

АНАЛИЗ РАЗБОРЧИВОСТИ РЕЧИ В СЕТЯХ ОПЕРАТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СВЯЗИ НА УЧАСТКАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ANALYSIS OF SPEECH INTELLIGIBILITY IN NETWORKS OF OPERATIONAL AND TECHNOLOGICAL COMMUNICATION ON SECTIONS OF RAILWAY TRANSPORT OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

O. Romashkova
Ye. Bakhtiyarova
B. Anykbaev
A. Kargulova

Summary. The article provides an overview of existing speech transmission systems in networks of operational and technological communication on sections of St. Dostyk — Aktogai — Mointy — Zharyk — Zhezkazgan Sexual — Aktobe — Zhaisan, ie the route from the East coast and inland provinces of China to the EU (the Northern corridor TASM). In addition, the characteristics of analytical models of speech communication are given. Features of speech intelligibility calculation of technological communication are considered, and can serve as a basis of a technique of speech quality assessment in e networks of operational and technological communication.

Keywords: voice quality, efficiency, speech information, high recognition.

Ромашкова Оксана Николаевна

Д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Московский государственный лингвистический университет (МГЛУ)» г. Москва, Россия
ox-rom@yandex.ru

Бахтиярова Елена Ажибековна

К.т.н., доцент, Казахская Академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева (КазАТК) г. Алматы, Казахстан
baelag@mail.ru

Аныкбаев Бекзат Есжиярович

Докторант, Казахская Академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева (КазАТК) г. Алматы, Казахстан
anykbaiev@mail.ru

Каргулова Алия Нурымовна

Докторант, Казахская Академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева (КазАТК) г. Алматы, Казахстан
kargulova84@mail.ru

Аннотация. В статье приводится обзор существующих систем передачи речи в сетях оперативно-технологической связи на участках ст. Достык — Актогай — Мойынты — Жарык — Жезказган — Сексеул — Актобе — Жайсан, т.е по маршруту от Восточного побережья и внутренних провинций Китая в страны ЕС (северный коридор ТАЖМ). На ряду с этим приводятся характеристики аналитических моделей речевого сообщения. Рассматривается особенности расчета разборчивости речи технологической связи, и могут быть послужить основой методики оценки качества речи в э сетях оперативно-технологической связи.

Ключевые слова: качество передачи речи, эффективность, речевая информация, высокая узнаваемость.

Введение

В настоящее время на железных дорогах Республики Казахстан планируется провести широко-масштабное модернизация систем и сетей связи, в связи с этим возникает задача анализа качества передачи речевых сообщения в существующих системах, а также разработка рекомендации по улучшению качества функционирование систем в целях повышения разборчивости речи.

Обзор существующих систем передачи речи участках железнодорожного транспорта РК

В качестве рассматриваемого участка принята участок железной дороги ст. Достык — Актогай — Мойынты — Жарык — Жезказган — Сексеул — Актобе — Жайсан. Это обосновывается тем, что на данный момент разработан Стратегия развития акционерного общества «Национальная компания «Қазақстан темір жолы»

до 2025 года, и согласно данного документа предусматривается кроме иных работ, связанных с другими деятельностью, следующие работы:

- ◆ организацию высокоскоростных каналов связи и передачи данных;
- ◆ модернизацию систем ОТС с переходом на ВОЛС;
- ◆ перехода на цифровые стандарты радиосвязи и передачи данных [1].

Участок Достык — Актогай

Данный участок обслуживается Актогайской дистанцией сигнализации и связи (ШЧ-31). На данном участке применяются ВЧ кабели магистральной связи (магистральный вводный и сл. на узлы связи МС) типов МКПАШ, МАУМ, а в качестве НЧ кабелей магистральной связи (отпаи, шлейфы и т.д.) применяются кабели типов МКПАШ, МАУМ, ТЗКПАБ, ЗКП.

В качестве аппаратуры первичной сети связи на данном участке используются системы передачи К-60, К 12-12, ТУ-РС, В 3-3, а в вторичной сети используется аппаратура ПУ-4Д.

Участок Актогай — Мойынты

От станции Актогай до станции Саяк обслуживается Актогайской дистанцией сигнализации и связи (ШЧ-31), а от станции Саяк до станции Мойынты обслуживается Балхашкой дистанцией сигнализации и связи (ШЧ-23). На данном участке используется воздушные линии связи (ВЛС).

