

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций  
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ)

---

Научный журнал

**ТРУДЫ**  
**УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ СВЯЗИ**

Том 3

№ 4

Санкт-Петербург

2017

### Описание журнала

Научный журнал. Публикуются материалы научных работ, выполненных в области телекоммуникаций, телевидения и радиовещания, сетей связи и систем коммутации, систем связи с подвижными объектами, аудиовизуальной техники, почтовой связи, информатики и менеджмента в связи.

Выпускается с 1960 года. Выходит 4 раза в год.

### Редакционный совет

- Розанов Н.Н.** д.ф.-м.н., проф., член-кор. РАН, начальник отдела теоретических исследований Института лазерной физики «ГОИ им. С.И. Вавилова»
- Koucheryavy Y.** PhD, Tampere University of Technology, Finland
- Hošek I.** PhD, Brno University of Technology, Czech Republic
- Tiamiyu O.A.** PhD, University of Ilorin, Nigeria
- Козин И.Д.** д.ф.-м.н., проф., профессор кафедры телекоммуникационных систем Алматинского университета энергетики и связи, Республика Казахстан
- Самуйлов К.Е.** д.т.н., проф., заведующий кафедрой прикладной информатики и теории вероятностей РУДН
- Степанов С.Н.** д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Сети связи и системы коммутации» МТУСИ
- Росляков А.В.** д.т.н., проф., заведующий кафедрой автоматической электросвязи ПГУТИ
- Кучерявый А.Е.** д.т.н., проф., заведующий кафедрой сетей связи и передачи данных СПбГУТ
- Канаев А.К.** д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Электрическая связь» ПГУПС
- Новиков С.Н.** д.т.н., проф., заведующий кафедрой безопасности и управления в телекоммуникациях СибГУТИ
- Дворников С.В.** д.т.н., проф., профессор кафедры радиосвязи ВАС
- Коржик В.И.** д.т.н., проф., профессор кафедры защищенных систем связи СПбГУТ
- Ковалгин Ю.А.** д.т.н., проф., профессор кафедры радиосвязи и вещания СПбГУТ
- Владыко А.Г.** к.т.н., директор НИИ «Технологии связи» СПбГУТ

### Редакционная коллегия

- Главный редактор **Бачевский С.В.**, д.т.н., проф., ректор СПбГУТ
- Зам. главного редактора **Буйневич М.В.**, д.т.н., проф., профессор кафедры безопасности информационных систем СПбГУТ
- Ответственный редактор **Аникевич Е.А.**, к.т.н., начальник отдела организации НИР и интеллектуальной собственности СПбГУТ
- Выпускающие редакторы **Татарникова И.М., Яшугин Д.Н.**

### Регистрационная информация

Свидетельство о регистрации СМИ: № 77-17986 от 07.04.2004

Подписной индекс по каталогу МАП: 35664

Размещение в РИНЦ (elibrary.ru) по договору: № 59-02/2013R от 20.02.2013

### Контактная информация

- |                               |   |  |
|-------------------------------|---|--|
| <b>Учредитель и издатель:</b> | Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ) | <b>Адрес</b> 193232, Санкт-Петербург, пр. Большевиков, 22/1, к. 334/2<br><b>редакции:</b><br><b>Тел.:</b> +7 (812) 326-31-63, м. т. 2022, +79643759970<br><b>E-mail:</b> <a href="mailto:tuzs@spbgut.ru">tuzs@spbgut.ru</a><br><b>Web:</b> <a href="http://tuzs.sut.ru">http://tuzs.sut.ru</a><br><b>ВК:</b> <a href="http://vk.com/spbtuzs">http://vk.com/spbtuzs</a> |
|-------------------------------|---|--|

### Выходные данные

Подписано в печать 25.12.2017	Усл.-печ. л. 14,13	Формат 60×841/8	Тираж 1000 экз.	Заказ № 2463
Отпечатано 27.12.2017	Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России. 196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149			

