометрическому значению частот  $f_{cp.i}$  определяются значения формантных параметров  $\Delta A_i$ . Полученные данные представляются в таблице 1.

Таблица 1 – Значения принятых пределов по частоте октавных полос, значения вычисленных  $f_{cp.i}$  и значений формантных параметров  $\Delta A_i$

$i$	Частота граничных полос, Гц	$f_{cp.i}$ , Гц	Ширина полосы $\Delta f_{i,}$ , Гц	$\Delta A_i(f_{cp.i})$ , дБ
1	180-355	250	175	18
2	355-710	500	355	13
3	710-1400	1000	690	9,5
4	1400-2800	2000	1400	7,5
5	2800-5600	4000	2800	5,5

### Результаты исследований

#### зависимости слоговой разборчивости от отношения сигнал/шум

Таким образом, по определенным значениям формантных параметров  $\Delta A_i$  и с помощью выражения  $Q_i = q_i - \Delta A_i$ , становится возможным определение значений уровней интенсивности формант  $Q_i$  в зависимости от отношения с/ш  $q_i$ . Результаты определения зависимости значений  $Q_i$  от отношения с/ш при  $N=5$  представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Зависимость уровня интенсивности формант  $Q_i$  от значения  $q_i$

$Q_i = q_i - \Delta A_i$ $q_i$ , дБ	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$Q_4$	$Q_5$
$q_i = 0$ дБ	-18	-13	-9.5	-7.5	-5,5
$q_i = 3$ дБ	-15	-10	-6.5	-4,5	-2,5
$q_i = 6$ дБ	-12	-7	-3.5	-1,5	+0,5
$q_i = 10$ дБ	-8	-3	+0.5	+2,5	+4,5
$q_i = 20$ дБ	+2	+7	+10,5	+12,5	+14,5
$q_i = 30$ дБ	+12	+17	+20,5	+22,5	+24,5

С помощью графика на рис. 3 определяется коэффициент восприятия формант  $p_i$  в зависимости от  $Q_i$  для  $i$ -тых полос, при различных значениях отношения с/ш. Значения коэффициентов восприятия  $i$ -тых полос  $p_i$  при различных  $q_i$  в децибелах представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Коэффициент восприятия формант  $p_i$  в зависимости от отношения с/ш

$q_i$ , дБ	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$
$q_i = 0$	0,07	0,18	2,2	0,29	0,34
$q_i = 3$	0,11	0,21	0,31	0,38	0,41
$q_i = 6$	0,2	0,3	0,40	0,48	0,51
$q_i = 10$	0,24	0,41	0,51	0,53	0,62
$q_i = 20$	0,47	0,6	0,79	0,81	0,88
$q_i = 30$	0,81	0,9	0,94	0,96	0,98

Для определения разборчивости формант  $R_i$ , определяется весовой коэффициент вероятности наличия формант речи в  $i$ -той полосе  $k_i$  по формуле

$$k_i = k(f_{ei}) - k(f_{ni}),$$

где  $k(f_{ei})$  и  $k(f_{ni})$  – значения весовых коэффициентов для верхней  $f_{ei}$  и нижней  $f_{ni}$  граничных частот  $i$ -той полосы спектра речевого сигнала. Значения  $k(f_{ei})$  и  $k(f_{ni})$  определяются по графику на рис. 4 [1].