В качестве аппаратуры первичной сети связи на данном участке используются системы передачи ОК 12-12, В 12-3, ОВ 12-3, ТН — 12,, В 3-3, а в сети оперативно-технологической связи используется аппаратура ПУ-4Д, ПСТ-2_60, КСС-20/30, КАСС-ДСП, КАСС-53, КАСС-6.

Для организации поездной радиосвязи (ПРС) на станциях и перегонах данного участка используются радиостанции 43 РТС-А2-ЧМ на частоте 2130 кГц. В качестве АСУ применяется антенно-согласующее устройство, а для фидерной линии кабель РК 75-4-16.

Участок Мойынты — Жарык

Данный участок обслуживается Акадырской дистанцией сигнализации и связи (ШЧ-21). На данном участке применяются кабели ВОЛС.

В сети оперативно-технологической связи используется аппаратура DX-500.

Для организации ПРС на станциях и перегонах данного участка используются аппаратуры РС-46М, 43-РТС-

А2-ЧМ (КВ), РС-46МЦ-09, 42-РТМ-А2-ЧМ (КВ ст.ц.) ТЧ на частоте 2130 кГц.

Участок Жарык — Жезказган

Данный участок обслуживается Жанааркинской дистанцией сигнализация и связи (ШЧ-22). На всем обслуживаемом участке используется ВЛС.

В качестве аппаратуры первичной сети связи на данном участке используются системы передачи ОВ-12-3, ОВ-3-3, П-305, ТТ-144, а в сети оперативно-технологической связи используется аппаратуры Пу-62, П-327, ПУ-4Д, ПСТ-2, 43ртс.

Для организации ПРС на станциях и перегонах данного участка используются радиостанции РС-46М, а на станциях ст. Жанаарка, Кызылжар используются радиостанции РВС-01 КЗ на частоте 2130 кГц. В качестве АСУ применяется антенно-согласующее устройство, а для фидерной линии кабель РК-50-7-16.

Участок Жезказган — Сексеул

Национальный оператор АО «НК«КТЖ» несколько лет назад принял в качестве стандарта цифровой радиосвязи TETRA и приступил к его внедрению на вновь строящихся и модернизируемых участках. На вновь построенных участках цифровая радиосвязь внедрялась совместно с системой интервального регулирования движения поездов на базе радиоканала. Для этого на каждом локомотиве устанавливаются бортовая система безопасности и мобильная радиостанция.

Данный участок относится к вновь построенным участкам [2].

Участок Сексеул — Кандыгач

От станции Сексеул до станции Жем обслуживается Шалкарской дистанцией сигнализации и связи (ШЧ-3), а от станции Жем до станции Кандыгач обслуживается Кандыгашской дистанцией сигнализации и связи (ШЧ-4). На данном участке применяются кабели магистральной связи типов МКБАБ, МАУМ-К, а в качестве кабелей вторичной коммутации применяются кабели типов ТЗПАБп, ТЗПАБ, МКПАШ, МКБАБ, МАУМ.

В качестве аппаратуры первичной сети связи на данном участке используются системы передачи К-60П, П-306, а в сети оперативно-технологической связи используется аппаратура ПУ-4Д, МСС-12-6М, КАСС-22, КСМ-1, ВСП 24/10, ПСТ2М, ДСТ-4-61, ДСТ-2-61, КАСС-ДСП.

Для организации ПРС на станциях и перегонах данного участка используются радиостанции ЖР — УК — СП и РС-46МЦВ на частоте 2130 кГц. В качестве АСУ применяется антенно-согласующее устройство, а для фидерной линии кабель РК-75–70.

Участок Кандыгач — Жайсан

Данный участок обслуживается Актюбинской дистанцией сигнализация и связи (ШЧ-5). На всем обслуживаемом участке используется ВЛС. На участке Актобе — Кандыгач применяются кабели магистральной связи типов МКПАШ, а на участке Актобе — Жайсан проложен ВЛС с переходом местами на кабельные линии типов МКПАШ и МКСАБ. В качестве кабелей вторичной коммутации применяются кабели типов ТЗБ, ТЗГ, ТЗАБЛ, ТЗАБВ, МКСГ, МКПАШП, МКПАБ, МКПАШ.

В качестве аппаратуры первичной сети связи на данном участке используются системы передачи К-60П, П-306, В-3–3, П-310, РСДТ-4, а в сети оперативно-технологической связи используется аппаратура ПУ-4Д, ПУ-2000, КАСС–ДСП, ДХ-500, УКСС-8, ПУ-2000М, КС-2000.