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Авгари Ф.С., Кубалова А.Р., Максимов А.П.</b> Микрополосковый эллиптический фильтр с реализацией на резонаторах одинаковой электрической длины	<b>5</b>
<b>Бурдин А.В., Бурдин В.А.</b> Дисперсионные характеристики моды $LP_{11}$ ступенчатого оптического волокна с керровской нелинейностью	<b>16</b>
<b>Былина М.С., Глаголев С.Ф., Дюбов А.С.</b> Сравнительный анализ методов энергетического и когерентного приема цифровых информационных оптических сигналов. Часть 2. Когерентный прием	<b>21</b>
<b>Гатчин Ю.А., Демидов В.В., Дукельский К.В., Злобин П.А., Матросова А.С.</b> Технологические основы получения механически стабильных одномодовых микроструктурированных световодов с предельно низким затуханием сигнала	<b>29</b>
<b>Гордейчук А.Ю., Дворников С.В., Иванов В.А., Русинов М.А., Семисошенко М.А.</b> Оценка помехозащищенности линий радиосвязи в режиме с медленной программной перестройкой рабочей частоты	<b>36</b>
<b>Канаев А.К., Опарин Е.В.</b> Предложения по построению интеллектуальной системы поддержки принятия решений по управлению сетью тактовой сетевой синхронизации	<b>43</b>
<b>Киреев А.В., Фокин Г.А.</b> Оценка точности локального позиционирования мобильных устройств с помощью радиокарт и инерциальной навигационной системы	<b>54</b>
<b>Ковалгин Ю.А., Сантуш В.</b> Результаты экспериментального исследования характеристик мирового цифрового радиовещания в формате DRM	<b>63</b>
<b>Макаров Л.М., Протасеня С.В.</b> Оценка трафика телекоммуникационной сети в условиях высокой неопределенности обнаружения семантических признаков	<b>70</b>
<b>Новиков С.Н.</b> Подходы к моделированию функционирования сети связи большой размерности в условиях внешних деструктивных воздействий	<b>79</b>
<b>Рогозинский Г.Г.</b> Мультидоменный подход и модели объектов киберфизического пространства в задачах отображения информации	<b>88</b>
<b>Рыжков А.Е.</b> Развитие технологии NB-IoT	<b>94</b>

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**102**

## CONTENTS

<b>Awgari F., Kubalova A., Maksimov A.</b> Microstrip elliptic filter with implementation on the resonators of same electric length	
<b>Bourdine A., Burdin V.</b> Dispersion characteristics of the $LP_{11}$ mode of a step-index optical fiber with kerr nonlinearity	
<b>Bylina M., Glagolev S., Diubov A.</b> Comparative analysis of direct and coherent detection methods for digital information optical signals. Part 2. Coherent detection	
<b>Gatchin Y., Demidov V., Dukelskii K., Zlobin P., Matrosova A.</b> Basic technological methods of obtaining mechanically stable low-loss single-mode microstructured fibers	
<b>Gordeychuk A., Dvornikov S., Ivanof V., Rusinov M., Semisoshenko M.</b> Evaluation of radiocommunication lines interference in mode with slow software switching of the running frequency	
<b>Kanaev A., Oparin E.</b> Proposals for intellectual system construction of support of decision-making management of network synchronization	
<b>Kireev A., Fokin G.</b> Accuracy evaluation of local positioning by radiomap building and inertial navigation system	
<b>Kovalgin Y., Santos V.</b> The results of experimental research of digital radio broadcasting characteristics in DRM format in the world	
<b>Makarov L., Protasenya S.</b> Computational estimation traffic of telecommunication network in conditions of the high uncertainty of semantic signs detection	
<b>Novikov S.</b> The approach to modeling of a large-dimension network functioning in conditions of external destructive effects	
<b>Rogozinsky G.</b> Multi-domain approach and models of cyber-physical objects in information representation systems	
<b>Ryzhkov A.</b> NB-IoT technology in progress	

## AUTHORS INDEX

**Уважаемые читатели!**

Представляем Вашему вниманию четвертый, завершающий 2017 год, номер научного журнала «Труды учебных заведений связи». По своему содержанию он, как и предыдущие выпуски, является мультитематическим и включает в себя авторские статьи по достаточно широкому кругу проблемных вопросов в области связи и телекоммуникаций. Однако уже можно заметить некие тенденции, которые позволяют говорить, что у журнала появляются свои, узко профессиональные рубрики.

