

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 11. № 2

**Proceedings of Telecommunication Universities**

Vol. 11. Iss. 2

Санкт-Петербург

2025

## Описание журнала

Научный журнал. Включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (распоряжение Минобрнауки России № 21-р от 12.02.2019), по специальностям (распоряжение № 33-р от 01.02.2022):

**1.2.2.** Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

**2.2.6.** Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы

**2.2.13.** Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

**2.2.14.** Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

**2.2.15.** Системы, сети и устройства телекоммуникаций

**2.2.16.** Радиолокация и радионавигация

**2.3.1.** Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

**2.3.6.** Методы и системы защиты информации, информационная безопасность

Журнал позиционирует себя как научный, в связи с этим его целями являются ознакомление научной общественности (научного сообщества) с результатами оригинальных исследований, выполненных ведущими учеными и специалистами и их коллективами, а также апробация научных результатов, полученных при подготовке кандидатских и докторских диссертаций для повышения качества (уровня) проводимых исследований. Издание ставит перед собой задачу расширения инфокоммуникативного пространства взаимодействия российских и зарубежных ученых. Целевой аудиторией журнала являются ученые и специалисты-практики в области связи и телекоммуникаций и смежных направлениях науки и техники, а также профессорско-преподавательский состав и студенты, обучающиеся по программам аспирантуры, магистратуры, специалитета и бакалавриата профильных вузов и кафедр.

**Выпускается с 1960 года. Выходит 6 раз в год. Издается на русском и английском языках.**

## Редакционный совет

<b>Киричек Р.В.</b> <i>Главный редактор</i>	д.т.н., проф., Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ), г. Санкт-Петербург, Россия
<b>Владыко А.Г.</b> <i>Зам. Главного редактора</i>	к.т.н., доцент, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ), г. Санкт-Петербург, Россия
<b>Буйневич М.В.</b>	д.т.н., проф., Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России, г. Санкт-Петербург, Россия
<b>Зеневич А.О.</b>	д.т.н., проф., Белорусская государственная академия связи, г. Минск, Республика Беларусь
<b>Розанов Н.Н.</b>	д.ф.-м.н., проф., чл.-корр. РАН, АО «Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова» (ГОИ), г. Санкт-Петербург, Россия
<b>Дукельский К.В.</b>	д.т.н., доцент, АО «Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова» (ГОИ), г. Санкт-Петербург, Россия
<b>Кучерявый Е.</b>	PhD, Технологический университет Тампере, г. Тампере, Финляндия
<b>Каримов Б.Т.</b>	к.т.н., доцент, Институт электроники и телекоммуникаций, Кыргызский государственный технический университет И. Раззакова (КГТУ), г. Бишкек, Кыргызстан
<b>Тиамийу О.А.</b>	PhD, Университет Илорина, г. Илорин, Нигерия
<b>Козин И.Д.</b>	д.ф.-м.н., проф., Алматинский университет энергетики и связи, г. Алма-Аты, Казахстан
<b>Самуйлов К.Е.</b>	д.т.н., проф., Российский университет дружбы народов (РУДН), г. Москва, Россия
<b>Степанов С.Н.</b>	д.т.н., проф., Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ), г. Москва, Россия
<b>Росляков А.В.</b>	д.т.н., проф., Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ), г. Самара, Россия
<b>Кучерявый А.Е.</b>	д.т.н., проф., Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ), г. Санкт-Петербург, Россия
<b>Канаев А.К.</b>	д.т.н., проф., Петербургский университет путей сообщения имени Александра I (ПГУПС), г. Санкт-Петербург, Россия
<b>Новиков С.Н.</b>	д.т.н., проф., Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ), г. Новосибирск, Россия
<b>Дворников С.В.</b>	д.т.н., проф., Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного (ВАС), г. Санкт-Петербург, Россия
<b>Коржик В.И.</b>	д.т.н., проф., Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ), г. Санкт-Петербург, Россия
<b>Ковалгин Ю.А.</b>	д.т.н., проф., Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ), г. Санкт-Петербург, Россия

Description
-------------

Scientific journal. The journal is included in the List of reviewed scientific publications, in which the main scientific results of dissertations for the degree of candidate of science and for the degree of doctor of science should be published (order of the Ministry of Education and Science of Russia No 21-r of 12 February 2019) in the field of (order of the Ministry of Education and Science of Russia No 33-r of 01 February 2022):

**1.2.2.** Mathematical modeling, numerical methods and complexes of programs

**2.2.6.** Optical and optoelectronic devices and complexes

**2.2.13.** Radio engineering, including television systems and devices

**2.2.14.** Antennas, microwave devices and its technologies

**2.2.15.** Systems, networks and telecommunication devices

**2.2.16.** Radiolocation and radio navigation

**2.3.1.** System analysis, management and information processing, statistics

**2.3.6.** Methods and systems of information security, cybersecurity

The journal positions itself as a scientific one, in this regard, its goals are to familiarize the scientific community (scientific community) with the results of original research carried out by leading scientists and specialists and their teams, as well as approbation of scientific results obtained in the preparation of candidate and doctoral dissertations to improve the quality (level) of ongoing research. The publication sets itself the task of expanding the infocommunicative space of interaction between Russian and foreign scientists. The target audience of the journal are scientists and practitioners in the field of communications & telecommunications and related fields of science & technology, as well as faculty and students enrolled in postgraduate, master's, specialisation and bachelor's programs of profiled universities and departments.

