

ISSN 3034-2201

# Вестник СПбГУТ

Том 2. № 1. 2024

**Институт  
магистратуры  
5 лет**

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

---

Научный журнал

# **Вестник СПбГУТ**

Том 2. № 1

**Herald of SPbSUT**

Vol. 2. Iss. 1

Санкт-Петербург

2024

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

### Editorial Board

#### Главный редактор *Editor-in-Chief*

Владыко А.Г. (Санкт-Петербург)  
*Vladyko A.G. (St. Petersburg)*

Макаренко С.И. (Санкт-Петербург)  
*Makarenko S.I. (St. Petersburg)*

Гехт А.Б. (Санкт-Петербург)  
*Gekht A.B. (St. Petersburg)*

Дунайцев Р.А. (Санкт-Петербург)  
*Dunaytsev R.A. (St. Petersburg)*

Зикратов И.А. (Санкт-Петербург)  
*Zikratov I.A. (St. Petersburg)*

Калимуллина О.В. (Санкт-Петербург)  
*Kalimullina O.V. (St. Petersburg)*

Кирик Д.И. (Санкт-Петербург)  
*Kirik D.I. (St. Petersburg)*

Литвинов В.Л. (Санкт-Петербург)  
*Litvinov V.L. (St. Petersburg)*

Окунева Д.В. (Санкт-Петербург)  
*Okuneva D.V. (St. Petersburg)*

Симонина О.А. (Санкт-Петербург)  
*Simonina O.A. (St. Petersburg)*

Сотников А.Д. (Санкт-Петербург)  
*Sotnikov A.D. (St. Petersburg)*

Шутман Д.В. (Санкт-Петербург)  
*Shutman D.V. (St. Petersburg)*

Юрова В.А. (Санкт-Петербург)  
*Yurova V.A. (St. Petersburg)*

## СОДЕРЖАНИЕ

Визуализация структур данных в результатах запросов к RDF-хранилищам

Губин А. Н., Литвинов В. Л., Филиппов Ф. В., Кравец А. Ю.

Методы организации адаптивного помехоустойчивого кодирования

Владимиров С. С., Остапчук Р. Л., Скакунов И. Р.

Анализ использования и развития беспроводных технологий связи с беспилотными объектами

Симонина О. А., Чернышов А. Г.

Построение схем замещения полупроводникового диода для моделирования режимов его включения и выключения

Шушпанов Д. В., Евдокимов А. С.

Из истории экономической интеграции северо-европейских стран: создание и деятельность Северного инвестиционного банка

Гехт А. Б., Неровный А. В., Цвериянашвили И. А.

Перспективы развития магистерской программы «Реклама и связи с общественностью в коммерческой сфере»

Кульназарова А. В., Шутман Д. В.

Особенности контроля параметров одночастотных сетей системы цифрового телевизионного вещания второго поколения

Бучатский А. Н., Куликов С. П.

Современное состояние и перспективы развития адаптивных антенных комплексов в радиотехнических системах

Глушанков Е. И., Коровин К. О., Бойко И. А., Борисов М. Г.

Особенности размещения гибких антенн на умной одежде

Морозов А. А., Литвинов А. С., Кузьмин С. В.

Использование методологии описания информационных процессов в магистерской подготовке

Соломко Ю. С., Сотников А. Д.

## CONTENTS

1 Visualizing Data Structures in Query Results to RDF Storages

Gubin A., Litvinov V., Filippov F., Kravets A.

2 Methods of Organizing of Adaptive Error Correcting Coding

Vladimirov S., Ostapchuk R., Skakunov I.

3 Analysis of the Use And Development of Wireless Communication Technologies with Unmanned Objects

Simonina O., Chernyshov A.

4 Construction of Equivalent Circuits of a Semiconductor Diode to Simulate Its Modes (On and Off)

Shushpanov D., Evdokimov A.

5 From the History of Economic Integration Nordic Countries: Establishment and Operation of the Nordic Investment Bank

Gekht A., Nerovnyj A., Tsverianashvili I.

6 Prospects for the Development of the Master's Program "Advertising and Public Relations in the Commercial Sphere"

Kulnazarova A., Shutman D.

7 Features of Control of Parameters of Single-Frequency Networks of the Second Generation Digital Television Broadcasting System

Buchatskiy A., Kulikov S.

8 The Current State and Prospects for the Development of Adaptive Antenna Complexes in Radio Engineering Systems

Glushankov E., Korovin K., Boyko I., Borisov M.

9 Features of Flexible Antenna Placement on Smart Clothes

Morozov A., Litvinov A., Kuzmin S.

10 Using an Information Processes Description Methodology in Master's Preparation

Solomko Y., Sotnikov A.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: Эл № ФС77-85553 от 28 июня 2023 г.

## КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

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

Адрес 191186, Санкт-Петербург,  
учредителя: 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,  
+79643759970

E-mail: [vestnik@sut.ru](mailto:vestnik@sut.ru)  
Web: <http://vestnik-sut.ru>

## Институту магистратуры СПбГУТ 5 лет

### МАГИСТРАЛЬНЫЙ путь к знаниям – союз науки и образования



Институт магистратуры  
на сайте СПбГУТ

Прошло 5 лет с момента создания в СПбГУТ института магистратуры. Магистратура, являясь вторым уровнем образования, представляет более высокую степень профессиональной подготовки и поэтому очень востребована. Обучение предполагает более глубокое освоение теории и практическую подготовку обучающихся к научно-исследовательской или профессиональной деятельности. Программы магистратуры включают существенный исследовательский компонент, что позволяет студентам развивать свои навыки экспериментальной и аналитической работы.

Подготовка магистров в СПбГУТ велась и раньше. В интересах повышения качества учебного процесса, взаимодействия с профильными предприятиями и организациями, значительного роста публикационной активности магистрантов, разработки и внедрения системы стимулирования преподавателей магистратуры и руководителей магистерских программ в 2019 году руководством университета было принято решение о создании института магистратуры. Институт магистратуры во взаимодействии со всеми выпускающими кафедрами университета ведет активное обучение магистрантов по 24 образовательным программам в рамках 14 направлений подготовки. Основная задача института – координирующая роль в процессе обучения магистрантов всех направлений и профилей и непосредственное взаимодействие с руководителями магистерских программ на выпускающих кафедрах. В целях умножения карьерных перспектив выпускников под началом института магистратуры успешно реализовываются разработанные механизмы повышения мотивации руководителей магистерских программ, руководителей магистрантов и преподавателей магистратуры, обеспечивающие более высокое качество подготовки магистров.

Одним из показателей работы института магистратуры является публикационная активность магистрантов и их руководителей. С момента создания структурного подразделения этот показатель вырос более чем в 2 раза, чему способствовало, во-первых, создание условий магистрантам для апробации результатов научных исследований: выступлений с докладами, участия в обсуждении результатов исследований на конференциях, их публикация в сборниках статей и научных журналах. Во-вторых, и это тоже существенный момент: руководители магистрантов при наличии собственных публикаций и достойных результатах у своих подопечных — публикаций и выступлений на различных конференциях, круглых столах и симпозиумах — получают стимулирующие выплаты.

СПбГУТ регулярно становится площадкой, объединяющей исследователей и преподавателей, студентов, магистрантов и аспирантов, специалистов в области коммуникаций. Наиболее масштабно организованы Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» и Региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Студенческая весна». Для магистрантов и их руководителей проводится специализированная конференция «Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики» (ПКМ). Это важнейшее учебно-научное мероприятие, обеспечивающее обучение студентов процессу подготовки докладов, научной статьи, получение компетенции научной работы совместно с коллегами, воспитание на положительных примерах товарищей и руководителей.

Институт магистратуры:  
**24** образовательные программы,  
**14** направлений подготовки

**655** выпускников за 5 лет.  
**650** студентов обучаются в 2024 году

Конференция магистрантов и их руководителей:  
**505** публикаций РИНЦ

Более **95 %** магистров трудоустроены по специальности

В декабре 2023 года ПКМ проходила в четвертый раз. На конференции обсуждались доклады в рамках следующих направлений:

- радиотехнологии связи;
- инфокоммуникационные сети и системы;
- информационные системы и технологии;
- теоретические основы радиоэлектроники и систем связи;
- цифровая экономика и управление в инфокоммуникациях.

Дополнительным импульсом к росту количества и качества публикаций магистрантов послужило расширение проектной деятельности в университете и углубление сотрудничества с промышленными партнерами. Получение степени магистра дает выпускникам преимущества на рынке труда, повышая их конкурентоспособность в сферах, требующих экспертного уровня знаний и навыков. Очевидным свидетельством этого служит то, что более 95 % выпускников магистратуры СПбГУТ трудоустроены по специальности.

Таким образом, повышение публикационной активности всех участников процесса – это уже неотъемлемый элемент нового качества магистерской подготовки в СПбГУТ. Настоящий выпуск журнала «Вестник СПбГУТ» сформирован из статей руководителей магистерских программ СПбГУТ и их соавторов, в том числе магистрантов.

В номер вошли работы, посвященные:

- обзору основных тенденций связи с беспилотными объектами различного назначения и формулировке задач исследования и разработки технологий связи с ними;
- современному состоянию и перспективам развития адаптивных антенных комплексов в радиотехнических системах;
- решению задачи встраивания различных радиоэлектронных средств, в том числе и устройств СВЧ-диапазона, в ткань;
- рекомендациям по измерению одночастотной сети стандарта цифрового телевизионного вещания второго поколения;
- анализу методов организации адаптивного помехоустойчивого кодирования в каналах связи с переменными параметрами;
- разработке методики визуализации результатов глобальных запросов;
- исследованию возможности построения схем замещения полупроводникового диода для моделирования режимов его включения и выключения;
- описанию сложных информационных потоков в образовательном процессе с целью анализа их структуры, количественной оценки и разработки процедур оптимизации;
- выявлению основных мотивов, запросов, ожиданий от обучения в магистратуре с помощью социологического опроса студентов СПбГУТ, обучающихся по основной образовательной программе бакалавриата «Реклама и связи с общественностью»;
- оценке реальной роли Северного инвестиционного банка в региональном сотрудничестве стран Северной Европы на современном этапе.

Представленные материалы освещают ход научных исследований по отдельным направлениям подготовки магистров и показывают перспективы дальнейшего совершенствования процесса магистерской подготовки в Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций имени профессора М. А. Бонч-Бруевича.

*Директор института магистратуры СПбГУТ,  
кандидат технических наук, доцент  
Александр Николаевич Бучатский*

## Институту магистратуры СПбГУТ 5 лет

УДК 004.822

# Визуализация структур данных в результатах запросов к RDF-хранилищам

Губин А. Н., Литвинов В. Л.✉, Филиппов Ф. В., Кравец А. Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича  
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

**Постановка задачи:** современные поисковые системы должны использовать онтологические технологии для максимального удовлетворения информационных потребностей пользователя. Онтологии позволяют искать информацию не по конкретному слову, а по предметной области и связанным с ней объектам с помощью языка запросов SPARQL. При этом остается актуальной задача использования различных визуальных элементов для отображения сложных масштабных или структурных элементов. **Целью работы** является разработка методики визуализации результатов глобальных запросов в виде направленного графа, вершины которого отображают значения свойств сущностей, информация о которых извлекается из хранилища в результате работы (реализации) запроса. **Используемые методы:** решение задачи визуализации результатов глобальных запросов основано на применении онтологического подхода к построения семантических глобальных поисковых систем. **Новизна:** элементами новизны представленного решения является решение задачи отображения взаимосвязей данных, полученных в результате выполнения запросов к RDF-хранилищам данных. Результат визуализации представляет собой направленный граф, вершины которого отображают значения свойств сущностей, информация о которых извлекается из хранилища по окончании работы (реализации) SPARQL-запроса. **Результат:** расширение функциональности веб-сервиса для анализа и визуализации RDF-данных «RDF Grapher». Поддерживаемые форматы входных данных (сериализации RDF): Turtle, RDF/XML, RDF/JSON, N-Triples, TriG и N-Quads. Поддерживаемые форматы выходного изображения: PNG, SVG, PDF, PS, EPS, GIF и JPG. **Теоретическая/Практическая значимость:** представленная методика может быть реализована как совокупность программных библиотек в задачах проектирования глобальных информационных поисковых систем.

**Ключевые слова:** глобальные информационные системы, семантический поиск, онтологии, когнитивный поиск, SPARQL, RDF

### Актуальность

Современные технологии интеграции данных позволяют эффективно взаимодействовать в одном пространстве сразу с несколькими информационными системами. Наиболее подходящим решением при проектировании таких информационно-справочных сервисов является семантическая сервисно-ориентированная архитектура SOA (аббр. от англ. Service Oriented Architecture) [1].

Фактически, глобальные информационные системы строятся в веб-пространстве, и реализация концепции управления ими как открытыми системами означает переход к технологиям Linked Open Data

### Библиографическая ссылка на статью:

Губин А. Н., Литвинов В. Л., Филиппов Ф. В., Кравец А. Ю. Визуализация структур данных в результатах запросов к RDF-хранилищам // Вестник СПбГУТ. 2024. Т. 2. № 1. С. 2. EDN: HTOURZ

### Reference for citation:

Gubin A., Litvinov V., Filippov F., Kravets A. Visualizing Data Structures in Query Results to RDF Storages // Herald of SPbSUT. 2024. Vol. 2. Iss. 1. P. 2. EDN: HTOURZ

(*аббр. от англ.* LOD) и предоставлению потребителю релевантной информации, полученной из достоверных источников [2]. Управление глобальной информационной системой, функционирующей в открытой среде, должно предусматривать решение не только внутренних проблем, но и всю совокупность проблем глобального информационного ресурса, связанных с внешней средой [3]. При этом современные поисковые системы должны использовать онтологические технологии для максимального удовлетворения пользователя. Онтологии помогают искать информацию не по конкретному слову, а по предметной области и связанным с ней объектам с помощью языка запросов SPARQL (*сокр. от* SPARQL Protocol and RDF Query Language).

SPARQL позволяет пользователям запрашивать информацию из баз данных, которые могут быть сопоставлены с RDF (*аббр. от англ.* Resource Description Framework). RDF – это абстрактная модель представления знаний, которая не отличает данные от метаданных, чтобы избежать расширения существующей модели с помощью аннотаций метаданных на уровне оператора, таких как показатели достоверности, веса, временные ограничения и информация о происхождении; например, если бы это была аннотация, измененная вручную. RDF использует интернационализированные идентификаторы ресурсов (IRI, *аббр. от англ.* Internationalized Resource Identifier) для определения сущностей, свойств и значений, чтобы обеспечить однозначное представление и интеграцию данных из разных источников. Можно сказать, что RDF – это стандартизированная графовая модель данных семантической паутины, а SPARQL – ее язык запросов и обновлений.

Для обеспечения понимания этих стремительно расширяющихся данных нужны соответствующие инструменты визуализации. Одним из таких общепризнанных инструментов является визуализация информации с применением графовых моделей [4]. Следует заметить, что осмысленные множества данных имеют разную структуру и требуют существенно различных стратегий при визуализации.

### Постановка задачи

Визуализация данных предполагает использование таблиц, диаграмм или графиков. Обработка информации больших массивов данных, переведенных в визуальное представление, происходит гораздо легче [5]. В работе рассматривается решение задачи отображения взаимосвязей данных, полученных в результате выполнения запросов к RDF-хранилищам данных. Результат визуализации представляет собой направленный граф, вершины которого отображают значения свойств сущностей, информация о которых извлекается из хранилища в по окончании работы (реализации) SPARQL-запроса. Для решения поставленной задачи используем веб-сервис для анализа и визуализации RDF-данных «RDF Grapher» [6]. Поддерживаемые форматы входных данных (сериализации RDF): Turtle, RDF/XML, RDF/JSON, N-Triples, TriG и N-Quads. Поддерживаемые форматы выходного изображения: PNG, SVG, PDF, PS, EPS, GIF и JPG. Web-интерфейс сервиса представлен на рис. 1.

### Методика решения

Рассмотрим предлагаемую методику на конкретном примере. Поставлена задача определения типов самолетов, выпущенных объединением Микояна, с указанием наименования самолета, даты первого полета, скорости полета, количества двигателей, типа двигателя, наименования предприятия, выпускающего двигателя. Используем ресурсы сервиса «SPARQL Query Editor» [6] (<http://dbpedia.org>). Текст запроса представлен на рисунке 2. Значение параметра LIMIT в запросе ограничим величиной 5 для обеспечения читабельности результатов запроса. Результаты выполнения запроса представим в виде таблицы 1.

Для обеспечения функционирования сервиса «RDF Grapher» необходимо преобразовать результаты работы запроса в один из поддерживаемых им формат данных. Рассмотрим работу сервиса с данными, представляющими собой совокупность RDF-триплетов (формат Turtle). Преобразуем исходный запрос в запрос типа «CONSTRUCT», содержание блока «where» оставим без изменений (как показано на рисунке 3), в этом случае «RDF Grapher» отобразит все связи, указанные в блоке «where».

Исполнение запроса генерирует сериализацию RDF, ссылка на которую представлена на рисунке 4. Загрузив ссылку в окно «RDF data or URI» и активизировав режим «Visualize», получим требуемый результат, представленный на рисунке 5.



Рис. 1. Web-интерфейс сервиса «RDF Grapher»

```
Select distinct ?airplane ?name ?date ?speedKmh
?numberEngine ?name1 ?name2
where
{
?airplane a dbo:Aircraft.
?airplane dbo:manufacturer dbr:Mikoyan.
?airplane rdfs:label ?name.
?airplane dbp:firstFlight ?date.
?airplane dbp:maxSpeedKmh ?speedKmh.
?airplane dbp:eng1Number ?numberEngine.
?airplane dbp:eng1Name ?engine.
?engine rdfs:label ?name1.
?engine dbp:manufacturer ?works.
?works rdfs:label ?name2.
filter (lang (?name )='en').
filter (lang (?name1 )='en').
filter (lang (?name2 )='en').
}
LIMIT 5
```

Рис. 2. Текст запроса типа Select

```
CONSTRUCT
where
{
?airplane a dbo:Aircraft.
?airplane dbo:manufacturer dbr:Mikoyan.
?airplane rdfs:label ?name.
?airplane dbp:firstFlight ?date.
?airplane dbp:maxSpeedKmh ?speedKmh.
?airplane dbp:eng1Number ?numberEngine.
?airplane dbp:eng1Name ?engine.
?engine rdfs:label ?name1.
?engine dbp:manufacturer ?works.
?works rdfs:label ?name2.
filter (lang (?name )='en').
filter (lang (?name1 )='en').
filter (lang (?name2 )='en').
}
LIMIT 5
```

Рис. 3. Текст запроса типа CONSTRUCT



Таблица 1. Результаты выполнения запроса типа Select

airplane	name	date	speedKmh	number Engine	name1	name2
<a href="http://dbpedia.org/resource/Mikoyan-Gurevich_DIS">http://dbpedia.org/resource/Mikoyan-Gurevich_DIS</a>	"Mikoyan-Gurevich DIS"@en	1941	610	2	"Mikulin AM-37"@en	"Mikulin OKB"@en
<a href="http://dbpedia.org/resource/Mikoyan-Gurevich_MiG-15">http://dbpedia.org/resource/Mikoyan-Gurevich_MiG-15</a>	"Mikoyan-Gurevich MiG-15"@en	1947	1076	1	"Klimov VK-1"@en	"Klimov"@en
<a href="http://dbpedia.org/resource/Mikoyan-Gurevich_I-320">http://dbpedia.org/resource/Mikoyan-Gurevich_I-320</a>	"Mikoyan-Gurevich I-320"@en	1949	1090	2	"Klimov VK-1"@en	"Klimov"@en
<a href="http://dbpedia.org/resource/Mikoyan-Gurevich_Ye-8">http://dbpedia.org/resource/Mikoyan-Gurevich_Ye-8</a>	"Mikoyan-Gurevich Ye-8"@en	1962	1386	1	"Tumansky R-21"@en	"Tumansky"@en

```
https://dbpedia.org/sparql?default-graph-uri=http%3A%2F%2Fdbpedia.org&query=%23select+distinct+%3Fairplane+%3Fname+%3Fdate+%3FspeedKmh%0D%0A+++++%23++%3FnumberEngine+%3Fname1+%3Fname2%0D%0A%0D%0A%3Fairplane+a+dbo%3AAircraft.%0D%0A%3Fairplane+dbo%3AManufacturer+dbr%3AMikoyan.%0D%0A%3Fairplane+rdfs%3Alabel+%3Fname.%0D%0A%3Fairplane+dbp%3AfirstFlight+%3Fdate.%0D%0A%3Fairplane+dbp%3AmaxSpeedKmh+%3FspeedKmh.%0D%0A%3Fairplane+dbp%3Aeng1Number+%3FnumberEngine.%0D%0A%3Fairplane+dbp%3Aeng1Name+%3Fengine+rdfs%3Alabel+%3Fname1.%0D%0A+%3Fengine+dbp%3AManufacturer+%3Fworks.%0D%0A+%3Fworks+rdfs%3Alabel+%3Fname2.%0D%0A%0D%0Afilter+%28lang+%28%3Fname+%29%3D%27en%27%29.%0D%0Afilter+%28lang+%28%3Fname1+%29%3D%27en%27%29.%0D%0Afilter+%28lang+%28%3Fname2+%29%3D%27en%27%29.%0D%0A%7D%0D%0A+LIMIT+5%0D%0A%0D%0A&format=text%2Fturtle&timeout=10000&signal_void=on&signal_unconnected=on
```

Рис. 4. Ссылка на результаты работы запроса типа CONSTRUCT

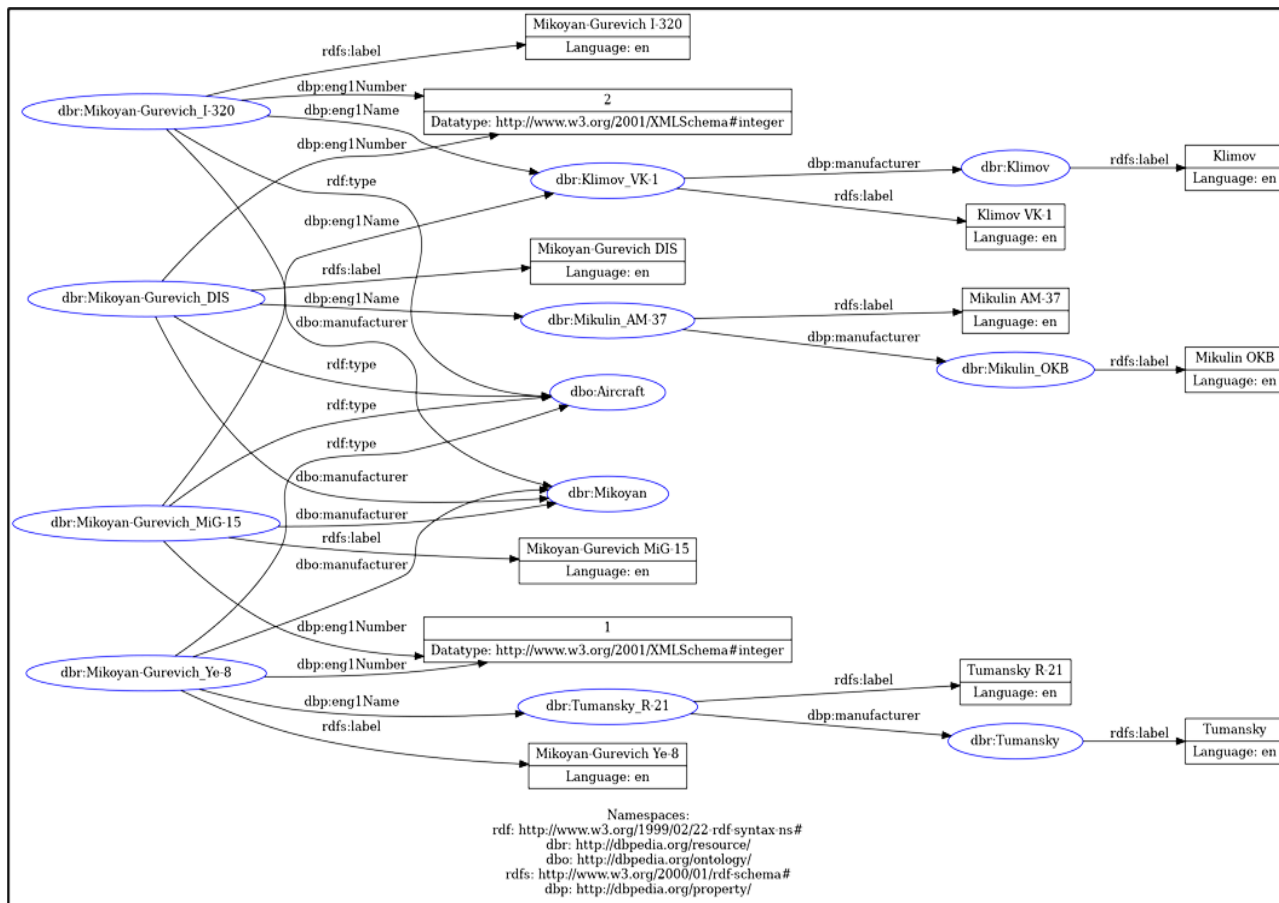


Рис. 5. Результат визуализации структуры данных запроса к RDF-данным

Если требуется отобразить только часть связей, указанных в блоке «WHERE», то блок «CONSTRUCT» используется с параметрами, в которых необходимо указать набор требуемых триплетов. Например, при необходимости отобразить структуру данных, относящихся только к двигателям искомых самолетов, в блок «CONSTRUCT» запроса необходимо добавить следующие данные, показанные на рисунке 6. Результат визуализации структуры данных, полученных при выполнении последнего запроса, представлен на рисунке 7.

```

CONSTRUCT
{
?airplane a dbo:Aircraft.
?airplane dbo:manufacturer dbr:Mikoyan.
?airplane rdfs:label ?name.
?airplane dbp:eng1Number ?numberEngine.
?airplane dbp:eng1Name ?engine.
?engine rdfs:label ?name1.
?engine dbp:manufacturer ?works.
?works rdfs:label ?name2.
}
where
{
?airplane a dbo:Aircraft.
?airplane dbo:manufacturer dbr:Mikoyan.
?airplane rdfs:label ?name.
?airplane dbp:firstFlight ?date.
?airplane dbp:maxSpeedKmh ?speedKmh.
?airplane dbp:eng1Number ?numberEngine.
?airplane dbp:eng1Name ?engine.
?engine rdfs:label ?name1.
?engine dbp:manufacturer ?works.
?works rdfs:label ?name2.
filter (lang (?name)='en').
filter (lang (?name1)='en').
filter (lang (?name2)='en').
}
LIMIT 5
    
```

Рис. 6. Запрос получения RDF-триплетов блока CONSTRUCT с параметрами

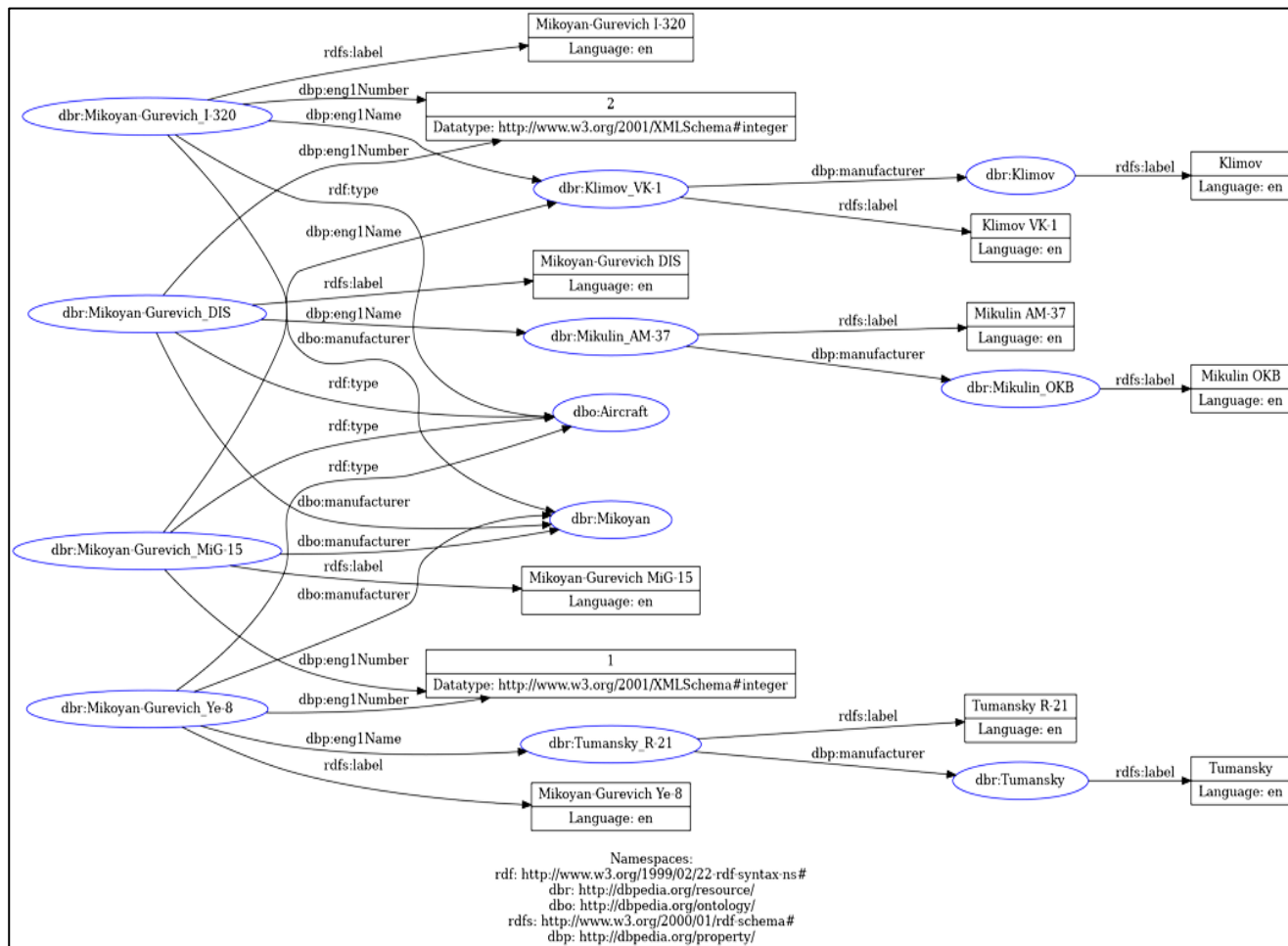


Рис. 7. Результат визуализации структуры данных запроса к RDF-данным с учетом ограничений

## Заключение

Таким образом, предложенная методика визуализации структуры RDF-данных позволяет получить отображения взаимосвязей данных и представляет собой направленный граф, вершины которого отображают значения свойств сущностей, информация о которых извлекается из хранилища в результате работы (реализации) запроса. С его помощью можно визуализировать результаты запросов к большому количеству неоднородных данных в различных форматах и источниках, что позволит более эффективно извлекать скрытую в них информацию. К недостаткам предложенной методики можно отнести необходимость трансформации SPARQL-запросов типа SELECT в запросы типа CONSTRUCT. Представляет интерес в дальнейшем рассмотреть возможность реализации вывода результатов запросов типа SELECT в формате ориентированного графа.

## Литература

1. Кашалкин Д. Ю., Курчидис В. А. Принципы построения семантической сервис-ориентированной архитектуры // Моделирование и анализ информационных систем. 2007. Т. 14. № 1. С. 48–53. EDN: LAOFQD
2. Vandenbussche P.-Y., Vatant B. Linked Open Vocabularies // ERCIM News 96. 2014. PP. 21–22. URL: <https://ercim-news.ercim.eu/en96/special/linked-open-vocabularies> (дата обращения 03.03.2024)
3. Litvinov V. L., Filippov F. V. Paradigm of controls concept for global information systems // Proceedings of the 3rd International Conference on Control in Technical Systems (CTS). 2019. PP. 228–230. DOI: 10.1109/CTS48763.2019.8973235. EDN: MQYXFT
4. Апанович З. В., Винокуров П. С., Кислицина Т. А. Средства визуального анализа информационного наполнения порталов, входящих в облако Linked Open Data // Труды 13-й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» – RCDL'2011. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2011. С. 216–223. EDN: SCQDRD
5. Базалева О. И. Мастерство визуализации данных. М.: Изд-во Диалектика, 2018. 192 с.
6. RDF Grapher. URL: <https://www.ldf.fi/service/rdf-grapher> (дата обращения 03.03.2024)
7. Global and Unified Access to Knowledge Graphs // DBpedia. URL: <http://dbpedia.org> (дата обращения 03.03.2024)

Статья поступила 04 марта 2024 г.

Одобрена после рецензирования 15 марта 2024 г.

Принята к публикации 16 марта 2024 г.

## Информация об авторах

*Губин Александр Николаевич* – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: [gan50\\_60@mail.ru](mailto:gan50_60@mail.ru)

*Литвинов Владислав Леонидович* – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: [vlitvinov@sut.ru](mailto:vlitvinov@sut.ru)

*Филиппов Феликс Васильевич* – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры информационных управляющих систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: [9000096@mail.ru](mailto:9000096@mail.ru)

*Кравец Алексей Юрьевич* – магистрант 2 курса (направление 09.04.02 Информационные системы и технологии) Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: [kravets.au@gmail.com](mailto:kravets.au@gmail.com)

## Visualizing Data Structures in Query Results to RDF Storages

A. Gubin, V. Litvinov, F. Filippov, A. Kravets

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

**Purpose.** Modern search systems must use ontological technologies to maximally satisfy the user's information needs. Ontologies allow you to search for information not by a specific word, but by a subject area and related objects using the SPARQL query language. At the same time, the task of using various visual elements to display complex large-scale or structural elements remains relevant. The goal of the work is to develop a methodology for visualizing the results of global queries in the form of a directed graph, the vertices of which display the values of the properties of entities, information about which is retrieved from the storage as a result of the operation (implementation) of the query. **Methods.** The solution to the problem of visualizing the results of global queries is based on the use of an ontological approach to the construction of semantic global search systems. **Novelty.** The novelty of the presented solution is the solution to the problem of displaying the relationships of data obtained as a result of executing queries to RDF data stores. The visualization result is a directed graph, the vertices of which display the values of the properties of entities, information about which is retrieved from the storage as a result of the operation (implementation) of the request. **Results.** Expanding the functionality of the web service for analysis and visualization of RDF data "RDF Grapher". Supported input data formats (RDF serialization): Turtle, RDF/XML, RDF/JSON, N-Triples, TriG and N-Quads. Supported output image formats: PNG, SVG, PDF, PS, EPS, GIF and JPG. **Practical relevance.** The presented methodology can be implemented as a set of software libraries in problems of designing global information search systems.

**Keywords:** global information systems, semantic search, ontologies, cognitive search, SPARQL, RDF

### Information about Authors

Alexandr Gubin – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Information Control Systems (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: gan50\_60@mail.ru

Vladislav Litvinov – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Information Control Systems (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: vlitvinov@sut.ru

Felix Filippov – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Information Control Systems (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: 9000096@mail.ru

Alexey Kravets – a 2nd year master's student (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: alexeipyp@mail.ru

## Институту магистратуры СПбГУТ 5 лет

УДК 621.391, 519.725

### Методы организации адаптивного помехоустойчивого кодирования

Владимиров С. С.✉, Остапчук Р. Л., Скакунов И. Р.

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича  
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

**Постановка задачи:** применение помехоустойчивого кодирования в каналах связи с переменными параметрами приводит к необходимости использования кодов, исправляющая способность и избыточность которых соответствуют наихудшему состоянию канала, что приводит к уменьшению скорости применяемого кода. **Целью работы** является анализ методов организации адаптивного помехоустойчивого кодирования как решения поставленной задачи. Предлагается применять коды, допускающие укорочение кодового слова сокращением числа избыточных или информационных элементов. **Результат:** сформулирована общая задача построения систем с адаптивным помехоустойчивым кодированием. Представлены блок-схема приемопередатчика такой системы и алгоритм принятия решений о выборе помехоустойчивого кода, который может быть реализован в том числе с применением методов искусственного интеллекта. Приведены варианты помехоустойчивых кодов с укорочением кодового слова по проверочным и информационным элементам, а также представлены их вероятностные характеристики, полученные моделированием. **Теоретическая/Практическая значимость:** представленные подходы могут быть применены для построения адаптивных систем передачи данных. Для рассмотренных помехоустойчивых кодов выделены укорочения, которые позволяют использовать кодовые блоки данных с размером, кратным одному октету, что удобно для программной реализации соответствующих кодеков.

**Ключевые слова:** помехоустойчивое кодирование, адаптивная передача, эквидистантный код, код Рида – Соломона, укороченный код, двоичный симметричный канал

**Источник финансирования:** Исследование выполнено в рамках мегагранта Минобрнауки по соглашению № 075-15-2022-1137.

#### Введение

Неотъемлемой частью всех современных систем связи являются различные способы защиты от ошибок передачи данных, включающие помехоустойчивое кодирование, методы и алгоритмы которого используются для обнаружения и исправления ошибок в принимаемых на стороне получателя данных. Поскольку разные методы помехоустойчивого кодирования и алгоритмы их декодирования неодинаково работают в различных каналах передачи данных, одной из важных задач является проведение соответствующих исследований как на компьютерных моделях, так и в реальных системах передачи [1–3].

#### Библиографическая ссылка на статью:

Владимиров С. С., Остапчук Р. Л., Скакунов И. Р. Методы организации адаптивного помехоустойчивого кодирования // Вестник СПбГУТ. 2024. Т. 2. № 1. С. 3. EDN: DUOERL

#### Reference for citation:

Vladimirov S., Ostapchuk R., Skakunov I. Methods of Organizing of Adaptive Error Correcting Coding // Herald of SPbSUT. 2024. Vol. 2. Iss. 1. P. 3. EDN: DUOERL

В реальных каналах связи вероятность поражения передаваемых данных ошибкой не постоянна и меняется в зависимости от состояния канала. Применяемый помехоустойчивый код при этом должен быть рассчитан на наихудшую ситуацию. Однако коды, исправляющие большое количество ошибок в кодовых комбинациях, имеют высокую избыточность, что приводит к росту размера передаваемых блоков данных и уменьшению скорости передачи полезной информации. Улучшение качества самого канала связи, приводящее к понижению вероятности ошибки в нем, является наилучшим способом борьбы с ошибками, однако это не всегда возможно.

Проблема нестабильного качества канала связи особенно характерна для радиоканалов различных беспроводных систем передачи данных. Возможным решением является использование адаптивных систем помехоустойчивого кодирования, которые позволяют варьировать применяемые помехоустойчивые коды в зависимости от состояния канала, оптимизируя избыточность кода для поддержания требуемой исправляющей способности [4–8].

### Варианты организации адаптивного помехоустойчивого кодирования

Для реализации систем с адаптивным помехоустойчивым кодированием необходимо выделить критерии, которые будут влиять на выбор помехоустойчивого кода. К таким критериям можно отнести, например, информацию от демодулятора на приемном устройстве, которая позволяет оценить, насколько принятый сигнал отличается от эталонной точки сигнального созвездия используемого метода модуляции сигнала. Этот способ применяется, в частности, в системах с декодированием на основе мягких решений.

Другим критерием является наличие шумов и помех в канале связи, которые могут определяться при помощи пилот-сигналов или прослушиванием канала в интервалы времени, свободные от передачи полезных данных. Информацию о количестве ошибок в принятых кодовых блоках может определять собственно декодер помехоустойчивого кода (в зависимости от применяемых алгоритмов кодирования/декодирования). Таким образом, можно видеть, что выбор помехоустойчивого кода требует проведения анализа как состояния канала связи, так и самих принимаемых блоков данных [4, 5].

На рисунке 1 представлена блок-схема устройства приемопередатчика с указанием узлов, с которых решающее устройство собирает информацию для принятия решения о необходимости смены кода.