Из выше указанного можно сделать вывод что, эксплуатируемые системы ОТС и линии связи морально и физический устаревшие, который требует модернизацию этих систем и линий, что и рассматривается в [1], и в [3] который касается участка Мойынты — Жарык.

Особенности расчета разборчивости речи для систем технологической связи

Безусловно, перед рассмотрением особенностей расчета разборчивости речи технологической связи, необходимо рассмотреть вопросы функционирования основного канала, характеристики которого определяют режим преобразования речи в цифровую форму и регламентированы рекомендацией МСЭ-T G.711 Международного союза электросвязи, но этот вопрос подробно рассмотрена в [4]. Также, необходимо отметить, что характеристики передаваемой речи напрямую зависит от существующей линией связи. В предыдущем разделе описывается существующие линии, где в основном используются малоэффективные медные кабельные и воздушные линией связи. Ключевые моменты строительства ВОЛС на участках железных дорог Республики Казахстан рассматривается в [5].

Характеристики аналитических моделей речевого сообщения

Речь предназначена для общения. Возможности речи с этой точки зрения можно характеризовать по-разному.

Один из количественных подходов основан на теории информации, в связи, с чем речь можно описать ее информационным содержанием или информацией. Другой способ описания заключается в представлении ее в виде сигнала, т.е. акустического колебания.

Речь как акустический процесс характеризуется физическими параметрами. Основными параметрами, используемыми при описании речевого сигнала, являются:

- ◆ статистическое распределение звуков, слогов и слов при произношении речи;
- ◆ временные характеристики звуков;
- ◆ основной тон речи;
- ◆ усредненный за длительное время спектр;
- ◆ распределение формантных частот;
- ◆ мгновенное амплитудное распределение речи.

При построении различных систем обработки речи эти параметры играют важную роль.

При нормальных условиях передачи суммарный уровень громкости речевых сигналов у рта говорящего принимается равным 97 дБ, что соответствует звуковому давлению примерно 2 Па. Уровни громкости речевых сигналов диспетчеров и других оперативных работников железнодорожного транспорта изменяются в течение их рабочего времени, что объясняется реакцией нервной системы на нагрузку. На рис. 1. показано характерное изменение уровня громкости речевых сигналов поездного диспетчера и дежурных по станциям в течение 12-часового дежурства (кривая 1). Наибольшие отклонения ΔB_p от среднего значения $B_{p,cp} = 100$ дБ приходятся на часы максимальной нагрузки оперативных работников.

Оснащение рабочих мест диспетчеров, дежурных по станциям и других оперативных работников дополнительными устройствами, обеспечивающими информацию об оперативной обстановке на перегонах, станциях и других объектах не только повышает эффективность деятельности работников, но и улучшает условия их труда. Это сказывается и на изменениях уровня речевого сигнала. В качестве примера, подтверждающего сказанное, на рис. 1 приведена кривая 2 изменения уровня громкости речевого сигнала диспетчера при оборудовании его участка диспетчерским контролем. Сравнивая кривые 1 и 2, можно видеть, что во втором случае наблюдаемые колебания уровня громкости речевого сигнала значительно меньше.

Спектральная характеристика речевого сигнала определяется зависимостью среднего в течение длительного времени уровня громкости речевых сигналов B_p (рис. 2) от частоты.

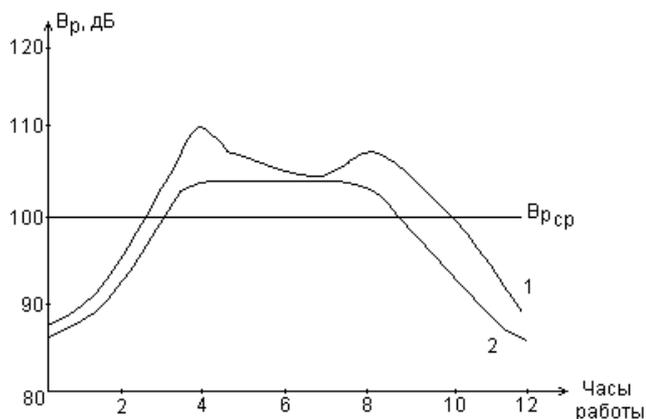


Рис. 1. Зависимость уровня громкости речевых сигналов поездного диспетчера и дежурных по станциям от времени