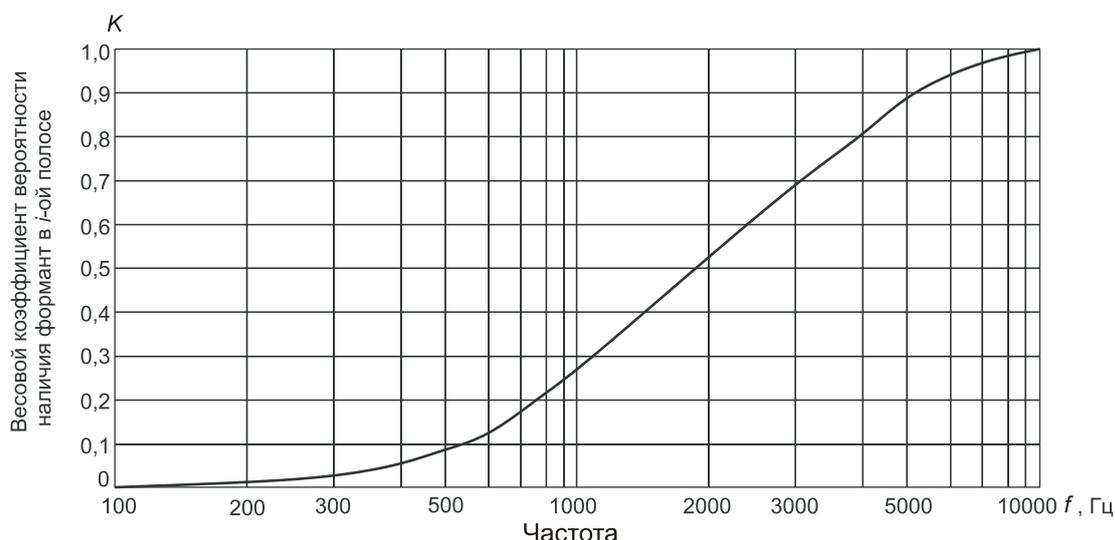


Рис. 4. Формантное распределение речевого сигнала по частоте спектра

Результаты вычислений весовых коэффициентов вероятности наличия формант речи в  $i$ -той полосе представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Весовые коэффициенты вероятности наличия формант речи в  $i$ -ой полосе  $k_i$ , в соответствии с данными таблицы 1

$k_i$	$k(f_{\delta})-k(f_{\delta})$	$k(f_{\delta i})-k(f_{\delta i})$	$k_i$
$k_1$	$k(355)-k(180)$	0,04-0,01	0,03
$k_2$	$k(710)-k(355)$	0,18-0,04	0,14
$k_3$	$k(1400)-k(710)$	0,36-0,18	0,18
$k_4$	$k(2800)-k(1400)$	0,63-0,36	0,37
$k_5$	$k(5600)-k(2800)$	0,92-0,63	0,29

По вычисленным значениям весовых коэффициентов вероятности наличия формант речи вычисляют значения разборчивости формант  $R_i$  в зависимости от отношения с/ш  $q_i$ . Вычисленные значения  $R_i$  сведены в таблицу 5 [5].

Таблица 5 – 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	$0,07 \cdot 0,03 = 0,0021$	$0,18 \cdot 0,014 = 0,0252$	$0,22 \cdot 0,18 = 0,0396$	$0,29 \cdot 0,37 = 0,1073$	$0,34 \cdot 0,29 = 0,0986$
$q_i = 3$ дБ	$0,11 \cdot 0,03 = 0,0033$	$0,021 \cdot 0,14 = 0,0294$	$0,31 \cdot 0,18 = 0,0558$	$0,38 \cdot 0,37 = 0,1406$	$0,41 \cdot 0,29 = 0,1189$
$q_i = 6$ дБ	$0,2 \cdot 0,03 = 0,006$	$0,3 \cdot 0,14 = 0,042$	$0,4 \cdot 0,18 = 0,072$	$0,48 \cdot 0,37 = 0,1776$	$0,51 \cdot 0,29 = 0,1479$
$q_i = 10$ дБ	$0,24 \cdot 0,03 = 0,0072$	$0,41 \cdot 0,14 = 0,0574$	$0,51 \cdot 0,18 = 0,0918$	$0,53 \cdot 0,37 = 0,1961$	$0,62 \cdot 0,29 = 0,1798$
$q_i = 20$ дБ	$0,47 \cdot 0,03 = 0,0141$	$0,6 \cdot 0,14 = 0,084$	$0,79 \cdot 0,18 = 0,0918$	$0,81 \cdot 0,37 = 0,2997$	$0,88 \cdot 0,29 = 0,2552$
$q_i = 30$ дБ	$0,81 \cdot 0,03 = 0,0243$	$0,9 \cdot 0,14 = 0,126$	$0,94 \cdot 0,18 = 0,1692$	$0,96 \cdot 0,37 = 0,3552$	$0,98 \cdot 0,29 = 0,2842$

Таким образом, в соответствии с исследованиями значения разборчивости формант  $R_i$ , результаты которых представлены в таблице 5, становится возможным определение зависимости значения формантной разборчивости  $R$  от отношения с/ш и, соответственно, становится возможным получение зависимости слоговой разборчивости от отношения с/ш. Результаты получения зависимости слоговой разборчивости от отношения с/ш сведены в таблицу 6 [5, 6].