Рис. 1. Блок-схема приемопередатчика системы с адаптивным помехоустойчивым кодированием

Анализ канала и принятие решения о выборе помехоустойчивого кода может производиться как системой с заранее заданными жесткими решениями, требующей проведения предварительных исследований для конкретной системы связи, так и специализированной системой на основе искусственного интеллекта, которая может быть как функционально определенной для конкретной системы связи, так и универсальной и обучаемой для автоматической настройки под обеспечиваемую систему [4, 5, 8].

Алгоритм принятия решения о выборе помехоустойчивого кода представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Алгоритм принятия решения о выборе помехоустойчивого кода для адаптивной системы передачи

В качестве возможной системы искусственного интеллекта, например, может быть использована рекуррентная нейронная сеть с долгой краткосрочной памятью LSTM (аббр. от англ. Long Short-Term Memory), структура которой представлена на рисунке 3. Необходимая для нее структура обучающих данных показана в таблице 1.

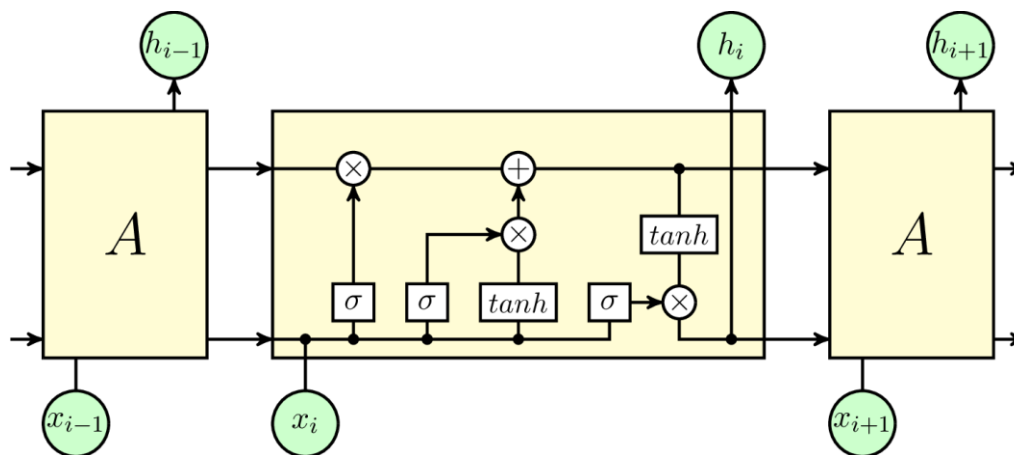


Рис. 3. Структура рекуррентной нейронной сети LSTM

Таблица 1. Пример структуры данных для обучения нейронной сети LSTM  
принятию решений об использовании помехоустойчивого кода

Признак 1	...	Признак N	Интервал	Метка
Параметр сети		Параметр сети	Временной промежуток, на котором собирались данные признаки	Помехоустойчивый код, который был применен в этот момент, или его отсутствие

Данная нейронная сеть будет принимать решения о необходимости применения определенного помехоустойчивого кода, основываясь на своем машинном представлении состояния сети.

Анализ передачи данных с точки зрения адаптации помехоустойчивого кода к состоянию канала может производиться как на оконечных приемных узлах сети, так и на промежуточных маршрутизирующих узлах в том случае, если они способны производить оценку передаваемых пакетов на наличие ошибок. При этом, поскольку все узлы в сети должны применять один и тот же помехоустойчивый код, система и протокол передачи должны иметь либо канал управления, охватывающий все эти узлы и позволяющий уведомлять их о необходимости изменения кода и согласовывать это изменение, либо специальную метку кода в передаваемых пакетах, позволяющую независимо использовать разные помехоустойчивые коды для разных пакетов. Применение одного или другого метода зависит от используемых технологий и протоколов передачи и должно определяться при разработке конкретной адаптивной системы передачи.

В качестве помехоустойчивых кодов для адаптивной системы передачи удобно использовать коды, допускающие укорочение за счет изменения абсолютной и/или относительной избыточности на основе изменения количества информационных или проверочных элементов в кодовом слове. Этот подход, в отличие от применения разнотипных кодов, позволяет использовать один и тот же алгоритм кодирования/декодирования, что упрощает разработку приемопередающих устройств системы связи.

Для примера в данной статье рассмотрим: 1) высокоизбыточные эквидистантные несистематические коды максимальной длины (КМД), в которых изменение исправляющей способности производится за счет корректировки числа проверочных элементов, и 2) циклические коды Рида – Соломона (РС), в которых укорочение производится изменением числа информационных элементов.

### Пример адаптации помехоустойчивого кода корректировкой числа проверочных элементов

Адаптацию эквидистантного кода рассмотрим на примере КМД (15, 4), имеющего минимальное кодовое расстояние  $d_{\min} = 8$  и, соответственно, гарантированно исправляющего три ошибки. Данный код может быть укорочен вплоть до длины кодового слова  $n_{\text{укор}} = 8$ , формируя несистематический код (8, 4), который теряет свойства эквидистантности [9]. При укорочении кода (15, 4) можно выделить несколько кодов, представленных в таблице 2 [9].

Таблица 2. Параметры эквидистантного кода (15, 4) и его укорочений

Размер кода $(n, k)$	Относительная избыточность	Скорость кода	Минимальное кодовое расстояние $d_{\min}$	Кратность гарантированно исправляемой ошибки	Количество линейно-независимых $k$ -элементных комбинаций для декодирования
(15, 4)	0,73	0,27	8	3	840
(14, 4)	0,71	0,29	7	3	616
(12, 4)	0,67	0,33	5	2	304
(8, 4)	0,5	0,5	3	1	45

Размер информационной части кодового слова остается постоянным, а длина кодового слова меняется, в связи с чем меняются избыточность и кодовая скорость.

Для этого кода удобно применять мажоритарное декодирование по  $k$ -элементным линейно-независимым комбинациям, которое происходит по одному и тому же алгоритму для кода (15, 4) и его укорочений. В зависимости от длины кодового слова используется разное количество линейно-независимых комбинаций, как показано в таблице 2 [9, 10].

Среди представленных укорочений эквидистантного кода (15, 4) следует отметить коды (8, 4) и (12, 4), которые позволяют сформировать двухсловные кодовые блоки (16, 8) и (24, 8), соответственно. Размер информационной и проверочной частей в этих кодовых блоках кратен одному октету, что удобно для программной реализации соответствующего кодека [11, 12].

На рисунке 4 представлены вероятностные характеристики рассмотренного эквидистантного КМД (15, 4) и его укорочений (КМД<sub>у</sub>), полученные моделированием в двоичном симметричном канале (ДСК).



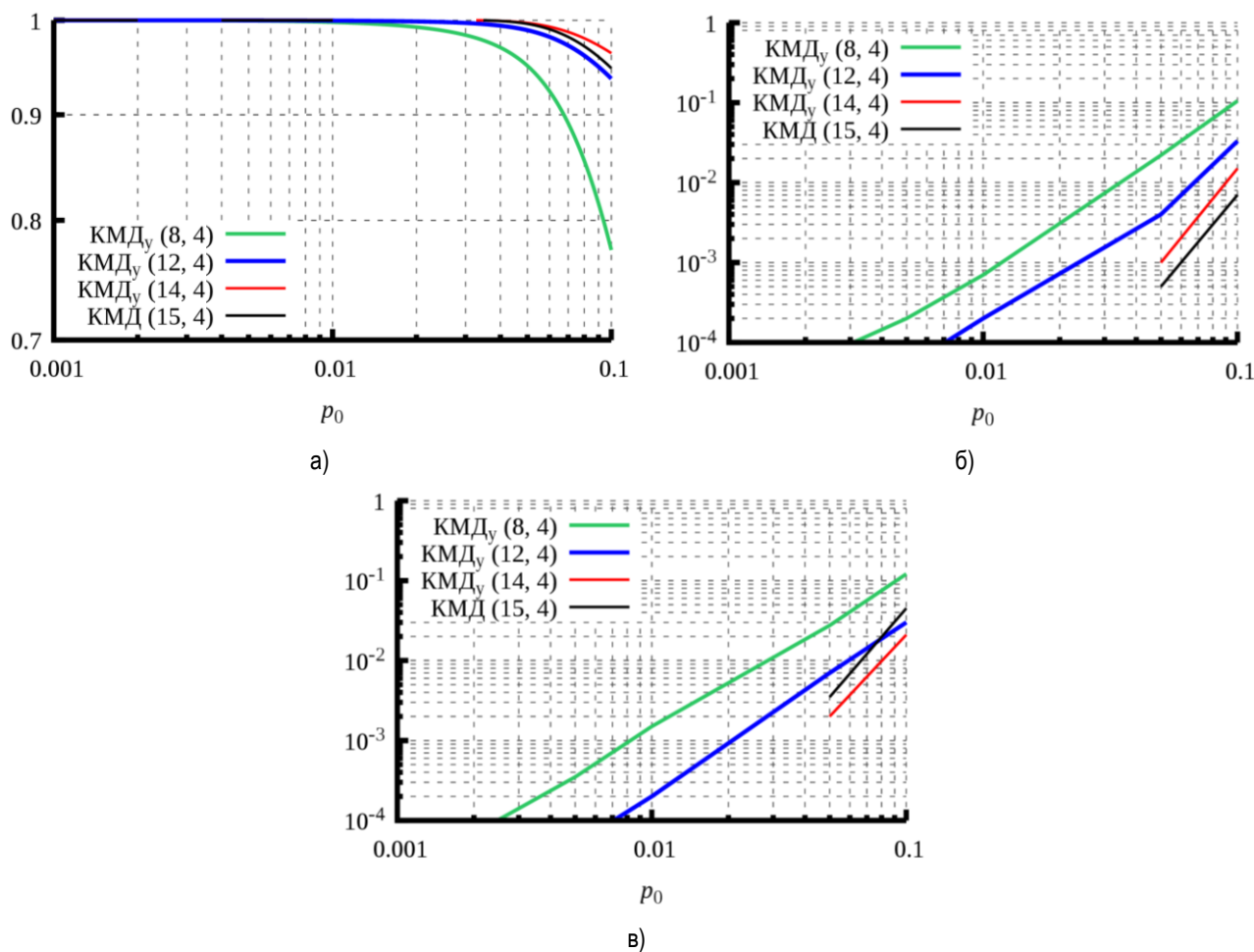


Рис. 4. Вероятностные характеристики эквидистантного кода (15, 4) и его укорочений для случая ДСК:  
а) вероятность правильного декодирования  $P_{\text{пд}}$ ; б) вероятность неправильного декодирования  $P_{\text{нд}}$ ;  
в) вероятность обнаружения неисправляемой ошибки  $P_{\text{но}}$

При использовании данного кода в адаптивной схеме следует для хороших каналов использовать короткий код (8, 4), исправляющий однократную ошибку, а при ухудшении качества канала повышать избыточность. Согласно полученным вероятностным характеристикам, наилучшей исправляющей способностью обладает укороченный код (14, 4). При этом следует отметить, что применение полноценного кода (15, 4) допускает выполнение декодирования по  $k$ -элементным участкам, являющегося частным случаем декодирования по  $k$ -элементным линейно-независимым комбинациям и выполняющегося за меньшее время [13–15].

При использовании декодирования по  $k$ -элементным линейно-независимым комбинациям следует учитывать метод построения схемы декодера. Последовательный перебор комбинаций выполняется тем быстрее, чем меньше число этих комбинаций. Следовательно, такой способ декодирования будет выполняться быстро для кода (8, 4) и медленнее для полного кода (15, 4). При использовании параллельной обработки комбинаций время выполнения декодирования практически не зависит от количества комбинаций и длины кода [14, 15].

### Пример адаптации помехоустойчивого кода корректировкой числа информационных элементов

В качестве примера кода, укорачиваемого в информационной части кодового слова, рассмотрим недвоичный систематический код РС (15, 11) над полем Галуа  $GF(2^4)$ , элементы (символы) которого представляют собой 4-разрядные двоичные последовательности – элементы конечного поля, что позволяет свести данный код к двоичному коду (60, 44). Рассмотренный код способен гарантированно

исправлять любую одно- или двукратную символьную ошибку, при которой каждый ошибочный символ может содержать от одной до четырех битовых ошибок.

Укорочение кода РС (15, 11) производится за счет уменьшения количества информационных элементов вплоть до размерности (8, 4), соответствующей двоичному коду (32, 16). Размер проверочной части кодового слова остается постоянным. Кратность гарантированно исправляемой символьной ошибки при этом не изменяется и остается равной 2.

Варианты укорочения кода РС (15, 11) представлены в таблице 3.

Таблица 3. Параметры систематического циклического кода РС (15, 11) и некоторых его укорочений

Размер кода ( $n, k$ )	Отображение на двоичный код	Относительная избыточность	Скорость кода
(15, 11)	(60, 44)	0,27	0,73
(14, 10)	(56, 40)	0,29	0,71
(12, 8)	(48, 32)	0,33	0,67
(8, 4)	(32, 16)	0,5	0,5

Следует отметить, что укороченные коды с четными  $n$  и  $k$ , подобно ранее рассмотренным эквидистантным кодам, позволяют осуществить удобные для программной реализации «байтовые» коды [11, 12, 16].

На рисунке 5 представлены вероятностные характеристики рассмотренного кода РС (15, 11) и его укорочений, полученные моделированием в ДСК.

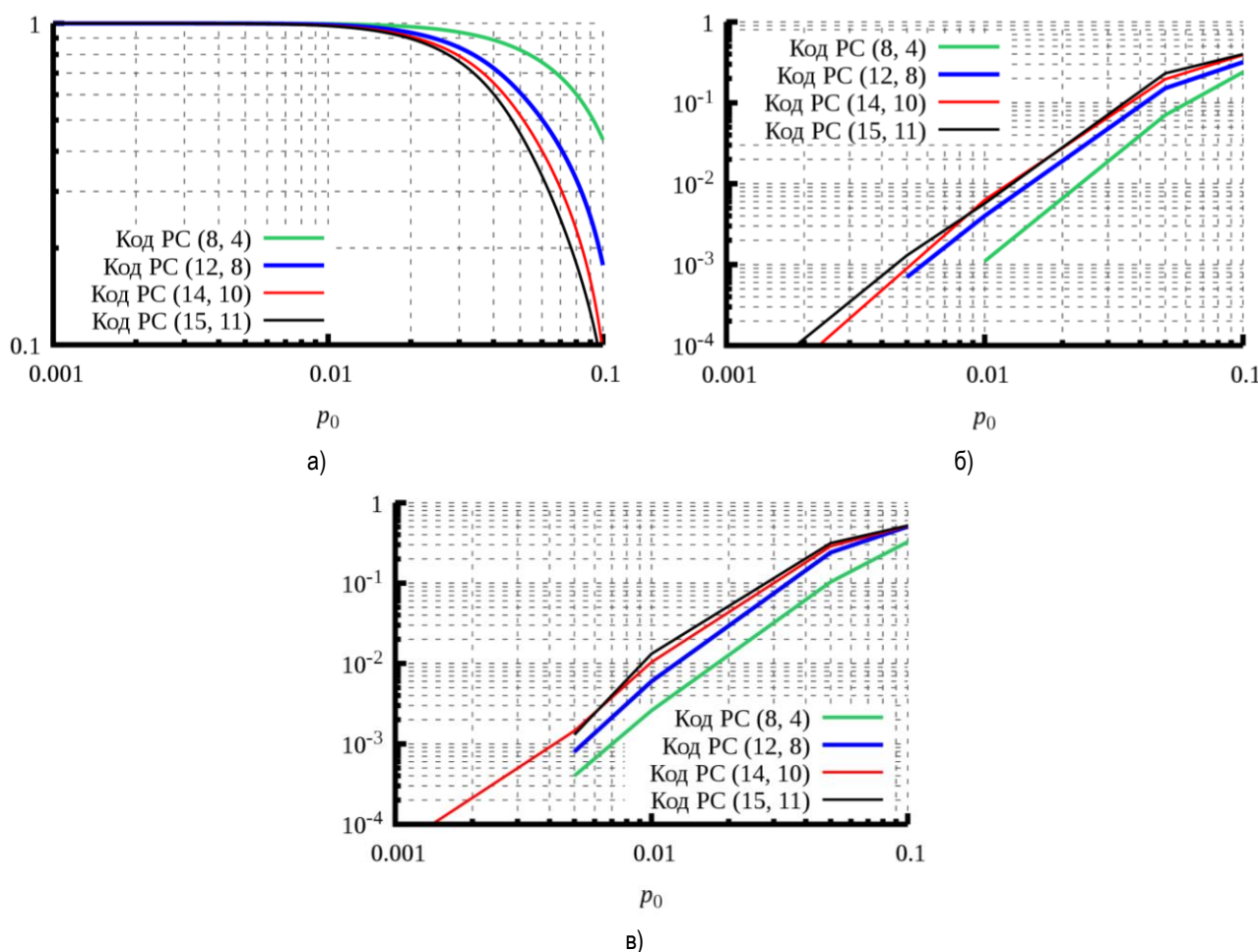


Рис. 5. Вероятностные характеристики кода РС (15, 11) и его укорочений для случая ДСК:  
а) вероятность правильного декодирования  $P_{Пд}$ ; б) вероятность неправильного декодирования  $P_{нд}$ ;  
в) вероятность обнаружения неисправляемой ошибки  $P_{но}$

При кодировании и декодировании укороченная информационная часть дополняется нулями до 11 символов, и далее кодирование и декодирование производятся как с полным кодовым словом посредством любых удобных алгоритмов кодирования и декодирования. После кодирования нули дополнения отбрасываются, и в канал передается кодовое слово укороченного кода. Чем меньше информационных символов, тем больше избыточность, но тем меньше вероятность поражения укороченного кодового слова ошибкой. При этом гарантированно известно, что при декодировании в нулевом дополнении не может быть ошибок, что является дополнительным критерием при декодировании кодового слова. Таким образом, для хороших каналов следует использовать код с наибольшей возможной длиной информационной части, а при ухудшении качества канала следует начинать постепенно уменьшать число передаваемых в кодовом слове информационных символов, пока на выходе декодера не будут достигнуты требуемые характеристики по исправлению ошибок. Время кодирования и декодирования для кода РС (15, 11) и его укорочений одинаково.

### Выводы

Сформулированная в работе общая постановка задачи построения систем с адаптивным помехоустойчивым кодированием, представленная блок-схема приемопередатчика такой системы и алгоритм принятия решений о выборе помехоустойчивого кода, который может быть реализован в том числе с применением методов искусственного интеллекта, могут быть применены для построения адаптивных систем передачи данных. Для рассмотренных в работе вариантов эквидистантного помехоустойчивого кода с укорочением кодового слова по проверочным элементам и кода Рида – Соломона с укорочением кодового слова по информационным элементам представлены их вероятностные характеристики, полученные моделированием, а также выделены укорочения, которые позволяют использовать кодовые блоки данных с размером, кратным одному октету, что удобно для программной реализации соответствующих кодеков. В рамках дальнейших исследований предполагается разработать нейронную сеть согласно рассмотренным в статье подходам и провести исследование адаптивного помехоустойчивого кодирования для различных помехоустойчивых кодов.

### Литература

1. Костюков А. С., Башкиров А. В., Никитин Л. Н., Бобылкин И. С., Макаров О. Ю. Помехоустойчивое кодирование в современных форматах связи // Вестник ВГУТ. 2019. Т. 15. № 2. С. 132–138. DOI: 10.25987/VSTU.2019.15.2.017. EDN: ZDUVTN
2. Kadel R., Islam N., Ahmed K., Halder S. J. Opportunities and Challenges for Error Correction Scheme for Wireless Body Area Network – A Survey // Journal of Sensor and Actuator Networks. 2019. Vol. 8. Iss. 1. Art. 1. DOI: 10.3390/jsan8010001
3. Fanari L., Iradier E., Bilbao I., Cabrera R., Montalban J., et al. A Survey on FEC Techniques for Industrial Wireless Communications // IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society. 2022. Vol. 3. PP. 674–699. DOI: 10.1109/OJIES.2022.3219607
4. Квашенников В. В. Двухступенчатая адаптивная коррекция параметров помехоустойчивого кода по результатам его декодирования // Вопросы радиоэлектроники. 2009. Т. 1. № 5. С. 58–66. EDN: QYXSKD
5. Квашенников В. В. Метод каскадной коррекции параметров помехоустойчивого кода и адаптивное кодирование с обучением // Вопросы радиоэлектроники. 2009. Т. 1. № 5. С. 67–74. EDN: QYXSKN
6. Нечаев Ю. Б., Плаксенко О. А. Комплексная оценка помехозащищенности многопараметрической адаптивной системы передачи информации // Радиотехника. 2013. № 3. С. 4–10. EDN: PXRINX
7. Аношко Р. Н., Квашенников В. В., Трушин С. А. Исследование и разработка способов повышения надежности КВ-радиолиний на основе адаптивного помехоустойчивого кодирования // Труды регионального конкурса проектов фундаментальных научных исследований. Вып. 21. Калуга: Калужский государственный институт развития образования, 2016. С. 271–281. EDN: XYDOOV

8. Hu H., Cheng S., Zhang X., Guo Z. LightFEC: Network Adaptive FEC with a Lightweight Deep-Learning Approach // Proceedings of the 29<sup>th</sup> ACM International Conference on Multimedia (MM'21). 2021. PP. 3592–3600. DOI: 10.1145/3474085.3475528
9. Владимиров С. С. О мажоритарном декодировании укороченного кода максимальной длины по  $k$  линейно-независимым элементам // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО): сборник научных статей V Международной научно-технической и научно-методической конференции (Санкт-Петербург, 10–11 марта 2016 г.). СПб.: СПбГУТ, 2016. Т. 1. С. 276–281. EDN: WZILOT
10. Владимиров С. С. Эффективность мажоритарного декодирования кода максимальной длины по  $k$ -элементным линейно-независимым комбинациям в двоичном симметричном канале // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. Т. 3. № 4. С. 108–119. EDN: VUCAYH
11. Владимиров С. С. Сравнение вероятностных характеристик 8-разрядных кодов с прямой коррекцией ошибок // Информационные технологии и телекоммуникации. 2019. Т. 7. № 1. С. 21–30. DOI: 10.31854/2307-1303-2019-7-1-21-30. EDN: QRDLCN
12. Владимиров С. С. 8-разрядные коды с прямой коррекцией ошибок в линейном сетевом кодировании // Электросвязь. 2020. № 7. С. 51–58. DOI: 10.34832/ELSV.2020.8.7.007. EDN: AYFGRK
13. Когновицкий О. С., Кукунин Д. С. Метод декодирования эквидистантных кодов с использованием двойственного базиса поля Галуа // Труды учебных заведений связи. 2006. № 174. С. 45–52. EDN: WCTIMB
14. Когновицкий О. С. Двойственный базис и его применение в телекоммуникациях. СПб.: Линк, 2009. 423 с. EDN: QMULCD
15. Владимиров С. С. Варианты аппаратной реализации мажоритарного декодера кодов максимальной длины на основе двойственного базиса // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО): сборник научных статей VII Международной научно-технической и научно-методической конференции (Санкт-Петербург, 28 февраля – 01 марта 2018 г.). СПб.: СПбГУТ, 2018. Т. 1. С. 196–200. EDN: XSUFMD
16. Владимиров С. С., Гутовский А. С., Фомин А. И. Линейное сетевое кодирование с прямой коррекцией ошибок в системе беспроводного ретранслятора пакетов // Информационные технологии и телекоммуникации. 2022. Т. 10. № 1. С. 21–33. DOI: 10.31854/2307-1303-2022-10-1-21-33. EDN: UXKSFZ

**Статья поступила 26 февраля 2024 г.**  
**Одобрена после рецензирования 12 марта 2024 г.**  
**Принята к публикации 18 марта 2024 г.**

### Информация об авторах

*Владимиров Сергей Сергеевич* – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: vladimirovs@sut.ru

*Остатчук Роман Леонидович* – студент 1-го курса магистратуры (направление 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи) Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: predamer@yandex.ru

*Скакунов Игорь Рустамович* – студент 2-го курса магистратуры (направление 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи) Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: i.skakunov@mcart.ru

## Methods of Organizing of Adaptive Error Correcting Coding

S. Vladimirov ✉, R. Ostapchuk, I. Skakunov

The Bonch-Bruevich St.-Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

**Problem statement.** *The use of error correcting coding in communication channels with variable parameters leads to the need to use codes whose correcting ability and redundancy correspond to the worst state of the channel, which leads to a decrease in the speed of the code used.* **Purpose.** *Analyze methods for organizing adaptive error correcting coding as a solution to the stated problem. It is proposed to use codes that allow shortening the code word by reducing the number of redundant or information elements.* **Result.** *A general formulation of the problem of constructing systems with adaptive error correcting coding is formulated. There are presented a block diagram of the transceiver of such a system and a decision-making algorithm for choosing an error correcting code, which can be implemented, including using artificial intelligence methods. Variants of error correcting codes with code word shortening by check elements and information elements are presented, and their probabilistic characteristics obtained by simulation are also presented.* **Theoretical/Practical relevance.** *The presented approaches can be applied to build adaptive data transmission systems. For the considered error correcting codes, shortenings have been identified that allow the use of data code blocks with a size that is a multiple of one octet, which is convenient for software implementation of the corresponding codecs.*

**Keywords:** *error correcting coding, adaptive transmission, equidistant code, Reed–Solomon code, shortened code, binary symmetric channel*

### Information about Authors

*Vladimirov Sergey* – D. Sc. of Engineering Sciences, Docent, Professor at the Department of Telecommunication Networks and Data Transmission (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: vladimirovs@sut.ru

*Ostapchuk Roman* – a 1<sup>st</sup> Year Master's Student (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: predamer@yandex.ru

*Skakunov Igor* – a 2<sup>nd</sup> Year Master's Student (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: i.skakunov@mcart.ru

## Институту магистратуры СПбГУТ 5 лет

УДК 621.396.2

# Анализ использования и развития беспроводных технологий связи с беспилотными объектами

Симонина О. А.✉, Чернышов А. Г.

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича  
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

**Постановка задачи:** В современном мире активно развиваются беспилотные объекты, а, следовательно, актуализируется задача управления такими аппаратами. При этом беспилотные объекты могут передвигаться с разной скоростью и в различной среде. В настоящее время их разделяют на воздушные, наземные, подводные и надводные. Так как среда распространения сильно влияет на радиоканал, необходимо разработать методiku выбора метода синтеза радиоканала для беспилотного объекта. **Целью работы** является анализ основных тенденций связи с беспилотными объектами различного назначения и формулировка задач исследования и разработки технологий связи с ними. **Используемые методы:** анализ научных источников. **Новизна:** показано единое пространство требований к системам связи с беспилотными объектами с точки зрения верхних уровней, несмотря на различную среду распространения, скорость движения, особенности применения и технической реализации. **Результат:** показано, что выбор технологии обусловлен требованиями к услугам, средой распространения и скоростью подвижного объекта. Сделан акцент на условиях применения беспилотных систем и влиянии сценария использования аппаратов на архитектуру сети радиосвязи. Проведён обзор технологий беспроводного доступа и сделаны рекомендации по выбору технологии для организации радиоканала с беспилотными аппаратами различного назначения. **Теоретическая/практическая значимость:** обозначены задачи исследования и разработки в целях совершенствования этих технологий, что поможет сузить круг поисковых задач при разработке и изучении новых радиосистем для связи с беспилотными объектами.

**Ключевые слова:** беспилотные объекты, радиосвязь, среда распространения, факторы влияния на качество радиоканала

### Актуальность

Актуальность применения беспилотных объектов особенно возросла в последние годы. Прежде всего это обусловлено возможностью как экономии человеческих ресурсов, так и бережного обращения с персоналом в небезопасных локациях. Использование таких аппаратов существенно расширяет возможности проведения работ там, где присутствие человека затруднено или даже невозможно. Сейчас различают несколько направлений в развитии беспилотных объектов: воздушные – самолётного и вертолётного типов, наземные, надводные, подводные. Для каждого из этих типов беспилотных объектов нужны средства связи между самим аппаратом и пультом управления, которые будут различаться в зависимости от дальности связи и среды распространения. Принципиально степень свободы любого аппарата определяется его возможностями работать в режиме робота, т. е. по

#### Библиографическая ссылка на статью:

Симонина О. А., Чернышов А. Г. Анализ использования и развития беспроводных технологий связи с беспилотными объектами // Вестник СПбГУТ. 2024. Т. 2. № 1. С. 4. EDN: RZSDQB

#### Reference for citation:

Simonina O., Chernyshov A. Analysis of the Use And Development of Wireless Communication Technologies with Unmanned Objects // Herald of SPbSUT. 2024. Vol. 2. Iss. 1. P. 4. EDN: RZSDQB

программе, и/или в режиме аватара, с непосредственным управлением оператором в режиме реального времени. Современные беспилотные аппараты поддерживают или режим аватара, или совмещают оба этих режима, что актуально в случае потери управления. Таким образом, для организации связи необходимо обеспечить радиоканал управления для дуплексной передачи данных (управляющих команд и ответов для них, а также телеметрических данных о состоянии объекта) и симплексный канал передачи видео для контроля производимых объектом действий. Таким образом, независимо от типа беспилотного объекта, требования к системе связи на верхних уровнях будут идентичны, так как обусловлены возможностями оператора по контролю и управлению аппаратом.

### Требования к качеству обслуживания трафика беспилотных объектов

Требования к каналам радиосвязи задают требования к технологиям нижних уровней и архитектурным решениям. Требования к системам радиосвязи для беспилотных объектов разделяются на два типа: передача видеoinформации и передача сигналов управления. Прежде всего отметим, что это принципиально разные типы трафика, которые задают разные требования к качеству обслуживания.

Рассмотрим трафик управления и определим целевые показатели, которые позволят в дальнейшем определить требования к радиоканалу по пропускной способности и битовым ошибкам (BER, аббр. от англ. Bit Error Rate). Согласно [1], требования к данному каналу довольно жёсткие: по задержке – до 100 мс, по потерям – до  $10^{-3}$ . Однако это смягчается требованиями по пропускной способности: в пределах 200–250 кбит/с, так как объем управляющих команд и телеметрических данных составляет десятки килобит. Такие требования позволяют организовать канал на довольно большие расстояния.

Трафик видео, напротив, имеет более мягкие требования к задержкам, джиттеру задержки и потерям (таблица 1), но в то же время ещё и требует высокой пропускной способности. По разным данным видеокodeки требуют до 1 Мбит/с [2]; при этом не учитываются особенности беспроводного канала. Трафик потоковых видеоданных формирует так называемый транспортный поток, задача которого – передать видео, являющееся синхронным событием на выходе кодека, по асинхронной пакетной сети. В одном пакете могут быть фрагменты разных кадров, а также присутствовать информация для организации синхронизации на стороне получателя. Именно поэтому потери в радиоканале могут приводить к совершенно разным последствиям для воспроизводимого видео: если потерян пакет с так называемым разностным кадром, несущим в себе только информацию об изменениях по отношению к опорному, то пользователь может даже не заметить ухудшения качества. При этом потеря пакета с опорным кадром или заголовком синхронизации приводит к существенным сбоям. Таким образом, из-за непредсказуемости видеопотока, полностью зависящего от кодируемого контента, важно обеспечивать наилучшее качество передачи, не хуже, чем для канала управления.

Таблица 1. Требования к трафику движущихся объектов [1]

Параметры	Трафик управления	Трафик видеоданных
Класс трафика согласно Рекомендации МСЭ У.1541	0	1
Задержка пакетов, IPTD, мс	100	400
Джиттер задержки, IPDV, мс	50	50
Коэффициент потерянных пакетов, IPLR	$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$
Коэффициент пакетов с ошибками, IPER	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$
Коэффициент переупорядочивания пакетов, IPRR	–	–

Следовательно, именно на нижних уровнях необходимо решить задачу обеспечения качественной передачи данных в обоих каналах. На рисунке 1 приведён пример реализации связи между беспилотным летающим аппаратом (БПЛА) вертолётного типа (коптер) и пультом управления (ПУ) с возможностью дальнейшей передачи в центр обработки данных (ЦОД). Данная схема будет актуальна и для других типов беспилотных объектов.

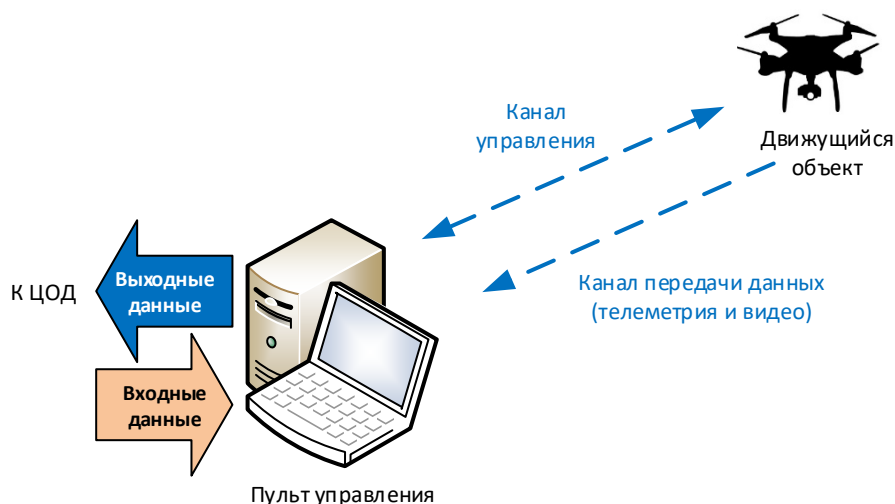


Рис. 1. Концепция передачи трафика между движущимся объектом и пультом управления [3]

Таким образом, для перспективной технологии связи с беспилотным объектом важным параметром является возможность обеспечения на верхних уровнях заданных показателей качества. В силу разной природы трафика возможна реализация двух каналов, на различных частотах и с различными техническими характеристиками. Особенно это важно при разработке системы связи на расстоянии от 1 км.

### Влияние среды распространения на выбор технологии связи с беспилотным объектом

Как уже отмечалось выше, беспилотные объекты могут использоваться в разной среде – воздух, вода, поверхность земли и поверхность воды. В силу различной природы распространения радиоволн необходимо учитывать возможные применения объекта. Более того, важна скорость беспилотного объекта. Именно эти два фактора зададут архитектуру, для которой можно будет выбирать подходящую технологию.

Рассмотрим воздух в качестве среды распространения. Наименее сложный вариант – связь с БПЛА. Радиоканал в этом случае относится к прямой видимости, и его дальность ограничена техническими характеристиками – частотой, модуляционно-кодирующей схемой, требованиями к частоте BER, мощностью передатчика и т. д. Для таких систем можно добиться довольно неплохих результатов по дальности – до 100 км [4, 5]. При этом для аппаратов ближнего и среднего радиуса действия такая дальность даже избыточна, так как обычно они используются на расстояниях до 5 и 20 км, соответственно. Также БПЛА можно применять в качестве ретрансляторов, в том числе спутникового сигнала [6], что делает выбор технологии связи с наземными объектами более сложной в силу необходимости учитывать электромагнитную совместимость с системами космической радиосвязи на борту аппарата.

Для подводных беспилотных аппаратов требуются особые каналы связи, называемые гидроакустическими. Такие каналы работают на частотах от 9 до 200 кГц, обеспечивают связь на расстояние до 1 км со скоростью передачи данных до 50 кбит/с. На сегодня этот физический канал позволяет либо организовать низкоскоростной обмен информацией на расстояния до десятков и даже сотен километров, либо передавать данные на сравнительно небольшие дистанции (в пределах 1 км) со скоростью до 70 кбит/с [7]. При этом важно, что характеристики гидроакустического канала сильно зависят от солёности и температуры воды, а также степени её загрязнения. Кроме того, эффект Доплера и значительная рефракция сигнала усложняют разработку каналов большей дальности и с большей пропускной способностью. В настоящее время ведутся активные исследования в области разработки оборудования для гидроакустической связи. Согласно анализу, приведённому в [7], перспективные системы подводной связи позволят обеспечить скорость передачи данных до 1 Гбит/с на расстояние 80 м в океанической воде для систем на основе лазерных диодов.



В случае использования надводных беспилотных объектов, казалось бы, проблем в организации радиоканала должно быть меньше, так как дальность связи около воды обычно больше. Однако сложность заключается в том, что радиоканалы очень чувствительны к воздействию водных паров, тумана и дождя, причём с повышением частоты их влияние растёт [8]. В этом случае необходим компромисс между понижением частоты в целях уменьшения затухания и возможностью обеспечить дальность и пропускную способность, достаточную для управления подобными аппаратами. В настоящее время управление такими системами гражданского назначения чаще всего производится по сети сотовой мобильной связи и других с использованием береговой инфраструктуры [9].

Наземные беспилотные аппараты можно обозначить как очень интересные с точки зрения развития систем радиосвязи. Прежде всего, это существование двух совершенно разных сценариев использования таких систем – в условиях городской среды и хорошего покрытия и в условиях его отсутствия. Также очень много зависит от высоты подвеса антенн, поэтому некоторые модели не подходят для расчёта радиоканалов для небольших роботехнических комплексов, а земная волна может оказывать существенное влияние на характеристики канала, что делает необходимым подвес антенны на высоту от 1,5 м. При этом существует довольно много моделей распространения радиосигнала, как учитывающих возможность огибания препятствий, так и не учитывающих. Если мы рассматриваем городскую среду, то в этом случае большое количество моделей (таблица 2) иногда сильно затрудняет возможности предсказания параметров связи в заданной точке, так как для различных сценариев подходят разные модели, дающие зачастую сильно отличающиеся оценки. Модель распространения должна оптимизировать и модифицировать существующую методологию в соответствии с изменением окружающей среды вокруг объекта [10], поэтому выбор модели распространения требует отдельного анализа. Возможно, использование методов искусственного интеллекта поможет выявить скрытые закономерности и действительно оптимизировать существующие модели для оценки качества радиоканала наземных беспилотных объектов.

Таблица 2. Модели распространения сигнала

Модели	Критерии		
	Частотный диапазон, МГц	Расстояние между точкой доступа и мобильным объектом, км	Высота подвеса антенны точки доступа при высоте повеса антенны мобильного объекта до 10 м, м
Окамуры	150–2000	1–100	30
Окамуры-Хата	150–1500	1–20	30
ЕСС-33	150–1500	1–100	30
SUI	1900–11000	0,1–8	10
Cost-231	500–2000	1–20	30
Двухлучевая	300–30000	0,1–30	10
Ли	900	–	30
Уолфиша-Икегами	800–2000	0,1-5	50
ITU-R P.1238.8	900–6000	от 0,1	–

### Влияние степени подвижности объекта

В [11] анализируется влияние мобильности на эффективность сетей подвижной радиосвязи. Отмечается, что для её повышения целесообразно использовать правильный математический аппарат, но вопросы синтеза обобщённой модели мобильности узлов сети требуют дальнейшего изучения. В настоящее время существует несколько направлений в моделировании мобильности объектов: детерминированная, полудетерминированная и случайная. Детерминированный подход, например, может описывать мобильность автомобилей, движущихся в городской зоне движения, где скорость транспортных средств ограничена, а также определено направление, в котором они могут двигаться [12]. Полудетерминиро-

ванную модель мобильности можно рассматривать для описания движения спасательных служб, туристических групп, мониторинга животных на сельскохозяйственных предприятиях. Случайная модель позволяет описать подвижность, например, биологических объектов в экологических исследованиях.

Отметим, что эти подходы имеют довольно общий характер и требуют уточнения. Поведение движущегося объекта (мобильного пользователя) описывается математическими моделями с элементами упрощения, а также имитационными, обеспечивающими большую реалистичность. В основе моделей, разрабатываемых с учётом особенностей системы связи с подвижными объектами, лежат модели случайных путевых точек, случайного блуждания, случайного направления, уличная случайная путевая точка, модель группы опорных точек (RPGM), манхэттенская модель мобильности; модель мобильности автострады [13, 14].