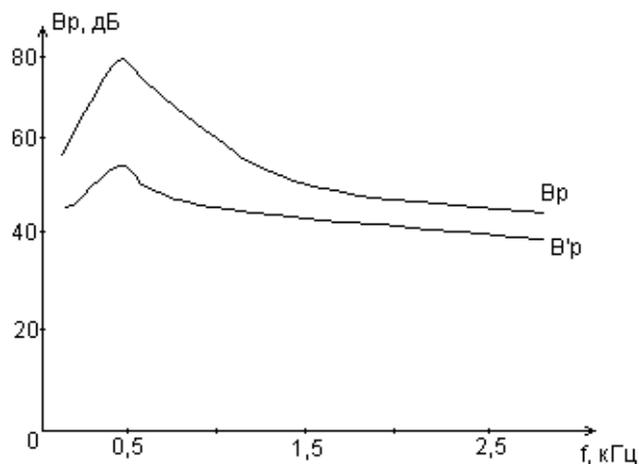


Рис. 2. Зависимость уровня громкости речевых сигналов от частоты в усредненном спектре русской речи при звуковом давлении 2 Па

При расчете разборчивости используется спектр формант (рис. 2, кривая V_p').

Приведенные на рис. 2 характеристики спектра формант относятся к уровню звукового давления речевых сигналов на мембрану микрофона телефонного аппарата (97 дБ). Если для передачи речи используются громкоговорящие установки, то в них микрофон удален от говорящего на расстояние r_2 .

Таким образом, если речь передается не с телефонного аппарата, а с громкоговорящей установки (режим «Hands Free»), то необходимо при расчетах разборчивости формант уменьшать табличные значения V_p' на 32 дБ [6].

Аналитический метод расчета разборчивости речи основан на расчете формантной разборчивости A . По этому методу спектр передаваемых частот делится на m полос с равной долей формант в каждой $\Delta f_{тк}=0,05$.

Суммарная разборчивость формант A .

$$A = 0,05 \sum_{k=1}^m p_k, \quad (1)$$

где p_k — вероятность восприятия формант в каждой полосе [7].

Значения p_k зависят от уровней ощущения формант E'_k на приемном конце тракта в каждой расчетной полосе (рис. 1). Уровень ощущения формант E'_k определяется физическими характеристиками речи и слуха, частотны-

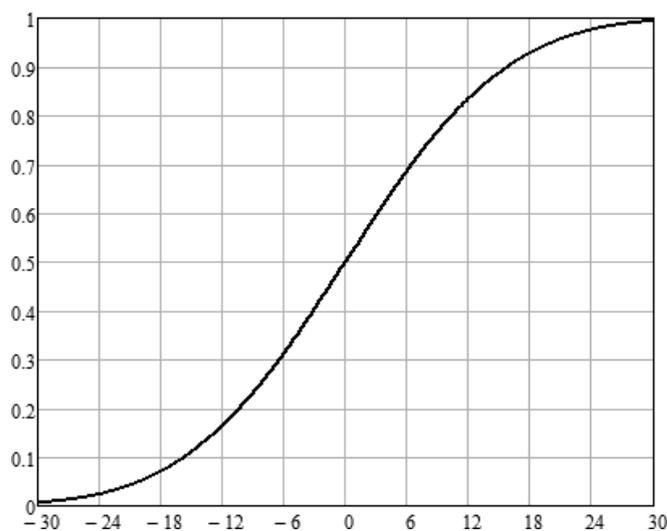


Рис. 3. Зависимость вероятности восприятия формант от уровней ощущения формант

ми характеристиками элементов трактов, а также маскирующим действием шума и рассчитывается так:

$$E'_k = B'_p - a - B'_{ш}, \quad (2)$$

где B'_p — спектральный уровень интенсивности формант на передающем конце тракта; a — затухание тракта; $B'_{ш}$ — спектральный уровень шума в пункте приема у уха абонента.