**Since 1960. Published 6 times per year. Published in Russian and English.**

Editorial Board
-----------------

**R.V. Kirichek** DSc, prof., The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University  
*Editor-in-chief* of Telecommunications (SPbSUT), Saint-Petersburg, Russia

**A.G. Vladiko** PhD, associate prof., The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University  
*Deputy editor-in-chief* of Telecommunications (SPbSUT), Saint-Petersburg, Russia

**M.V. Buinevich** DSc, prof., Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia,  
Saint-Petersburg, Russia

**A.O. Zenevich** DSc, prof., Belarusian State Academy of Communications, Minsk, Republic of Belarus

**N.N. Rozanov** DSc, prof., member-corr. RAS, Open Joint Stock Company «S.I. Vavilov State Optical Institute» (SOI),  
Saint-Petersburg, Russia

**K.V. Dukel'skii** DSc, associate prof., Open Joint Stock Company «S.I. Vavilov State Optical Institute» (SOI),  
Saint-Petersburg, Russia

**Y. Koucheryavy** PhD, Tampere University of Technology, Tampere, Finland

**B.T. Karimov** PhD, Institute of Electronics and Telecommunications, Kyrgyz State Technical University  
named after I. Razzakov, Bishkek, Kyrgyzstan

**O.A. Tiarniyu** PhD, University of Ilorin, Ilorin, Nigeria

**I.D. Kozin** DSc, prof., Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan

**K.E. Samuilov** DSc, prof., Peoples' Friendship University (RUDN), Moscow, Russia

**S.N. Stepanov** DSc, prof., Moscow Technical University of Communication and Informatics (MTUCI),  
Moscow, Russia

**A.V. Roslyakov** DSc, prof., Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics (PSUTI), Samara,  
Russia

**A.E. Koucheryavy** DSc, prof., The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunication (SPbSUT),  
Saint-Petersburg, Russia

**A.K. Kanaev** DSc, prof., Emperor Alexander I-st Petersburg State Transport University (PSTU),  
Saint-Petersburg, Russia

**S.N. Novikov** DSc, prof., Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences (SibSUTIS),  
Novosibirsk, Russia

**S.V. Dvornikov** DSc, prof., Military Academy of Telecommunications named after Marshal Union S.M. Budyonny,  
Saint-Petersburg, Russia

**V.I. Korzhik** DSc, prof., The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunication (SPbSUT),  
Saint-Petersburg, Russia

**Yu.A. Kovalgin** DSc, prof., The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunication (SPbSUT),  
Saint-Petersburg, Russia

## РЕГИСТРАЦИОННАЯ ИНФОРМАЦИЯ / REGISTRATION INFORMATION

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: ПИ № 77-77501 от 17.01.2020 г. (пред. рег. № 77-17986 от 07.04.2004 г.)

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

Registered by Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media on 17.01.2020: PI No. 77-77501 (prev. reg. on 04.07.2004: No. 77-17986)

Accommodation in RINC (elibrary.ru) by agreement on 20.02.2013: No. 59-02/2013R



Товарный знак № 929373.

Правообладатель:

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

191186, Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, 61, литера А

Trademark No. 929373.

Copyright holder:

Federal State Budget-Financed Educational Institution of Higher Education «The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications» (SPbSUT)

191186, St. Petersburg, emb. Moika River, 61, letter A

## КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / CONTACT INFORMATION

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

**Адрес учредителя:** 191186, Санкт-Петербург, набережная реки Мойки, д. 61, литера А

**Адрес редакции:** 193232, Санкт-Петербург,

пр. Большевиков, 22/1, к. 334/2

**Тел.:** +7 (812) 326-31-63, м. т. 2022

**E-mail:** [tuzs@sut.ru](mailto:tuzs@sut.ru)

**Web:** <http://tuzs.sut.ru>

**ВК:** <http://vk.com/spbtuzs>

Ответственный редактор **Татарникова И.М.**

Выпускающий редактор **Яшугин Д.Н.**

Дизайн: **Коровин В.М.**, изображение на обложке сгенерировано ИИ freepik <https://ru.freepik.com/ai>

**Publisher:** Federal State Budget-Financed Educational Institution of Higher Education «The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications» (SPbSUT)

**Publisher address:** 191186, Saint Petersburg, Moika river embankment, 61-A

**Post address:** 193232, Saint Petersburg, Prospekt Bolshevikov, 22/1

**Phone:** +7 (812) 326-31-63, local 2022

**E-mail:** [tuzs@sut.ru](mailto:tuzs@sut.ru)

**Web:** <http://tuzs.sut.ru>

Executive Editor **Tatarnikova I.M.**

Commissioning Editor **Yashugin D.N.**

Design: **Korovin V.M.**, cover image generated by AI freepik <https://ru.freepik.com/ai>

## ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ / IMPRINT

Дата выхода в свет: 06.05.2025  
Тираж: 1000 экз. Цена свободная.

Отпечатано в типографии  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича»

Release date: 06.05.2025  
Circulation: 1000 copies. Free price.

Printed in the printing office  
Federal State Budget-Financed Educational Institution of Higher Education «The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications»