Для каждой из моделей задаётся набор метрик, отражающих её особенности. Примерами таких метрик являются пространственная и временная зависимости, относительная скорость, географические ограничения. Как модели мобильности, так и их метрики сильно зависят от поведения движущегося объекта, его назначения, требований со стороны связи к точности и показателям качества. Таким образом, нельзя однозначно выделить модель, являющуюся подходящей для описания системы связи со всеми видами объектов. Для определения перспективной модели необходимо чётко обозначить назначение такой системы, требования к ней и особенности поведения объектов (скорость, равномерность скорости, сценарий поведения, требования к дальности и качеству обслуживания для всех типов трафика).

В настоящее время существует два направления развития технологий связи с подвижными объектами: на основе систем специальной связи и на основе существующей инфраструктуры сетей общего пользования. Высказываются мнения, что организация обособленных специальных систем связи не рациональна и требует затрат экономических ресурсов, гораздо эффективнее задействовать готовые решения сетей общего пользования. Для этого необходимо, чтобы выполнялось условие: проектировать системы связи необходимо обратно совместимыми для лёгкой интеграции и использовании одних для целей других. Но это может и пагубно сказаться на безопасности, так как возникнут уязвимости из-за схожести общепринятых технологий, на которых реализуются сети общего назначения.

Еще один важный аспект – это влияние скорости объекта на качество связи. Для малоподвижных объектов влияние многих факторов практически незаметно, но с повышением скорости свыше 40 км/ч возникают некоторые проблемы [15]:

1) доплеровский сдвиг: высокие значения доплеровского сдвига, особенно на микроволновых частотах, может вызвать значительное изменение принимаемого сигнала; большинство моделей его никак не учитывают, эффект Доплера нивелируется программными средствами в приёмной части устройства;

2) хэндовер: характерен для сетей с базовыми станциями и необходим для поддержания активного соединения при переходе из одной соты в другую; из-за сверхвысокой скорости подвижного объекта необходимо минимизировать эту процедуру по времени;

3) многолучевое распространение: вторичным эффектом увеличения скорости является многолучевое распространение (приводит к изменяющимся во времени доплеровским разбросам и нестационарным замираниям, что способствует перекрытию поднесущих и, следовательно, вносит интерференцию между несущими; интерференция между несущими существенно повышает частоту BER; пока что единственная возможность решить эту проблему – увеличить расстояние между несущими, что повышает устойчивость, но, к сожалению, заметно снижает пропускную способность).

Современные подвижные средства могут развивать довольно высокие скорости – до 300 км/ч, что накладывает ограничения на использование, например, технологий сотовой мобильной связи.

### Архитектура системы связи с подвижными объектами

С точки зрения архитектуры на сегодняшний день можно выделить способы передачи информации к подвижным объектам с помощью маяков и радиосистем.

*С помощью маяков.* Подвижный объект получает информацию только тогда, когда перемещается в непосредственной близости с физическими элементами, располагающимися вдоль трассы (маяками) (рисунок 3а). Такие системы реализуются чаще всего на основе технологий фиксированного радиодоступа.

С помощью радиосистем. Предполагается, что подвижный объект получит необходимую информацию, находясь в радиусе покрытия. Выделим два возможных сценария:

- 1) точка – точка: радиоканал организуется между ПУ и объектом (рисунок 3б);
- 2) точка – многоточка: устройство движется между базовыми станциями, которые осуществляют хэндовер (рисунок 3с).

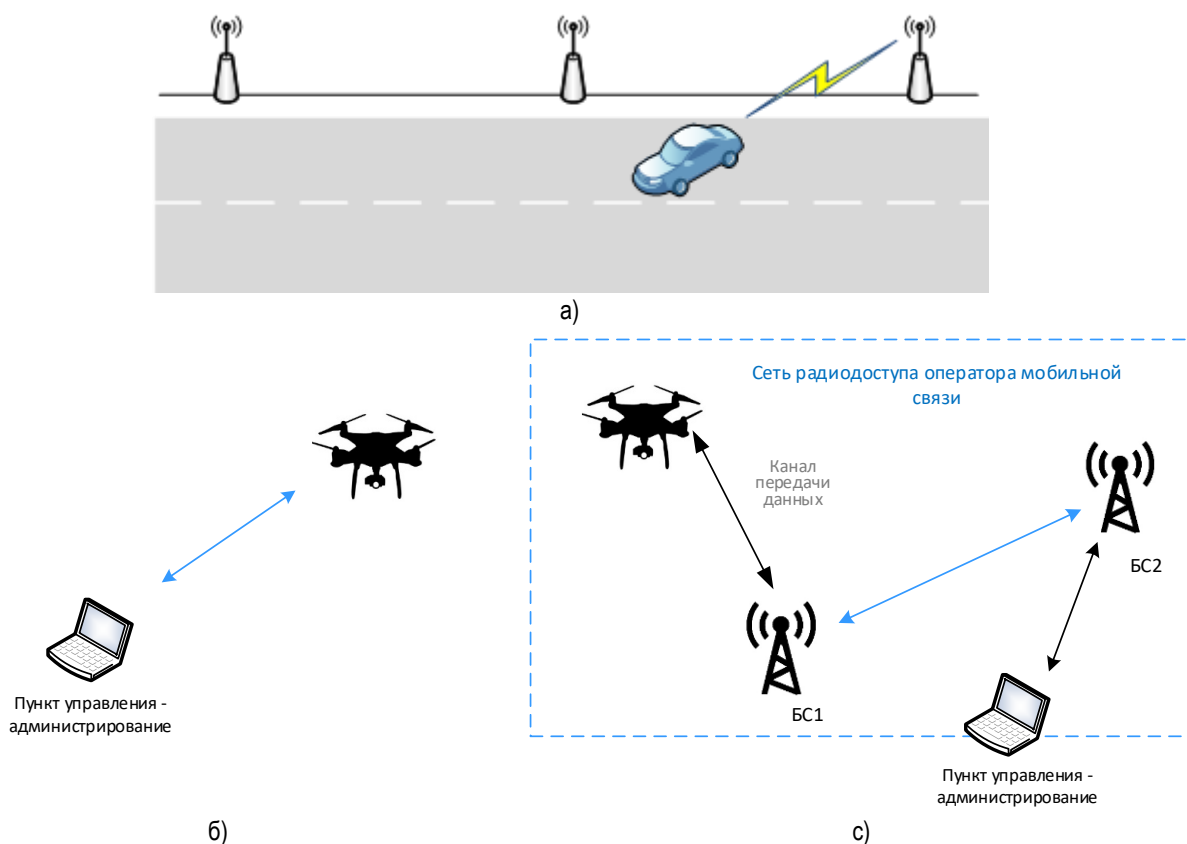


Рис. 3. Сценарий реализации систем связи с подвижными объектами на основе «маяков» (а) и с помощью радиосистем: б) точка – точка; с) точка – многоточка

Еще один важный аспект – это использование инфраструктуры, позволяющей хранить и обрабатывать данные, полученные с движущегося объекта, т. е. возможность подключения к ЦОД.

### Анализ систем связи с беспилотными объектами

Существующие системы связи с подвижными объектами разделяются на специальные системы и системы сетей общего пользования. В настоящее время существует несколько технологий связи с подвижными объектами на основе сетей общего пользования. Первый тип – сети сотовой мобильной связи любого поколения. Такие системы неплохо справляются с передачей информации на борт БПЛА любого типа и в обратном направлении, а также подходят и для надводных беспилотных катеров. Такие системы подходят для мест с хорошо развитой сетевой инфраструктурой, например, для городской среды. При этом полученные данные экспериментов показывают необходимость ограничения скорости и высоты полёта БПЛА для успешной передачи видео, а канал управления не может быть реализован с требуемым качеством [3, 16]. В дальнейшем развитие сетей на основе 5G NR позволит сразу перейти к более перспективным решениям, в том числе включающим в себя элементы искусственного интеллекта [17]. Для мест с плохо развитой инфраструктурой обычно используют спутниковые системы связи для связи с беспилотными объектами наземной, воздушной и надводной систем [18, 19]. В этом случае БПЛА могут применяться в том числе в качестве ретрансляторов.

Следующий тип – технологии на основе стандартов IEEE 802.11. Это семейство технологий относится к фиксированной службе радиодоступа и хорошо работает с беспилотными объектами малой степени подвижности. Ранее был разработан стандарт IEEE 802.11р [20], работающий на частотах

5,85-5,925 ГГц (ориентирован на создание интеллектуальной транспортной системы и учитывает влияние эффекта Доплера). В настоящее время ведутся разработки стандарта IEEE 802.11bp, который является развитием IEEE 802.11р. Для него характерны повышение помехоустойчивости, увеличение пропускной способности до 1 Гб/с и радиуса действия, а также позиционирование. Предполагается, что он сможет поддерживать теоретическую скорость движущихся объектов до 500 км/ч. Другие стандарты данного семейства традиционно ограничены радиусом действия, при этом работают в перегруженных частотных диапазонах.

По сравнению с сетями общего пользования специальная связь имеет более расширенную архитектуру построения сети, соединяющей космическую, морскую, наземную и воздушную зоны (эшелоны), каждая из которых имеет свою специфику среды и технологии распределения [21]. Это приводит к необходимости создания разнообразных телекоммуникационных систем в рамках сетей связи специального назначения, мультиплексирования всех видов передаваемого трафика, установки граничных маршрутизаторов и повторителей, поддерживающих несколько стандартов передачи данных, которые должны отвечать установленным требованиям к качеству связи.

Исходя из задач, выполняемых сетями специального назначения, к ним предъявляются повышенные требования по надёжности, безопасности, своевременности и качеству обслуживания в процессе передачи информации. В ходе развития сетей специальной связи появилась необходимость интеграции различных видов услуг и обеспечения требуемого качества обслуживания.

Основными требованиями к сетям специального назначения являются обеспечение своевременности, достоверности и безопасности передаваемых сообщений. На выполнение этих требований оказывают влияние как внешние, так и внутренние воздействия. На сегодняшний день обеспечение специальной связи происходит через аренду у коммерческих операторов канальных и сетевых ресурсов для построения гибридных комплексов, обеспечивающих необходимую интеграцию между разными видами трафика и различными подвижными и стационарными узлами связи. Стационарный и мобильные узлы синхронизируются с транспортной сетью, обмен данными происходит по средствам спутниковой системы связи и отдельных оптоволоконных сегментов.

### Заключение

Итак, отметим, что для любых беспилотных объектов важным является создание двух радиоканалов: дуплексный канал управления с небольшими пропускными способностями и высокими требованиями к качеству обслуживания и симплексный канал для передачи видеотрафика с большей пропускной способностью и более мягкими требованиями к задержкам и потерям (таблица 3). При этом задача создания таких каналов становится все более сложной по мере возрастания требований к дальности управления. Особенно это важно для наземных беспилотных аппаратов, так как существуют проблемы распространения радиоволн у поверхности Земли, экранирование элементами городской постройки и особенностями рельефа, переотражениями. Для надводных беспилотных систем особенно важным становится выбор частотного диапазона, так как брызги воды и туман создают сильное затухание радиоволн.

Таблица 3. Анализ факторов, учитываемых при разработке радиосвязи с беспилотным объектом

Влияющие факторы	Параметры			
Требования к услугам	Единые для всех беспилотных объектов: канал управления и канал передачи видео			
Типы среды распространения	воздух: влияние осадков	около поверхности земли: – прямая видимость – особенности рельефа – застройка	около поверхности воды (надводные): влияние паров воды	подводные (гидроакустические)
Диапазоны степени подвижности, км/ч	< 40	40–100	100–250	> 250
Варианты построения архитектуры	с маяками	с базовыми станциями	прямая видимость	

Сегодня есть несколько сценариев связи с беспилотными объектами: на маяках, на базовых станциях, с прямой видимостью. Все эти сценарии имеют свои достоинства и особенности использования, поэтому выбор сценария при реализации системы связи с беспилотным объектом является важной инженерной задачей. Существующие технологии в целом неплохо справляются с требованиями верхних уровней, но можно выделить две проблемы. Первая – обеспечение работы беспилотных систем в непосредственной близости друг от друга, например, на стройке или в плотной городской застройке. Здесь вопрос планирования покрытия и доступа к базовой станции можно решать с использованием методов искусственного интеллекта, которые помогут оптимизировать размещение точек доступа в высокоплотной среде. Вторая – это увеличение дальности связи для всех типов беспилотных объектов. Эту задачу решают или через внедрение ретрансляторов, или через использование систем спутниковой связи. Оба эти сценария имеют ограничения, поэтому задача увеличения дальности связи в прямой видимости является одной из самых востребованных. Отдельно отметим развитие гидроакустических каналов, которые позволят сделать подводный Интернет вещей – важную часть развития систем автоматизации окружающей среды человечества.

### Литература

1. Rec. ITU-T Y.1541 (12/2011) Network performance objectives for IP-based services.
2. Laufer G. H.266 to the public: practical or unrealistic? 2021. DOI: 10.13140/RG.2.2.30177.84321
3. Баранов А. А., Никитина А. В., Симонина О. А. Исследование возможности использования сетей мобильной связи общего пользования для передачи видеоданных с борта БЛА // Труды учебных заведений связи. 2022. Т. 8. № 1. С. 16–26. DOI: 10.31854/1813-324X-2022-8-1-16-26. EDN: DBJQHN
4. Викулов О. В. Перспективные беспилотные летательные аппараты вертолетного типа отечественного производства // Инноватика и экспертиза: научные труды. 2023. № 1. С. 70–82. EDN: EVPBAX
5. Боев Н. М., Шаршавин П. В., Нигруца И. В. Построение систем связи беспилотных летательных аппаратов для передачи информации на большие расстояния // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 3(152). С. 147–158. EDN: SBYZAV
6. Каштанов В. В., Немтинов В. А. Анализ организации связи с применением беспилотных летательных аппаратов малой дальности // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2022. Т. 28. № 4. С. 606–614. DOI: 10.17277/vestnik.2022.04.pp.606-614. EDN: FNTDNM
7. Душин С. В., Шаврин С. С., Алешин В. С., Фархадов М. П. Тенденции и перспективы развития беспроводной подводной связи // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. 2020. Т. 10. № 2. С. 11–18. EDN: ISOJOA
8. Пожидаев В. Н. Ослабление и обратное рассеяние миллиметровых радиоволн в тумане, дожде, снегопаде // IV Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь». М.: ИПЭ РАН, 2010. Т. 29. С. 744–748. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/library/4conf/docs/pdf/files/p13.pdf> (дата обращения 07.03.2024)
9. Степаков А. В., Тимошин Д. И. Применение перспективных каналов передачи данных для доведения информации до надводных и глубоководных подводных объектов Военно-Морского Флота // Военная мысль. 2023. № 10. С. 69–73. EDN: CXML0W
10. Tavsanoğlu A., Briso C., Carmena-Cabanillas D., Arancibia R. B. Concepts of Hyperloop Wireless Communication at 1200 km/h: 5G, Wi-Fi, Propagation, Doppler and Handover // Energies. 2021. Vol. 14. Iss. 4. P. 983. DOI:10.3390/en14040983
11. Upadhyaya N., Shah J. S. AODV Routing Protocol Implementation in VANET // International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology. 2019. Vol. 10. Iss. 2. PP. 585–595.
12. Romanenko I., Zhyvotovskiy R., Petruk S., Shishatskiy A., Voloshin O. Mathematical model of load distribution in telecommunication networks of special purpose // Information Processing Systems. 2017. Vol. 3. PP. 61–71. DOI: 10.30748/soi.2017.149.13
13. Camp T., Boleng J., Davies V. A survey of mobility models for ad hoc network research // Wireless Communications and Mobile Computing. 2002. Vol. 2. Iss. 5. PP. 483–502.
14. Sichert M. Mobility Models for Ad Hoc Networks // In: Misra S., Woungang I., Misra S. C. Guide to Wireless Ad Hoc Networks. London: Springer, 2009. PP. 237–254. DOI: 10.1007/978-1-84800-328-6\_10

15. Banerjee S., Hempel M., Sharif H. A Survey of Wireless Communication Technologies & their Performance for High Speed Railways // Journal of Transportation Technologies. 2016. Vol. 6. PP. 15–29. DOI: 10.4236/jtts.2016.61003
16. Jeong H. H., Lee J., Park S. A Study on Data Acquisition in the Invisible Zone of UAV through LTE Remote Control // Korean Journal of Remote Sensing. 2019. Vol. 35. Iss. 6\_1. PP. 987–997. DOI: 10.7780/KJRS.2019.35.6.1.9
17. Nakamura T. 5G Evolution and 6G // Proceedings of the Symposium on VLSI Technology. IEEE, 2020. DOI: 10.1109/VLSITechnology18217.2020.9265094
18. Пантелеймонов И. Н., Белозерцев А. В., Монастыренко А. А., Боцва В. В., Наумкин А. В. Основные направления создания высоконадежной системы связи и управления БПЛА // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2020. № 6(723). С. 78–88. DOI: 10.18698/0536-1044-2020-6-78-88
19. Каретников В. В., Пащенко И. В., Зайцев А. И. Основные аспекты использования современных инфокоммуникационных технологий для обеспечения беспилотного судовождения на водном транспорте // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2016. № 1(35). С. 170–179. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-1-170-179. EDN: VMAZCJ
20. IEEE 802.11p-2010. IEEE Standard for Information technology. Local and metropolitan area networks. Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments.
21. Klochkov Y., Glushkova A., Gazizulina A., Koldov E. Standardization of Road Quality Assessment by Developing Mobile Applications // Proceedings of the Conference on Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer, 2020. Vol. 12525. PP. 176–193. DOI: 10.1007/978-3-030-65726-0\_17

**Статья поступила 11 марта 2024 г.**  
**Одобрена после рецензирования 25 марта 2024 г.**  
**Принята к публикации 26 марта 2024 г.**

### **Информация об авторах**

*Симонина Ольга Александровна* – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: olga.simonina@sut.ru

*Чернышов Артем Геннадьевич* – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: chernyшов.ag@sut.ru

## Analysis of the Use and Development of Wireless Communication Technologies with Unmanned Objects

O. Simonina✉, A. Chernyshov

The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

**Purpose.** *In today's world, unmanned vehicles are becoming increasingly common, and the need to control them is becoming more pressing. These vehicles can move at various speeds and in diverse environments, such as air, land, water, and surface. Due to the varying propagation medium, it is essential to develop a method for selecting the appropriate radio channel for each type of unmanned vehicle. The aim of this work is to investigate the main trends in communication with different types of unmanned devices and to identify the challenges and opportunities for developing communication technologies for these devices.* **Methods:** *This study will analyze scientific literature and other relevant sources to gain a comprehensive understanding of the current state of communication with unmanned systems.* **Novelty:** *This paper presents a unified approach to the design of communication systems for unmanned objects, taking into account the various aspects of the operating environment, such as speed of movement and application features. The focus is on the technical implementation of the system, but also on the selection of appropriate technologies that meet the specific requirements of each scenario.* **Results:** *The paper demonstrates that the choice of technology depends on the requirements of the services provided, the nature of the environment in which the object operates, and the speed with which it moves. It also emphasizes the importance of considering the specific conditions of use for unmanned systems, as well as the impact that the intended use scenario has on the architecture of the radio network. A review of different wireless access technologies is conducted, and recommendations are provided for selecting the most appropriate technology for establishing a radio link with unmanned vehicles, depending on the specific purpose.* **Theoretical and practical significance:** *The tasks of research and development to improve these technologies have been outlined, which will help to narrow the scope of search tasks in the development and study of new radio systems for communication with unmanned objects.*

**Keywords:** *unmanned objects, radio communications, distribution environment, factors influencing the quality of the radio channel*

### Information about Authors

*Olga Simonina* – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Radio Communication and Broadcasting (The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: [olga.simonina@sut.ru](mailto:olga.simonina@sut.ru)

*Artyom Chernyshov* – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Radio Communication and Broadcasting (The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: [chernyshov.ag@sut.ru](mailto:chernyshov.ag@sut.ru)

## Институту магистратуры СПбГУТ 5 лет

УДК 621.37

### Построение схем замещения полупроводникового диода для моделирования режимов его включения и выключения

Шушпанов Д. В.✉, Евдокимов А. С.

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича  
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

**Постановка задачи:** одним из основных элементов в ключевых схемах является полупроводниковый ( $n/n$ ) диод. Он используется как отдельный выпрямительный элемент, а также является составной частью практически каждого силового транзистора. Поэтому для корректного расчета ключевого преобразователя напряжения (потери, КПД, пульсации) необходимо правильно рассчитать токи и напряжения при переключении  $n/n$  диода. Принимая во внимание существующие исследования модели  $n/n$  диода, используемой в программах моделирования, необходимо отметить, что она не отражает реальных физических процессов, возникающих в ключевом режиме работы  $n/n$  диода. **Целью работы** является рассмотрение возможности построения схем замещения  $n/n$  диода, временные диаграммы которых будут близки на качественном уровне временным диаграммам тока и напряжения на  $n/n$  диоде. **Новизна работы** заключается в том, что рассматриваются два состояния диода (открытое и закрытое), каждое из которых представляется цепью второго порядка. Показано, что индуктивность в схеме замещения  $n/n$  диода является не индуктивностью выводов диода, а результатом действия электромагнитных процессов, происходящих в самом  $n/n$  диоде при его включении/выключении. **Результат:** получены схемы замещения  $n/n$  диода для моделирования режимов его включения и выключения. **Теоретическая/Практическая значимость:** полученные схемы замещения позволяют лучше понять физику процессов, происходящих в  $n/n$  диоде при его включении/выключении. Объяснено появление диффузионной емкости  $n/n$  диода с точки зрения теории электромагнитного поля. Полученные схемы замещения  $n/n$  диода позволят более корректно моделировать процессы включения и выключения  $n/n$  диода, что очень важно при моделировании быстрых и медленных процессов в ключевых устройствах.

**Ключевые слова:** схема замещения, диод, проводник, диэлектрик, емкость диода, индуктивность диода

#### Введение

С развитием полупроводниковой базы (высокоскоростные транзисторы, диоды) все более остро стоит вопрос моделирования радиоэлектронных устройств, состоящих из этой компонентной базы. Для корректного моделирования переходных процессов в современных радиоэлектронных устройствах, работающих в ключевом режиме, необходимо моделировать как медленные (ниже частоты переключения ключевых приборов), так и быстрые (проходящие при переключении ключевых приборов) процессы.

#### Библиографическая ссылка на статью:

Шушпанов Д. В., Евдокимов А. С. Построение схем замещения полупроводникового диода для моделирования режимов его включения и выключения // Вестник СПбГУТ. 2024. Т. 2. № 1. С. 5. EDN: IJMIOZ

#### Reference for citation:

Shushpanov D., Evdokimov A. Construction of Equivalent Circuits of a Semiconductor Diode to Simulate Its Modes (On and Off) // Herald of SPbSUT. 2024. Vol. 2. Iss. 1. P. 5. EDN: IJMIOZ



Одним из основных элементов любой ключевой схемы является полупроводниковый (п/п) диод. Он используется как отдельный выпрямительный элемент, а также является составной частью практически каждого силового транзистора. Поэтому для корректного расчета ключевого преобразователя напряжения (потери, КПД, пульсации) необходимо правильно рассчитать токи и напряжения при переключении п/п диода.

В предыдущей статье [1] на макете и в программе моделирования Micro-CAP v.12 рассматривались временные диаграммы тока и напряжения на диоде при его включении и выключении. Было показано, что «классическая» модель диода, используемая в программах моделирования (на примере программы Micro-CAP v.12), не отражает реальных физических процессов, возникающих в п/п диоде при его включении/выключении. В качестве макета (схема испытаний) использовался генератор прямоугольных импульсов и RD-цепь (рисунок 1).

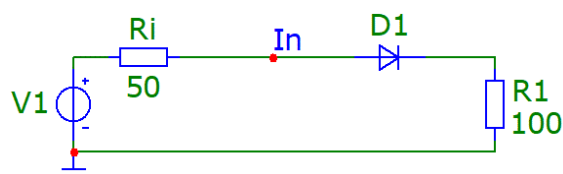


Рис. 1. Схема испытаний [1]

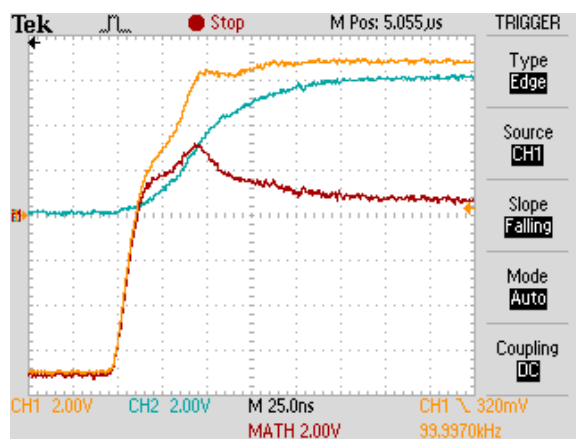
Генератором прямоугольных импульсов выступал встроенный генератор измерительного прибора HANDYSCOPE HS3, поэтому для его схемы замещения использовался источник напряжения с внутренним сопротивлением 50 Ом (см. рисунок 1). Напряжение генератора прямоугольных импульсов менялось от  $-7$  до  $+7$  В с частотой 100 кГц и длительность импульса 4,8 мкс (фронт включения 50 нс и фронт выключения 75 нс определялись из измерений). В качестве RD-цепи (рисунок 1) использовалось сопротивление 100 Ом и три различных диода. Измерялось напряжение: с выхода генератора; на резисторе 100 Ом (ток через диод); на диоде с помощью математики осциллографа. В качестве осциллографа использовался 4-канальный осциллограф TPS 2024B (200 МГц, 2 106 отсчетов за 1 с).

В качестве примера работы диода в ключевом режиме рассмотрим измеренные и рассчитанные в [1] временные диаграммы входного напряжения, напряжения и тока через диод при включении (рисунки 2а, 2б) и выключении (рисунки 2в, 2г) диода UF4005. Для удобства сравнения экспериментальных и смоделированных кривых они представлены в одинаковых цветах: желтый — напряжение генератора, зеленый — напряжение на резисторе (ток через диод), красный — напряжение на диоде, черный — мощность, выделяемая на диоде (показана только в модели).

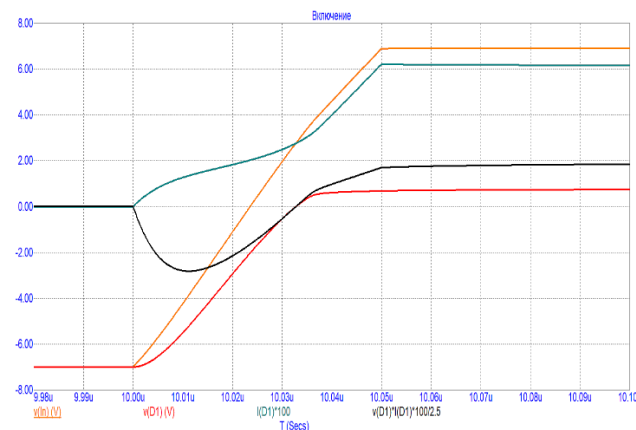
Как следует из рисунка 2, различия измеренных и рассчитанных временных диаграмм видны на качественном уровне, т. е. «классическая» модель п/п диода [2] не может использоваться при моделировании ключевого режима работы реального п/п диода. Таким образом, необходимо пересмотреть «классические» представления о схеме замещения п/п диода для ее корректной работы при включении и выключении диода.

«Классическая» модель п/п диода состоит из параллельного соединения нелинейного сопротивления и нелинейной емкости [2]. Резистор определяет статические характеристики п/п диода, а конденсатор — динамические. Наличие только емкости в схеме замещения п/п диода говорит о том, что напряжение на диоде будет запаздывать по сравнению со своим током. Но измеренные временные диаграммы при включении (см. рисунок 2а) и выключении (см. рисунок 2в) п/п диода показывают противоположную картину — ток через диод запаздывает по сравнению с напряжением на диоде. То есть теория говорит о емкостном, а измерения — об индуктивном характере временных диаграмм при включении и выключении п/п диода.

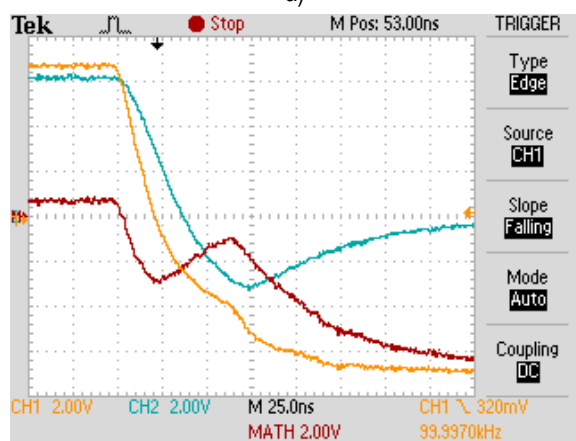
Наличие индуктивности в модели п/п диода обычно связывают с «паразитной» индуктивностью выводов п/п диода [3]. Но для того, чтобы было такое запаздывание тока диода, как было указано в [1], номинал индуктивности должен быть порядка долей — единиц мкГн. Это свидетельствует о совершенно другом физическом явлении, приводящем к появлению этой индуктивности в схеме замещения п/п диода.



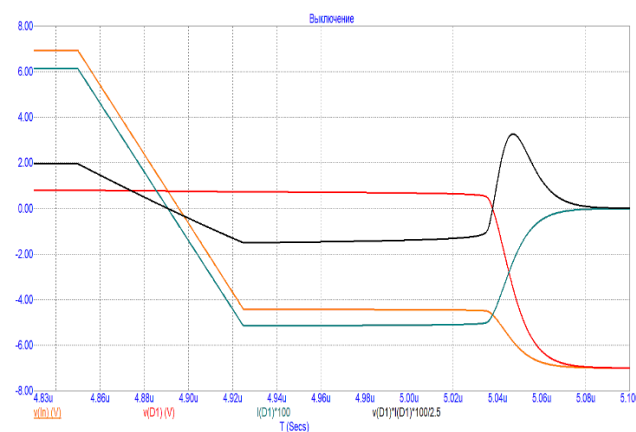
а)



б)



в)



г)

Рис. 2. Временные диаграммы при включении (а, б) и выключении (в, г) диода UF4005: а, в) измеренные на макете; б, г) полученные на модели

Цель работы — рассмотреть возможность построения схем замещения п/п диода, временные диаграммы которых будут близки на качественном уровне временным диаграммам тока и напряжения на п/п диоде (см. рисунки 2а, 2в), измеренным в [1]. Элементы в полученных схемах замещения п/п диода должны иметь физический смысл, т. е. должны объясняться физическими явлениями, протекающими в п/п диоде.

### Дуальность проводника и диэлектрика

Так как п/п диод в зависимости от приложенного к нему напряжения может представляться в одном из двух состояний (включенном и выключенном), рассмотрим сначала схемы замещения проводника и диэлектрика. В [4] были измерены частотные характеристики модуля и фазы комплексного сопротивления простейшего проводника — электрического провода (рисунок 3а) и была представлена схема его замещения в форме параллельного колебательного контура (рисунок 3в). В [5] были измерены частотные характеристики модуля и фазы комплексного сопротивления диэлектрика (рисунок 3б) и была представлена его схема замещения в форме последовательного колебательного контура (рисунок 3г).

В [5] было показано, что в схеме замещения любого реального физического элемента всегда будут присутствовать идеальное сопротивление, емкость и индуктивность, т. е. согласно закону сохранения энергии в любом физическом элементе всегда будут действовать электрическое и магнитное поле, а также проводимость [5]. Основной вопрос — в какой области частот какое из явлений (действие электрического поля, действие магнитного поля или проводимость) будет превалировать и каким явлением можно пренебречь (его суммарный вклад минимальный).

В схеме замещения диэлектрика (рисунок 3г) основным параметром является емкость  $C$ . Наличие там сопротивления  $R_C$  связывают с тем, что относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика является не постоянной, а частотно-зависимой комплексной величиной [5–8]:

$$\hat{\varepsilon}(\omega) = \varepsilon'(\omega) - j\varepsilon''(\omega). \quad (1)$$

Из-за того, что диэлектрик обладает весьма малой (по сравнению с основным явлением диэлектрика – поляризацией) электропроводностью, т. е. в диэлектрике возникает и существует сравнительно устойчивое состояние с чрезвычайно малой электронной проводимостью [6, 7], в схеме замещения диэлектрика возникает сопротивление утечки  $R_i$ , подключенное параллельно емкости  $C$  (см. рисунок 3г).

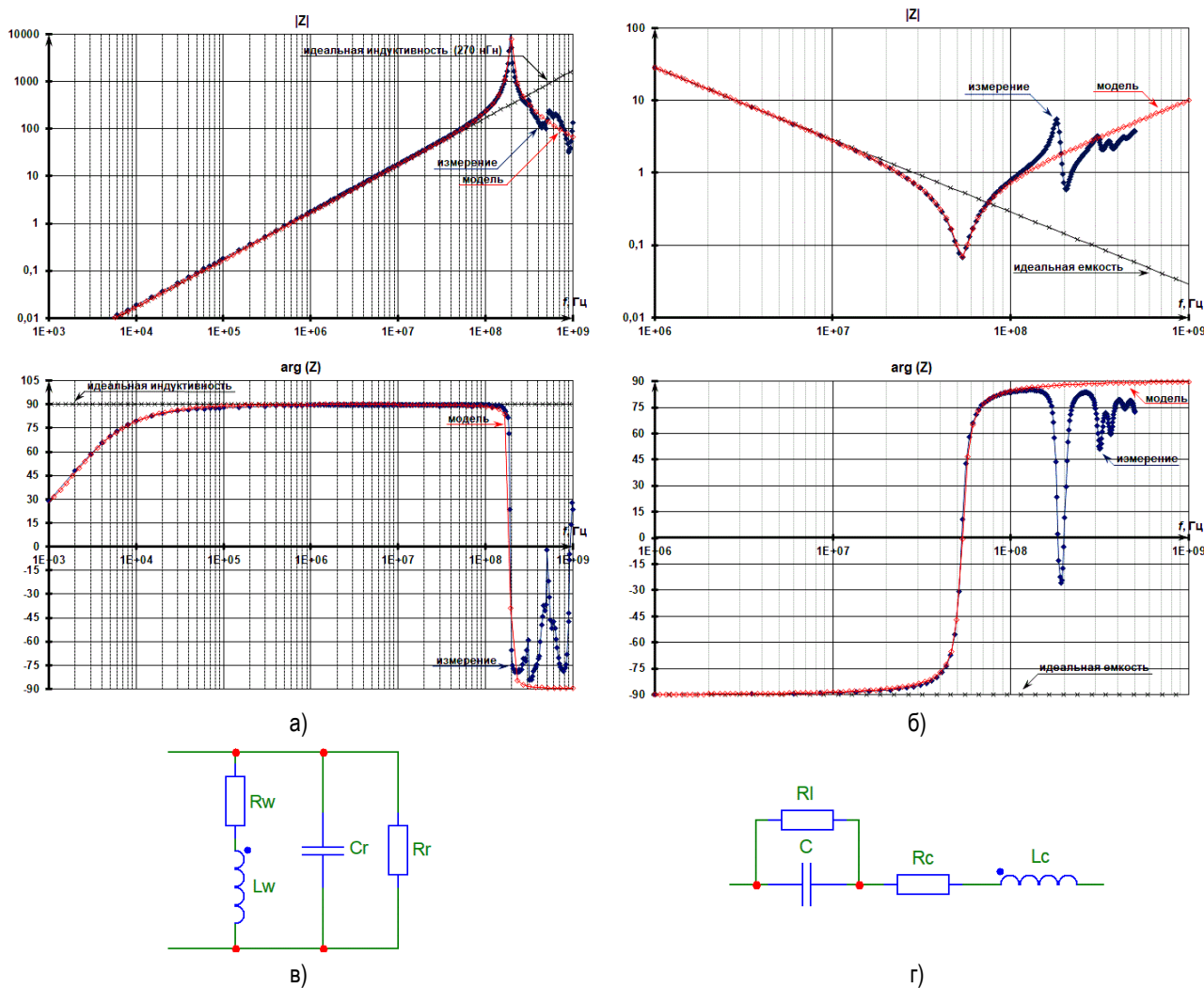


Рис. 3. Частотные характеристики модуля и фазы комплексного сопротивления провода при  $\varnothing = 1,5$  мм и длине 38 см (а, в) и диэлектрика (б, г): а, б) измеренное значение; в, г) схема замещения

«Паразитная» индуктивность  $L_C$  в схеме замещения диэлектрика появляется, как было сказано в [5], за счет действия переменного магнитного поля, которое возникает в диэлектрике при протекании через него переменного электрического тока.

Для схемы замещения провода (см. рисунок 3в) основными параметрами являются омическое сопротивление провода  $R_W$ , характеризующее тепловое действие провода, и индуктивность провода  $L_W$ , возникающая из-за действия переменного магнитного поля, которое появляется при протекании переменного электрического тока через проводник.

В [9] с помощью скин-эффекта была объяснена причина появления конденсатора  $C_R$  и параллельного резистора  $R_R$  (как сопротивление утечки из-за наличия узкого скин-слоя  $\Delta$ ) в схеме замещения провода (см. рисунок 3в). Рассмотрим еще раз данное объяснение.

В проводе длиной  $l$  из-за приложенного к нему напряжения течет электрический ток, создающий вихревое магнитное поле  $\vec{B}$  (рисунок 4а). При переменном электрическом токе в проводе возникает переменное вихревое магнитное поле, порождающее переменное вихревое электрическое поле  $\vec{E}$ , которое выталкивает электроны к поверхности провода, где они продолжают дальше протекать. То есть возникает поверхностный эффект, или скин-эффект: плотность тока максимальна у поверхности провода и падает по мере проникновения к центру проводника [10]. Упрощено можно сказать, что вблизи поверхности провода на глубине  $\Delta$  (см. рисунки 4а, 4б), которая называется толщиной скин-слоя, в проводе протекает ток  $I_1$ , который больше тока  $I_2$ , протекающего в сердцевине провода; другими словами, происходит запаздывание отрицательных зарядов в центре провода (рисунок 4а).

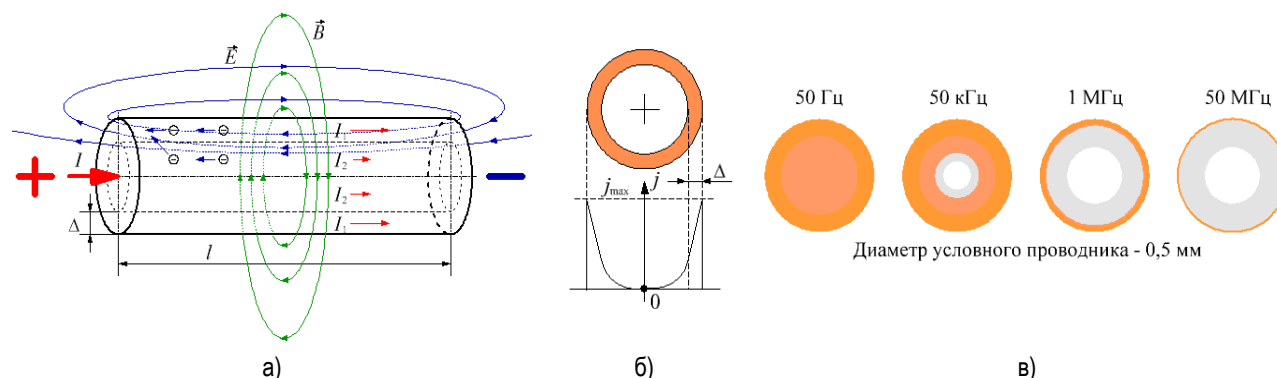


Рис. 4. Пояснения к возникновению емкости провода из-за скин-эффекта:  
а) провод; б) распределение плотности тока  $j$ ; в) зависимость скин-слоя от частоты сигнала

При протекании переменного электрического тока в электрическом проводе происходит перераспределение заряда в сердцевине провода то на одном, то на другом конце провода, что равносильно перезаряду обкладок конденсатора. И, начиная с некоторой частоты переменного тока, толщина скин-слоя  $\Delta$  будет значительно мала (см. рисунок 4в), основная масса заряженных частиц будет двигаться только по поверхности провода, оставшиеся же заряды, двигающиеся в сердцевине провода от одного конца провода к другому, не будут успевать выходить из провода во внешнюю цепь (период переменного тока становится больше времени протекания заряда от одного конца провода до другого), перезаряжая границы (концы) провода. И провод становится уже просто емкостью или диэлектриком, так как толщина скин-слоя  $\Delta$  значительно мала по сравнению с диаметром провода и фаза комплексного сопротивления провода близка к  $-90^\circ$  (см. рисунок 3а).