Для определения формантной разборчивости A необходимо по формуле (2) рассчитать значения E'_k

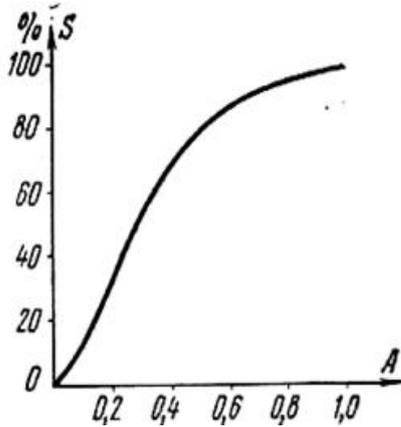


Рис. 4. Зависимость слоговой разборчивости от формантной

для средних частот каждой полосы, затем по графику на рис. 3 определить соответствующие им значения p_k и потом подставить их в формулу (1) [7.8]. По рассчитанному значению формантной разборчивости можно определить другие виды разборчивости: слогов S (рис. 4), звуков D , слов W , фраз I и чисел N (рис. 5). Так удовлетворительное качество связи будет иметь место при разборчивости формант $A = 25 \div 35\%$, слогов $S = 40 \div 55\%$, слов $W = 87 \div 90\%$, фраз $I = 95 \div 87\%$ и чисел $N = 92 \div 95\%$ которые определены в [8].

Расчет разборчивости речи.

1. Вычисляются спектральные уровни речи с поправкой на расстояние от микрофона $\Delta B'_p = 20 \lg 50 = 32$ дБ.
2. По заданному спектру и уровню акустических шумов находится его спектральные уровни B_a [8.9].
3. Определяется суммарную поправку $\Sigma \Delta L$.
4. Определяется фактический индекс тракта Q_{mc} .
5. Все данные заносятся в таблицу.
6. Вычисляется спектральные уровни речи у слушателя

$$B_{p.c.} = B_{p.m.} + Q_{m.c.} \tag{3}$$

7. Вычисляется спектральные уровни помех

$$B_{II} = B_{p.c.} + \Sigma \Delta L - 21. \tag{4}$$

8. Суммируются спектральные уровни помех со спектральными уровнями акустических шумов

$$B_{III} = B_a + B_{II} = 10 \lg(10^{0.1B_a} + 10^{0.1B_{II}}). \tag{5}$$

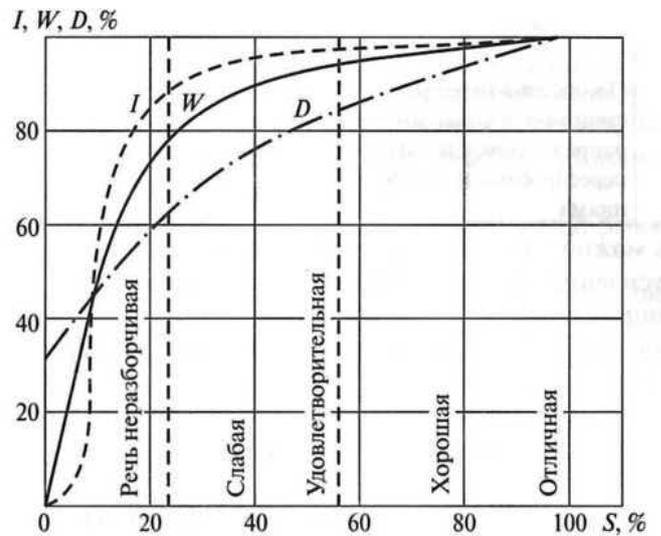


Рис. 5. Зависимости разборчивости слов, фраз и чисел от формантной разборчивости

9. Вычитается из спектрального уровня речи спектральный уровень суммарных помех и шумов и получается уровень ощущения формант [9,10].

$$E = B_{p.c.} - B_{III}. \tag{6}$$

10. По найденному уровню ощущения находится коэффициент разборчивости k_ϕ :

$$\text{для } 0 < E < 18 \text{ дБ, } k_\phi = \frac{(E+6)}{30} \tag{7}$$

или находится его точные значения по таблице. Все вычисленные значения заносятся в сводную таблицу.

11. Суммируются полученные величины коэффициентов разборчивости и находится формантная разборчивость:

$$A = 0,05 \sum_{k=1}^m p_k.$$

По формантной разборчивости определяется слоговая S и словесная W разборчивости речи [10.11].

Из анализа данных коэффициента разборчивости следует, что нижние частоты передаются намного хуже верхних. Так как есть запас по предельному индексу тракта на этих частотах, то можно спроектировать их примерно на 4 дБ. Разборчивость от этого практически не изменится, но повысится качество звучания.

Для ориентировочного определения разборчивости речи можно воспользоваться сокращенной методикой расчета. Если спектры речи и шумов изменяются по ча-

стоте не очень резко, то нет смысла вычислять их для всех полос равной разборчивости, а достаточно рассчитать их на октавных частотах [12,13].