Таблица 6 – Зависимость значений слоговой разборчивости от отношения с/ш

$q_i$ сигнал/шум	0 дБ	3 дБ	6 дБ	10 дБ	20 дБ	30 дБ
$R$	0,273	0,348	0,4455	0,5323	0,7952	0,9589
$S_{англ.}$	48 %	61 %	73 %	82%	96%	99%
$S_{рус.}$	25%	35 %	53 %	65 %	93%	98,5%

График функции слоговой разборчивости  $S$  от отношения с/ш представлен на рис. 5.

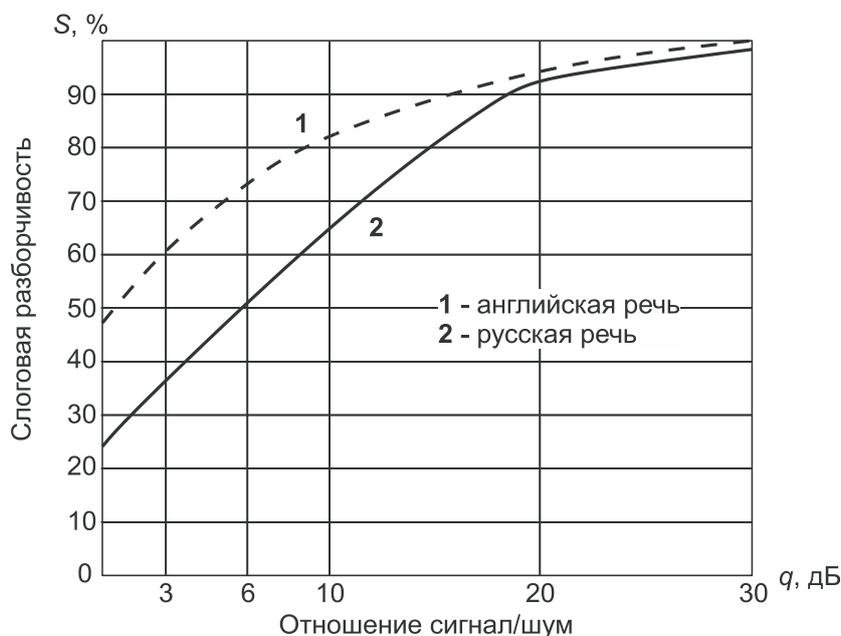


Рис. 5. График зависимости значения слоговой разборчивости от отношения с/ш

### Выводы

Как видно из графиков на рис. 5, слоговая разборчивость в системе телекоммуникаций обмена речевыми сообщениями обеспечивается  $S \geq 93\%$  при отношении с/ш  $q \geq 20$  дБ. Таким образом, получена важная для практики систем телекоммуникаций оповещения и аудиообмена зависимость слоговой разборчивости от отношения с/ш [5, 7, 8, 9, 10], которая показывает, что для эффективной передачи речевой информации оперативно-командной системой телекоммуникаций, для получения соответственно слоговой разборчивости  $S \geq 93\%$ , в системе при передаче речевых сообщений, на стороне приема сообщений, необходимо обеспечить отношение с/ш  $q \geq 20$  дБ.

### Литература

1. Покровский Н. Б. Расчет и измерение разборчивости речи. М.: Связьиздат, 1962. 392 с.
2. Сапожков М. А. Речевой сигнал в кибернетике и связи. М.: Связьиздат, 1962. 452 с.
3. ГОСТ Р 50840-95. Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. 230 с.

4. 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.