### Схемы замещения п/п диода

Рассмотрим теперь п/п диод в двух состояниях: в выключенном как диэлектрик и в открытом как проводник. В этом случае открытый п/п диод представляется параллельным колебательным контуром (см. рисунок 3в), а закрытый п/п диод — последовательным колебательным контуром (см. рисунок 3г). Когда п/п диод закрыт (к нему приложено обратное напряжение), емкость в схеме замещения диэлектрика представляет барьерную емкость п/п диода, равную [11]:

$$C_{\text{БАР}} = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{S_{p-n}}{L_{p-n}(U)}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_0 = 8,854187817 \cdot 10^{-12}$  Ф/м — электрическая постоянная;  $\varepsilon$  — относительная диэлектрическая проницаемость запятого п/п диода;  $S_{p-n}$  — площадь  $p-n$  перехода;  $L_{p-n}(U)$  — ширина  $p-n$  перехода (области пространственного заряда) в зависимости от приложенного обратного напряжения  $U$ , так как п/п диод при обратном смещении [11] представляет собой плоский конденсатор емкостью, равной:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{S}{d}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  — относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика расположенного между обкладками конденсатора;  $S$  — площадь обкладки конденсатора;  $d$  — расстояние между обкладками.

Из-за того, что запертый диод представляет собой диэлектрик, а у схемы замещения диэлектрика, как было сказано выше, существует «паразитная» индуктивность  $L_C$  за счет действия переменного магнитного поля, возникающего при протекании переменного электрического тока через диэлектрик, то в схему замещения запертого п/п диода также необходимо добавить последовательную индуктивность.

В качестве сопротивления утечки конденсатора  $R_I$  (см. рисунок 3г) в схеме замещения запертого п/п диода будем использовать сопротивление запертого диода. В этом случае схему испытаний (см. рисунок 1) со схемой замещения запертого состояния п/п диода можно представить в виде схемы, изображенной на рисунке 5а. Схема сделана в программе FASTMEAN [12, 13]. В ней барьерная емкость диода представлена емкостью  $C_1 = 20$  пФ; индуктивность, возникающая за счет действия переменного электрического поля, порождающего переменное магнитное поле, представлена индуктивностью  $L_1 = 2$  мкГн. Последовательное сопротивление  $R_3$ , моделирующее последовательное сопротивление  $R_C$  в схеме замещения диэлектрика (см. рисунок 3г), в схеме замещения запертого п/п диода (см. рисунок 5а) практически не оказывает никакого эффекта из-за того, что оно последовательно подключено с внутренним сопротивлением 50 Ом.

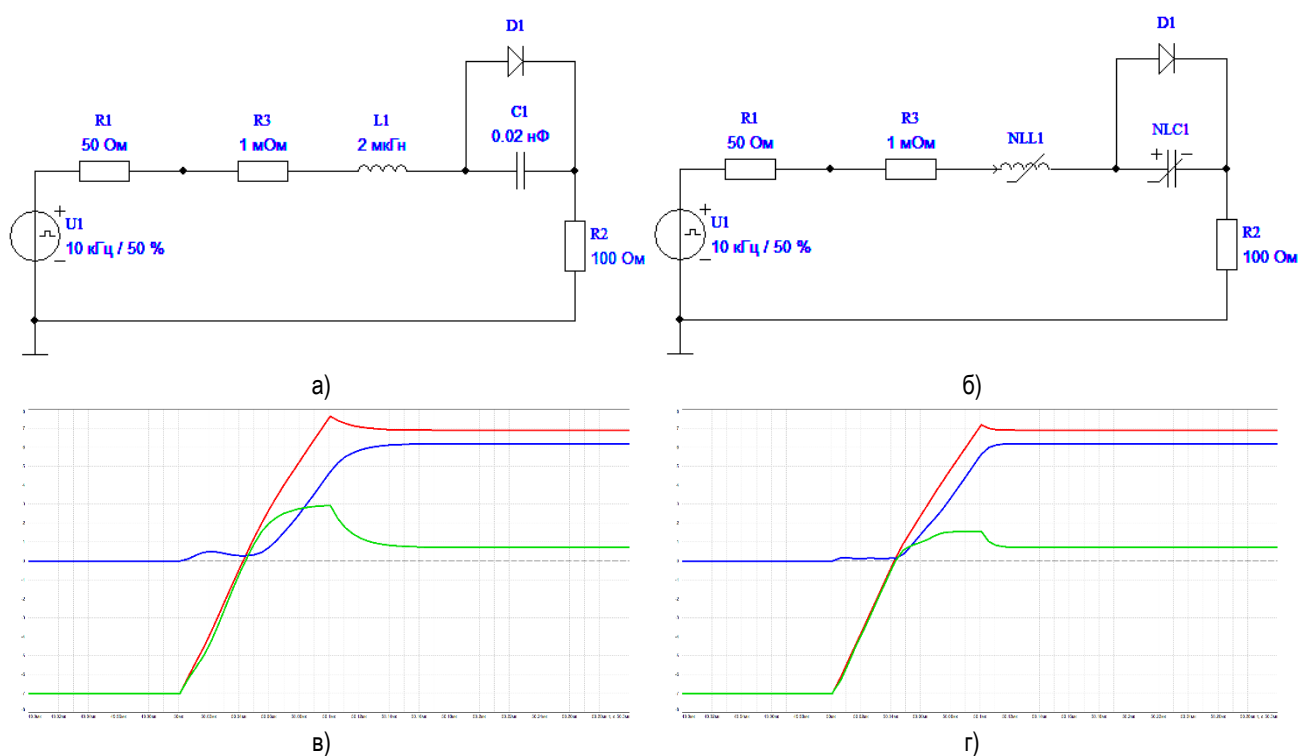


Рис. 5. Схемы замещения при включении п/п диода (а, б) и полученные для них временные диаграммы (в, г)

Если в качестве сопротивления утечки  $R_I$  использовать диод  $D_1$  с кусочно-линейной вольт-амперной характеристикой (сопротивление в открытом состоянии составит 0,1 Ом, сопротивление в закрытом состоянии — 1 МОм, напряжение отсечки — 0,7 В), то данную схему замещения (см. рисунок 5а) можно использовать для моделирования включения п/п диода. В этом случае получаем следующее временные диаграммы входного напряжения, напряжения и тока через диод при его включении (см. рисунок 5в), которые уже будут качественно близки измеренным временным диаграммам при включении п/п диода (см. рисунок 2а). Для уменьшения величины перенапряжения на диоде при его включении (см. рисунок 5г) необходимо конденсатор  $C_1$  заменить нелинейной емкостью  $NLC_1$  (см. рисунок 5б). Для уменьшения величины тока диода, когда он еще заперт (см. рисунок 5г), необходимо индуктивность  $L_1$  заменить нелинейной индуктивностью  $NLL_1$  (см. рисунок 5б). Это позволит еще больше приблизить смоделированные и измеренные временные диаграммы при включении п/п диода.

Таким образом, при включении п/п диода необходимо перезарядить барьерную емкость диода и последовательную индуктивность диода, которая не является индуктивностью выводов [3], а связана с изменением электрического поля при протекании переменного электрического тока [5]. Для оценки временных диаграмм при включении диода можно использовать линейные емкость и индуктивность. Для того, чтобы результаты моделирования были близки к измеренным, необходимо использовать нелинейные емкость и индуктивность.

Когда п/п диод открыт (к нему приложено прямое напряжение), его можно заменить схемой замещения проводника (см. рисунок 3в). В этом случае омическое сопротивление провода  $R_W$  представляет сопротивление п/п диода в открытом состоянии, а индуктивность провода  $L_W$  — индуктивность, которая появляется из-за действия переменного магнитного поля, возникающего при протекании переменного тока через открытый п/п диод.

При прямом напряжении на п/п диоде (больше порогового напряжения) динамические характеристики п/п диода определяются диффузионной емкостью, обусловленной неосновными носителями, инжектированными в базу (база — слабо легированная область  $p-n$  перехода, в которую преимущественно идет инжекция) [11], и соответствующая выражению:

$$C_{\text{диф}} = \frac{dQ_{\text{инж}}}{dU} \approx \frac{\tau I}{N\Phi_T}, \quad (4)$$

где  $Q_{\text{инж}}$  — заряд, пролетающий через базу диода;  $U$  — напряжение прямого смещения  $p-n$  перехода;  $I$  — прямой ток через  $p-n$  переход;  $\tau$  — время пролета носителей заряда через базу диода;  $N$  — коэффициент инжекции,  $\Phi_T$  — тепловой потенциал, равный 0,025 В при температуре 300 К.

Как видно из выражения (4), диффузионная емкость п/п диода прямо пропорциональна времени пролета носителей заряда  $\tau$  и силе тока  $I$ , т. е. чем больше время жизни зарядов внутри п/п диода, тем больше его диффузионная емкость. А это очень похоже на возникновение емкости провода из-за скин-эффекта, описанное ранее, таким образом, в открытом п/п диоде мы имеем похожее запаздывание зарядов, как и в проводе. Только в проводе был один вид носителей заряда (электроны), а в п/п диоде — два (электроны и дырки). Следовательно, и в проводе, и в открытом п/п диоде мы имеем переменное вихревое электрическое поле, которое зависит от протекающего через него тока. Теперь становится понятней, почему диффузионная емкость п/п диода зависит от прямого тока. Большой ток создает большее магнитное поле, что в свою очередь создает большее переменное вихревое электрическое поле, а это увеличивает емкость.

Тогда емкость  $C_R$  в схеме замещения проводника (см. рисунок 3в) представляет диффузионную емкость п/п диода, а параллельный резистор  $R_R$  — сопротивление утечки данной емкости.

В этом случае схему испытаний (см. рисунок 1) со схемой замещения открытого состояния п/п диода представим в виде схемы, изображенной на рисунке 6а. В данной схеме диффузионная емкость п/п диода представлена емкостью  $C_1 = 200$  пФ, индуктивность открытого п/п диода представлена индуктивностью  $L_1 = 1$  нГн. Параллельное сопротивление  $R_3$ , моделирующее параллельное сопротивление  $R_R$  в схеме замещения проводника (см. рисунок 3в), в схеме открытого диода (рисунок 6а) практически не оказывает никакого эффекта из-за того, что оно влияет на более высоких частотах, т. е. при меньшей длительности выключения п/п диода.

Если в качестве сопротивления провода  $R_W$  использовать диод  $D_1$  с кусочно-линейной вольт-амперной характеристикой (сопротивление в открытом состоянии, как и для  $R_1$ , составит 0,1 Ом, сопротивление в закрытом состоянии — 1 МОм, напряжение отсечки — 0,7 В), то данную схему (рисунок 6а) можно использовать для моделирования выключения п/п диода. В этом случае получаем следующие временные диаграммы входного напряжения, напряжения и тока через диод при его выключении (рисунок 6б), которые уже будут близки измеренным временным диаграммам при включении п/п диода (см. рисунок 2в). Для изменения характера тока (величина и длительность выброса, обратное время восстановления) при отключении п/п диода (рисунок 6г) необходимо емкость  $C_1$  заменить нелинейной емкостью  $NLC_1$  (рисунок 6в). Для осуществления задержки тока п/п диода по сравнению с напряжением при его отключении необходимо увеличить значение индуктивности  $L_1$  до 0,5 мкГн. Это позволит еще больше приблизить смоделированные и измеренные временные диаграммы при выключении п/п диода.

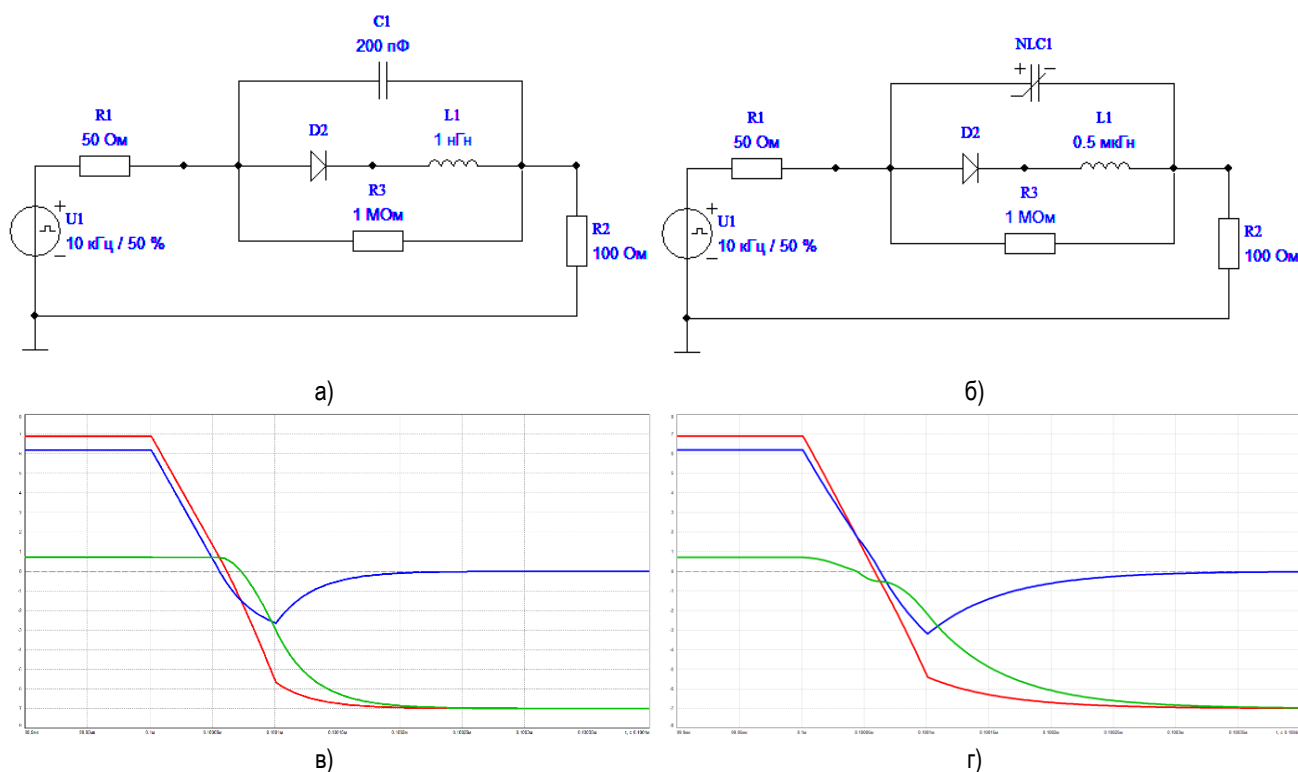


Рис. 6. Схемы замещения при выключении п/п диода (а, б) и полученные для них временные диаграммы (в, г)

Таким образом, при выключении п/п диода необходимо перезарядить диффузионную емкость диода и последовательную индуктивность диода, которая связана с изменением магнитного поля при протекании переменного электрического тока через открытый п/п диод (проводник). Для того, чтобы результаты моделирования были более близки измеренным, необходимо использовать нелинейную емкость и, возможно, большее значение индуктивности.

В итоге использование схем замещения проводника (см. рисунок 3в) и диэлектрика (см. рисунок 3г) для моделирования режимов выключения и включения п/п диода дает результаты (напряжение и ток через диод — см. рисунки 5, 6) качественно близкие измеренным на макете (см. рисунки 2а, 2в) в отличие от использования «классической» схемы замещения п/п диода (см. рисунки 2б, 2г), используемой в большинстве SPICE программам моделирования [2].

## Выводы

В работе предложены электрические схемы замещения п/п диода для режима включения диода (см. рисунки 5а, 5в) и режима выключения диода (см. рисунки 6а, 6в). Их временные диаграммы входного напряжения, напряжения и тока через диод получились достаточно близкими (на качественном уровне) с измеренными временными диаграммами входного напряжения, напряжения и тока через диод при включении и выключении диода (на примере диода UF4005). Это позволяет использовать данные схемы замещения п/п диода для корректного моделирования быстрых и медленных процессов в ключевых устройствах.

В схеме замещения п/п диода, как для режима включения, так и выключения диода необходимо наличие индуктивности. Данная индуктивность не является индуктивностью выводов, как обычно считается [3], а возникает из-за электромагнитных процессов, протекающих в самом п/п диоде. Это показано по аналогии со схемами замещения проводника и диэлектрика.

Данные схемы замещения п/п диода (для режима включения и выключения п/п диода) позволяют лучше понять физику процессов, происходящих в п/п диоде. В дальнейшем планируется на основании этих схем замещения сделать обобщенную схему замещения п/п диода, которая отражает все процессы, происходящие при его включении/выключении.

Предложенные схемы замещения включения/выключения п/п диода сравнивались с измеренными в [1] временными диаграммами тока и напряжения на п/п диоде с фронтами включения порядка 50–100 нс. Для построения более высокочастотных моделей включения/выключения п/п диода необходимо: 1) измерить частотные характеристики комплексного сопротивления диода в открытом и закрытом состоянии; 2) измерить временные диаграммы тока и напряжения при включении и выключении п/п диода с меньшей длительностью фронта включения/выключения при разных токах и напряжениях. Кроме того, необходимо оценить влияние измерительного оборудования на измеряемые характеристики, т. е. оценить точность и корректность измерений. Все вышеперечисленное будет исследовано в дальнейших работах по данному направлению. Поэтому в настоящей статье все временные диаграммы сравнивались только на качественном уровне, так как именно на качественном уровне и было в [1] показано расхождение моделируемых и измеренных временных диаграмм напряжения и тока в п/п диоде при его включении/выключении.

### Литература

1. Шушпанов Д. В. Некорректность результатов расчета ключевого режима работы модели диода в SPICE программах моделирования // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2023): сборник научных статей XII Международной научно-технической и научно-методической конференции. (Санкт-Петербург, 28 февраля – 01 марта 2023 г.). СПб.: СПбГУТ, 2023. Т. 3. С. 710–714. EDN: DEKHRH
2. Амелина М. А., Амелин С. А. Программа схемотехнического моделирования Micro-CAP. Версии 9, 10. Смоленск: Смоленский филиал НИУ МЭИ, 2012. 617 с.
3. Розанов Ю. К., Рябчицкий М. В., Кваснюк А. А. Силовая электроника: учебник для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2007. 632 с.
4. Дмитриков В. Ф., Шушпанов Д. В., Фоченков Э. А. Эквивалентная схема замещения дросселя на нанокристаллическом сердечнике с большой магнитной проницаемостью // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2022. Т. 25. № 4. С. 100–121. DOI: 10.18469/1810-3189.2022.25.4.100-121. EDN: CUURMI
5. Дмитриков В. Ф., Шушпанов Д. В. Эквивалентная схема замещения диэлектрика в широком диапазоне частот (0 Гц – 500 МГц) // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2022. Т. 25. № 3. С. 43–57. DOI: 10.18469/1810-3189.2022.25.3.43-57. EDN: ZQLKUD
6. Поплавко Ю. М. Физика диэлектриков: учебное пособие для вузов. Киев: Вища школа. Головное издательство, 1980. 400 с.
7. Рез И. С., Поплавко Ю. М. Диэлектрики. Основные свойства и применения в электронике. М.: Радио и связь, 1989. 288 с.
8. Гусев Ю. А. Основы диэлектрической спектроскопии: учебное пособие. Казань: КГУ, 2008. 112 с.
9. Дмитриков В. Ф., Шушпанов Д. В. К вопросу использования емкостно-связанных элементов для объяснения взаимного влияния электрических проводов // Радиотехника. 2024. Т. 88. № 1. С. 15–30. DOI: 10.18127/j00338486-202401-03. EDN: DNBIOO
10. Матвеев А. В. Электричество и магнетизм. М.: Высшая школа, 1983. 463 с.
11. Троян П. Е. Твердотельная электроника: учебное пособие. Томск: ТУСУР, 2006. 330 с.
12. Артым А. Д., Есполов К. Ж., Смирнов В. С., Филин В. А. Автоматизированная компьютерная программа быстрого расчета и оптимизации переходных и стационарных процессов в электрических цепях радиотехнических и телекоммуникационных устройств (FASTMEAN). Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № RU 2002610191 от 15 февраля 2002.
13. Программа FASTMEAN. URL: <http://www.fastmean.ru> (дата обращения 14.03.2024)

Статья поступила 15 марта 2024 г.  
Одобрена после рецензирования 23 марта 2024 г.  
Принята к публикации 27 марта 2024 г.



### Информация об авторах

Шушпанов Дмитрий Викторович — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теоретических основ телекоммуникаций Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: dimasf@inbox.ru

Евдокимов Александр Сергеевич — студент 1-го курса магистратуры (направление 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника) Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: saseva31@mail.ru

## Construction of Equivalent Circuits of a Semiconductor Diode to Simulate Its Modes (On and Off)

D. Shushpanov ✉, A. Evdokimov

The Bonch-Bruevich St.-Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

**Purpose:** The main element in switch circuits is the semiconductor diode. It is used as a separate rectifier element and is an integral part of almost every power transistor. Therefore, to correctly calculate the pulse voltage converter (losses, efficiency, ripple), it is necessary to correctly calculate the currents and voltages when switching the diode. In previous work, it was shown that the diode model used in simulation programs does not show the real physical processes occurring in the switch operating mode of the semiconductor diode. The purpose of the work is to consider the physics of processes occurring in a semiconductor diode in order to create equivalent circuits that correctly show these physical processes when the semiconductor diode is turned on and off. **Novelty** of the work lies in the fact that two states (open and closed) of the diode are considered, each of which is represented by a second-order circuit. It is shown that the inductance in the semiconductor diode equivalent circuit is not the inductance of the diode leads, but is the result of the action of electromagnetic processes occurring in the semiconductor diode itself when it is turned on/off. **Results.** The equivalent circuits of a semiconductor diode were obtained to simulate the processes of turning the diode on and off. **Practical relevance.** The resulting equivalent circuits allow us to better understand the physics of the processes occurring in the semiconductor diode when it is turned on/off. The appearance of the diffusion capacitance of the semiconductor diode is explained from the point of view of the theory of the electromagnetic field. The resulting equivalent circuits of the semiconductor diode will make it possible to more correctly simulate the processes of turning the diode on and off, which is very important when simulating fast and slow processes in switch devices.

**Keywords:** equivalent circuit, diode, conductor, dielectric, diode capacitance, diode inductance

### Information about Authors

Shushpanov Dmitry — Ph.D. of Engineering Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Theoretical Foundations of Telecommunications (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: dimasf@inbox.ru

Evdokimov Alexander — a 1<sup>st</sup> Year Master's Student (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: saseva31@mail.ru

## Институту магистратуры СПбГУТ 5 лет

УДК 339.732.2

### Из истории экономической интеграции североевропейских стран: создание и деятельность Северного инвестиционного банка

Гехт А. Б.✉, Неровный А. В., Цверрианашвили И. А.

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича  
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

**Постановка задачи:** региональное сотрудничество скандинавских стран происходит уже на протяжении 80 лет. За это время в странах Северной Европы произошла унификация трудовых, социальных и правовых процессов, которые, в свою очередь, создали базу для более тесного экономического взаимодействия; задача статьи — комплексный анализ деятельности Северного инвестиционного банка как учреждения в сфере экономического взаимодействия. **Цель работы** — оценить место и роль Северного инвестиционного банка в региональном сотрудничестве стран Северной Европы на современном этапе. **Используемые методы:** методологической основой исследования являются принципы историзма, объективизма и системности научного анализа. **Новизна** настоящей статьи выражается в заполнении определенной историографической лакуны, поскольку на русском языке отсутствуют исследования, затрагивающие проблематику основания и функционирования рассматриваемого в настоящей работе банка. **Результат:** в статье рассмотрены основные этапы развития Северного инвестиционного банка, отмечена его роль в качестве видного финансового института в регионе Скандинавии и Балтийского моря, преимущественно сфокусированного на инвестировании в проекты, направленные на дальнейшее развитие политики устойчивого развития и защиту окружающей среды. Приведены примеры реализации проектов, связанных с деятельностью рассматриваемого банка, в том числе в различных регионах мира. **Практическая значимость:** основные положения статьи могут использоваться для обобщения и систематизации сведений о новейшей истории скандинавских стран и Финляндии в рамках дальнейших исследований по истории и международным отношениям. Статья призвана оказать содействие в совершенствовании лекционных курсов по современным интеграционным процессам и международным экономическим отношениям стран-членов Евросоюза, а также в подготовке и написании соответствующих учебных и учебно-методических пособий. Опыт функционирования Северного инвестиционного банка как трансрегиональной финансовой организации может оказаться конструктивным и в процессе дальнейшего развития интеграционных процессов на постсоветском пространстве, особенно в формате Евразийской интеграции, являющейся важнейшим направлением государственной политики России.

**Ключевые слова:** Северная Европа, Скандинавия, Северный инвестиционный банк, северное сотрудничество, устойчивое развитие

Северное сотрудничество, ставшее результатом работы Северного совета, объединяющего страны Северной Европы (Швецию, Норвегию, Исландию, Финляндию, Данию) и три автономные территории (Фарерские острова, Гренландию и Аландские острова), являет собой пример исключительно

#### Библиографическая ссылка на статью:

Гехт А. Б., Неровный А. В., Цверрианашвили И. А. Из истории экономической интеграции североевропейских стран: создание и деятельность Северного инвестиционного банка // Вестник СПбГУТ. 2024. Т. 2. № 1. С. 6. EDN: CHVENT

#### Reference for citation:

Gekht A., Nerovnyj A., Tserverianashvili I. From the History of Economic Integration Nordic Countries: Establishment and Operation of the Nordic Investment Bank // Herald of SPbSUT. 2024. Vol. 2. Iss. 1. P. 6. EDN: CHVENT

тесного регионального взаимодействия в социальной, политической, экономической, культурной, экологической и других областях. Сегодня уровень межгосударственных отношений между североевропейскими государствами по ряду направлений выше, чем во многих других интеграционных объединениях, включая Европейский Союз [1, с. 631].

Рассуждая о развитии контактов и взаимодействия в области экономики и финансов в Скандинавии и Финляндии, отметим, что фаза активного сотрудничества между странами Северной Европы была прервана Второй мировой войной. После ее завершения Швеция, Дания и Норвегия (Финляндия присоединилась с некоторым опозданием) увидели возможность ускорить восстановление своих экономик в интенсификации экономического и политического сотрудничества. Участвуя в плане Маршалла, эти страны не только в значительной мере компенсировали последствия войны, но и восстановили прежние экономические связи внутри региона [2, р. 195].

В условиях бурного экономического подъема Швеции и нехватки в этой стране рабочей силы в конце 1940-х гг. руководство скандинавских стран предприняло шаги, направленные на формирование общего рынка труда. В 1954 г. в рамках Северного совета был создан общий рынок труда, товаров, услуг и капиталов, в 1957 г. оформлена паспортная уния, а для повышения мобильности трудовых ресурсов Северные страны предприняли серию синхронных мер в области унификации социальной политики, тем самым превращая субрегиональный общий рынок труда в обширную сферу единых интересов стран Северной Европы [3, с. 391–392]. Эти процессы происходили на фоне завершившейся гармонизации законодательств стран-участниц Северного совета в области имущественного, коммерческого и гражданского права, а также в области страхования, владения недвижимостью и т. д.

Хотя Дания, Норвегия, Швеция и Финляндия участвовали в функционировании Европейской ассоциации свободной торговли (ЕАСТ), стратегический выбор они сделали в пользу региональной интеграции Северных стран, закрепив ее приоритет в заключенном в 1962 г. Хельсинкском договоре о сотрудничестве между Данией, Финляндией, Исландией, Норвегией и Швецией. Он стал своего рода дорожной картой интеграционных процессов в таких областях, как право, экономика, социальное обеспечение и др. [4]. Центром практической реализации региональных интеграционных начинаний стал созданный в 1971 г. Совет министров северных стран, функционирующий по настоящее время [5, с. 64–67]. В середине 1970-х гг. был учрежден Северный инвестиционный банк, призванный финансировать проекты, отвечающие интересам всех Северных стран, в области добычи ресурсов, энергетики и обрабатывающей промышленности [6]. Уже долгое время этот финансовый институт играет весьма значительную роль в экономической жизни североевропейского региона. По многим вопросам он служит связующим звеном между экономикой скандинавских стран, способствует сглаживанию возникающих противоречий и закрепляет давнюю, с середины прошлого века, тенденцию к прочной региональной интеграции. В силу фактического отсутствия в отечественной историографии каких-либо работ, рассматривающих эволюцию и направления деятельности этого банка, представляется актуальной исследовательской задачей достаточно подробно охарактеризовать Северный инвестиционный банк как институт регионального сотрудничества стран Северной Европы.

Северный инвестиционный банк является международным финансовым институтом стран Северной Европы и Балтии со штаб-квартирой в столице Финляндии — Хельсинки. Его основная миссия заключается в финансировании проектов, которые повышают производительность региональных экономических процессов и приносят пользу окружающей среде стран Северной Европы и региона Балтийского моря [7]. Данный финансовый институт стремится к углублению политики устойчивого развития в рамках Скандинавии и региона Балтийского моря. Деятельность стран-владельцев банка нацелена на удовлетворение региональных потребностей: в первую очередь, это обеспечение экономического роста, применение технологических инноваций, противодействие изменению климата, а также защита морской флоры и фауны.

Банк был создан пятью северными странами — Данией, Финляндией, Исландией, Норвегией и Швецией — в 1975 г. В 2005 г. Эстония, Латвия и Литва присоединились к нему на равных с первоначальными членами условиях и правах [8, с. 123–124]. Можно выделить несколько причин, по которым три прибалтийские республики стали членами Северного инвестиционного банка: с одной стороны, желание присоединиться к деятельности банка могло быть обосновано их стремлением к сближению со странами Северной Европы и участию в функционировании Северного Совета [9]. Также членство бал-

тийских государств в Северном инвестиционном банке может быть связано с желанием стран Скандинавии усилить влияние на Эстонию, Латвию и Литву как на государства, которые стали независимыми после распада СССР. Постсоветские государства были готовы к новым международным контактам, а Северному инвестиционному банку было выгодно взаимодействовать с прибалтийскими государствами, экономика которых после выхода из состава СССР начала стабилизироваться и даже демонстрировать экономический подъем. С 2004 г. прибалтийские государства стали членами Европейского Союза, что также улучшило их экономические показатели и сделало их еще более привлекательными партнерами для сотрудничества.

Как уже было отмечено ранее, Хельсинкское соглашение было подписано в 1962 г., а учреждение Северного инвестиционного банка произошло только в 1975 г. из-за расхождения интересов скандинавских государств в вопросах сотрудничества. Сама идея создания банка возникла в 1950-х гг. в рамках создания Северного таможенного союза, который так и не был реализован по первоначальному плану. Переговоры осложнялись расхождением интересов скандинавских государств в создании более тесного экономического сотрудничества. В данном случае на прекращение переговоров значительно повлияла Норвегия, которая на тот момент считала экономическое сближение с остальными скандинавскими странами потенциально невыгодным: в случае создания не только общего инвестиционного банка, но и единого экономического пространства для его функционирования норвежская экономика могла оказаться наименее конкурентоспособной на фоне более промышленно развитых соседей. Вторая попытка была предпринята в конце 1960-х гг., когда правительства стран Северной Европы стремились создать Северный экономический союз (*пер. со швед. Nordek*) [10]. Однако скандинавские государства также столкнулись со сложностями в переговорах и не смогли прийти к единому мнению своих экономических взаимоотношений. В марте 1970 г. проект прекратил свое существование, так как правительство Финляндии объявило о своем выходе из процесса переговоров. Основной причиной подобного развития событий был тесный характер экономических отношений Финляндии с Советским Союзом, хотя об этом и не заявлялось официально [11, р. 264–266].

Третья попытка запустить банк была предпринята в конце 1974 – начале 1975 гг. и оказалась успешной. Прорыв в переговорном процессе был достигнут 11 января 1975 г., когда официальные лица встретились в Копенгагене, чтобы подготовиться к встрече премьер-министров Северных стран в конце месяца. Уже через два года после запуска подписывается первое кредитное соглашение. Для более детального рассмотрения основных этапов развития Северного инвестиционного банка в таблице 1 приведены важнейшие события его истории.

Таблица 1. Основные вехи истории Северного инвестиционного банка\*

Год	Событие
1975	Дания, Финляндия, Исландия, Норвегия и Швеция приняли решение о создании Северного инвестиционного банка для содействия экономическому росту и сотрудничеству между странами Северной Европы
1976	Банк приступил к работе
1977	Банк реализует первое кредитное соглашение
1981	Банк размещается в новом офисе, расположенном по адресу: Unioninkatu 30, в Хельсинки
1982	Банк удостоен высшего международного кредитного рейтинга, AAA / Aaa, за свои долгосрочные облигации
1983	Банк принимает решение о реализации первого проекта инвестиционного кредита за пределами стран Северной Европы (в рамках сотрудничества с ФРГ)
1984	Уставный капитал банка удваивается до 800 млн шведских крон [12, с. 171]
1989	Создан Фонд северного развития. Банк начинает фокусироваться на реализации экологических проектов
1990	Северная экологическая финансовая корпорация NEFCO ( <i>аббр. от англ. Northern Environmental Finance Corporation</i> ) создала специальное подразделение по взаимодействию с институтами Северного совета в рамках банка. Институционально оформится в отдельную от данного банка структуру в 1993 г. [3, с. 391–396]
1992	Банк участвует в Балтийской инвестиционной программе, созданной странами Северной Европы с целью содействия развитию частного сектора в странах Балтии

Год	Событие
1993	Банк переезжает в офисное здание по адресу: Fabianinkatu 34, Хельсинки
1994	Проектные инвестиционные кредиты за пределами стран-членов впервые предоставляются представителям частного сектора
1997	Создана новая кредитная линия экологических инвестиционных кредитов для проектов на территориях, сопредельных странам-учредителям банка
1999	Новые Соглашения о Северном инвестиционном банке и о штаб-квартире признают многосторонний статус организации. Уставной капитал банка увеличен до 4 млрд евро
2001	Банк присоединяется к экологическому партнерству в рамках Северного совета
2004	Банк расширяет кредитные линии для проектов за пределами стран-членов и для экологических проектов
2005	Эстония, Латвия и Литва становятся членами банка; его уставный капитал увеличен до 4,142 млрд евро
2008	Банк выделяет 1,5 млрд евро на кредитование, предназначенное для смягчения последствий изменения климата и улучшения окружающей среды в регионе Балтийского моря
2015	Банк создает особую кредитную линию, направленную на развитие Арктики и прилегающих областей [13, с. 38]
2016	Специальная кредитная линия предоставляется для инвестирования в «зеленые» облигации, выпущенные компаниями и муниципалитетами в странах-членах
2018	Банк обновляет свою систему оценки критериев соответствия задач, направленных на поддержание темпов экономического роста, в соответствии с целями политики устойчивого развития и защиты окружающей среды
2019	Банк создает финансовый инструмент по поддержке проектов, связанных с устойчивым развитием морской среды в Северо-Балтийском регионе (Nordic-Baltic Blue Bond – Скандинавско-Балтийские Голубые Облигации)
2021	Президентом банка становится представитель Эстонии Андре Кююсвек

\*Составлено по данным официального сайта Северного инвестиционного банка. URL: <https://www.nib.int>

Как финансовый институт Северный инвестиционный банк регулируется рядом учредительных документов, а именно: Соглашением между его странами-членами и Уставом, а также Соглашением с принимающей страной, заключенным между банком и правительством Финляндии. Они устанавливают, что банк является совместным международным финансовым институтом, который имеет тот же статус, что и другие юридические лица, проводящие аналогичные операции внутри и за пределами стран-членов [14]. Кроме того, в учредительных документах оговаривается, что Северный инвестиционный банк имеет статус международного юридического лица с полной дееспособностью, определяются иммунитеты и привилегии банка и его персонала, а также описывается структура управления банком. Каждый член организации назначает управляющего Совета управляющих, который является высшим органом, принимающим решения. Контрольный комитет является надзорным органом. Совет директоров принимает политические решения относительно операций и утверждает финансовые операции, предложенные президентом банка. Президент отвечает за ведение текущих операций банка в целом. Под его началом действуют Исполнительный комитет, Комитет по управлению активами и пассивами, Кредитный комитет, Казначейский комитет и Комитет по бизнесу и технологиям [15].

За весь период своей работы Северный инвестиционный банк профинансировал более 2300 инвестиционных проектов по всему миру, тем самым способствуя деловому сотрудничеству, инвестиционной деятельности и процветанию стран-членов. На начало 2023 г. уставной капитал банка составляет около 3,8 млрд евро. Эта сумма формируется на основе отчислений стран-членов [16]. Помимо уставного капитала, банк имеет различные резервы и может выдавать кредиты на общую сумму эквивалентную 250 % уставного капитала и общих накопленных резервов. В дополнение к этим ограничениям банк имеет специальные кредитные линии, гарантированные странами-участницами [16]. Ежегодно Северным инвестиционным банком составляются финансовые отчеты, в которых отражаются расходы и прибыль от проектов. Динамика финансовых показателей банка за период с 2010 по 2019 гг. приведена в таблице 2.

Таблица 2. Основные финансовые показатели Северного инвестиционного банка с 2010 по 2019 гг., млн евро \*

Год	Чистая прибыль,	Общая сумма финансовых обязательств и капитала	Полная прибыль	Операционная прибыль
2010	210,832	24 897,830	211,346	285,436
2011	194,037	23 801,539	194,037	243,483
2012	209,205	25 982,911	209,205	303,157
2013	217,210	23 489,941	217,210	271,404
2014	210,211	24 870,400	210,211	272,211
2015	215,398	27 311,576	215,398	268,385
2016	211,810	30 178,643	183,608	276,222
2017	210,981	29 952,798	236,148	261,233
2018	173,009	31 709,670	179,169	210,281
2019	181,982	32 653,078	197,768	233,715

\*Составлено по данным официального сайта Северного инвестиционного банка: URL: <https://www.nib.int>

Ежегодно банк предоставляет отчеты о том, как его проекты повлияли на экологию Северо-Балтийского региона. С 2011 г. Северный инвестиционный банк выводит на рынок так называемые «экологические облигации»; так, только по состоянию на 2019 г. было выпущено ценных бумаг на сумму в 4,2 млрд евро. К началу 2020 г. данные облигации способствовали экологическому строительству (было построено 246 тыс. кв. м зданий), развитию экологически чистого транспорта (было сохранено около 1,7 МВт производимой электроэнергии ежегодно), содействию в использовании возобновляемой энергии, очистке водных ресурсов (в эквиваленте численности населения было переработано загрязненной воды на 1 млн человек) и переработке отходов (ежегодно на основе переработанных отходов производится более 600 наименований различной промышленной продукции). На данный момент основной сферой заметного эффекта от деятельности банка в области защиты окружающей среды является минимизация производимых парниковых газов в североευропейском регионе.

Прежде чем принимать кредитные решения, представители и руководство Северного инвестиционного банка оценивают, насколько предполагаемые проекты способствуют повышению экономического роста стран-членов и обеспечивают их экологические выгоды. После предоставления денежных средств банк следит за выполнением проекта, а после его завершения оценивает степень реализации декларируемых целей на практике, отталкиваясь от имеющихся сведений о динамике экологической обстановки на тех или иных территориях [17]. Банк постоянно разрабатывает параметры отчетности, чтобы предоставить заинтересованным сторонам конкретные данные о влиянии реализуемых проектов на улучшение экологической обстановки. В годовых отчетах банка отдельно отмечается влияние на окружающую среду проектов, финансируемых за счет «экологических облигаций» [6]. Данные по количеству финансируемых проектов приведены в таблице 3.