Октаве 173–350 Гц соответствует одна полоса равной разборчивости (200–350 Гц).

Октава 350–700 Гц охватывает три полосы (330–465); (465–605); (605–750).

Октава 700–1400 Гц включает в себя 4 полосы (750–900); (900–1060); (1060–1230); (1230–1410).

Октава 1400–2800 Гц → 6 полос (1410–2840).

Октава 2800–5600 Гц → 5 полос (2840–5640).

Участок диапазона 5600–7000 Гц соответствует последней полосе равной разборчивости (5640–7000).

С учетом этого формантная разборчивость определяется по формуле [12,13]:

$$A = 0,05(k_{\phi 1} + 3k_{\phi 2} + 4k_{\phi 3} + 6k_{\phi 4} + 5k_5 + k_{\phi 6}), \quad (8)$$

Где $k_{\phi 1}$ – $k_{\phi 6}$ — коэффициенты разборчивости на октавных частотах.

ВЫВОД

Разработанные в данной статье предложения могут быть распространены на различные виды оперативно-технологической связи участков железных дорог Республики Казахстан, и могут служить основой для разработки методики оценки качества речи в этих сетях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия развития акционерного общества «Национальная компания «Қазақстан темір жолы» до 2025 года. Утвержденный решением Совета директоров АО «НК «ҚТЖ» от 26 ноября 2015 года, № 11 (Внесены изменения и дополнения решением Совета директоров АО «НК «ҚТЖ» от 11 февраля 2016 года протокол № 2).
2. Бахтиярова Е. А., Арипов Х. А. Развитие радиоэлектронных и телекоммуникационных технологий в железнодорожной отрасли // Материалы ХLI Международной научно-практической конференции на тему: «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика» (3–4 апреля 2017 г.), том 2, Алматы, Казахская академия транспорта и коммуникации им. М. Тынышпаева.
3. Горелов Г. В., Осницкий В. И., Трусов К. С., Ромашкова О. Н. Компандирование речевого сообщения по рекомендации МСЭ-Т G. 711 международного союза электросвязи // Современные проблемы науки и образования. 2015. Т. 1 № 1.
4. Липская М. А., Бахтиярова Е. А. Ключевые моменты строительства ВОЛС на участках железных дорог Республики Казахстан // Сборник материалов Межд. научно-практ. конф., посв. 135-летию М. Тынышпаева «Транспорт в XXI веке: состояние и перспективы», 24–25 апреля 2014 г. / Алматы: Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, 2014. — 470с.
5. Бахтиярова Е. А. Вероятностные характеристики сообщения устной казахской речи: дис. канд. техн. наук: 05.13.17 / Бахтиярова Е. А. [Место защиты: Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ]. — Москва, 2007.
6. Технологическая телефонная связь на железнодорожном транспорте: учебник / В. М. Волков, А. П. Зорько, В. А. Прокофьев; под ред. В. М. Волкова. — Москва: Транспорт, 1990. — 294с.
7. ГОСТ Р 50840–95 Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости.
8. Теория передачи сигналов на железнодорожном транспорте: учебник / Г. В. Горелов, и др. под ред. Г. В. Горелова. — М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. — 532 с.
9. Лукова О. Н. Анализ качества стохастической цифровой передачи речевой информации (Методика и ее использование при разработке информационных систем). Диссертация на соискание ученой степени канд.техн.наук. М.МИИТ.1994. — 149 с.
10. Новоселов О. Н., Фомин А. Ф. Основы теории и расчета информационно-измерительных систем. М.: Машиностроение, 1991. — 336 с.
11. Горелов Г. В. Алгоритм Burst aloha в статистическом уплотнении аудиоинформационных сигналов //ЛОКСЕТЬ-90. Рига. 1990. — с. 38–41.
12. Gorelov G., Romashkova O. Influence of russian, spanish and vietnamese speech characteristics on digital information transmission quality. Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics. ISIE'96. Warsaw Vol 1. — p.311–313.
13. Горелов Г. В. Качество воспроизведения речи в стохастических цифровых системах передачи //Автоматика и вычислительная техника. 1993.-N5. — с. 40–43.

© Ромашкова Оксана Николаевна (ox-rom@yandex.ru), Бахтиярова Елена Ажибековна (baelag@mail.ru),

Аныкбаев Бекзат Есжиярович (anykbaiev@mail.ru), Каргулова Алия Нурымовна (kargulova84@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»