5. Кропотов Ю. А., Парамонов А. А. Методы проектирования алгоритмов обработки информации телекоммуникационных систем аудиообмена: монография. Москва-Берлин: Директ-Медиа, 2015. 226 с.

6. Кропотов Ю. А., Белов А. А. Исследование статистических характеристик оцифрованных сигналов систем телекоммуникаций аудиообмена // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 4. С. 150-157.

7. Кропотов Ю. А., Быков А. А. Алгоритм подавления акустических шумов и сосредоточенных помех с формантным распределением полос режекции // Вопросы радиоэлектроники. 2010. Т. 1. № 1. С. 60-65.

8. Кропотов Ю. А. Алгоритм вычисления сигнала управления каналом режекции многоканальной системы передачи акустических сигналов // Вопросы радиоэлектроники. 2010. Т. 1. № 1. С. 57-60.

9. Kropotov Y. A., Ermolaev V. A. Algorithms for processing acoustic signals in telecommunication systems by local parametric methods of analysis [Electronic resource] // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON) – Proceedings. – 2015. doi: 10.1109/SIBCON.2015.7147109. – URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7147109/> (дата обращения 12.03.2019)

10. 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.

### References

1. Pokrovsky N. B. *Raschet i izmerenie razborchivosti rechi* [Calculation and measurement of speech intelligibility]. Moscow, Svyazizdat Publ., 1962. 392 p. (in Russian).

2. Sapozhkov M. A. *Rechevoj signal v kibernetike i svyazi* [Speech signal in cybernetics and communication]. Moscow, Svyazizdat Publ., 1962. 452 p. (in Russian).

3. State Standart R 50840-95. Speech transmission over communication paths. Methods for assessing quality, intelligibility and recognizability. Moscow, Publishing house of standards Publ., 1996, 230 p. (in Russian).

4. Zheleznyak V. K., Makarov Y. K., Horev A. A. Some methodological approaches to assessing the effectiveness of voice information protection. *Specialnaya tekhnika*, 2000, no. 4, pp. 39-45 (in Russian).

5. Kropotov Y. A., Paramonov A. A. *Metody proektirovaniya algoritmov obrabotki informacii telekommunikacionnyh sistem audioobmena: monographiya* [Methods of designing information processing algorithms for telecommunication audio exchange systems: monograph]. Moscow-Berlin, Direct-Media, 2015. 226 p (in Russian).

6. Kropotov Yu. A., Belov A. A. Research of the Statistical Characteristics of Digitized Signals in Telecommunications Audio Exchange. *Systems of Control, Communication and Security*, 2015, no. 4, pp. 150-157 (in Russian).

7. Kropotov Yu. A., Bykov A. A. Algorithm of suppression of acoustic noise and the concentrated hindrances with formant band distribution rejection. *Questions of radio electronics*, 2010, vol. 1, no. 1, pp. 60-65 (in Russian).

8. Kropotov Yu. A. Algorithm for computing signal control channel of rejection transmission system of multi-channel acoustic signals. *Questions of radio electronics*, 2010, vol. 1, no. 1, pp. 57-60 (in Russian).

9. Kropotov Y. A., Ermolaev V. A. Algorithms for processing acoustic signals in telecommunication systems by local parametric methods of analysis [Electronic resource]. *2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON) – Proceedings*, 2015. doi: 10.1109/SIBCON.2015.7147109. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7147109/> (accessed 12 March 2019)

10. Kropotov Y. A., Belov A. A., Proskuryakov A. Y., Kolpakov A. A. Models, Methods of Designing Telecommunication Information and Control Audio Exchange Systems in Difficult Noise Conditions. *Systems of Control, Communication and Security*, 2015, no. 2, pp. 165-183 (in Russian).

Статья поступила 13 декабря 2018 г.