Таблица 3. Объемы финансирования и количество экологических проектов Северного инвестиционного банка за 2016–2019 и 2024 гг.\*

Год	Количество		Основные инвесторы
	выпущенных экологических облигаций, млн евро	финансируемых проектов	
2016	763	18	Члены Северного инвестиционного банка
2017	920	7	Члены Северного инвестиционного банка
2018	500	8	Члены Северного инвестиционного банка, Бенилюкс, Германия, Австрия, США
2019	693	15	Члены Северного инвестиционного банка, Европа, Азия, Латинская Америка, Африка, Средний Восток
2024	500	40	Члены Северного инвестиционного банка

\*Составлено по данным официального сайта Северного инвестиционного банка. URL: <https://www.nib.int>

Чтобы реагировать на готовность инвесторов поддерживать экологически устойчивые начинания, руководство банка специально внедрило систему «экологических облигаций», доходы от которых используются для финансирования проектов, оказывающих положительное влияние на окружающую среду [18]. При реализации задач политики устойчивого развития Северный инвестиционный банк делает особый упор на проекты, ориентированные на получение экологически чистой энергии, поддержание уровней промышленного производства и потребления в соответствии с целями политики устойчивого развития, сохранения морской экологии, а также борьбы с изменением климата.

С 2019 г. Северный инвестиционный банк начал работу с новым инструментом по окружающей среде «Blue Bond», который нацелен на содействие устойчивому развитию морской среды в Северо-Балтийском регионе. На конец 2019 г. облигации «Blue Bond» формируют пакет ценных бумаг стоимостью 2 млрд шведских крон. В 2019 г. средства «Blue Bond» были задействованы в восьми проектах на общую сумму 182 млн евро, 40 % из которых были направлены на проекты в Швеции, 34 % — в Норвегии и 26 % — в Финляндии. На 2020 г. пятилетняя облигация «Blue Bond» привлечена для финансирования семи программ по строительству новых и модернизации существующих очистных сооружений, а также одного проекта по предотвращению наводнений. На данный момент инвесторами данного проекта, помимо членов Северного инвестиционного банка, является ряд европейских государств, а с 2019 г. инвесторами экологической деятельности банка стали азиатские страны, такие как Китай и Япония. Несмотря на то, что инструмент «Blue Bond» создан для работы в Северо-Балтийском регионе, можно предположить, что в ближайшие несколько лет азиатские инвесторы могут заинтересоваться данным проектом, например для заимствования опыта.

Обычно общая стоимость проекта составляет около 20 млн евро и выше. Небольшие проекты и инвестиции малых и средних предприятий, а также малых промежуточных компаний финансируются за счет специальных кредитных средств, предоставляемых в сотрудничестве с местными банками-посредниками. Кредит Северного инвестиционного банка или гарантия для проекта, как правило, не должны превышать 50 % общей стоимости проекта. В случае ссуды промежуточному капиталу финансирование со стороны банка может покрыть до 75 % расходов [18]. Как правило, все кредиты ограничены экономическим сроком службы актива или соответствующими базовыми контрактами, поддерживающими финансирование. Большинство кредитов, предоставляемых банком, носят подтвержденный соответствующими проверками долгосрочный характер и имеют срок погашения от 5 до 25 лет [20].

Для поддержания продуктивности стран Северной Европы и Балтии Северный инвестиционный банк направляет финансирование на проекты, ориентированные на технический прогресс и инновации, развитие человеческого капитала и создание равных экономических возможностей, улучшение в инфраструктуре, а также повышение эффективности рынка и развитие бизнес-среды в странах-членах организации. Отдельно отметим, что банк предоставляет кредиты и гарантии частным и государственным компаниям с ограниченной ответственностью, правительствам, муниципалитетам и финансовым учреждениям. На данный момент Северный инвестиционный банк реализует займы по различным направлениям: энергетика и вода, инфраструктура, транспорт и телекоммуникации, индустрия и услуги, финансовые инструменты. На 2020 г. наиболее крупным займом в сфере водоснабжения и инфраструктуры стал проект норвежской энергетической группы «E-CO Energi Holding», принятый в 2018 г. и направленный на строительство трех новых гидроэлектростанций в административном районе Рюканфоссен. Также можно отметить проект по совершенствованию системы водоснабжения в третьем по величине городе Швеции Мальмё на сумму 74 млн евро. В 2018–2020 гг. данное начинание было признано наиболее экологически эффективным в сфере защиты морской среды от продуктов функционирования городской канализации. В 2019 г. два норвежских гидроэнергетических проекта, сфокусированных на увеличении объемов производства возобновляемой энергии, получили финансирование в общей сложности на сумму 45 млн евро.

К примерам программ, направленных на стимулирование технологического прогресса в менее развитых странах, относится проект на сумму 52 млн евро по реконструкции торговых площадей в Литве, Латвии и Эстонии с целью повышения энергоэффективности зданий путем установки энергосберегающего освещения и солнечных батарей. Стоит отметить, что Северный инвестиционный банк финансирует не только проекты в отдельных странах Скандинавии и Балтии, но также проекты организаций, например Северного совета. Финансирование получают те программы и проекты Совета, которые

направлены на содействие устойчивому развитию, борьбу с изменениями климата, поддержание морской среды, развитие возобновляемой энергии и предотвращение загрязнений. В 2011 г. банком было выделено 1,34 млрд евро на ряд проектов, связанных с климатом, в северных государствах. В 2017 г. в совместной программе по противодействию Северных стран изменению климата «Nordic Action on Climate Change» [19] Северный инвестиционный банк отдельно отмечался как финансовый институт, который на протяжении всей своей деятельности способствует снижению ежегодных выбросов углекислого газа.

Как уже отмечалось выше, большая часть операций банка происходит в регионе Скандинавии и Балтийского моря, однако он регулярно участвует в финансировании проектов, которые затрагивают интересы внешнеэкономической деятельности стран-членов. Банк может предоставлять кредиты в странах, которые подписали с ним соглашения о финансовом сотрудничестве. Во многих случаях кредиты могут предоставляться для инициатив, реализуемых в странах-членах Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР). В числе прочего Северный инвестиционный банк приобретает средства для кредитования путем заимствования на международных рынках капитала. С начала 1980-х гг. крупнейшие международные агентства «Standard & Poor's» и «Moody's» традиционно оценивают кредитный рейтинг этого банка как высочайший, что в целом отражает высокое качество его активов, достаточность капитала, стабильный баланс и уровень управления [21, с. 345–348]. Оставаясь в первую очередь финансовым институтом, банк стремится получать достаточную прибыль от своей коммерческой деятельности.

Примечательно, что с помощью различных институтов международного финансового сотрудничества рассматриваемый банк может действовать и в странах, с руководством которых у него нет официального соглашения о партнерстве. Так, Северный инвестиционный банк заключил соглашения о сотрудничестве со следующими региональными многосторонними банками:

- Черноморский банк торговли и развития (BSTDB — The Black Sea Trade and Development Bank);
- Центральноамериканский банк экономической интеграции (CABEI — the Central American Bank for Economic Integration);
- Банк развития Латинской Америки (CAF — The Corporacion Andina de Fomento);
- Межамериканская инвестиционная корпорация (IIC — Inter-American Investment Corporation);
- Африканский банк развития (African Development Bank Group).

Во многих развивающихся государствах Африки и Латинской Америки программы и проекты, связанные с деятельностью банка, нацелены не только на поддержание стабильной экологической ситуации в регионах, но и на развитие транспортной инфраструктуры, энергетики и телекоммуникаций, а также высоких технологий. Одним из наиболее ярких примеров сотрудничества с региональными банками можно считать совместное начинание с Африканским экспортно-импортным банком. В сентябре 2018 г. между двумя региональными банками была подписана кредитная программа на сумму 100 млн евро для финансирования различных инфраструктурных проектов в африканских странах, рассчитанная на 10 лет. Проект подразумевает инвестиции в инфраструктуру, энергетику, телекоммуникации, особые экономические зоны, автомобильные и железные дороги. Кроме того, будут поддерживаться экспортные проекты, включающие поставки услуг и оборудования из стран Северной Европы. Несмотря на то, что Северный инвестиционный банк имеет сопоставимые по объемам контракты внутри государств-членов банка (например, в 2020 г. Латвия подписала контракт на 500 млн евро на 10 лет для противодействия коронавирусу), проект с Африканским экспортно-импортным банком является одной из наиболее крупных и долгосрочных инициатив, развиваемых совместно не со странами-участниками.

Отметим, что на фоне роста финансового присутствия КНР в различных регионах может наблюдаться снижение активности банка: так, уменьшение количества аффилированных с ним финансовых операций в Африке связано с постепенным превращением Китая в одного из ведущих инвесторов на континенте. В период с 2010 по 2015 гг. заметно уменьшение количества операций в Латинской Америке, что связано с тем, что к 2013 г. объем непогашенных и согласованных кредитов вырос до 566 млн евро. По состоянию на начало 2020 г. (пандемия Covid-19) Латинская Америка продолжает оставаться регионом с наиболее высокими показателями кредитного риска в сравнении с другими «не-европейскими» регионами, о чем свидетельствует таблица 4.



Таблица 4. Объемы финансовых операций в регионе, млн евро\*

Регион	2019	2015	2010	2005
Страны Скандинавии и Балтии	140,018	113,394	83,283	55,969
Африка	318	1,772	2,145	2,220
Азия	2,597	10,698	9,204	7,369
Европа и Евразия	7,141	13,845	11,568	4,350
Северная и Латинская Америка	2,860	5,573	8,276	6,406
Средний Восток	208	601	1,165	1,260

\*Составлено по данным официального сайта Северного инвестиционного банка. URL: <https://www.nib.int>

Завершая рассуждения о феномене Северного инвестиционного банка, следует отметить, что уже на протяжении полувека этот финансовый институт играет весьма значительную роль в экономической жизни североευропейского региона и способствует развитию прочной региональной интеграции, объединяющей Северные страны в единое социально-экономическое пространство. Благодаря этому североευропейские страны сумели не только успешно сочетать режим регионального сотрудничества с функционированием Европейского Союза, но и сохранить выраженную региональную сплоченность в условиях противоречивого процесса дальнейшего развития европейской интеграции и стоящих на ее пути масштабных вызовов. Безусловно, значима роль банка и в контексте функционирования его стран-членов на различных глобальных рынках. Примечательно, как уже длительное время присущие странам Северной Европы установки на приоритетную важность политики устойчивого развития и защиты окружающей среды могут сочетаться с материально выгодной практической реализацией различных начинаний в области развития транспорта, промышленности и других сфер экономики, в том числе далеко за пределами региона Балтийского моря. В подобном положении вещей нагляднее всего выражается основное значение деятельности Северного инвестиционного банка как регионального и международного финансового института.

### Литература

1. Европейская интеграция: учебник для вузов / под ред. О. В. Буториной, Н. Ю. Кавешникова. М.: Аспект-Пресс, 2011. 735 с.
2. Goldin C., Libecap G. The Regulated Economy. A Historical Approach to Political Economy. Chicago: Chicago University Press, 1994. 320 p.
3. Северная Европа. Регион нового развития / ред. Ю. С. Дерябин, Н. М. Антюшина. М.: Весь Мир, 2008. 512 с. EDN: SIBFHP
4. Treaty of Co-operation between Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden (the Helsinki Treaty, 1962) // United Nations Treaty Collection. URL: <https://treaties.un.org/doc/Publication/UNTS/Volume%20434/volume-434-I-6262-English.pdf> (дата обращения 10.01.2024)
5. Гехт А. Б. Североевропейская интеграционная модель в контексте эволюции Европейского Союза // Формирование современной европейской идентичности в рамках интеграции ЕС: социальное и культурное измерения: сборник научных статей. СПб: СПбГЭУ, 2018. С. 64–67. EDN: UXFZRO
6. Disclosure // Nordic Investment Bank. URL: [https://www.nib.int/who\\_we\\_are/our\\_impact/disclosure](https://www.nib.int/who_we_are/our_impact/disclosure) (дата обращения 15.01.2024)
7. Lang M. Tax Rules in Non-tax Agreements. Amsterdam: IBFD, 2012. 960 p.
8. Егоров А. В. Международная финансовая инфраструктура. М.: Линор, 2009. 136 с.
9. Agreement Concerning the Nordic Investment Bank (NIB) // University of Oslo. The Faculty of Law. 11.02.2004. URL: <https://www.jus.uio.no/english/services/library/treaties/09/9-02/nordic-investment-bank.html> (дата обращения 16.01.2024)
10. Knud P. Pedersen Brug Norden som fremtidsværksted. Mørke: Grevas, 1997. 176 s.
11. Schön L. An Economic History of Modern Sweden. London: Routledge, 2012. 371 p.
12. Бабичев М. Ю., Бабичева Ю. А., Трохова О. В. Банковское дело: справочное пособие. М.: Экономика, 1993. 398 с.

13. Гехт А. Б., Цверрианашвили И. А. Арктика во внешней политике Швеции: основные тренды современности // Ученые записки Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого. 2019. № 3 (21). С. 32–40. DOI: 10.34680/2411-7951.2019.3(21).6. EDN: BUDCJG
14. History // Nordic Investment Bank. URL: [https://www.nib.int/who\\_we\\_are/about/history](https://www.nib.int/who_we_are/about/history) (дата обращения 15.01.2024)
15. Member Countries, Governing Bodies and Capital // Nordic Investment Bank. URL: [https://www.nib.int/who\\_we\\_are/about/member\\_countries\\_governing\\_bodies\\_and\\_capital](https://www.nib.int/who_we_are/about/member_countries_governing_bodies_and_capital) (дата обращения 15.01.2024)
16. Constituent Documents // Nordic Investment Bank. URL: [https://www.nib.int/filebank/a/1497348404/fa74f44c14e9e14a6decabd5a7170542/2032-Constituent\\_Documents](https://www.nib.int/filebank/a/1497348404/fa74f44c14e9e14a6decabd5a7170542/2032-Constituent_Documents) (дата обращения 16.01.2024)
17. Corporate Responsibility // Nordic Investment Bank. URL: [https://www.nib.int/who\\_we\\_are/our\\_impact/corporate\\_responsibility](https://www.nib.int/who_we_are/our_impact/corporate_responsibility) (дата обращения 16.01.2024)
18. Disclaimer // Nordic Investment Bank. URL: [https://www.nib.int/investors/why\\_invest\\_in\\_nib](https://www.nib.int/investors/why_invest_in_nib) (дата обращения 15.01.2024)
19. Nordic Action on Climate Change // Nordic Investment Bank. URL: <http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1148260/FULLTEXT01.pdf> (дата обращения 16.01.2024)
20. Risk Management & Analysis // Nordic Investment Bank. URL: [https://www.nib.int/investors/liquidity\\_management/risk\\_management\\_analysis](https://www.nib.int/investors/liquidity_management/risk_management_analysis) (дата обращения 16.01.2024)
21. Lundström S. Bank, industri, utlandsaffärer. Stockholm: Ekerlids, 1999. 507 s.

**Статья поступила 7 марта 2024 г.**  
**Одобрена после рецензирования 11 марта 2024 г.**  
**Принята к публикации 15 марта 2024 г.**

### **Информация об авторах**

*Гехт Антон Борисович* — кандидат исторических наук, доцент кафедры истории и регионоведения Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: [geht.ab@sut.ru](mailto:geht.ab@sut.ru)

*Неровный Артем Викторович* — старший преподаватель кафедры истории и регионоведения Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: [nerovnyi.av@sut.ru](mailto:nerovnyi.av@sut.ru)

*Цверрианашвили Иван Алексеевич* — старший преподаватель кафедры истории и регионоведения Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: [cverianashvili.ia@sut.ru](mailto:cverianashvili.ia@sut.ru)

## From the History of Economic Integration Nordic Countries: Establishment and Operation of the Nordic Investment Bank

A. Gekht ✉, A. Nerovnyj, I. Tsverianashvili

The Bonch-Bruevich St.-Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

**Task statement:** *the regional cooperation of the Scandinavian countries has been going on for 80 years. During this time, the unification of labor, social and legal processes took place in the Nordic countries, which, in turn, created the basis for closer economic cooperation; the task of the article is a comprehensive analysis of the activities of the Northern Investment Bank as an institution in the field of economic cooperation. **The purpose of the work** is to assess the place and role of the Nordic Investment Bank in the regional cooperation of the Nordic countries at the present stage. **Methods used:** the methodological basis of the research is the principles of historicism, objectivism and systematic scientific analysis. The novelty of this article is expressed in filling in a certain historiographical gap, since there are no studies in Russian that address the problems of the foundation and functioning of the bank considered in this work. **Result.** This article examines the main stages of the development of the Northern Investment Bank, noting its role as a prominent financial institution in the region of Scandinavia and the Baltic Sea, mainly focused on investing in projects aimed at further development of sustainable development policies and environmental protection. Examples of the implementation of projects related to the activities of the bank in question, including in various regions of the world, are given. **Practical significance:** The main provisions of the article can be used to summarize and systematize information about the modern history of the Scandinavian countries and Finland in the framework of further research on modern history and international relations. The conducted research is intended to assist in the improvement of lecture courses on modern integration processes and international economic relations of the member states of the European Union, as well as the preparation and writing of appropriate educational and methodological manuals. The experience of the Northern Investment Bank functioning as a trans-regional financial organization may also be constructive in the process of further development of integration processes in the post-Soviet space, especially in the format of Eurasian integration, which is naturally the most important direction of Russian state policy.*

**Keywords:** Northern Europe, Scandinavia, Northern Investment Bank, Northern cooperation, sustainable development

### Information about Authors

*Gekht Anton* – Ph.D. of Historical Sciences, Associate Professor of the Department of History and Regional Studies (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications).  
E-mail: [geht.ab@sut.ru](mailto:geht.ab@sut.ru)

*Nerovnyj Artem* – Senior Lecturer of the Department of History and Regional Studies (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: [nerovnyi.av@sut.ru](mailto:nerovnyi.av@sut.ru)

*Tsverianashvili Ivan* – Senior Lecturer of the Department of History and Regional Studies (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: [cverianashvili.ia@sut.ru](mailto:cverianashvili.ia@sut.ru)

## Институту магистратуры СПбГУТ 5 лет

УДК 378.4

### Перспективы развития магистерской программы «Реклама и связи с общественностью в коммерческой сфере»

Кульназарова А. В. ✉, Шутман Д. В.

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича  
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

**Постановка задачи:** высокий уровень конкуренции и нестабильность рыночной ситуации в сфере образовательных услуг требуют от магистерских программ гибкости, постоянного совершенствования и адаптации к запросам абитуриентов и рынка труда. Развитие магистерских программ может осуществляться на трех уровнях: содержание основных образовательных программ; маркетинг образовательного продукта; организационные и педагогические условия образовательной деятельности. **Целью работы** является выявление перспективных направлений развития образовательной программы магистратуры «Реклама и связи с общественностью в коммерческой сфере» в содержательном аспекте. **Используемые методы:** социологический опрос в формате анкетирования. Исследование носит пилотажный характер. В опросе приняли участие 82 студента 3-го и 4-го курсов бакалавриата соответствующего направления подготовки. **Результат:** выявлены намерения студентов относительно дальнейшего поступления в магистратуру; определены основные мотивы, запросы и ожидания от обучения в магистратуре. Установлено, что большинство студентов рассматривают возможность продолжения обучения, однако их интересует, прежде всего, прикладное образование, ориентированное на получение конкретных навыков. В приоритете — знания и умения в области цифровых коммуникаций и организаторские навыки. **Практическая значимость:** полученные результаты могут послужить основой для модернизации образовательной программы магистратуры «Реклама и связи с общественностью в коммерческой сфере» и/или отдельных рабочих программ дисциплин.

**Ключевые слова:** магистратура, образование, цифровые коммуникации

#### Актуальность исследования

В Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ) подготовка магистров по направлению 42.04.01 «Реклама и связи с общественностью» осуществляется в соответствии со стандартом ФГОС3++. Программа реализуется с 2014 г. в очной и заочной формах и в разные периоды времени переживала подъемы и спады интереса со стороны абитуриентов, чаще всего обусловленного внешними объективными факторами. Высокие показатели набора и низкий процент отчисляемых являются ключевыми показателями эффективности и устойчивости программы. Поскольку в 2025 г. в России планируются реформы в сфере образования, затрагивающие магистратуру, создаются риски снижения количества поступающих. Следовательно, возникает необходимость в трансформации образовательной программы, максимально гибкой адаптации к запросам абитуриентов и потребностям рынка труда.

#### Библиографическая ссылка на статью:

Кульназарова А. В., Шутман Д. В. Перспективы развития магистерской программы «Реклама и связи с общественностью в коммерческой сфере» // Вестник СПбГУТ. 2024. Т. 2. № 1. С. 7. EDN: CSDZEE

#### Reference for citation:

Kulnazarova A., Shutman D. Prospects for the Development of the Master's Program «Advertising and Public Relations in the Commercial Sphere» // Herald of SPbSUT. 2024. Vol. 2. Iss. 1. P. 7. EDN: CSDZEE

Д. И. Хлебович [1] отмечает, что ключевыми направлениями развития образовательных программ магистратуры, среди прочих, становятся:

- выбор модели управления магистратурой в условиях конкуренции и дифференциации;
- развитие внешних партнерских связей вузов для формирования портфеля программ магистратуры нового поколения;
- возможности реализации исследовательского потенциала в магистратуре;
- особенности преподавательской занятости и практик при работе на программах магистратуры;
- анализ продуктового портфеля магистратуры в российских вузах и определение стратегических альтернатив его развития;
- востребованность работодателями формируемых в магистратуре компетенций и их соответствие потребностям рынка труда.

Исследователи фиксируют, что жизненный цикл новых магистерских программ недолог. Маркетинг российской магистратуры характеризуется незрелостью, и пересмотр подходов к разработке и продвижению новых программ поможет обеспечить рост их качества новых.

С учетом вышеизложенного для магистерской программы «Реклама и связи с общественностью в коммерческой сфере» в СПбГУТ приоритетным направлением развития является адаптация ее содержания к потребностям рынка труда, а также интенсификация и совершенствование маркетинга образовательного продукта.

### Постановка задачи

Перед университетом стоит задача сохранения качества и привлекательности образовательных программ в условиях конкуренции вузов и постоянно меняющихся внешних условий. Сохранение устойчивых позиций на рынке образовательных услуг требует комплексного подхода к совершенствованию и собственно образовательных программ, и организационных условий их реализации.

В исследовании рейтингового агентства QS World University Rankings [2], проведенном экспертами в 2018 г. с участием университетов восьми стран, выявлены *принципы устойчивости магистратуры* [3, с. 23]:

1) *Уникальность*:

- актуальность содержания, которое отражает современное состояние развития науки и отвечает требованиям рынка труда;
- уникальность содержания: программы основаны на специфике университета, его сильных сторонах;

2) *Узнаваемость*:

- видимость (доступность информации об образовательной программе);
- прозрачность и обеспечение логистики в процедурах организации учебного процесса;
- аккредитация программ.

3) *Устойчивость*:

- система поддержки преподавателей;
- интенсивная научная деятельность;
- развитая сеть партнерств университета;
- система поддержки студентов;
- собственная стратегия развития университета и стратегии интернационализации [3].

Отметим, что принцип «уникальность» отражает проработанность и качество основной образовательной программы, рабочих программ дисциплин, педагогического дизайна; принцип «узнаваемость» относится к маркетинговой, рекламной и PR-деятельности по привлечению абитуриентов, удержанию студентов, формированию лояльности; принцип «устойчивость» характеризует организационные аспекты магистратуры. Авторы статьи фокусируются на содержательном и маркетинговом аспектах развития образовательной программы. В классическом маркетинге продвижение начинается с продукта; в данном случае продуктом является основная образовательная программа (ООП). Для определения точек роста и вектора развития целесообразно проводить исследования целевой аудитории и рынка.

### Методика исследования

В качестве метода исследования применен опрос (анкетирование); его цель — выявление ожиданий потенциальных абитуриентов магистратуры от программы обучения. Опрос имеет пилотажный характер. Для проведения опроса была сформирована анкета из шести вопросов. Опрос проводился среди студентов 3-го и 4-го курсов бакалавриата по направлению «Реклама и связи с общественностью», обучающихся в СПбГУТ. Генеральная совокупность составляет 180 человек, выборка — 82 человека. Метод определения выборки — случайный. Студенты данной категории, во-первых, являются первостепенным сегментом целевой аудитории соответствующей магистерской программы, поскольку по статистике более 60 % магистрантов являются выпускниками бакалавриата того же направления; во-вторых, именно на 3–4-м курсах для студента актуализируется вопрос о дальнейшем обучении, осуществляется выбор программ, проводятся профориентационные мероприятия.

#### Результаты опроса

Вопрос 1. Планируете ли Вы продолжать обучение в магистратуре?

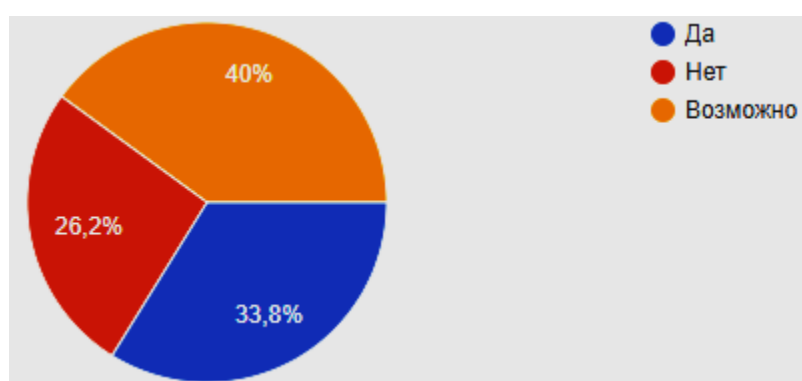


Рис. 1. Результаты ответов на вопрос № 1

26,2 % респондентов не планируют обучение в магистратуре. Те, кто ответил отрицательно на первый вопрос, на дальнейшие вопросы не отвечают. К последующим вопросам анкеты перешло 65 человек.

Вопрос 2. Если Вы планируете продолжать обучение в магистратуре, то по какому направлению?



Рис. 2. Результаты ответов на вопрос № 2

46,2 % респондентов ответили, что рассматривают программу «Реклама и связи с общественностью в коммерческой сфере», 32,3 % — другое гуманитарное направление. Кардинально менять сферу образования планирует 21,5 % студентов. Такая статистика говорит о том, что значительная часть студентов выражает готовность продолжать развиваться в выбранной профессии. Среди студентов 4-го курса таких 50 %, 3-го — 30 %. Вероятно, это обусловлено тем, что студенты-выпускники уже прошли больше видов практики, глубже погрузились в профессиональную среду и поэтому более склонны двигаться по уже выбранной траектории образования.

*Вопрос 3.* Каковы Ваши ожидания от обучения в магистратуре? (Тип вопроса — множественный выбор с возможностью добавления собственного ответа).

Вопрос направлен на выявление ожиданий от обучения в любой магистратуре, независимо от профиля. Среди наиболее популярных ответов:

- получить диплом для карьерного продвижения — 58,5 %;
- получать больше практики — 50,8 %;
- углубить знания в своей области — 47,7 %;
- осваивать новые дисциплины, отличающиеся от бакалаврских — 46,2 %;
- получить возможность преподавать в вузе — 16,9 %;
- получать больше академических знаний, заниматься наукой — 12,3 %.

Таким образом, обучение в магистратуре расценивается как важный фактор карьерного роста как в содержательном аспекте (через освоение новых знаний и навыков), так и в формально-юридическом (зачастую требования к кандидатам на замещение руководящих должностей включают наличие квалификации «магистр»). Респонденты выражают стремление к новизне и ориентированности на практику в обучении, при этом им важно и совершенствовать уже имеющуюся образовательную базу, и расширять область знаний. Наименьшую заинтересованность респонденты проявляют в академической науке и преподаванию, при этом возможность преподавания вызывает несколько больший интерес, чем научные исследования.

*Вопрос 4.* Какие новые навыки и знания Вы хотели бы получить в магистратуре по программе «Рекламе и связи с общественностью в коммерческой сфере»? (на вопрос отвечали респонденты, выбравшие эту программу обучения в вопросе № 2):

- Интернет-реклама, SMM — 61,5 %;
- Организация мероприятий — 53,8 %;
- Создание видеоконтента, дизайн — 43,1 %;
- Работа с документами, законодательством — 35,4 %;
- Организация политических кампаний — 27,7 %;
- Копирайтинг — 26,2 %;
- Знания в области психологии, саморазвития — 26,2 %;
- Работа с некоммерческими организациями — 16,9 %.

Наиболее актуальными сферами являются цифровое продвижение (интернет-реклама, продвижение в социальных сетях, а также тесно связанные с ними видеоконтент и дизайн), а также организация мероприятий. Респонденты также проявляют интерес к формально-юридической составляющей профессии, в большей степени 4-й курс (34 %), нежели 3-й (22 %), что связано с более высокой осведомленностью выпускников о практической деятельности рекламиста и специалиста по связям с общественностью, осознанием необходимости понимания законодательных и правовых аспектов профессии.

*Вопрос 5.* Каким Вы видите идеальное обучение в магистратуре по программе «Реклама и связи с общественностью в коммерческой сфере»?

Тип вопроса — открытый, респонденты самостоятельно описывали свои ожидания от обучения. В результате анализа свободных ответов респондентов было выявлено, что основным запросом является ориентация на практику (90 % ответов содержит пожелания к увеличению числа практических занятий и реальных кейсов, привлечению действующих специалистов) и гибкий график занятий (на это указывает 64 % респондентов). Респонденты выражают также заинтересованность в снижении финансовой нагрузки, поступлению на бюджетные места или получение стипендий.

## Выводы

Технологический прогресс predetermined значительные изменения в медиасфере. Цифровизация и интеграция информационных ресурсов, рост интерактивности, которая становится важнейшей характеристикой коммуникационных процессов, в значительной мере меняют не только сами системы средств массовой коммуникации, но и различные связанные с ними области деятельности. Стремительно развивается онлайн-среда. Новые технологические условия стимулируют развитие направлений, находящихся на стыке медиа и других сфер деятельности. Массовый контент и мультимедийную

продукцию производят сегодня не только СМИ, но и организации самой разной направленности. Новая медиасреда требует знания современных управленческих подходов, экономики отрасли, развивающихся медиатехнологий и форматов, новых приемов и методов работы с аудиторией. Таким образом, возникает потребность в специалистах междисциплинарной направленности, владеющих знаниями и навыками в области маркетинговых коммуникаций, создания мультимедийного контента, ориентирующихся в современных цифровых технологиях и различных медийных платформах [4].

Углубленное изучение интернет-коммуникации и интернет-технологий, создание контента для распространения онлайн, овладение технологиями продвижения в сети и управления онлайн-проектами становятся важной составляющей образовательной программы по рекламе и связям с общественностью. Внедрение соответствующих дисциплин продиктовано также тем фактом, что объем онлайн-контента, рынок интернет-рекламы и объемы медиапотребления в России и в мире ежегодно растут быстрыми темпами; коммерческие, некоммерческие и государственные структуры все более активно применяют интернет-технологии для установления диалога с целевой аудиторией, продвижения своих идей, товаров и услуг, формирования и поддержания имиджа и репутации, в то время как роль традиционных СМИ неизбежно снижается — это значит, что рынок труда нуждается в профессионалах, способных создавать медийные продукты и осуществлять коммуникации с учетом всех особенностей интернет-пространства.

Основное требование рынка труда к специалистам в области социальных коммуникаций — умение профессионально сочетать коммуникативные, управленческие, журналистские, технические и технологические навыки. Кроме того, такие специалисты должны уметь гибко адаптироваться к новым технологическим условиям, поскольку изменения в коммуникационно-информационной среде происходят стремительно и очевидно, что темп их будет нарастать. Кроме того, одной из наиболее значимых задач профессионального развития бакалавров и магистров направления «Реклама и связи с общественностью» (а также других направлений УГСН 42.00.00) является обучение навыкам работы с цифровыми медиа, в особенности в их вербальном аспекте (аудиальный и визуальный аспекты зачастую требуют иных профессиональных навыков, связанных с работой с техникой, специальным программным обеспечением и др.). Следовательно, выпускник должен быть способным как анализировать письменные медиапродукты, так и самостоятельно создавать востребованные медиатексты или коммуникационные продукты в различных цифровых жанрах [5].

Таким образом, выпускники-магистры в области рекламы и связей с общественностью должны сочетать:

- социально-организаторские знания и навыки (уметь сформировать коллектив для работы над проектом; знать, как привлечь к созданию информационного и развлекательного контента аудиторию; уметь привлекать аудиторию через интернет-платформы; в процессе создания информационных и развлекательных продуктов налаживать продуктивное взаимодействие с различными сегментами общества, организациями, учреждениями);

- производственно-технологические умения (профессионально участвовать в производственном процессе сбора, обработки, пакетирования информации с использованием современных программных и аппаратных средств; участвовать в процессе технологического проектирования интерактивных программных продуктов и интернет-сайтов, интернет-библиотек и баз данных готового аудиовизуального, текстового и иного контента с использованием компьютерной графики и иных технических средств);

- иметь устойчивые литературно-творческие навыки и уметь их применять на практике.

Вышеизложенное подтверждается результатами опроса, в ходе которого были выявлены ожидания целевой аудитории в отношении содержания магистерской программы «Реклама и связи с общественностью в коммерческой сфере». Ее развитие в СПбГУТ в данном направлении уже осуществляется через реализацию грантовых проектов фонда В. Потанина: так, в 2022 г. была разработана и внедрена новая дисциплина «Медиатекст на иностранном языке», в 2024 г. планируется внедрение дисциплины «Онлайн-продвижение и медиатекст в цифровой среде». Получение грантовой поддержки позитивно влияет также и на имидж магистратуры и выпускающей кафедры, поскольку свидетельствует о высоком кадровом потенциале и динамичном развитии образовательной программы.



### Литература

1. Хлебович Д. И. Образовательные программы магистратуры: ключевые вопросы развития // Известия Байкальского государственного университета. 2020. Т. 30. № 4. С. 532–540. DOI: 10.17150/2500-2759.2020.30(4). 532-540. EDN: EGHMFD
2. QS World University Rankings. URL: <https://www.topuniversities.com> (дата обращения 14.02.2024)
3. Аржанова И. В., Барышникова М. Ю., Вашурина Е. В., Заварыкина Л. В., Нагорнов В. А. и др. Магистратура в условиях внешних вызовов и внутренних противоречий: 8 вопросов о развитии магистратуры. М.: Издательско-полиграфический центр «КАРО», 2021. 208 с. EDN: YKWMLV
4. Землякова К. В., Кульназарова А. В. Цифровые медиа в профессиональной деятельности выпускников направления «Реклама и связи с общественностью» // Вестник факультета социальных цифровых технологий: материалы XXIII Международного Балтийского коммуникационного форума (Санкт-Петербург, 03–04 декабря 2021 г.). СПб.: СПбГУТ, 2021. С. 20–23. EDN: CWZQQS
5. Землякова К. В., Кульназарова А. В. Учебный курс «Медиатекст на иностранном языке» (Разработка и реализация в условиях нового образовательного пространства) // Профильное и профессиональное образование в условиях современного поликультурного пространства: материалы IX Международной научно-практической конференции (Челябинск, 10 февраля 2022 г.) / отв. ред. В. Б. Шаронова. Челябинск: Челябинский филиал ФГБОУВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», 2022. С. 33–39. EDN: RDQYGY

Статья поступила 13 марта 2024 г.  
Одобрена после рецензирования 25 марта 2024 г.  
Принята к публикации 03 апреля 2024 г.

### Информация об авторах

*Кульназарова Анастасия Витальевна* — кандидат политических наук, доцент кафедры социально-политических наук Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: [kulnazarova.av@sut.ru](mailto:kulnazarova.av@sut.ru)

*Шутман Денис Валерьевич* — кандидат политических наук, доцент, заведующий кафедрой социально-политических наук, декан факультета социальных цифровых технологий Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: [gf@sut.ru](mailto:gf@sut.ru)

## Prospects for the Development of the Master's Program «Advertising and Public Relations in the Commercial Sphere»

A. Kulnazarova ✉, D. Shutman

The Bonch-Bruевич St.-Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

**Purpose:** *the high level of competition and instability of the market situation in the field of educational services require flexibility, improvement and adaptation of master's programs to the needs of applicants and the labor market. The development of master's programs can be carried out at three levels: the content of the educational program; marketing of an educational product; organizational and pedagogical conditions of educational activity. The purpose of the work is to identify promising areas for the development of the master's degree program «Advertising and public relations» in a meaningful aspect. **Methods** used: a sociological survey in the questionnaire format. This is a pilot study. 82 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> year undergraduate students of the relevant field of study took part in the survey. **Result:** the intentions of students in the issue of further admission to the master's degree are revealed; the main motives, requests and expectations from studying at the master's degree are determined. It has been revealed that most students are considering continuing their studies, but they are primarily interested in applied education focused on obtaining specific skills. The priority is knowledge and skills in the field of digital communications and organizational skills. **Practical significance:** the results obtained can serve as a basis for the modernization of the Master's degree program «Advertising and Public Relations» and/or individual work programs of disciplines.*

**Keywords:** *master's degree, education, digital communications*

### Information about Authors

*Kulnazarova Anastasia* — Ph.D. of Political Sciences, Associate Professor of the Department of Socio-Political Sciences (The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications).  
E-mail: kulnazarova.av@sut.ru

*Shutman Denis* — Ph.D. of Political Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Socio-Political Sciences, Dean of the Faculty of Social Digital Technologies (The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: gf@sut.ru

## Институту магистратуры СПбГУТ 5 лет

УДК 621.397.13

# Особенности контроля параметров одночастотных сетей системы цифрового телевизионного вещания второго поколения

Бучатский А. Н., Куликов С. П.✉

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича  
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

**Постановка задачи:** в целях обеспечения бесперебойной и качественной трансляции сигналов цифрового эфирного телевидения необходим постоянный контроль над состоянием телевизионной сети. В действующих на данный момент нормативных документах по эксплуатации оборудования телевизионного вещания Российской Федерации не указана методика, позволяющая однозначно определить качество функционирования одночастотной сети цифрового наземного телевидения. **Целью работы** является обобщение теоретической информации по вопросам контроля параметров одночастотных сетей и представление обобщенной методики измерения одночастотных сетей цифрового наземного телевидения второго поколения. **Используемые методы:** синтез общедоступной теоретической информации в области цифрового телевидения и многолетние экспериментальные исследования функционирования одночастотной сети стандарта цифрового наземного телевидения второго поколения города Санкт-Петербурга и Ленинградской области. **Новизна:** элементами новизны представленной методики являются предварительный дистанционный контроль параметров L1-сигнализации и описанная последовательность практических измерений параметров одночастотной сети. **Результат:** использование представленного материала по контролю параметров одночастотной сети позволит сократить время обнаружения и, как следствие, время устранения аварийных ситуаций на сети телевизионного вещания Российской Федерации. **Практическая значимость:** указанная в данной статье методика применяется вещателями цифровой сети эфирного телевидения города Санкт-Петербурга и Ленинградской области, что позволило сократить финансовые затраты при эксплуатации сети цифрового телерадиовещания.

**Ключевые слова:** стандарт цифрового наземного телевидения второго поколения, одночастотная сеть, L1-pre сигнализация, L1-post сигнализация, идентификатор зоны одночастотной сети, идентификатор сети

## Введение

Для увеличения эффективности частотного ресурса большинство стран, применяющих стандарт цифрового наземного телевизионного вещания второго поколения (DVB-T2, аббр. от англ. Digital Video Broadcasting — Second Generation Terrestria) [1], используют режим одночастотной сети. Данный режим подразумевает объединение нескольких передающих станций в единую сеть, которая одновременно излучает идентичную информацию.

### Библиографическая ссылка на статью:

Бучатский А. Н., Куликов С. П. Особенности контроля параметров одночастотных сетей системы цифрового телевизионного вещания второго поколения // Вестник СПбГУТ. 2024. Т. 2. № 1. С. 8. EDN: TTLPPR

### Reference for citation:

Buchatskiy A., Kulikov S. Features of Control of Parameters of Single-Frequency Networks of the Second Generation Digital Television Broadcasting System // Herald of SPbSUT. 2024. Vol. 2. Iss. 1. P. 8. EDN: TTLPPR

Полезный сигнал, поступающий на входные интерфейсы приемных устройств, представляет собой сумму сигналов, передаваемых всеми DVB-T2 передатчиками. Одночастотная сеть функционирует только в зонах пересечения областей покрытия передающих станций. Данные зоны рассчитываются и измеряются на практике до момента ввода в эксплуатацию отдельных передающих станций [2].