И первая из них – это **«Оптические волокна и оптические сигналы»**, в которой представлены наши традиционные авторские коллективы: проф. Бурдин А.В. и проф. Бурдин В.А. (ПГУТИ), доц. Былина М.С. и др. (СПбГУТ), проф. Гатчин Ю.А. и др. (НИУ ИТМО + НИТИОМ ВНЦ ГОИ им. С.И. Вавилова + СПбГУТ).

В материалах их статей содержатся результаты оригинальных исследований как свойств собственно световодов и технологии их получения, так и методов приема/передачи по ним цифровых оптических сигналов, среди которых:

- ♦ Дисперсионные характеристики моды  $LP_{11}$  ступенчатого оптического волокна с керровской нелинейностью;
- ♦ Сравнительный анализ методов когерентного приема цифровых информационных оптических сигналов;
- ♦ Технологические основы получения механически стабильных одномодовых микроструктурированных световодов с предельно низким затуханием сигнала.

Вторая наша устоявшаяся рубрика – **«Моделирование и оценка сетей и линий связи»** – представлена трудами проф. Дворникова С.В. и проф. Семисошенко М.А. в соавторстве (ВАС им. С.М. Буденного), проф. Новикова А.Н. (СибГУТИ) и проф. Макарова Л.М. в соавторстве (все – СПбГУТ). В статьях этих «маститых» и «молодых» ученых освещаются «классические» для отрасли связи вопросы, а именно:

- ♦ Оценка помехозащищенности линий радиосвязи в режиме с медленной программной перестройкой рабочей частоты;
- ♦ Подходы к моделированию функционирования сети связи большой размерности в условиях внешних деструктивных воздействий;
- ♦ Оценка трафика телекоммуникационной сети в условиях высокой неопределенности обнаружения семантических признаков.

На право считаться профессиональной рубрикой претендуют пока немногочисленные результаты исследований по вопросам построения перспективных и эксплуатации существующих систем и линий связи, телевидения и радиовещания, в частности материалы статей проф. Ковалгина Ю.А.

в соавторстве (все – СПбГУТ) и проф. Канаева А.К. (ПГУПС) в соавторстве («Гипотрансигналсвязь»):

- ♦ Результаты экспериментального исследования характеристик мирового цифрового радиовещания в формате DRM;
- ♦ Предложения по построению интеллектуальной системы поддержки принятия решений по управлению сетью тактовой сетевой синхронизации.

Отдельная современная отраслевая тематика – **«Развитие и применение мобильных технологий»** – представлена в номере статьями доц. Рыжкова А.Е. и доц. Фокина Г.А. в соавторстве (все – СПбГУТ):

- ♦ Развитие технологии NB-IoT;
- ♦ Оценка точности локального позиционирования мобильных устройств с помощью радиокарт и инерциальной навигационной системы.

В первой рассмотрена технология узкополосного беспроводного интернета вещей с выходом на всемирную пакетную сеть LTE; вторая носит ярко выраженный прикладной характер и посвящена актуальному приложению мобильных устройств.

Результатом работы интернационального (Йемен, Россия) творческого коллектива под руководством доц. Кубаловой А.Р. (СПбГУТ) является научная статья, посвященная проектированию фильтра в интересах миниатюризации сложных СВЧ-устройств:

- ♦ Микрополосковый эллиптический фильтр с реализацией на резонаторах одинаковой электрической длины.

Одному из проблемных вопросов в области кибернетических систем посвящена статья доц. Рогозинского Г.Г. (СПбГУТ):

- ♦ Мультидоменный подход и модели объектов киберфизического пространства в задачах отображения информации.

Сегодня киберфизические системы включены в приоритетный список инноваций во многих странах, поэтому представленный в статье материал является исключительно актуальным.



\* \* \*

**Уважаемые коллеги!**

По-прежнему приглашаем Вас активно включаться в работу нашего журнала. Ждем Ваших материалов для публикации в следующих выпусках!

Номер выходит в конце четвертого квартала, поэтому, пользуясь случаем, хотим поздравить всех наших читателей с наступающим Новым 2018 Годом!

Редакция журнала 