### Информация об авторах

*Кропотов Юрий Анатольевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроники и вычислительной техники». Муромский институт (филиал) «Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевич Столетовых». Область научных интересов: телекоммуникационные и информационно-управляющие системы. E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

*Белов Алексей Анатольевич* – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электроники и вычислительной техники». Муромский институт (филиал) «Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевич Столетовых». Область научных интересов: телекоммуникационные системы мониторинга, обработка данных, методы вейвлет-преобразования. E-mail: aleks.murom@mail.ru

*Колпаков Александр Анатольевич* – кандидат технических наук. Доцент кафедры «Электроники и вычислительной техники». Муромский институт (филиал) «Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевич Столетовых». Область научных интересов: параллельные и распределенные вычислительные системы. E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

*Проскуряков Александр Юрьевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроники и вычислительной техники». Муромский институт (филиал) «Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевич Столетовых». Область научных интересов:

прогнозирование данных, нейронные сети, обработка и предсказание данных в экономических системах. E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

Адрес: Россия, 602264, г. Муром, ул. Орловская, д. 23.

---

## Evaluation of the effectiveness of telecommunications audio exchange under external acoustic interference

Kropotov Y. A., Belov A. A., Kolpakov A. A., Proskuryakov A. Y.

**Statement of the problem:** the work addresses issues of evaluating the effectiveness of voice information exchange systems, loudspeaking communications systems. The main criteria for evaluating the effectiveness of the exchange, in accordance with the scale MOS (Mean Opinion Score - the average subjective assessment). It is shown that one of the main assessments of the efficiency of the exchange of information by speech signals is the syllable intelligibility  $S\%$ . The telecommunication system of audio exchange and the loudspeaking communications system is considered effective if the transmitted voice information is perceived completely, the syllable intelligibility in this case is at least 93% or the MOS score is at least 3.9 points. However, the issues of reducing the influence of external factors, external acoustic interference on the value of syllable intelligibility and on the evaluation of MOS on the side of receiving voice messages for the case of operational command systems require additional research. **The purpose** of the work is to study the effect of the signal-to-noise ratio on syllable intelligibility in the exchange of voice messages by telecommunication systems of public address systems. **Used methods:** instrumental and computational method for evaluating syllable intelligibility, methods of the theory of spectral analysis, methods of statistical radio engineering. **The scientific novelty:** the article discusses the effect on the syllable intelligibility of the signal / external acoustic noise ratio, investigates the effect of formant intelligibility, the dependence of the perception coefficient of formants on the relative level of formant intensity, the dependence of the formant parameter on the geometric mean frequency of the  $i$ -th spectrum of the speech signal. **Results:** in accordance with the results of studies of formant intelligibility depending on the signal-to-noise ratio, a function is obtained according to syllable intelligibility from the signal-to-noise ratio, according to which it becomes possible to determine the value of the output signal-to-noise ratio in an audio exchange telecommunications system to obtain a given syllable intelligibility. **Practical value:** as a result of research, the minimum signal-to-noise ratio at the output of the channel of the telecommunication system of audio exchange was determined to obtain a syllable intelligibility of at least 93% to ensure full perception of the transmitted speech information.

**Key words:** voice information exchange, telecommunication audio exchange system, audio exchange system efficiency, syllable intelligibility, formant intelligibility, speech signal, acoustic noise, signal-to-noise ratio.

### Information about Authors

*Yurij Anatolievich Kropotov* – Dr. of Engineering Sciences, Full Professor. Head of the Department «Electronics and Computer Science». Murom institute (branch) of the «Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs». Field of research: telecommunication information and control systems. E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

*Aleksey Anatolievich Belov* – Ph.D. of Engineering Sciences, associate professor of chair «Electronics and Computer Science». Murom institute (branch) of the «Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs». Field of research: telecommunication system monitoring, data processing, wavelet transform techniques. E-mail: Aleks.murom@mail.ru

*Alexsandr Anatolievich Kolpakov* – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor at the Department of Electronics and Computer Science. Murom Institute

(branch) of the Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs. Field of research: parallel and distributed computing systems. E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

*Aleksandr Yurievich Proskuryakov* – Ph.D. of Engineering Sciences, associate professor of chair «Electronics and Computer Science». Murom institute (branch) of the «Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs». Field of research: data prediction, neural networks, data processing and prediction in economic systems. E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

Address: Russia, 602264, Murom, st. Orlovskaya, h. 23.