К основным преимуществам режима одночастотной сети можно отнести высокую эффективность использования спектра, возможность построения сети с применением передающих устройств меньшей мощности. Из недостатков использования данного режима работы передающих устройств можно отметить необходимость в применении более точной синхронизации по частоте и системному времени, а также невозможность трансляции различного контента в пределах одной сети.

В целях корректного безаварийного функционирования системы цифрового эфирного телевидения второго поколения необходим непрерывный мониторинг состояния оборудования и одночастотной сети телевидения. В результате систематизации теоретических данных по правилам эксплуатации оборудования системы цифрового телевидения стандарта DVB-T2 для бесперебойного функционирования одночастотной сети необходимо выполнение следующих условий:

- сигнал, поступающий на все передатчики DVB-T2, должен быть сформирован одним и тем же устройством;

- все передающие устройства, входящие в одночастотную сеть, должны быть синхронизированы идентичными сигналами синхронизации; в данный момент используются сигналы 1 PPS (*аббр. от англ. Pulse per Second* — импульс в секунду) и 10 МГц, сформированные ГЛОНАСС-приемниками;

- планирование сети (выбор мощности и местоположения передатчиков, диаграммы направленности антенных систем и т. д.) должно быть выполнено таким образом, чтобы минимизировать возможные области интерференции [3];

- сеть должна быть оптимизирована регулировкой защитного интервала для того, чтобы свести интерференцию в зонах взаимного влияния передатчиков к минимуму.

При выполнении вышеописанных условий и штатной работе всех средств цифрового телевизионного вещания одночастотная сеть будет исправно функционировать. В противном случае, сигналы цифрового телевидения невозможно будет демодулировать.

В результате многолетней эксплуатации оборудования цифрового телевидения города Санкт-Петербурга и Ленинградской области было выявлено отсутствие методики по контролю качества функционирования одночастотной сети. Коллектив авторов предлагает осуществлять постоянный дистанционный мониторинг параметров одночастотной сети, включающий в себя контроль информации L1-сигнализации. Кроме того, при поступлении информации об отсутствии демодуляции сигнала в отдельных районах предлагается провести выездные измерения.

### Практические измерения параметров одночастотной сети

Для проведения практических измерений вне населенных пунктов необходима телескопическая мачта с возможностью крепления на ней антенны на высоте не менее 10 м от уровня земли. В случаях измерения параметров сигналов в населенном пункте необходимо использовать штатив с возможностью установки на нем приемной антенны на высоте 2 м от уровня перекрытия крыши здания [4]. Измерительные антенны, не менее двух штук, должны быть как с узкой диаграммой направленности, так и с широкой. Используя антенну с узкой диаграммой направленности, определяют азимут прихода полезного сигнала от каждого из передатчиков и производят измерение его параметров. Антенной с широкой диаграммой направленности измеряют качество функционирования одночастотной сети при приеме сигнала сразу от нескольких передающих устройств. Для измерения параметров сигнала используют телевизионные анализаторы с возможностью отображения спектра сигнала, измерения его качественных показателей (напряженность поля, соотношение сигнал/шум, коэффициент модуляционной ошибки (MER, *аббр. от англ. Modulation Error Ratio*), коэффициент битовой ошибки (BER, *аббр. от англ. Bit Error Ratio*), демодуляции видео и аудиоинформации. При отсутствии телевизионных анализаторов допускается использование спектроанализаторов совместно с телевизионными приемниками [5].

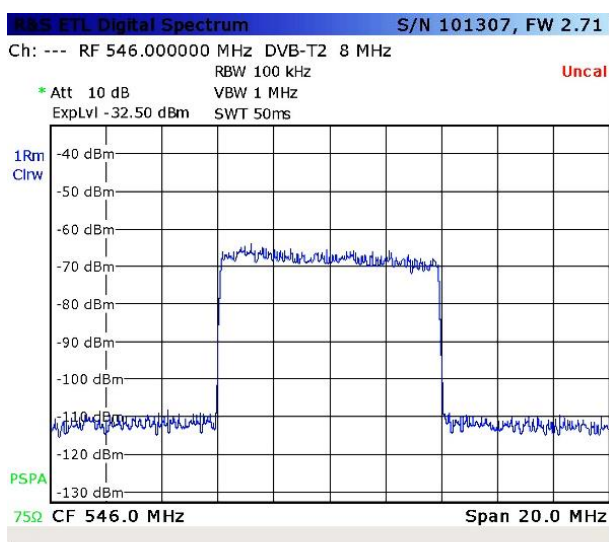
На основании синтеза информации по основам функционирования сети цифрового телевидения и многолетнего опыта эксплуатации оборудования телерадиовещания, коллектив авторов рекомендует придерживаться методики практических измерений одночастотной сети, представленной ниже поэтапно.

**Этап 1.** Установить антенну с широкой диаграммой направленности на телескопическую мачту или штатив.

**Этап 2.** Поворачивая приемную антенну по азимуту, сориентировать ее по максимальному уровню сигнала. Спектр сигнала указан на рисунке 1.

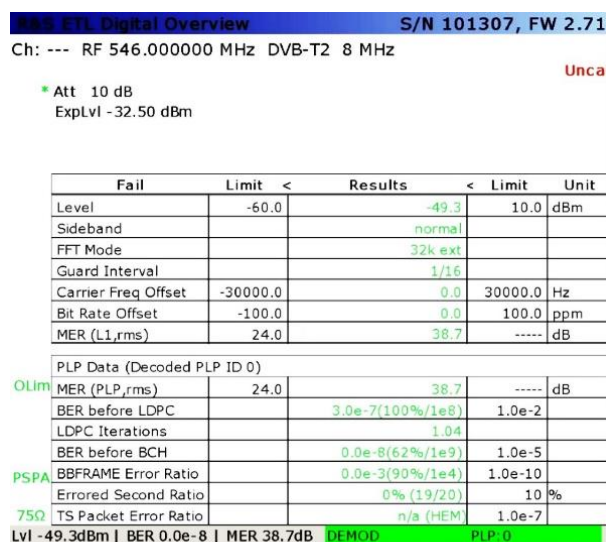
**Этап 3.** Определить тип канала приема.

**Этап 4.** Измерить параметры принимаемого сигнала (рисунок 2) от нескольких передающих станций.



Date: 27.MAY.2019 19:57:45

Рис. 1. Спектр принимаемого сигнала DVB-T2



Date: 27.MAY.2019 19:58:18

Рис. 2. Измерение параметров сигнала

**Этап 5.** В случае, если измеренные параметры сигнала принимают допустимые значения необходимо проанализировать L1-pre сигнализацию. L1-сигнализация в стандарте DVB-T2 передается с использованием двоичной фазовой манипуляции (рисунок 3а).

**Этап 6.** При отображении на экране телевизионного анализатора констелляции, указанной на рисунке 4а, необходимо проверить идентичность источников информации передающих станций и корректность установки идентификаторов зон одночастотной сети «CELL ID».

Определить передающее устройство с некорректными параметрами можно дистанционно, используя web-интерфейс каждого передающего устройства, или, установив антенну с узкой диаграммой направленности, проконтролировать значения идентификатора сети «Network ID» и идентификатора зоны одночастотной сети «CELL ID» каждой передающей станции. Исходя из опыта эксплуатации оборудования цифрового телевизионного вещания, можно отметить, что проблема самопроизвольного изменения значения «CELL ID» часто наблюдается при запуске новой линейки передающего оборудования.

**Этап 7.** После проверки идентичности параметров L1-pre сигнализации необходимо проконтролировать констелляционную диаграмму L1-post сигнализации. На рисунке 3б обозначена диаграмма с идентичной сигнализацией, а на рисунке 4б — с различной информацией в L1-post сигнализации.

Указанная ситуация с различными параметрами L1-post сигнализации наиболее характерна при разных значениях параметра «L1 freq». В данный момент в Российской Федерации не применяется технология временного разнесения, поэтому величина параметра «L1 freq» не имеет принципиального значения, но она должна быть одинаковой для всех передающих устройств, входящих в одночастотную сеть. В большинстве из них для значения «L1 freq» можно использовать показатель частоты сигнала, установленного на T2-шлюзе, или частоты сигнала, излучаемого самим передатчиком DVB-T2.

**Этап 8.** После проверки идентичности значения L1 сигнализации необходимо демодулировать видео- и аудиоинформацию и осуществить субъективную оценку качества.

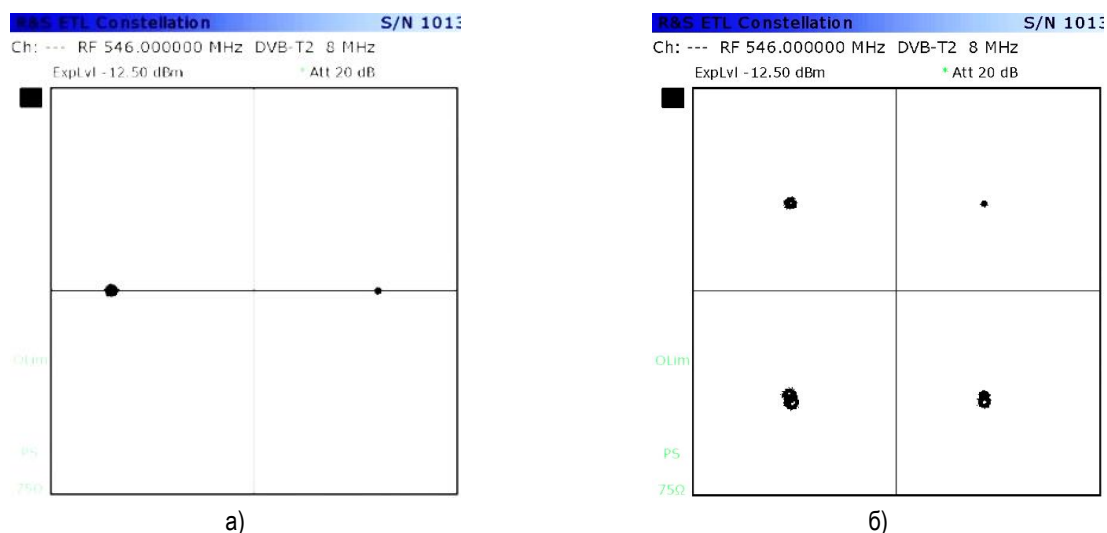


Рис. 3. Корректное отображение констелляционной диаграммы: а) L1-pre сигнализации; б) L1-post сигнализации

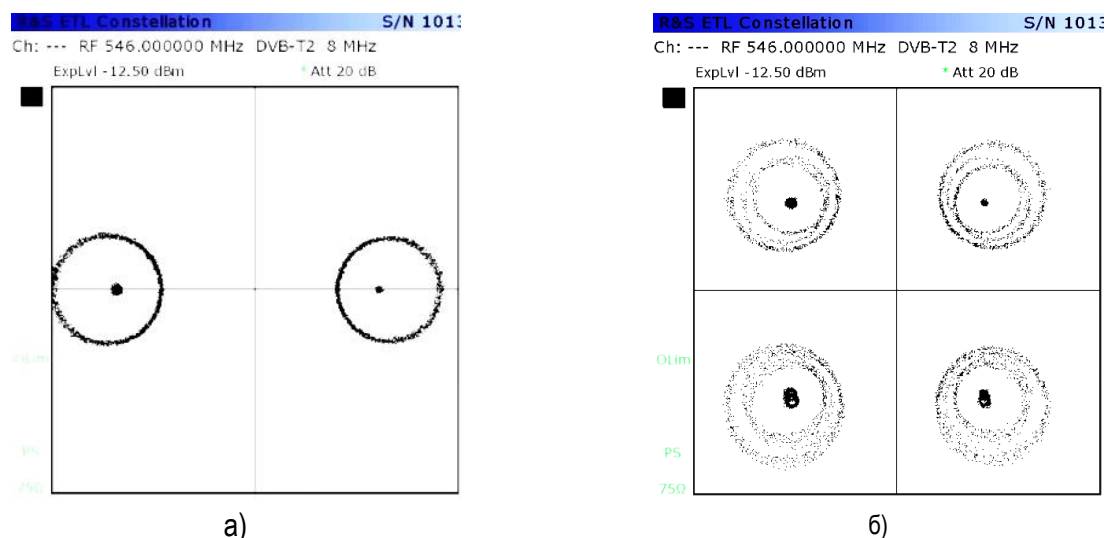


Рис. 4. Отображение констелляционной диаграммы: а) L1-pre сигнализации при различных параметрах сигнализации на передающих устройствах; б) L1-post сигнализации при различных параметрах сигнализации на передающих устройствах

Этап 9. Далее необходимо произвести аналогичные действия по измерению параметров сигнала и его демодуляции для остальных каналов физического уровня (PLP, *аббр. от англ.* Physical Layer Pipes).

При невозможности демодулировать отдельные каналы физического уровня необходимо проверить функционирование устройств дескремблирования, сплайсинга и реплейсирования сигнала. Проблемы дескремблирования сигнала возникают достаточно часто при отказе модуля условного доступа. В этом случае с одного из передающих устройств начинает транслироваться сигнал без дескремблирования отдельных сервисов, что приводит к различию информации, которая вещается передатчиками одночастотной сети. В области пересечения зон обслуживания передатчиков, вещающих исправный сигнал, и передатчика, вещающего недескремблированный сигнал, будет отсутствовать возможность демодуляции канала физического уровня, в котором находится скремблированный сервис. Дополнительно телезрители, находящиеся во всей области обслуживания передатчика, вещающего недескремблированный сервис, не смогут данный сервис демодулировать. При неисправности оборудования сплайсинга или вещания информации в других рекламных окнах проблемы будут наблюдаться только в области пересечения зон обслуживания передающего устройства с неисправным сплайсером и остальных передающих устройств для каналов физического уровня, в которых производится врезка локального контента. В случае неисправности оборудования реплейсирования у телезрителей будет отсутствовать возможность приема отдельных каналов физического уровня в области пересечения зон обслуживания передатчика с неисправным реплейсером и остальными передатчиками.

В случае некорректного функционирования одночастотной сети все параметры, кроме напряженности поля (уровня сигнала) и отношения сигнал/шум, будут равны нулю (исключение коэффициент BER, который, в этот момент, будет принимать максимальное значение). Для более точного определения неисправности, кроме случаев, указанных ранее, необходимо проанализировать эхо-диаграмму. При отсутствии демодуляции служебных сигналов DVB-T2 допускается произвести анализ времени запаздывания сигналов без демодуляции сервисов. В случае обнаружения на диаграмме сигнала с большим временем задержки или опережения основного сигнала (рисунок 5) необходимо изменить статическую задержку на передатчиках, воздействующих на данную точку приема.

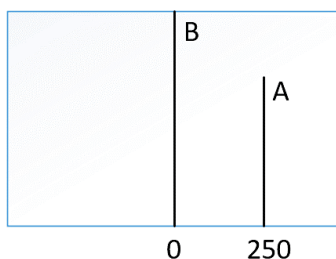


Рис. 5. Эхо-сигналы, превышающие величину защитного интервала

В Российской Федерации величина защитного интервала составляет 1/16 от длительности OFDM-символа (*аббр. от англ. Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*, т. е. символа, сформированного с применением технологии цифровой модуляции с использованием большого количества близко расположенных ортогональных поднесущих), или 224 мкс.

Если при анализе эхо-сигналов формируется диаграмма, содержащая большое количество эхо-сигналов с практически одинаковой задержкой между ними (рисунок 6), то необходимо проверить временные задержки сигнала на передающих устройствах и качество синхронизирующих сигналов.

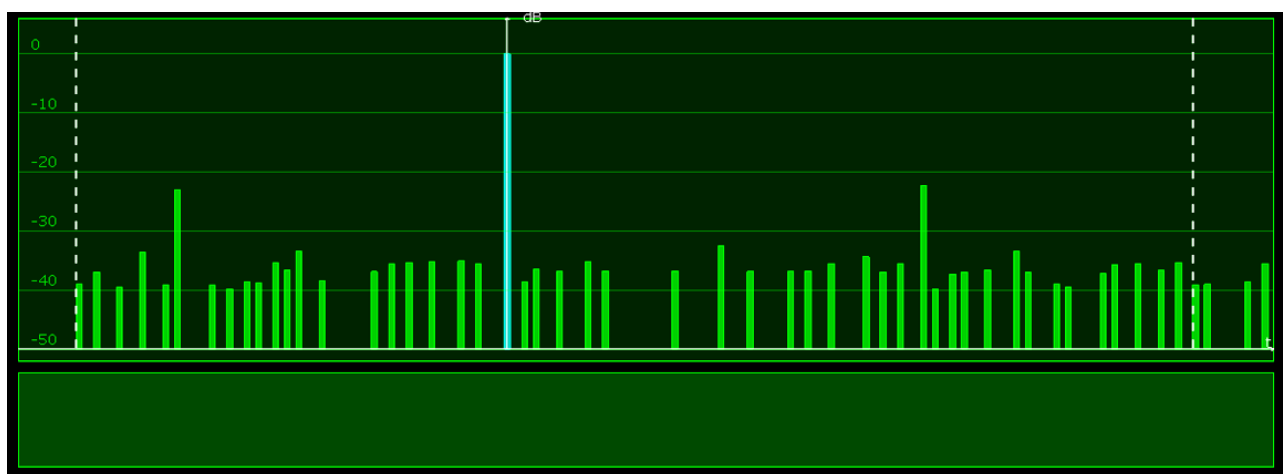


Рис. 6. Эхо-сигналы при функционировании передающих устройств в различных временных интервалах

Временные задержки сигнала можно проконтролировать через web-интерфейс передающих устройств (рисунок 7) или используя анализаторы транспортных потоков.

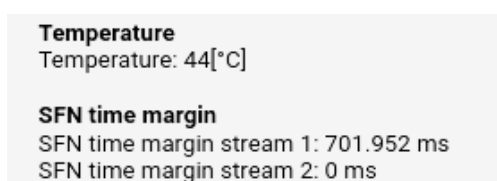


Рис. 7. Пример отображения времени задержки сигнала до излучения передатчиком Elti Sky

В случае если при анализе эхо-диаграммы на ней отсутствует сигнал от одного из передатчиков, зона обслуживания которого покрывает данную точку измерений, необходимо проконтролировать отклонение центральной несущей частоты этого передающего устройства [6].

### Заключение

В статье представлен синтез информации по вопросам функционирования одночастотных сетей систем цифрового наземного телевидения второго поколения. Применение указанной методики позволит сократить время обнаружения и устранения аварийного функционирования сети цифрового телевидения и сократить финансовые затраты на обслуживание объектов цифрового телевизионного вещания. Использование описанной в статье информации позволит повысить уровень квалификации работников в области цифрового телевизионного вещания.

В дальнейшем планируется провести исследования режимов функционирования одночастотной сети цифрового наземного телевидения Российской Федерации в зависимости от сетевых задержек сигнала интерфейса модулятора стандарта цифрового телевизионного вещания второго поколения (T2-MI — T2 Modulator Interface), поступающего на входные интерфейсы модуляторов.

### Литература

1. ГОСТ Р 58912-2020 Телевидение вещательное цифровое. Система эфирного наземного цифрового телевизионного вещания второго поколения DVB-T2. Общие технические требования. М.: Стандартинформ, 2020. 73 с.
2. Карякин В. Л. Технология эксплуатации систем и сетей цифрового телевидения стандарта DVB-T2. М.: СОЛОН-Пресс, 2020. 384 с. EDN: FUWWQV
3. Цыцулин А. К., Зубакин И. А. Концепция качества информации в теории связи // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2016. Вып. 4. С. 19–25. EDN: WWCMJH
4. Приложение № 2 к решению ГКРЧ от 16 октября 2015 г. № 15-35-04. Методика определения зоны обслуживания одночастотной сети передающих станций наземного цифрового ТВ-вещания стандарта DVB-T2. М., 2014. 89 с. URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/prilozhenie-2-k-resheniyu-gkrch-15-35-04-metodika-zona-obsluzhivaniya-ochstantsij-dvb-t2.pdf> (дата обращения 06.03.2024)
5. Джакония В. Е., Гоголь А. А., Друзин Я. В., Ерганжиев Н. А., Коганер С. Э. и др. Телевидение: учебник для вузов. М.: Горячая линия-Телеком, 2007. 616 с. EDN: OVVBJV
6. Бучатский А. Н., Гузенко О. А., Куликов С. П. Особенности измерений в одночастотных сетях цифрового эфирного телевидения второго поколения на примере анализа сигналов передающих станций Ленинградской области // Информационные технологии и телекоммуникации. 2019. Т. 7. № 3. С. 7–12. DOI: 10.31854/2307-1303-2019-7-3-7-12. EDN: GRALFO

Статья поступила 15 марта 2024 г.  
Одобрена после рецензирования 25 марта 2024 г.  
Принята к публикации 08 апреля 2024 г.

### Информация об авторах

*Бучатский Александр Николаевич* — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры телевидения и метрологии, директор института магистратуры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: abuchatsky@sut.ru

*Куликов Сергей Павлович* — старший преподаватель кафедры телевидения и метрологии Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: kulikov.sp@sut.ru



# Features of Control of Parameters of Single-Frequency Networks of the Second Generation Digital Television Broadcasting System

A. Buchatskiy, S. Kulikov✉

The Bonch-Bruевич St.-Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

**Problem statement:** *in order to ensure uninterrupted and high-quality broadcasting of digital terrestrial television signals, it is necessary to constantly monitor the condition of the television network. The current regulatory documents on the operation of television broadcasting equipment of the Russian Federation do not specify the methodology that allows to unambiguously determine the quality of functioning of a single-frequency network of digital terrestrial television. **The purpose of the work** is to summarize the theoretical information on the control of single-frequency network parameters and to present a generalized methodology for measuring single-frequency networks of digital terrestrial television of the second generation. **Methods used:** synthesis of publicly available theoretical information in the field of digital television and long-term experimental studies of functioning of single-frequency network of Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial standard of St. Petersburg and Leningrad region. **Novelty:** the elements of novelty of the presented methodology are the preliminary remote control of L1-signaling parameters and the described sequence of practical measurements of single-frequency network parameters. **Result:** the use of the presented material on the control of single-frequency network parameters will reduce the time of detection and, consequently, the time of elimination of emergency situations on the television broadcasting network of the Russian Federation. **Practical significance:** the methodology specified in this article is applied by broadcasters of the digital terrestrial television network of St. Petersburg and the Leningrad region, which allowed to reduce financial costs in the operation of the digital television and radio broadcasting network.*

**Keywords:** *digital video broadcasting – second generation terrestrial, single frequency network, L1-pre signaling, L1-post signaling, CELL ID, Network ID*

## Information about Authors

*Buchatskiy Alexander* – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Television and Metrology, Director of Master’s Institute (The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications). E–mail: abuchatsky@sut.ru

*Kulikov Sergey* – Senior Lecturer at the Department of Television and Metrology (The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications). E–mail: kulikov.sp@sut.ru

## Институту магистратуры СПбГУТ 5 лет

УДК 621.396.67

# Современное состояние и перспективы развития адаптивных антенных комплексов в радиотехнических системах

Глушанков Е. И. ✉, Коровин К. О., Бойко И. А., Борисов М. Г.

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича  
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

**Актуальность** работы обусловлена необходимостью повышения помехоустойчивости радиотехнических систем, функционирующих в условиях воздействия различных пространственно-разнесенных от полезного сигнала помех, подавление которых возможно за счет формирования адаптивной диаграммы направленности многоэлементных антенн. **Результаты:** в первой части работы проведен анализ и предложены варианты построения антенных систем СВЧ-диапазона, используемые для построения антенных решеток с управляемыми диаграммами направленности. Показано, что наиболее целесообразно создавать антенные решетки с гибридным управлением лучом, то есть полностью активным управлением, с возможностью адаптивного управления по одному из направлений сканирования, и возможность переключения лучей/многолучевой работы в другом. Во второй части работы рассматриваются прямые методы адаптации антенн и алгоритмы прекодирования. Приведено математическое описание процедур адаптивной обработки сигналов, а также представлены результаты анализа и реализации исследуемых алгоритмов на программируемых логических интегральных схемах в различных ситуациях сигнально-помеховой обстановки при разных угловых рассогласованиях между сигналом и помехами и различных их энергетических характеристиках. Приведены результирующие диаграммы направленности антенной решетки, измеренные в безэховой камере и обеспечивающие адаптивную обработку сигналов. Результаты проведенных натурных экспериментов показали приемлемое совпадение теоретических и экспериментальных данных. **Практическая значимость:** результаты работы могут быть использованы при разработке адаптивных антенных комплексов для радиотехнических систем различного функционального назначения, при анализе и практической реализации алгоритмов пространственно-временной обработки сигналов на программируемых логических интегральных схемах и при исследовании адаптивных алгоритмов в безэховой камере.

**Ключевые слова:** антенные решетки, адаптивные антенные решетки, алгоритмы адаптации

### Особенности построения антенных комплексов в СВЧ-радиолиниях

Антенные системы, применяемые в радиотехнических системах, прошли громадный путь за более, чем столетие развития. В то время как первые антенны являлись одним или несколькими простейшими излучателями, современные антенные системы, особенно в диапазоне СВЧ (3-30ГГц), как правило, представляют собой антенные решетки – сложнейшие комплексы, включающие не только из-

#### Библиографическая ссылка на статью:

Глушанков Е. И., Коровин К. О., Бойко И. А., Борисов М. Г. Современное состояние и перспективы развития адаптивных антенных комплексов в радиотехнических системах // Вестник СПбГУТ. 2024. Т. 2. № 1. С. 9. EDN: AKVWWB

#### Reference for citation:

Glushankov E., Korovin K., Boyko I., Borisov M. The Current State and Prospects for the Development of Adaptive Antenna Complexes in radio Engineering Systems // Herald of SPbSUT. 2024. Vol. 2. Iss. 1. P. 9. EDN: AKVWWB

лучающие элементы, но и фидеры, устройства формирования луча (beamformer), процессоры для расчета требуемого амплитудно-фазового распределения и многое другое.

Впервые антенные решетки были использованы Гульельмо Маркони в 1901 г. для увеличения усиления антенн при передаче сигналов азбуки Морзе через Атлантику [1]. Г. Маркони использовал четыре башенные антенны высотой 61 м, расположенные в виде кольцевой решетки в Полдху (Англия), для передачи сигнала, обозначающего букву «S», на расстояние 3 425 км в Сигнал-Хилл (Сент-Джон, о. Ньюфаундленд, Канада). Еще одна попытка использовать несколько антенн была предпринята К. Ф. Брауном, продемонстрировавшим преимущества, достижимые с помощью фазированных антенных решеток в 1905 г. В 1909 году Г. Маркони и К. Ф. Браун получили Нобелевскую премию по физике за «признание их вклада в развитие беспроводной телеграфии» [2].

В настоящее время антенные решетки применяются в различных радиотехнических системах – радиолокационных, пеленгаторных – для определения координат объекта, связанных – в системах мобильной и космической связи, в радиоастрономии. Антенные решетки являются одним из наиболее перспективных направлений развития антенных систем. Можно выделить два основных типа: классические и смарт решетки. Классические антенные решетки, в которых основной луч направляется в заданном направлении, называются фазированными антенными решетками, решетками с управлением лучом или сканирующими решетками. Управление лучом осуществляется с помощью фазовращателей либо линий задержки, обеспечивающих требуемый сдвиг фаз на радиочастоте. Данный подход к изменению фазы называется электронным управлением лучом, так как фаза тока изменяется непосредственно на каждом антенном элементе. Смарт антеннами называются антенные решетки, в которых диаграмма направленности (ДН) формируется в соответствии с определенными оптимальными критериями. Классификация смарт антенн, представленная в работе [3], приведена на рисунке 1.

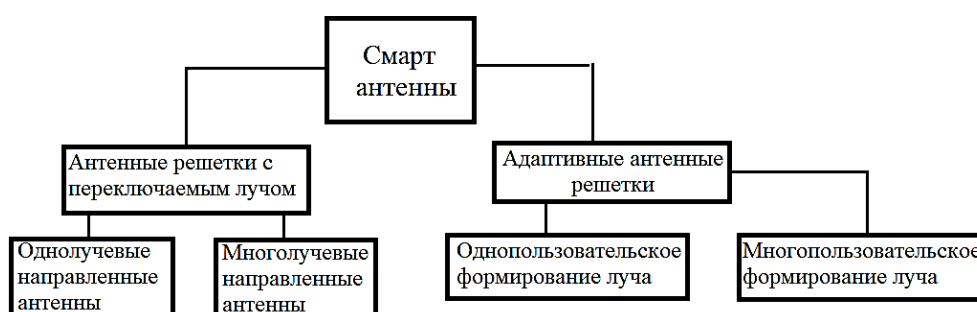


Рис. 1. Классификация смарт антенн

В первой части данной работы предполагается рассмотреть варианты конструктивной реализации и построения фазированных антенных решеток и антенных смарт решеток с переключаемым лучом. Во второй части предполагается рассмотреть алгоритмы адаптации, используемые в современных адаптивных антенных решетках.

### Сканирование антенной решетки

Принцип фазового сканирования линейной эквидистантной антенной решетки приведен на рисунке 2. Отклонение главного лепестка антенной решетки может обеспечиваться заданием разности фаз  $\Delta\phi$  и временной задержки между излучателями решетки  $\Delta t$ . Выбор между заданием временной  $\Delta t$  или фазовой  $\Delta\phi$  задержки для реализации необходимого возбуждения излучателей определяется особенностями практической реализации. Для аналоговых схем чаще используют фазовращатели, поскольку они меньше, легче и дешевле, чем блоки временной задержки. Для цифровых схем временная задержка легко реализуется программно для двух или более сигналов. Преимуществом использования временной задержки является инвариантность относительно частоты, что позволяет обеспечить более широкую рабочую полосу частот.

В случае прямоугольной плоской антенной решетки с прямоугольным расположением элементов сканирование луча обеспечивается заданием требуемого фазового распределения (или временных задержек) независимо вдоль рядов (горизонтально) и колонок (вертикально) антенной решетки.

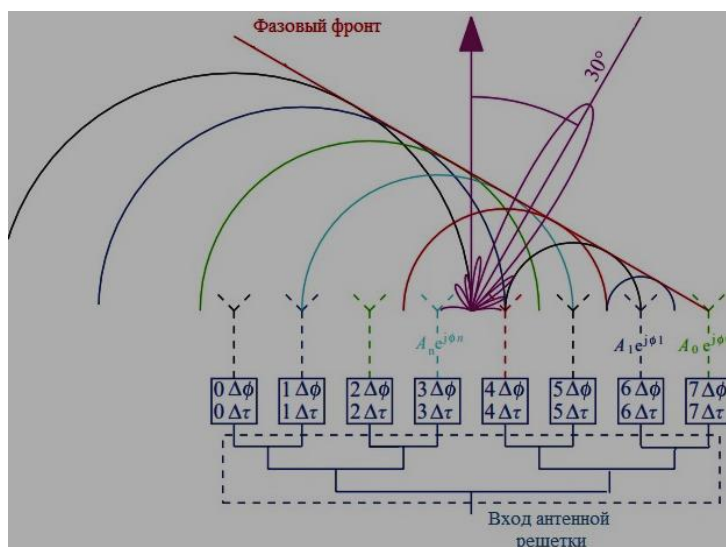


Рис. 2. Сканирование линейной эквидистантной фазированной антенной решетки заданием разности фаз  $\Delta\phi$  или задержки  $\Delta\tau$

### Диаграммообразующие схемы

Для формирования (в общем случае) амплитудно-фазового распределения могут использоваться различные диаграммообразующие схемы (ДОС): beamformers (BF) – в случае активных фазированных антенных решеток или beamforming networks (BFN) – в случае фазированной антенной решетки. При многолучевых антенных решетках ДОС представляет собой многополюсник, количество входов которого соответствует количеству формируемых лучей, а выходов – количеству элементов антенной решетки, где элемент может представлять собой как одиночный излучатель, в случае линейной антенной решетки, так и несколько излучателей, для прямоугольной решетки или подрешетки. Этот вариант является весьма перспективным для создания так называемых гибридных антенных решеток, когда формирование луча в одном направлении сканирования производится цифровым методом, при помощи BF, а в другом направлении – при помощи схемы (BFN) [4–5].

Вариант ДОС в виде аналоговой схемы выполняется из пассивных элементов: направленных ответвителей, мостов, фиксированных фазовращателей, отрезков линии передачи, делителей мощности и т. д и служит для реализации требуемого амплитудно-фазового распределения, соответствующего различным лучам. Имеется несколько вариантов построения ДОС, однако наибольшее распространение получили параллельная (матрица Батлера [6]) и последовательная (матрица Бласса [7]) схемы.

Матрица Батлера является аналоговой реализацией быстрого преобразования Фурье для обеспечения нескольких лучей ДН при подаче сигналов на входные порты. Ввиду наличия ответвителей и фазовращателей в матрице Батлера имеются потери (не меньше 0,5 дБ на одном делителе/фазовращателе), возрастающие с увеличением размера матрицы, поэтому матрицы размером больше  $16 \times 16$  не рассматриваются. Матрица имеет  $N$  входов (порты, соответствующие различным лучам) и  $N$  выходов (антенные порты), которые объединяются и комбинируются с требуемыми фазовыми сдвигами для обеспечения нескольких лучей, причем  $N = 2^k$ , где  $k$  – целое число. Матрица является взаимной, т.е. обеспечивает несколько лучей ДН, как при передаче, так и при приеме. Простейший вариант матрицы Батлера  $2 \times 2$  представлен на рисунке 3а. Одним из примеров практического применения является спутник Iridium, использующий 16-лучевой формирователь луча на основе матрицы Батлера по углу возвышения и 8-лучевой матричный формирователь луча на основе матрицы по азимуту [8]. В настоящее время активно рассматривается возможность использования матриц Батлера различной размерности для систем мобильной связи в диапазонах Sub-6GHz и mmWave [9–12].

Матрица Бласса [7] является более сложной, позволяющей обеспечить произвольное число одновременных лучей. Она имеет  $N$  входов и  $M$  выходов (входные и антенные порты, соответственно) и  $N \times M$ -ответвителей, коэффициент деления которых меняется. Он также включает нагрузки для поглощения неиспользуемой мощности сигнала. Входы комбинируются в разных соотношениях с различной длиной пути для создания нескольких лучей одновременно. Пример матрицы Бласса приведен на

рисунке 3б. Матрица Бласса обладает большей гибкостью, чем матрица Батлера, без ограничения по количеству входов/выходов  $M = N = 2^k$ . Однако для этого требуются сложные делители/сумматоры мощности, кроме того, часть мощности поглощается согласованными нагрузками, что влечет за собой некоторую потерю эффективности. Направление и форма луча определяются временной задержкой/сдвигом фазы и амплитудными весами, обеспечиваемыми коэффициентами деления.

Практически важным вариантом реализации ДОС является матрица Нолена, впервые описанная в докторской диссертации Дж. К. Нолена, опубликованной в 1965 г. Схема матрицы приведена на рисунке 4.

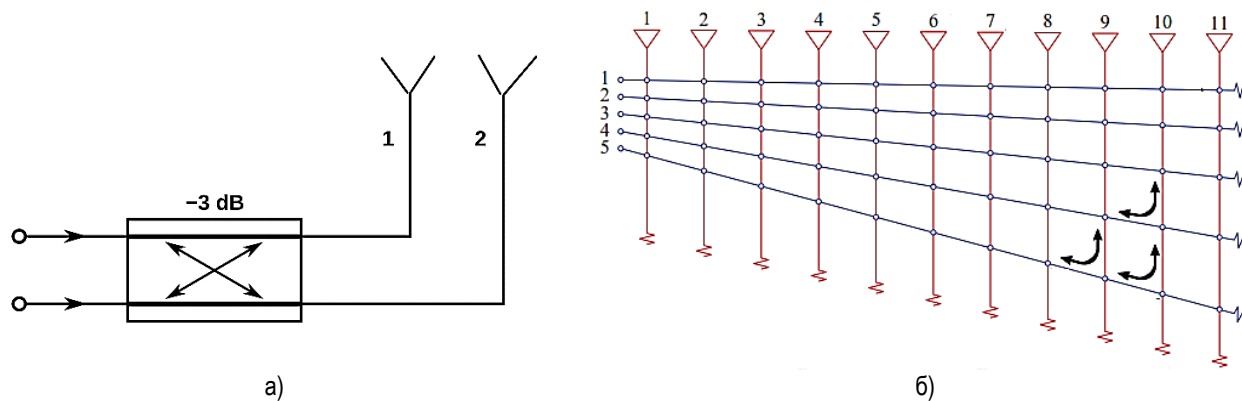


Рис. 3. Матрица Батлера 2×2 (а) и матрица Бласса 5×11 (б)

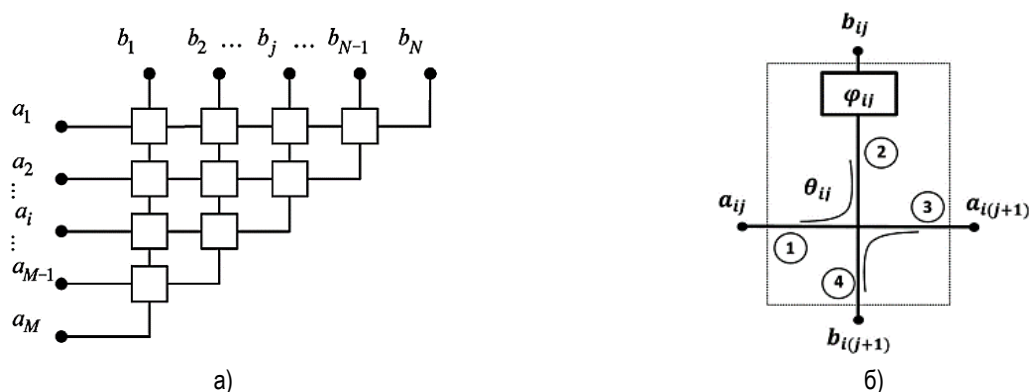


Рис. 4. Матрица Нолена (а) и детали узла (б) [13]

Матрица Нолена является общей формой ортогональной BFN, основанной на последовательной топологии, аналогичной матрице Бласса. В. С. Каммингс описал итеративную процедуру проектирования для определения всех ответвителей и фазовращателей, составляющих матрицу Нолена [14]. Он также показал, что матрица Нолена может быть упрощена и в конечном итоге сведена к матрице Батлера, для случая, когда количество портов равно целой степени 2. Таким образом, матрицу Нолена можно рассматривать как реализацию общего дискретного преобразования Фурье, аналогично матрице Батлера, представляющую собой быстрое преобразование Фурье [15]. Будучи ортогональной ДОС, матрица Нолена размерности  $N \times N$  будет иметь тот же набег фазы, что и матрица Батлера, однако ограничения на возможные значения  $N$  отсутствуют.

Практически важным вариантом пространственной реализации ДОС (в виде устройства) являются линза Ротмана. Схематическое изображение линзы Ротмана приведено на рисунке 5. В отличие от рассмотренных выше матриц Батлера, Бласса и Нолена, линза Ротмана является устройством с временной задержкой, что обеспечивает значительно больший диапазон рабочих частот. Принцип работы линзы Ротмана заключается в том, что расстояния, которые проходит RF-сигнал при распространении от входных до выходных портов, различны и подобраны таким образом, что обеспечивают требуемое распределение временных задержек сигнала по выходным портам. В настоящее время благодаря указанным свойствам линза Ротмана рассматривается в качестве одного из основных вариантов реализации BFN для гибридных антенных решеток [16–19].

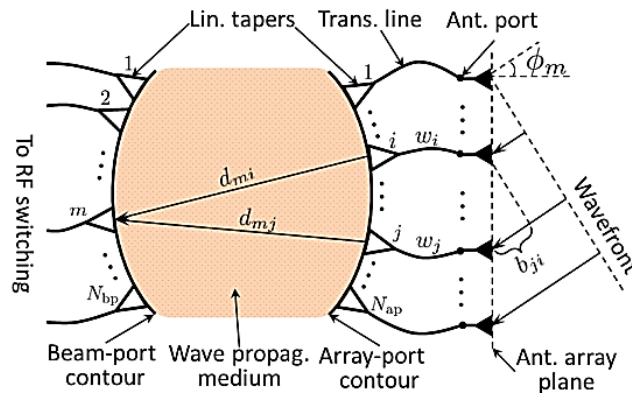


Рис. 5. Схематическое представление линзы Ротмана [16]

Рассмотренные варианты ДОС позволяют создавать антенные решетки с гибридным управлением лучом, т. е. полностью активным управлением, с возможностью адаптивного управления по одному из направлений сканирования, и возможностью переключения лучей/многолучевой работы по другому направлению. В ближайшей перспективе, для работы в комплексах связи эта система является наиболее многообещающей.

### Адаптивная обработка сигналов в антенных комплексах радиотехнических систем

#### Алгоритмы адаптивной обработки сигналов в антенных решетках

Существует большое количество различных алгоритмов адаптивной пространственно-временной обработки сигналов (ПВОС) в антенных решетках [20–25]. В данной работе рассмотрим два класса алгоритмов: прямые алгоритмы адаптации приемных антенн и алгоритмы для передающих антенных систем с прекодированием. Их выбор обусловлен возможностью рассмотрения на примерах адаптации приемных и передающих антенных систем в радиотехнических комплексах различного назначения.

К прямым методам адаптации относят адаптивные алгоритмы, которые преобразуют вектор входного воздействия в соответствии с требованиями выходного сигнала при априорно неизвестных статистических характеристиках входного воздействия:

$$y = W^T x,$$

где  $y$  – выходной сигнал, который стремится к образцовому по заданному критерию;  $W$  – матрица весовых коэффициентов;  $x = Hd + n$  – вектор входного воздействия, полученный после прохождения полезного сигнала через канал связи, здесь  $H$  – канальная матрица, а  $n$  – вектор аддитивного белого гауссовского шума, размерность матриц и векторов определяется числом элементов антенной решетки. Другими словами, прямые методы адаптации осуществляют постобработку сигналов на приемной стороне с целью очищения ее от шумов и выравнивания частотной характеристики.

Для стационарных систем оптимальным алгоритмом ПВОС является алгоритм Винера с критерием наилучшего приближения выходного сигнала к образцовому минимуму среднего квадрата ошибки.

Случай для многосигнального режима приведен ниже:

$$F(W_k) = M[e_k^2] = M[(d_k - W_k^T x_k)^2] \rightarrow \min_W$$

Решением целевой функции является матрица оптимальных весовых коэффициентов  $W_{opt}$  по критерию минимума среднего квадрата ошибки:

$$W_{opt} = R_{xx}^{-1} R_{dx},$$

где  $R_{xx}$  – автокорреляционная матрица входного воздействия;  $R_{dx}$  – матрица взаимной корреляции между входным воздействием и образцовым сигналом.

Недостатком алгоритма Винера является высокая вычислительная сложность, связанная с необходимостью расчета обратной корреляционной матрицы на каждой итерации. В интересах уменьшения вычислительной сложности используют итерационные алгоритмы поиска оптимального винеровского решения [26, 27]. Одними из простейших итерационных алгоритмов является класс алгоритмов LMS с целевой функцией минимума квадрата ошибки:

$$F(w_k) = e_k^2 = (d_k - w_k^T x_k)^2 \rightarrow \min_w.$$

В случае, если сигнал не является стационарным, то есть его энергия изменяется во времени, используют нормированный алгоритм LMS (NLMS) с рекуррентной формулой ВВК:

$$\hat{w}_{k+1} = \hat{w}_k + \mu_k e_k x_k,$$

где  $e_k = z_k - y_k = z_k - w_k^T x_k$  – сигнал ошибки;  $\mu_k$  – нормализованный шаг адаптации:

$$\mu_k = \frac{\mu_0}{x_k^T x_k + \varepsilon},$$

где  $x_k^T x_k$  – мгновенная энергия сигнала;  $\mu_0$  – фиксированное значение шага, влияющее на сходимость алгоритма;  $\varepsilon$  – параметр, определяющий максимальное значение шага при нулевом входном сигнале.

Вторая большая группа алгоритмов ПВОС – прекодирование или предварительное кодирование, которое заключается во внесении предискажений в передаваемый сигнал:

$$x = Pd,$$

где  $d$  – вектор полезных сигналов;  $P$  – прекодирующая матрица такая, что на приемной стороне:

$$y = H^T x + n = H^T P d + n.$$

Другими словами, алгоритмы прекодирования осуществляют предобработку сигналов на передающей стороне с целью минимизации влияния канала связи на приемной стороне [28]. Для работы алгоритмов прекодирования необходима информация о состоянии канала, получаемая с помощью пилот-сигналов от абонентов по нисходящей линии [29].

Для алгоритмов прекодирования оптимальным является алгоритм обращения в нуль (Zero-Forcing):

$$P = H^* G^{-1}, \quad G = H^T H^*, \\ y = H^T P d + n = H^T H^* (H^T H^*)^{-1} d + n = d + n.$$

Недостатком данного алгоритма является трудоемкая операция обращения матрицы  $G$ , поэтому на практике чаще всего используют итерационные алгоритмы.

Одним из простейших итерационных алгоритмов прекодирования является алгоритм Ньютона, который обеспечивает сходимость оценки обратной матрицы  $\hat{G}^{-1}$  к истинному значению:

$$\hat{G}^{-1} = X_k = X_{k-1} (2I - G X_{k-1}).$$

Другим итерационным алгоритмом является алгоритм Чебышева, обеспечивающий большую скорость сходимости, однако имеющий большую вычислительную сложность:

$$\widehat{G}^{-1} = X_k = X_{k-1}[3I - GX_{k-1}(3I - GX_{k-1})].$$

Компромиссом между вычислительной сложностью и скоростью сходимости будет обладать модифицированный алгоритм Ньютона, обладающий меньшей вычислительной сложностью при обеспечении скорости сходимости не хуже, чем у алгоритма Чебышева [30]. Повышение скорости сходимости обеспечивается за счет введения переменного шага адаптации:

$$\widehat{G}^{-1} = X_k = X_{k-1}[(\lambda_k + 1)I - \lambda_k GX_{k-1}],$$

где  $\lambda_k$  постепенно уменьшается с каждой итерацией:

$$\lambda_k = \lambda_{k-1}(1 - \varepsilon),$$

$\varepsilon$  – константа, влияющая на уменьшение шага адаптации.

На рисунке 6 приведено сравнение скорости сходимости алгоритмов Ньютона, Чебышева и модифицированного Ньютона. На рисунке 7 показаны зависимости сходимости прекодирующей матрицы к оптимальным значениям от параметров  $\lambda_0$  и  $\varepsilon$ .

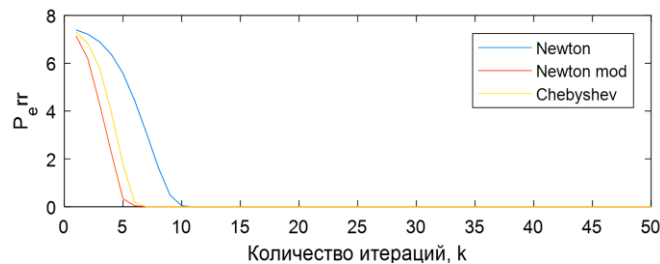


Рис. 6. Скорость сходимости прекодирующей матрицы к оптимальным значениям

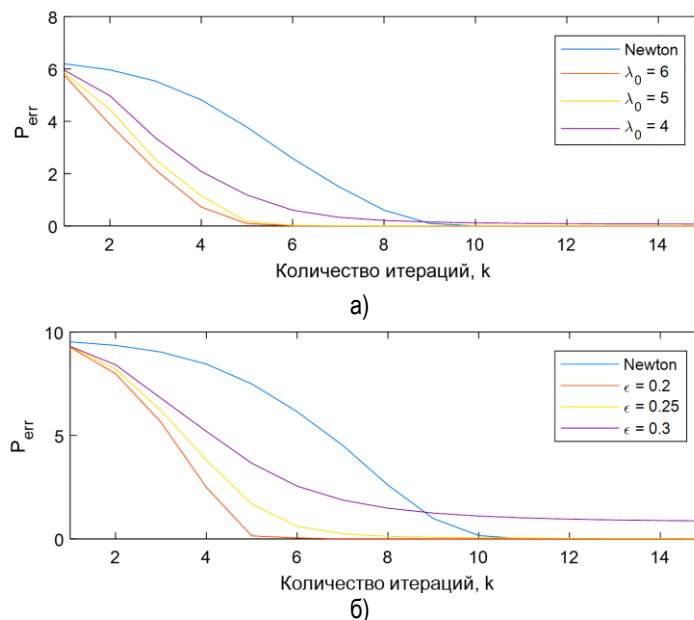


Рис. 7. Графики сходимости прекодирующей матрицы в зависимости от начального шага адаптации  $\lambda_0$  (а) и параметра  $\varepsilon$  (б)

### Моделирование и реализация алгоритмов ПВОС

Для реализации алгоритмов адаптивной обработки сигналов был создан макет 8-элементной адаптивной антенной решетки [31]. В качестве устройства, на котором были реализованы исследуемые адаптивные алгоритмы, использовалась отладочная плата RF-SoC HiTech Global HTG-ZRF8-28 [32].



Измерения на прием проводились в ближнем поле, где ДН не сформирована до конца, а мощность излучения сильно зависит от расстояния между передающей антенной, служащей макетом источника полезного сигнала, и приемной адаптивной 8-элементной цифровой антенной решетки (рисунок 8). В качестве передающей антенны источника сигнала использовалась антенна Вивальди с рабочим диапазоном частот 2300–2620 МГц. При проведении натурных испытаний в безэховой камере (БЭК) выбранная частота источника сигнала – 2350,289 МГц. В качестве передающих антенн источников помех использовались разработанные антенные элементы с кросс-поляризацией. Выбранная частота на излучения помех – 2350,4 МГц (рисунок 9).

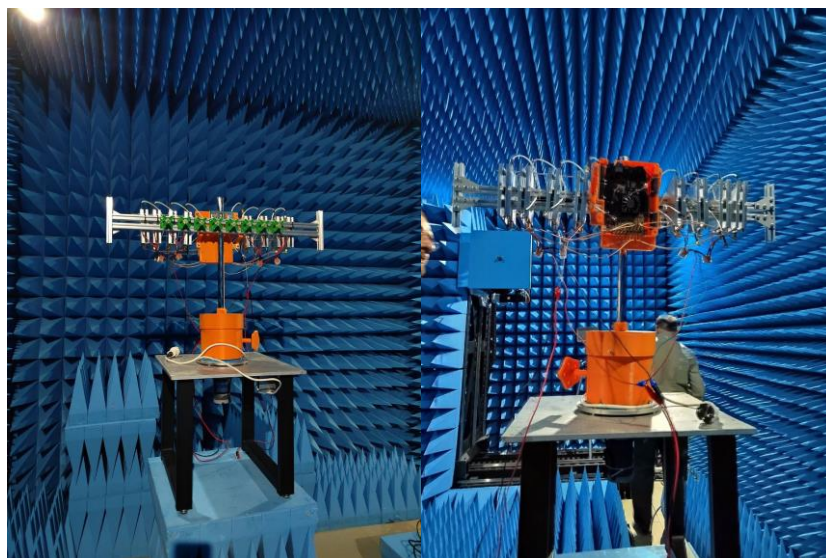


Рис. 8. Адаптивная антенная решетка в безэховой камере

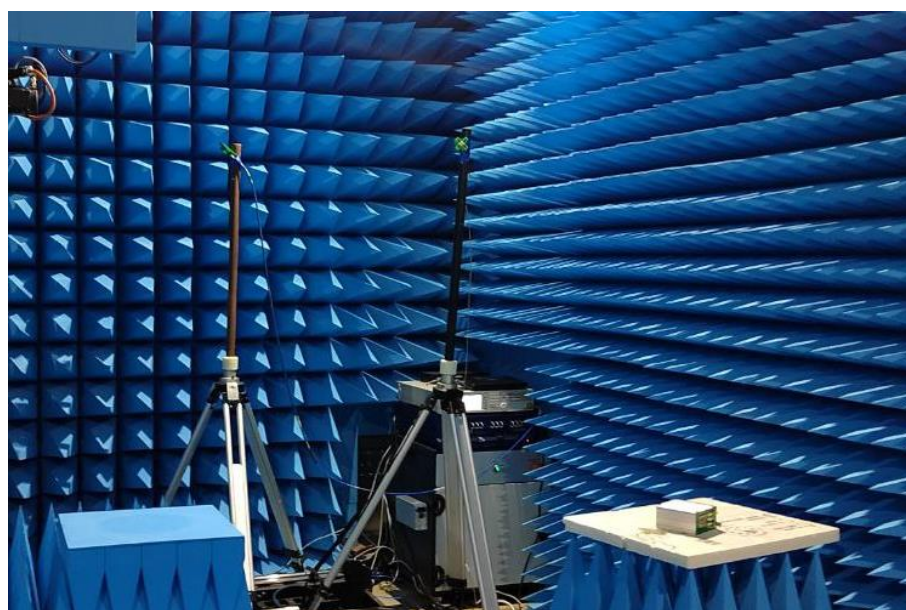


Рис. 9. Антенны, используемые для излучения полезного сигнала (слева) и помехи (справа)

На рисунке 10 приведено сравнение ДН математической модели и реальной, полученной при измерении в БЭК для работы алгоритма с обращением корреляционной матрицы в многосигнальном режиме работы на прием (при угле прихода сигнала –  $0^\circ$ , аттенюация помехи соответствует  $-5$  дБ). На рисунке 11 приведены результаты сравнения ДН математической модели и реальной, полученной при измерении в БЭК для работы итерационного алгоритма NLMS в односигнальном режиме работы на прием (при угле прихода сигнала –  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ , аттенюация помехи соответствует  $0$  дБ на графиках 11а–11г и  $-5$  дБ на графиках 11д–11к).

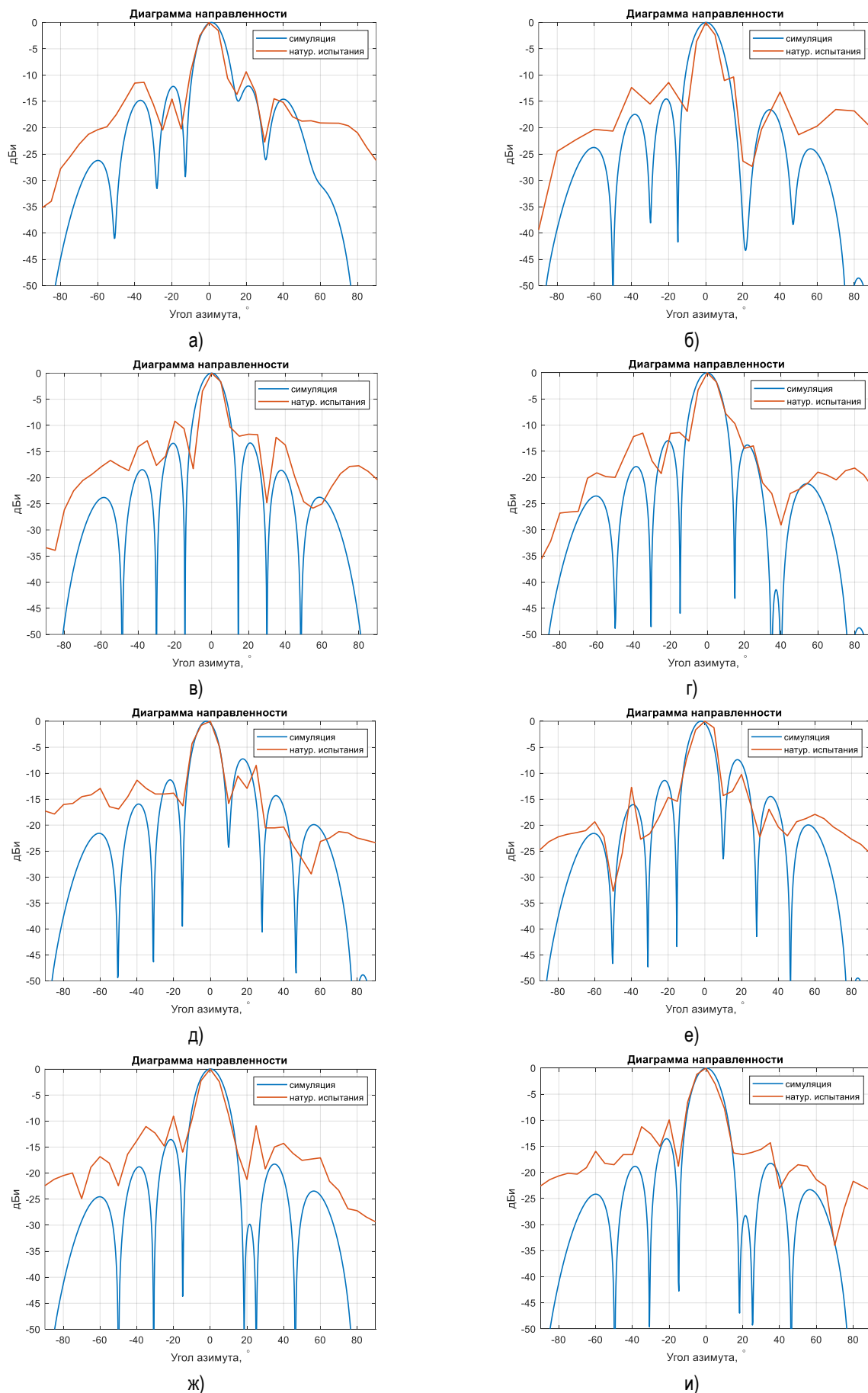


Рис. 10. Диаграмма направленности адаптивной антенной решетки при угле прихода помехи – 10° (а), 20° (б), 30° (в), 40° (г), 10° и 20° (д), 10° и 30° (е), 20° и 30° (ж), 30° и 40° (з)

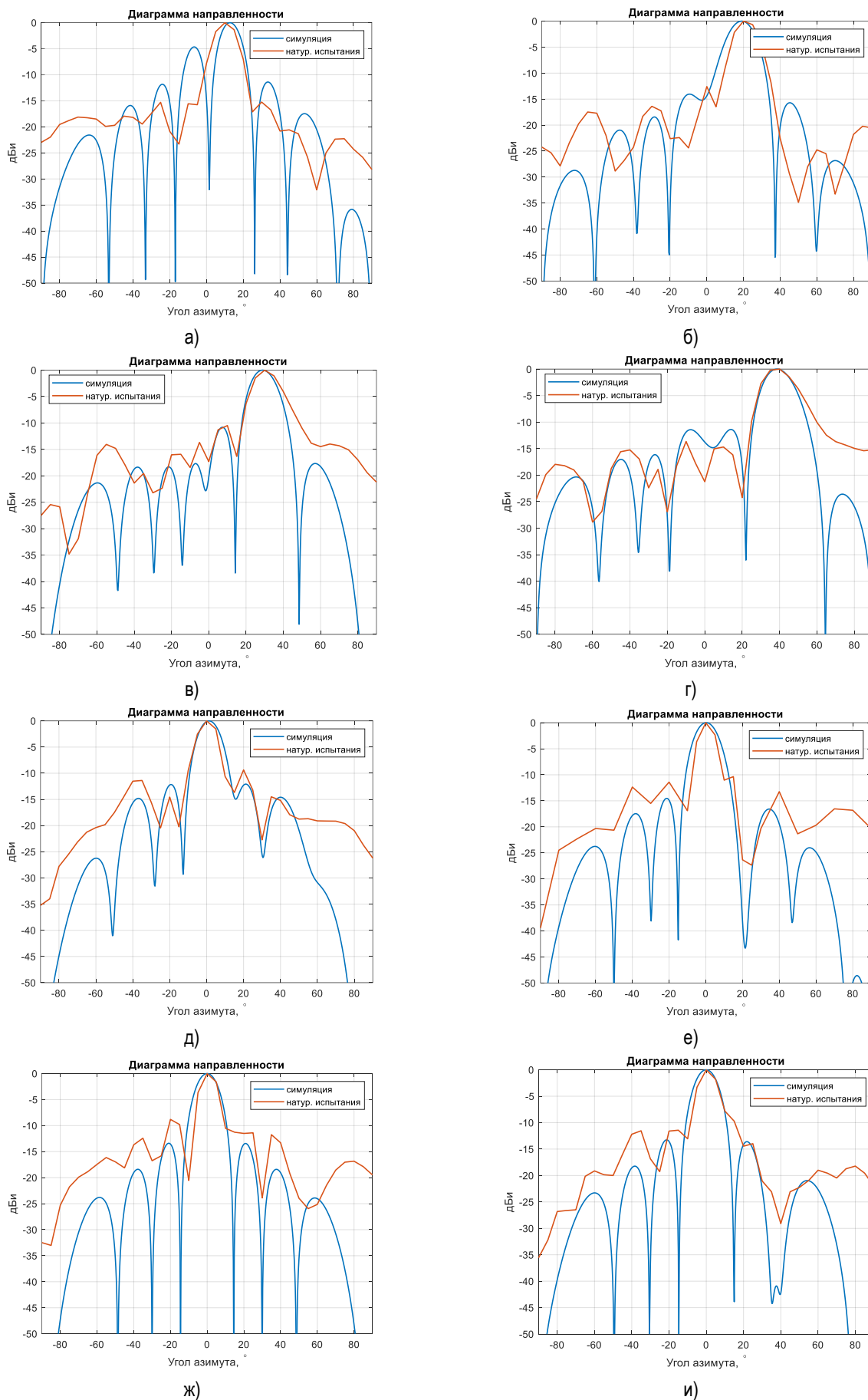


Рис. 11. Диаграмма направленности адаптивной антенной решетки, аттенуация сигнала 0 дБ (а–г), при угле прихода сигнала  $-0^\circ$ , аттенуация помехи  $-5$  дБ (д–и)

На рисунке 12 приведено сравнение ДН математической модели и реальной, полученной при измерении в БЭК для работы модифицированного алгоритма Ньютона в режиме работы на передачу (аттенюация сигнала соответствует 0 дБ).

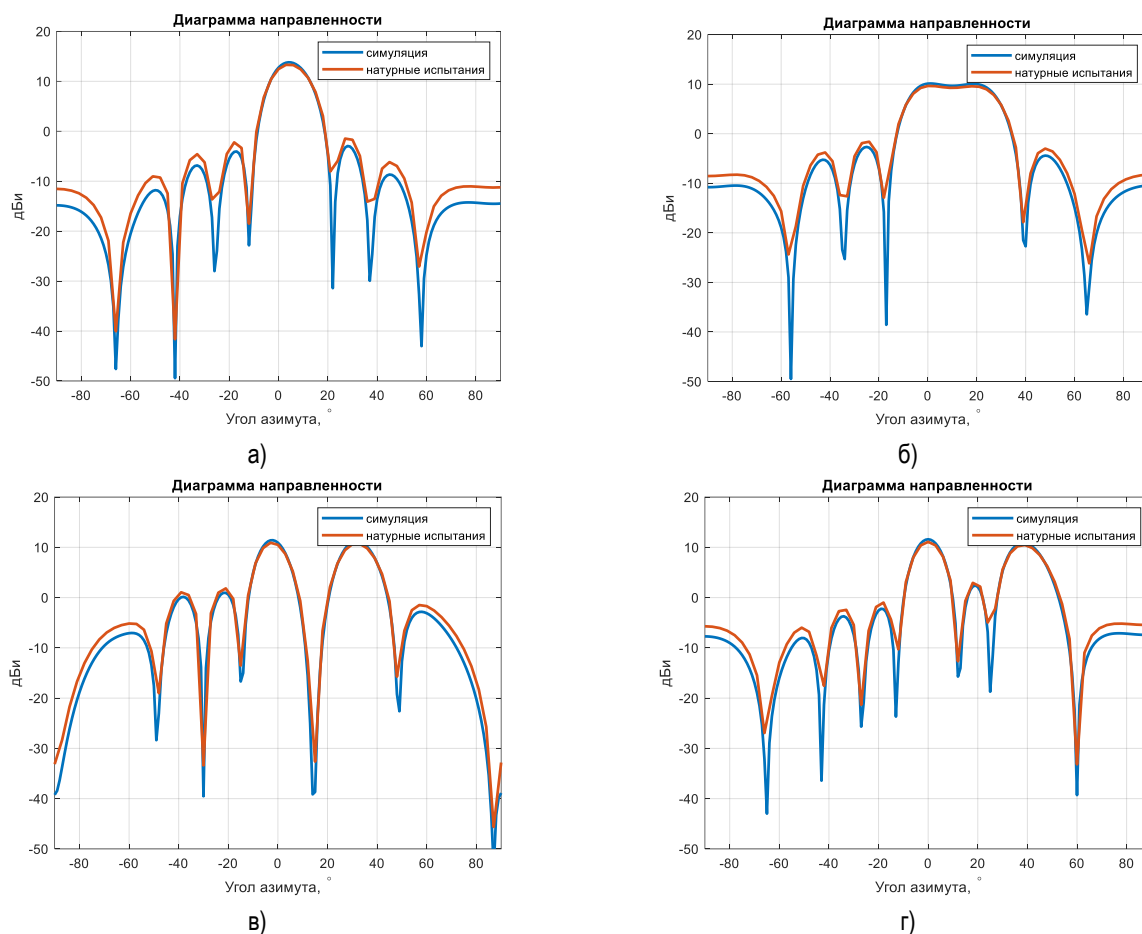


Рис. 12. Диаграмма направленности адаптивной антенной решетки при требуемых углах передачи сигнала  $-0^\circ$  и  $10^\circ$  (а),  $0^\circ$  и  $20^\circ$  (б),  $0^\circ$  и  $30^\circ$  (в),  $0^\circ$  и  $40^\circ$  (г)

### Заключение

Натурные испытания исследуемых алгоритмов пространственно-временной обработки сигналов подтвердили ухудшение характеристик в направлениях, отличных от направлений на источники сигнала и помех, в режиме работы на прием. Измеренные в безэховой камере диаграммы направленности адаптивной 8-элементной антенны, работающей на прием, имеют практически те же характеристики, что и теоретические диаграммы направленности. При увеличении угла азимута излучения источника помехи способность к подавлению снижается.

При проведении натурных испытаний алгоритма прекодирования в режиме работы на передачу произошло ухудшение характеристик в направлениях, отличных от направлений приемников сигнала. При увеличении аттенюации полезного сигнала с 0 до 20 дБ происходит увеличение максимального и среднего уровня боковых лепестков на 2–4 и 6 дБ, соответственно. В случае, если приемники сигнала расположены друг к другу менее чем на  $30^\circ$ , происходит увеличение максимального и среднего уровня боковых лепестков на 2 и 5 дБ, соответственно. В случае, если приемники сигнала расположены друг к другу более чем на  $30^\circ$ , происходит увеличение максимального и среднего уровня боковых лепестков на 6 и на 10 дБ, соответственно. Несмотря на ухудшение в направлениях, отличных от направлений приемников сигнала, адаптация диаграммы направленности позволяет усиливать полезный сигнал вне зависимости от его углов излучения.

### Литература

1. Bondyopadhyay P. K. The first application of array antenna // Proceedings of the IEEE Conference on Phased Array Systems and Technology (Dana Point, USA, 21–25 May 2000). IEEE, 2000. DOI: 10.1109/PAST.2000.858903
2. The Nobel Prize in Physics 1909 // Nobel Media AB. 2019. URL: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1909/summary> (Accessed 17/04/2024)
3. Srivastava G., Singh N., Kumar S. Smart Antennas for Contemporary Wireless Communication Systems: Concepts, Challenges, and Performance // In: Advances in Antenna, Signal Processing, and Microelectronics Engineering. CRC Press, 2019. DOI:10.1201/9781003006190-9
4. Han S., Lin C. I., Xu Z., Rowell C. Large-scale antenna systems with hybrid analog and digital beamforming for millimeter wave 5G // IEEE Communications Magazine. 2015. Vol. 53. Iss. 1. PP. 186–194. DOI: 10.1109/MCOM.2015.7010533
5. Huang X., Guo Y. J., Bunton J. D. A hybrid adaptive antenna array // IEEE Transactions on Wireless Communications. 2010. Vol. 9. Iss. 5. PP. 1770–1779. DOI: 10.1109/TWC.2010.05.091020
6. Butler J. Beam forming matrix simplifiers design of electrically scanned antennas // Electronic Design. 1961. Vol. 9. PP. 170–173.
7. Blass J. Multidirectional antenna - A new approach to stacked beams // Proceedings of the 1958 IRE International Convention Record (New York, USA). IEEE, 1960. PP. 48–50. DOI: 10.1109/IRECON.1960.1150892
8. Pattan B. The versatile ButlerMatrix // Microwave Journal. 2004. Vol. 47(11). PP. 126–135.
9. Shallah A. B., Zubir F., Rahim M. K. A., Jizat N. M., Basit A., Assaad M., et al. A Miniaturized Metamaterial-Based Dual-Band 4×4 Butler Matrix With Enhanced Frequency Ratio for Sub-6 GHz 5G Applications // IEEE Access. 2024. Vol. 12. PP. 32320–32333. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3371027
10. Vallappil A. K., Rahim M. K. A., Khawaja B. A., Iqbal M. N. A Miniaturized Metamaterial-Loaded Switched-Beam Antenna Array System With Enhanced Bandwidth for 5G Applications // IEEE Access. 2024. Vol. 12. PP. 6684–6697. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3351475
11. Hussein Y. M., Rahim M. K. A., Murad N. A., Hanoosh H. O. Low Loss Wideband 4×4 Butler Matrix Networks Based on Substrate Integrated Waveguide for 5G Applications // IEEE Access. 2024. Vol. 12. PP. 7896–7910. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3342713
12. Borhani-Kakhki M., Abdellatif A. S., Pothula H. K., Wessel D. A Wideband 16x16 Butler Matrix for Millimeter-Wave Beam-Switching Applications // Proceedings of the 53rd European Microwave Conference (EuMC, Berlin, Germany, 19–21 September 2023). IEEE, 2023. PP. 637–640. DOI: 10.23919/EuMC58039.2023.10290684
13. Fonseca N. J. G. Discussion on Reciprocity, Unitary Matrix and lossless Multiple Beam Forming Networks // International Journal of Antennas and Propagation. 2015. Vol. 2015. P. 946289. DOI: 10.1155/2015/946289
14. Cummings W. C. Multiple beam forming networks. Tech. Note 1978-9, Apr. Lexington: MIT Lincoln Lab., 1978.
15. Fonseca N. J. G. An Investigation of Blass and Nolen Matrices. CNES technical note 152. Toulouse: CNES Toulouse Space Center, 2007.
16. Gao Y., Khaliel M., Zheng F., Kaiser T. Rotman Lens Based Hybrid Analog–Digital Beamforming in Massive MIMO Systems: Array Architectures, Beam Selection Algorithms and Experiments // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2017. Vol. 66. Iss. 10. PP. 9134–9148. DOI: 10.1109/TVT.2017.2714693
17. Zhang H., Shamim A. Wideband and Wide Beam Scanning Dual-Polarized Phased Array Antenna-in-Package Design for 5G Applications // IEEE Open Journal of Antennas and Propagation. 2024. Vol. 5. Iss. 1. PP. 140–152. DOI: 10.1109/OJAP.2023.3336762
18. Deng J.-Y., Liu Y.-B., Chen Z., Lin W. Compact Multibeam Antenna Using Miniaturized Slow-Wave Substrate-Integrated Waveguide Rotman Lens for Satellite-Assisted Internet of Vehicles // IEEE Internet of Things Journal. 2024. Vol. 11. Iss. 4. PP. 6848–6856. DOI: 10.1109/JIOT.2023.3313309
19. Mujammami E. H., Sebak A. Analog Beamforming System Using Rotman Lens for 5G Applications at 28 GHz // Proceedings of the International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting (Atlanta, USA). IEEE, 2019. PP. 153–154. DOI: 10.1109/APUSNCURSINRSM.2019.8888493

20. Монзинго Р. А., Миллер Т. У. Адаптивные антенные решетки: Введение в теорию. Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1986. 446 с.
21. Журавлев А. К., Хлебников В. А., Родимов А. П., Глушанков Е. И. и др. Адаптивные радиотехнические системы с антенными решетками. Л.: Изд-во ЛГУ, 1991. С. 544.
22. Анашкин Р. В., Глушанков Е. И., Колосов Л. В., Яцук В. В. Использование специальной фазовой модуляции сигналов в конфликтных условиях решения задач помехозащиты и создания помех // Радиотехника и электроника. 1991. Т. 36. № 10. С. 1968–1975.
23. Григорьев В. А., Щесняк С. С., Гулюшин В. Л., Распаев Ю. А., Хворов И. А., Щесняк А. С. Адаптивные антенные решетки. Часть 2 / под ред. В.А. Григорьева. СПб: Университет ИТМО, 2016. 118 с.
24. Глушанков Е. И., Колесников А. Н. Оценка потенциальной эффективности пространственно-временной обработки сигналов в линиях подвижной радиосвязи с ППРЧ // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 1990. Т. 33. № 12. С. 66–70.
25. Глушанков Е. И., Колесников А. Н., Ушаков В. В. Пространственно-временная обработка сигналов с ППРЧ в линиях спутниковой связи с подвижными объектами // Пространственно-временная обработка сигналов в системах радиосвязи. Приложение к журналу «Радиотехника». 1992. С. 59–65.
26. Бойко И. А., Глушанков Е. И., Рылов Е. А. Моделирование градиентного алгоритма адаптации антенной решетки в среде MATLAB // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2022. № 1(45). С. 55–61. DOI: 10.24412/2221-2574-2022-1-55-61. EDN: KKBSHM
27. Boyko I. A., Glushankov E. I., Kirik D. I., Korovin K. O., Rylov E. A. Algorithms for Multiple Signals Adaptive Processing in Radio Engineering Systems Antenna Arrays // Proceedings of the Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO, Kaliningrad, Russia, 30 June 2021 – 02 July 2021). IEEE, 2021. DOI: 10.1109/SYNCHROINFO51390.2021.9488370
28. Albreem M. A., Habbash A. H. Al., Abu-Hudrouss A. M., Ikki S. S. Overview of Precoding Techniques for Massive MIMO // IEEE Access. 2021. Vol. 9. PP. 60764–60801. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3073325
29. Glushankov E. I., Boyko I. A., Kirik D. I., Korovin K. O. Channel Vector Estimation Using Covariance Matrices Regularization Method // Proceedings of the Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO, Arkhangelsk, Russia, 29 June 2022 – 01 July 2022). IEEE, 2022. DOI: 10.1109/SYNCHROINFO55067.2022.9840964
30. Glushankov E. I., Boyko I. A., Kirik D. I., Korovin K. O. Development of a Modified Newton Iteration Algorithm for massive MIMO systems with precoding and its study in MATLAB environment // Journal of Physics: Conference Series. 2022. Vol. 2291. P. 012011. DOI: 10.1088/1742-6596/2291/1/012011
31. Глушанков Е. И., Кирик Д. И., Коровин К. О., Царик И. В., Бойко И. А., Казьмин О. Ю. Реализация алгоритма адаптивного диаграммообразования на ПЛИС // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. № 1(40). С. 19–20. DOI: 10.26102/2310-6018/2023.40.1.025 EDN: JMTNCV
32. HiTech Global ZYNQ UltraScale+™ RFSoc Development Platform. HTG-ZRF8 User Manual // HiTech Global. 2018. URL: [https://www.rfsoc-pynq.io/pdf/HTG-ZRF8\\_UG.pdf](https://www.rfsoc-pynq.io/pdf/HTG-ZRF8_UG.pdf) (дата обращения 17.04.2024)

**Статья поступила 11 марта 2024 г.**

**Одобрена после рецензирования 03 апреля 2024 г.**

**Принята к публикации 08 апреля 2024 г.**

### **Информация об авторах**

*Глушанков Евгений Иванович* — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры радиосистем и обработки сигналов Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: [glushankov.ei@sut.ru](mailto:glushankov.ei@sut.ru)

*Коровин Константин Олегович* — кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой радиосистем и обработки сигналов Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. E-mail: [korovin.ko@sut.ru](mailto:korovin.ko@sut.ru)

*Бойко Игорь Андреевич* – аспирант кафедры радиосистем и обработки сигналов Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. E-mail: [boiko.ia@sut.ru](mailto:boiko.ia@sut.ru)

Борисов Максим Геннадьевич – магистрант 1 курса (направление 11.04.01 Радиотехника) Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. E-mail: maximka.borisov3@gmail.com

## The Current State and Prospects for the Development of Adaptive Antenna Complexes in radio Engineering Systems

Glushankov E. ✉, Korovin K., Boyko I., Borisov M.

The Bonch-Bruevich St.-Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

**The relevance** of the work is due to the need to increase the noise immunity of radio engineering systems operating under the influence of various interference spatially separated from the useful signal, the suppression of which is possible due to the formation of an adaptive directional pattern of multi-element antennas. **Results:** in the first part of the work, an analysis was carried out and options for constructing microwave antenna systems used to build antenna arrays with controlled radiation patterns were proposed. In the second part of the work, direct antenna adaptation methods and precoding algorithms are considered. The mathematical description of adaptive signal processing procedures is given, as well as the results of the analysis and implementation of the studied algorithms on programmable logic integrated circuits in various situations of signal-interference conditions with different angular mismatches between the signal and interference and their various energy characteristics. The resulting radiation patterns of the antenna array, measured in an anechoic chamber and providing adaptive signal processing, are presented. The results of the field experiments showed an acceptable coincidence of theoretical and experimental data. **Practical significance:** the results of the work can be used in the development of adaptive antenna complexes for radio engineering systems of various functional purposes, in the analysis and practical implementation of algorithms for spatiotemporal signal processing on programmable logic integrated circuits and in the study of adaptive algorithms in an anechoic chamber.

**Keywords:** antenna arrays, adaptive antenna arrays, adaptation algorithms

### Information about Authors

*Evgeny Glushankov* – D.Sc. of Engineering Sciences, Professor at the Department of Radio Systems and Signal Processing (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: glushankov.ei@sut.ru

*Konstantin Korovin* – Ph.D. of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Radio Systems and Signal Processing (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: korovin.ko@sut.ru

*Igor Boyko* – Postgraduate at the Department of Radio Systems and Signal Processing (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: boiko.ia@sut.ru

*Maxim Borisov* – a 1st year master's student (field of study 11.04.01 Radiotechnics) (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: maximka.borisov3@gmail.com

## Институту магистратуры СПбГУТ 5 лет

УДК 004.492.2

# Особенности размещения гибких антенн на умной одежде

Морозов А. А. ✉, Литвинов А. С., Кузьмин С. В.

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича  
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

**Постановка задачи:** размещение радиоэлектронных средств на одежде — активно развивающееся направление конструирования. При разработке таких устройств необходимо учитывать множество факторов, которые влияют как на надежность готового изделия, так и на его эргономичность. **Целью работы** является отработка технологий встраивания различных радиоэлектронных средств, в том числе устройств сверхвысокочастотного диапазона, в ткань. **Используемые методы:** решение задачи размещения устройств на ткани основано на применении технологий нанесения антенн с помощью токопроводящих материалов. **Новизна:** элементами новизны представленного решения являются использование клеейкой токопроводящей ленты, токопроводящей нити, а также применение аддитивных технологий. **Результат:** использование представленного результата размещения антенны на умной одежде решает проблемы: 1) интеграции датчиков в связи с их размерами, 2) подключения датчиков в связи с трудностями обеспечения их автономного питания и передачи сигналов, а также 3) размещения гибких антенн, которые должны соответствовать сложной геометрии человеческого тела и быть защищены от внешних воздействий.

**Ключевые слова:** умная одежда, умная ткань, аддитивные технологии, носимые устройства, гибкие антенны

## Введение

В начале 2000-х гг. были созданы ткани со встроенными датчиками и другими электронными устройствами. Изделия, разработанные в лабораториях Georgia Tech, Университета Пизы и Гентского университета, содержали ряд удачно встроенных устройств [1]. Однако некоторые проблемы оказались более сложными, чем предполагалось: это касается интеграции, подключения и поддержания стерильности [2–4].

Особенно важно было преодолеть последний недостаток, так как большое количество проектов в области «умной» одежды направлено на применение в медицинской сфере [1, 3]. Проблема интеграции связана с массогабаритными характеристиками датчиков и сложностью их размещения на определенных участках одежды. Проблемы подключения заключаются в трудности обеспечения автономного питания и передачи сигналов от датчиков в систему обработки данных.

Одним из самых передовых проектов в области интеграции электроники в одежду является ProeTEX (защитный электронный текстиль), направленный на исследование и разработку материалов для «умной» одежды с усовершенствованными характеристиками, а также на разработку текстильных

### Библиографическая ссылка на статью:

Морозов А. А., Литвинов А. С., Кузьмин С. В. Особенности размещения гибких антенн на умной одежде // Вестник СПбГУТ. 2024. Т. 2. № 1. С. 10. EDN: VNTDAH

### Reference for citation:

Morozov A., Litvinov A., Kuzmin S. Features of Flexible Antenna Placement on Smart Clothes // Herald of SPbSUT. 2024. Vol. 2. Iss. 1. P. 10. EDN: VNTDAH



датчиков и способов коммуникации через текстиль. Антенны и схемы, размещенные на ткани, становятся более востребованными для применения, когда они способны подстраиваться под любые изменения внешних факторов, гибкость и прочность [2–4].

Активно развивающимся направлением исследований в данной области стало изучение особенностей размещения антенн на ткани. Было рассмотрено несколько способов решения данного вопроса, которые будут описаны ниже [5–8].

На рисунке 1 представлены примеры существующих подходов к решению проблемы беспроводной связи в одежде. Подход, при котором микрополосковая антенна, выполненная путем нанесения материала трафаретной печатью, и плоскость заземления размещаются на флисовую подложку (рисунок 1а), открывает перспективы для разработки новых высокочастотных схем с изоляцией излучения антенны от человеческого тела. Датчик для отслеживания дыхания, вышитый нитью из нержавеющей стали на детском комбинезоне (рисунок 1б), создает индуктивную связь со второй катушкой, которая встроена в матрас, но такая связь хорошо работает только на коротких расстояниях.



а)



б)

Рис. 1. Примеры существующих подходов к беспроводной связи в одежде

Проблемами при размещении гибких антенн на умной одежде являются обеспечение возможности изгибаться согласно сложной геометрии человеческого тела, а также обеспечение защиты такой антенны от воздействия внешних факторов [9].

### Технологии размещения гибких антенн на ткани

Традиционно для различных информационных и командно-телеметрических линий связи используется диапазон от 500 до 5000 МГц.

Измерение коэффициента стоячей волны (КСВ) позволяет оценить эффективность передачи сигнала через спиральные антенны на различных образцах. Результаты дают понимание, какие материалы и методы изготовления спиральных антенн наиболее эффективны.

Для размещения спиральной антенны на ткани в первом случае был выбран металлизированный скотч. Для нанесения скотча по трафарету в виде спирали нужно было разделить ленту на части, чтобы придать скругление. Таким способом удалось наклеить всю ленту, но выяснилось, что не обеспечивается протекание постоянного тока. Так как фрагменты скотча клеились внахлест, то клейкий слой служил диэлектриком, что не было учтено. Поэтому пришлось по всей длине антенны припаять проволоку для обеспечения проводимости (рисунок 2).

Были проведены измерения КСВ при размещении образца на столе (рисунок 3а) и при размещении на человеке (рисунок 3б).

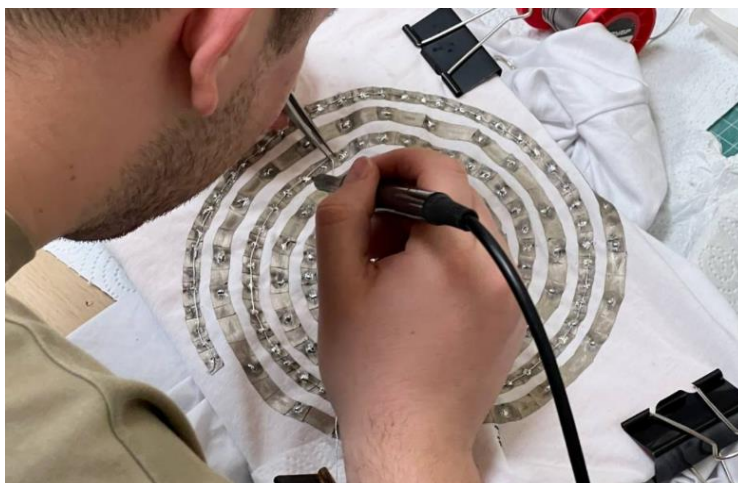
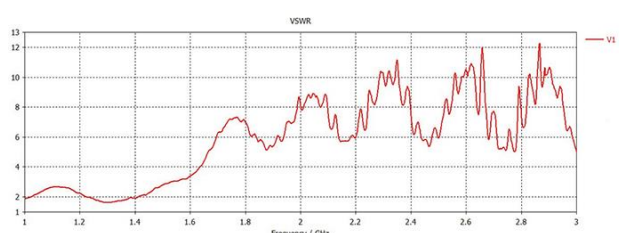
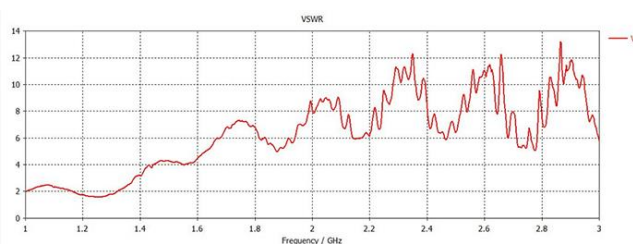


Рис. 2. Образец № 1 с нанесением антенны при помощи металлизированного скотча и проволоки



а)



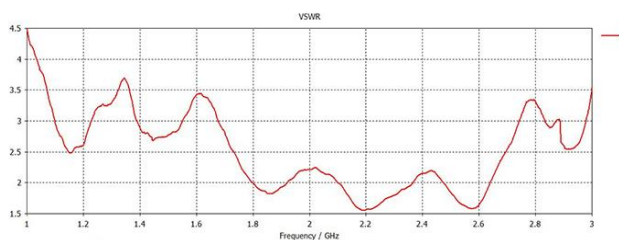
б)

Рис. 3. КСВ спиральной антенны образца № 1 при расположении: а) на столе, б) на человеке

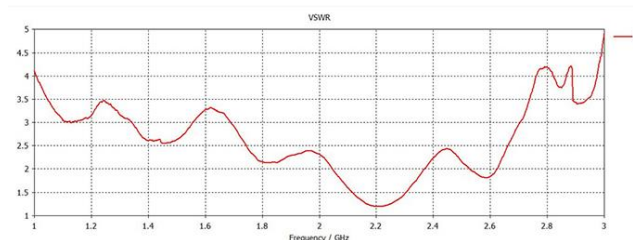
Во втором случае для расположения антенны на ткани был выбран метод вышивки токопроводящей нитью по трафарету (рисунок 4). Полученный образец рубашки с антенной позволил провести дальнейшие тесты и оценить ее эффективность в передаче и приеме сигналов. Были проведены измерения КСВ при размещении образца на столе (рисунок 5а) и на человеке (рисунок 5б).



Рис. 4. Образец № 2 с нанесением антенны при помощи токопроводящей нити



а)



б)

Рис. 5. КСВ спиральной антенны образца № 2 при расположении: а) на столе, б) на человеке

Хотя эти образцы и могли обеспечить достаточный изгиб без существенного влияния на характеристики при движениях человеческого тела, их проблемой была низкая степень защиты от воздействия внешних факторов (например, при стирке или при задевании телом других поверхностей).

Рассмотрим еще один подход к размещению антенны. Сама спиральная антенна будет располагаться в гибком пластиковом корпусе, изготовленном с помощью 3D-принтера, работающего по технологии послойного наплавления. Корпус антенны может быть учтен при расчете ее характеристик в современных системах автоматизированного проектирования.

Изначально была выбрана 3D-модель (рисунок 6), которая после изготовления может сгибаться, за счет особенностей своей геометрической формы. После печати планировалось покрасить токопроводящей краской. Чтобы напечатать спиральную антенну из такой структуры, нужно сильно уменьшить размеры каждой ячейки, однако это влечет за собой очень высокий шанс перелома в области соединений при интенсивном движении. Это обстоятельство привело к пересмотру выбора базовой модели.

В САПР КОМПАС-3D был разработан корпус для спиральной антенны, представленный на рисунке 7. Он будет напечатан гибким пластиком, что позволит повторять изгибы, обусловленные сложной геометрией человеческого тела. Линии, которые направлены из центра к краям, позволят сохранить расстояние между секциями спирали, чтобы влияние на характеристики антенны было минимальным.

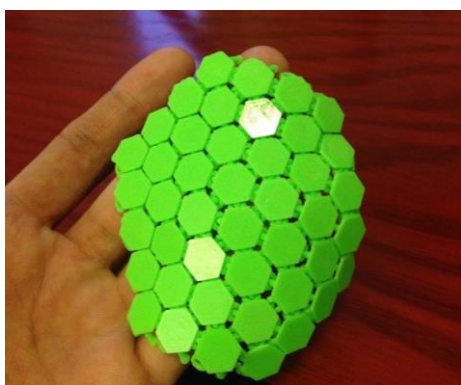


Рис. 6. Структура на основе цепи шестигранников

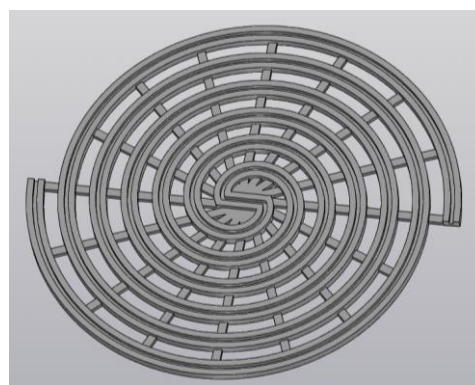


Рис. 7. Корпус спиральной антенны

После завершения процесса печати в паз, размеры которого можно увидеть на разрезе, представленном на рисунке 8, вкладывается проводящий материал, а затем сверху печатается еще несколько слоев крышки.

Пробная печать такого корпуса (рисунок 9) дала понять, что такая технология справляется с поставленными задачами. Кроме того, для автоматизации процесса предлагается использовать тонкий проводящий слой, нарезанный заранее на оборудовании с числовым программным управлением, например, из клейкой токопроводящей ленты. Данная технология позволяет размещать антенну на любом участке одежды вне зависимости от того, к какой части человеческого тела он прилегает.

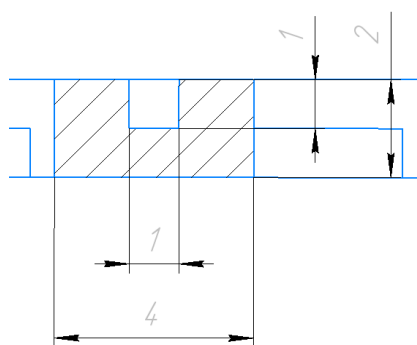


Рис. 8. Разрез корпуса



Рис. 9. Корпус спиральной антенны из гибкого пластика

## Выводы

Внедрение радиоэлектронных средств в умную одежду имеет высокий потенциал развития. С учетом выявленных ограничений такие технологии могут найти широкое применение в различных областях — от медицины до спорта и сферы развлечений.

Полученные результаты, представленные в виде графиков КСВ, подтверждают функциональность антенн и показывают их рабочие диапазоны. Были опробованы различные методики нанесения антенн на ткань, что позволило сравнить их эффективность и выбрать наиболее подходящую для решения поставленных задач.

В дальнейшем планируется исследование влияния человеческого тела на характеристики антенн и способов минимизации этого влияния, а также проведение дополнительных изысканий в области управления, обработки данных и безопасности таких систем. Это поможет учесть различные аспекты, связанные с удобством использования, функциональностью и безопасностью, что важно для практического внедрения таких технологий в повседневную жизнь.

## Литература

1. Kimura M. Conductive Polymer Fibers for Sensor Devices // Handbook of Smart Textiles / Ed. by X. Tao. Singapore: Springer, 2015. PP. 63–78. DOI: 10.1007/978-981-4451-45-1\_9
2. Kiourti A., Lee C., Volakis J. L. Fabrication of Textile Antennas and Circuits with 0.1 mm Precision // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. 2015. Vol. 15. PP. 151–153. DOI: 10.1109/LAWP.2015.2435257
3. Salman S., Wang Zh., Colebeck E., Kiourti A., Topsakal E. et al. Pulmonary Edema Monitoring Sensor with Integrated Body-Area Network for Remote Medical Sensing // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 2014. Vol. 62. Iss. 5. PP. 2787–2794. DOI: 10.1109/TAP.2014.2309132
4. Rao S., Lombart N., Moradi E., Koski K., Bjorninen T. et al. Miniature Implantable and Wearable On-Body Antennas: Towards the New Era of Wireless Body-Centric Systems [Antenna Applications Corner] // IEEE Antennas and Propagation Magazine. 2014. Vol. 56. Iss. 1. PP. 271–291. DOI: 10.1109/MAP.2014.6821799
5. Castano L., Flatau A. B. Smart Fabric Sensors and E-Textile Technologies: A Review // IOP Publishing Smart Materials and Structures. 2014. Vol. 23. Iss. 5. PP. 1–27. DOI: 10.1088/0964-1726/23/5/053001
6. Koski K., Sydanheimo L., Rahmat-Samii Y., Ukkonen L. Fundamental Characteristics of Electro-Textiles in Wearable UHF RFID Patch Antennas for Body-Centric Sensing Systems // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 2014. Vol. 62. Iss. 12. PP. 6454–6462. DOI: 10.1109/TAP.2014.2364071
7. Tsolis A., Whittow W. G., Alexandridis A. A., Vardaxoglou J. C. Embroidery and Related Manufacturing Techniques for Wearable Antennas: Challenges and Opportunities // Electronics. 2014. Vol. 3. Iss. 2. PP. 314–338. DOI: 10.3390/electronics3020314
8. Kiourti, A., Volakis J. L. High-Geometrical-Accuracy Embroidery Process for Textile Antennas with Fine Details // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. 2015. Vol. 14. PP. 1474–1477. DOI: 10.1109/LAWP.2014.2363556
9. Alharbi S., Shubair R. M., Kiourti A. Flexible Antennas for Wearable Applications: Recent Advances and Design Challenges // Proceedings of the 12<sup>th</sup> European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2018, 9–13 April 2018, London, UK). PP. 1–3. DOI: 10.1049/cp.2018.0843

Статья поступила 27 марта 2024 г.  
Одобрена после рецензирования 17 апреля 2024 г.  
Принята к публикации 23 апреля 2024 г.

### Информация об авторах

*Морозов Александр Алексеевич* — ассистент кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: morozov.aa@sut.ru

*Литвинов Алексей Сергеевич* — студент факультета радиотехнологий связи (группа РТ-32, специальность 11.04.01 Радиотехника) Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

*Кузьмин Сергей Викторович* — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: kuzmin.sv@sut.ru

## Features of Flexible Antenna Placement on Smart Clothes

A. Morozov ✉, A. Litvinov, S. Kuzmin

The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

**Purpose:** the placement of electronic devices on clothing is an actively developing area of design. When developing such devices, it is necessary to take into account many factors that affect both the reliability of the finished product and its ergonomics. The aim of the work is to develop technologies for embedding various electronic devices, including microwave devices, into fabric. **Methods:** the solution to the problem of placing devices on fabric is based on the application of antenna application technologies using conductive materials. **Novelty:** the novelty elements of the presented solution are the use of adhesive conductive tape, conductive thread, as well as the use of additive technologies. **Results:** using the presented solution for placing an antenna on smart clothes allows us to solve the integration problem associated with the mass and dimensional characteristics of sensors and the difficulty of placing them on certain areas of clothing, the connection problem, which consists in the difficulties of providing autonomous power supply and transmitting signals from sensors to a data processing system and the problem of placing flexible antennas on smart clothes, which is conditioned by providing the ability to bend according to the complex geometry of the human body, as well as ensuring the protection of such an antenna from external influences.

**Keywords:** smart clothing, smart fabric, additive technologies, wearable devices, flexible antennas

### Information about Authors

*Morozov Aleksandr* — Assistant of the Department of Design and Production of Radio-electronic Devices (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: morozov.aa@sut.ru

*Litvinov Aleksey* — Student of the RT-32 group, specialty 11.04.01 Radio Engineering (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications)

*Kuzmin Sergey* — Ph.D. of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Design and Production of Radioelectronic Devices (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: kuzmin.sv@sut.ru

## Институту магистратуры СПбГУТ 5 лет

УДК 378.14

# Использование методологии описания информационных процессов в магистерской подготовке

Соломко Ю. С., Сотников А. Д. ✉

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича  
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

**Постановка задачи:** анализ и проектирование сложных прикладных информационных систем, основанные на архитектурных подходах, продуктивных практиках и эффективных образцах, в то же время демонстрируют отсутствие формализованных количественных моделей, отражающих фундаментально значимые свойства и характеристики исследуемых систем. Прикладные области с различными требованиями к информационным системам диктуют многообразие подходов и методов, которые объединяют множественные аспекты деятельности, как, например, в известных архитектурно-ориентированных моделях. Методы, основанные на бизнес-процессах, получившие широкое распространение, как и объектно-ориентированные модели, эффективны в задачах разработки и прикладного проектирования. Наблюдается калейдоскопическое разнообразие «подходов», «методологий», «моделей проектирования» и технологий разработки, затрудняющее сравнительный анализ и определение предпочтений при выборе модели на ранних этапах проектирования информационной системы. **Цель работы** состоит в выявлении ключевых свойств и характеристик, являющихся общими для разнообразных прикладных информационных систем и предполагающих возможность количественной оценки, а также в рассмотрении использования доменной модели инфокоммуникаций для создания моделей прикладных информационных систем. **Методы исследования** основаны на выделении информационных источников и потребителей, связанных элементарным актом информационного взаимодействия, и формальном описании на его основе информационных потоков инфокоммуникационной системы для целей дальнейшего анализа. Этот подход реализуется использованием доменной модели инфокоммуникаций, позволяющей перейти к описанию и количественной оценке характеристик инфокоммуникационной системы. **Элементы новизны** состоят в использовании: абстрактной доменной модели инфокоммуникаций для практического анализа прикладных информационных процессов в области образования; матричного описания организации информационных потоков; количественных характеристик для оценок качества решений с возможностью постановки и строгого решения задачи оптимизации объемно-скоростных характеристик трафика в системе. Рассматривается **пример использования** доменной модели инфокоммуникаций для описания информационных процессов в образовательной деятельности при подготовке магистрантов в СПбГУТ, так как учебно-образовательная деятельность является достаточно характерным и в то же время наглядным информационным процессом, где отчетливо видны исследуемые свойства и характеристики. **Результатом** работы является описание сложных информационных потоков в образовательном процессе с целью анализа структуры, количественной оценки и разработки процедур оптимизации.

### Библиографическая ссылка на статью:

Соломко Ю. С., Сотников А. Д. Использование методологии описания информационных процессов в магистерской подготовке // Вестник СПбГУТ. 2024. Т. 2. № 1. С. 11. EDN: XZCVJM

### Reference for citation:

Solomko Y., Sotnikov A. Using the Methodology of Describing Information Processes in the Master's Degree Program // Herald of SPbSUT. 2024. Vol. 2. Iss. 1. P. 11. EDN: XZCVJM

**Ключевые слова:** информационные системы, инфокоммуникационные системы, доменная модель инфокоммуникаций, образовательный процесс, информация, моделирование информационных процессов

## Введение

Информационная система (ИС) в соответствии со стандартом ГОСТ РВ 51987 определяется как «автоматизированная система, результатом функционирования которой является представление выходной информации для последующего использования». Известные архитектурные модели дают возможность разнопланового описания систем, учета как структурных, так и функциональных (поведенческих) аспектов деятельности и корректного и достаточно полного отражения этого разнообразия в соответствующих компонентах модели. Достаточно полно и точно архитектурным концепциям TOGAF (аббр. от англ. The Open Group Architecture Framework) соответствует язык архитектурного моделирования ArchiMate и реализующие его программные инструменты. На каждом уровне архитектурной модели существуют структурные и поведенческие элементы, связанные друг с другом структурными или динамическими отношениями. Для более полного описания на каждом уровне модели могут быть добавлены элементы, описывающие мотивацию, стратегию, реализацию или иные аспекты проектируемой системы. При всей широте и полноте архитектурного подхода остаются в тени собственно информационные процессы, которые и составляют смысловое ядро информационной системы. Кроме того, подобные модели не позволяют на ранних этапах проектирования дать количественные оценки информационным потокам, которые, в свою очередь, определяют ключевые технические и эксплуатационные характеристики ИС.

Для оценки свойств и характеристик ИС необходимо выполнить ряд действий, первым из которых является определение источников и потребителей информации. Вторым важным этапом будет определение информационных потоков, обеспечивающих взаимодействие источников и потребителей, с последующим определением видов необходимой обработки данных, требований к хранению и представлению информации. Выполнение названных задач может быть качественно выполнено при наличии модели, которая фокусируется на информационных процессах ИС [1]. Такая модель, в первую очередь, должна адекватно и достаточно точно представлять информационные потоки в ИС, а поскольку потребителем и источником является субъект, то модель должна учитывать не только «технические», но и когнитивные аспекты системы, т. е. особенности восприятия и утилизации информации. Тот факт, что в автоматических и автоматизированных или, в более современных терминах, — киберфизических системах используются разнообразные датчики и исполнительные устройства, не меняет ситуацию, поскольку без конечного потребителя — субъекта — нарушается целеполагание, и функционирование искусственной системы лишается смысла. Таким образом, построение формализованной модели информационного процесса с учетом когнитивных компонентов является актуальной задачей. ИС, обеспечивающие информационные процессы в образовании, являются типичным примером для отработки и проверки методики анализа и количественной оценки предлагаемой модели.

## Доменная модель инфокоммуникаций

Доменная модель инфокоммуникации (ДМИ) позволяет рассматривать процессы, преимущественно информационные, обеспечивающие взаимодействие и однотипно связывающие три различных области (домена), в которых концентрируются три относительно самостоятельные, хотя и тесно взаимосвязанные вида деятельности, а именно: физический домен (ФД), информационный домен (ИД) и когнитивный домен (КД) [2]. Формальным представлением элементов ДМИ может служить следующее описание:

$$\langle\langle A_n \rangle_{\xi^{A_n}} \rangle_{\xi^{C^m}} \xrightarrow{Q_{22}^{\xi^{C^m} \xi^{C^k}}} \langle\langle A_n \rangle_{\xi^{A_n}} \rangle_{\xi^{C^k}}, \quad (1)$$

где  $\xi^{C^m}$  — тезаурус  $m$ -й информационной системы;  $C_n^m$  — информационный объект ( $n$ -й элемент тезауруса  $m$ -й системы);  $A_n$  — объект физического домена;  $\langle A_n \rangle^{\xi^{A_n}}$  — одно из множества возможных представлений объекта  $A_n$ ;  $Q$  — операция преобразования представления (образа) сущности  $A_n$  в тезаурус наблюдателя  $C^k$ .

Элементарное информационное взаимодействие в системе, состоящее из нескольких информационных источников — сущностей когнитивного и физического доменов и нескольких получателей информации, — будет описываться выражением:

$$\langle A \rangle^{\xi_A} \xrightarrow{Q_1} \langle \langle A \rangle^{\xi_A} \rangle^{\xi_B} \xrightarrow{Q_2} \langle \langle \langle A \rangle^{\xi_A} \rangle^{\xi_B} \rangle^{\xi_C}. \quad (2)$$

Более сложная информационная связь, описывающая взаимодействие нескольких информационных систем внутри ИД, может быть представлена выражением:

$$\left| \left\langle \left\langle A_n \right\rangle^{\xi^{A_n}} \Big|_{n=1, \dots, N} \right\rangle^{\xi^{C^m}} \xrightarrow{Q_{22}^{\xi^{C^m} \xi^{C^k}}} \left\langle \left\langle A_n \right\rangle^{\xi^{A_n}} \Big|_{n=1, \dots, N} \right\rangle^{\xi^{C^k}} \Big|_{m=1, \dots, M}^{k=1, \dots, K}. \quad (3)$$

Если для ФД и ИД существуют методы, описывающие объекты и процессы (на примере графовых моделей и их спецификаций), то для КД отсутствуют общепринятые методы описания ментальной деятельности, а также нет точного общепризнанного описания основных свойств и характеристик сущностей [3].

Описанная выражением (3) модель является дескриптивной, т. е. предназначенной для аналитического описания информационного процесса, и не позволяет непосредственно оценить его количественные параметры.

Основными участниками любого образовательного процесса, в том числе и в магистерских программах, являются базовые сущности когнитивного домена — «сознание» обучающегося и «сознание» преподавателя. Под термином «сознание» подразумевается: 1) набор «компетенций», «знаний», «умений», «навыков», «опыта» и т. д., которые могут быть переданы от одного участника образовательного процесса другому в виде данных (текст, изображение, видео) или 2) алгоритмически организованные действия одного участника образовательного процесса по отношению к другому, что равносильно изменению состояния тезауруса обучаемого.

Ментальная деятельность, протекающая в сфере КД, как правило, основана на использовании «ментальных моделей», т. е. на предыдущем опыте людей, способах понимания, существующих в сознании человека и направляющих его действия, которые являются относительно стабильными, но не неизменными.

### Графическая нотация и матричное представление

Формальное описание информационного процесса в ДМИ (1, 2, 3) является строгим, трудно интерпретируемым при реальных масштабах современных ИС. Для визуализации и облегчения восприятия предпочтительна графическая нотация (рисунок 1), где отображены информационные потоки на одном из этапов учебного занятия. Здесь выделены ключевые элементы, которые ограничивают информационные потоки и служат основой для построения диаграмм потоков данных (DFD, аббр. от англ. Data Flow Diagram), которые, в свою очередь, являются широко используемым формализмом при анализе и проектировании ИКС.



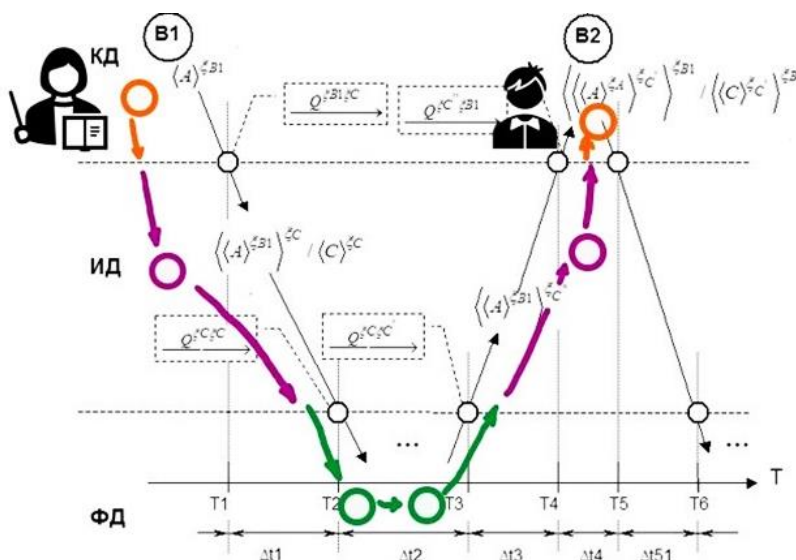


Рис. 1. Доменная модель фрагмента образовательного процесса

Более обобщенно графическая нотация на основе DFD с выделением узлов различного типа, таких как получатель, приемник или промежуточные узлы, показана на рисунке 2.

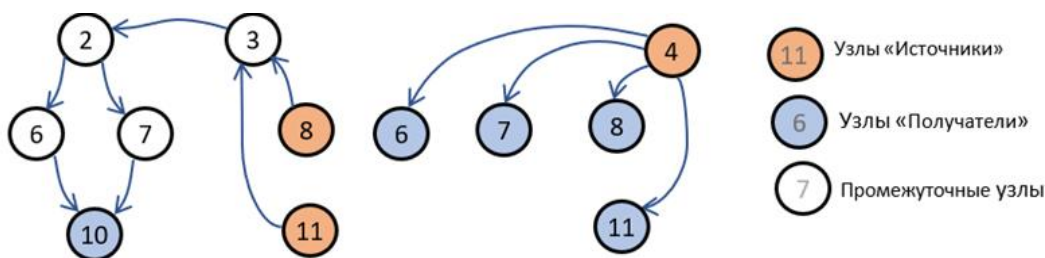


Рис. 2. Диаграмма потоков данных для двух процессов

Дальнейшая процедура предполагает описание ИКС в виде графа, где вершины соответствуют источникам и приемникам данных, а ребра — маршрутам (информационным потокам), соединяющим соответствующие связанные вершины. Корректный результат достигается выбором всех значимых компонент в образовательном процессе, формализацией соответствующего бизнес-процесса с автоматизацией действий. В ИС каждый информационный поток характеризуется объемом, скоростью передачи, периодичностью генерации и другими параметрами.

Описанный выше процесс, упрощенный для наглядности, представлен в матричной форме (рисунок 3), где информационные потоки, циркулирующие в системе, связывают источники ( $I_1, I_2, \dots, I_n$ ) и получателей данных ( $П_1, П_2, \dots, П_n$ ). Значение «1», расположенное на пересечении строк и столбцов (источника и получателя), соответствует элементу ИС, выполняющему присущее ему действие: обработку, представление или хранение данных. Элементы матрицы могут отображать не только факт выполнения тех или иных действий, но и сведения о процессе, его объемно-скоростные характеристики или важную специфику выполняемой обработки. Так, цветная строка на рисунке 3 демонстрирует кодирование объемов данных, передаваемое в информационном потоке между источниками  $I_n$  и получателями  $П_3, П_k, П_m$ .

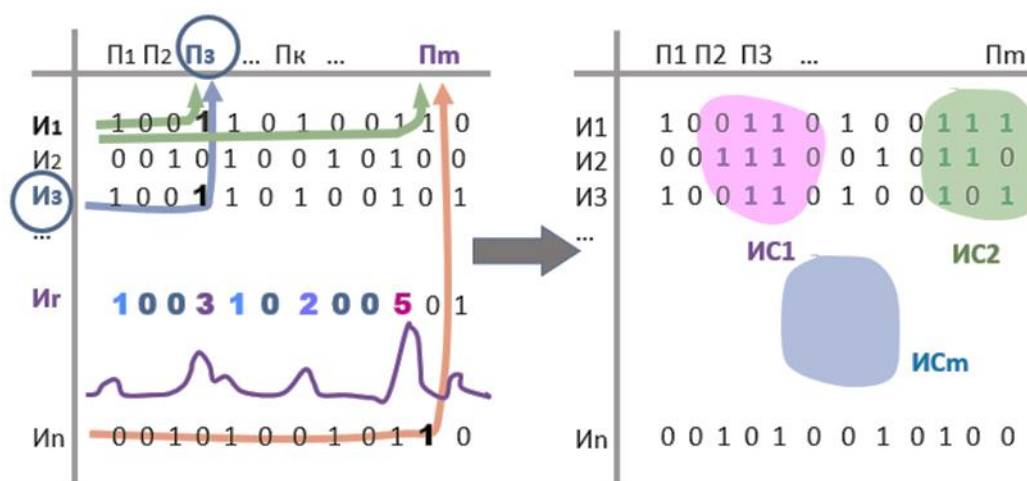


Рис. 3. Матрица смежности графовой модели ИКС

Компоновка потоков путем перестановки строк/столбцов матрицы с целью более «плотной» группировки единичных значений, отображающих потоки, и «концентрация» их в определенных областях матрицы, сопоставленных с компонентами ИС образовательной организации, обрабатывающими эти потоки, позволит выделить связанные подсистемы и улучшить «архитектурные» характеристики системы [4].

При такой формализации возможна корректная формулировка задач оптимизации, при которой выполняется максимизация плотности единичных элементов в заданных группах вершин графа, что соответствует концентрации информационных потоков в отдельных подсистемах и оценке, например, суммарного объема данных, передаваемого в подсистеме (выделенной группе вершин графа) в единицу времени. В качестве критерия оптимальности может также быть выбрано достижение заданного значения функции (объема, скорости или иных параметров трафика), которое будет служить некоторой количественной характеристикой при проектировании ИКС.

### Пример образовательного процесса

Рассмотрим магистерскую образовательную программу (ОП) 38.04.05 «Бизнес-информатика» и перечень дисциплин, являющийся по сути ее основой. Современные образовательные процессы представляют собой сложные организационные наборы различных видов действий [5], выполняемых участниками, и традиционно включают в себя следующие позиции:

- *Преподаватель* — создает учебную дисциплину в рамках ОП, реализуемой согласно учебному плану образовательной организации, на основании ФГОС;
- *Ассистент* — сотрудник, отвечающий за техническую сторону реализации ОП, ее своевременное обновление и редактирование, и помогающий при проведении занятий в офлайн-формате;
- *Сервер(ы)* систем дистанционного обучения (СДО) и компьютеры участников образовательного процесса с соответствующими программными комплексами;
- *Студент (магистрант)* — участник образовательного процесса, являющийся непосредственным получателем учебного материала.

Любая образовательная деятельность, в том числе и дистанционное обучение, представляет собой передачу информации между участниками образовательного процесса (преподавателем и студентом). Этот процесс может быть представлен с помощью UML-описания (*аббр. от англ. Unified Modeling Language* — унифицированный язык моделирования), что позволяет визуализировать модель и проанализировать всю исследуемую предметную область. Для этих целей наиболее полезными являются диаграммы прецедентов (*от англ. Use Case Diagram*) и диаграммы последовательности (*от англ. Sequence Diagram*). Примеры таких диаграмм для фрагментов образовательного процесса и подготовки учебных материалов по дисциплине представлены на рисунках 4 и 5 [6].

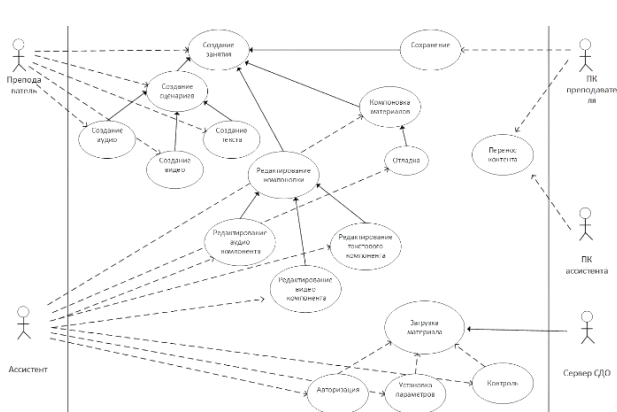


Рис. 4. Диаграмма прецедентов

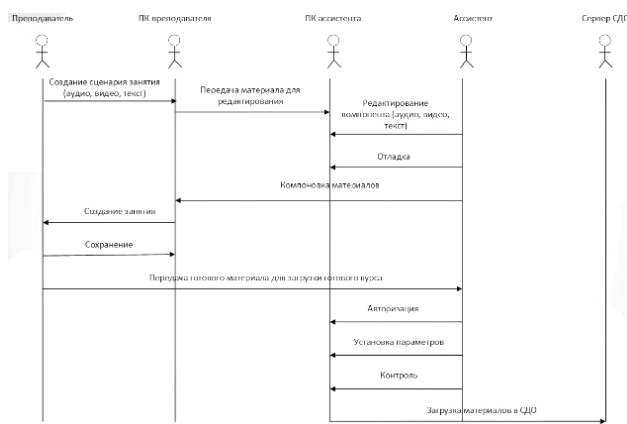


Рис. 5. Диаграмма последовательности

Моделирование процессов образовательной деятельности включает анализ источников и получателей информации в исследуемой системе. По аналогии можно создать такие модели, как «проведение занятия», «проведение аттестации» и т. п., где отображается взаимодействие других участников образовательного процесса. С помощью UML-моделирования образовательного процесса появляется возможность проследить движение информационных потоков между участниками процесса. Использование диаграммы прецедентов позволяет визуализировать различные роли и то, как они будут взаимодействовать в системе. Диаграмма последовательности формализует обмен данными между активными участниками (преподаватель, ассистент, студент) и техническими компонентами системы (серверы, базы данных).

Образовательный процесс — это, прежде всего, однонаправленный информационный процесс. Этому не противоречит наличие обратной связи от магистранта к преподавателю: такая связь замыкает «контур управления» и обеспечивает наилучший «коэффициент передачи» системы для основного потока информации от источника к приемнику. Связь «ученик — учитель» является управляющей и не меняет основное направление информационного потока в образовательном процессе [7]. Описание таких потоков может быть получено на основе использования ДМИ, которая позволяет выявить источники и получатели информационных потоков и определить пути их распространения [8]. На рисунке 6 представлены как субъекты информационного процесса (преподаватель и ассистент), так и сущности информационного домена (текст, медийные компоненты и пр.), над которыми выполняются преобразования, вместе с сущностями физического домена, используемыми в процессе (персональные компьютеры, серверы и пр.).

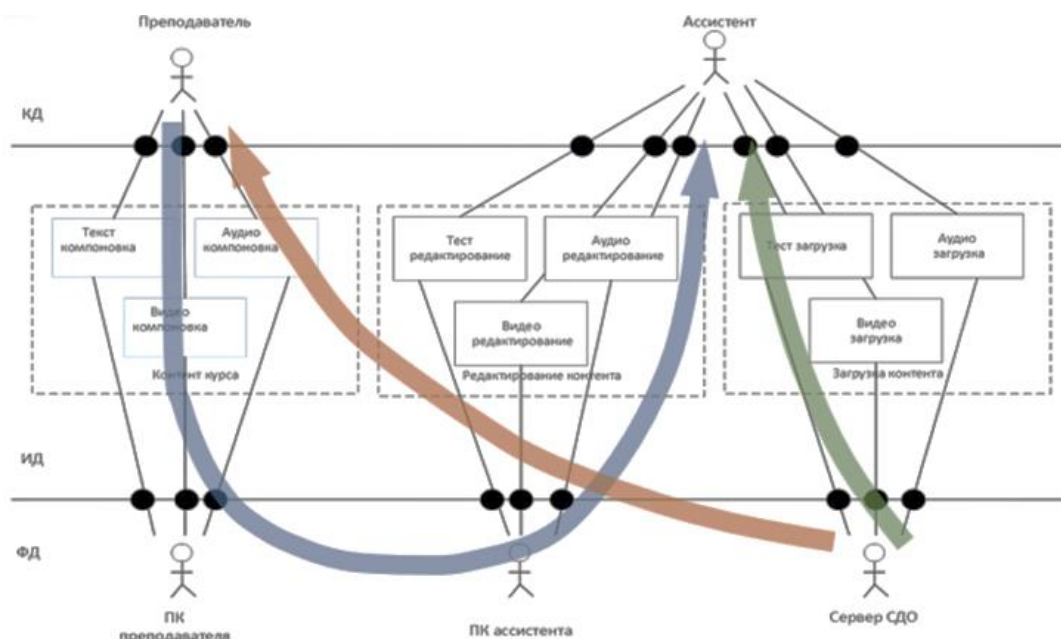


Рис. 6. Базовое представление информационных потоков в ДМИ

### Результат

Основываясь на принципах доменной модели инфокоммуникаций и платформенно-ориентированной модели ментальной деятельности, был выполнен анализ занятий, проводимых в СПбГУТ с использованием дистанционных технологий на основе платформы Google Meet. С целью экспериментальной проверки модели, на основании процессов, представленных на рисунках 4–6, были собраны данные и проведен анализ дистанционных занятий, проводимых в ноябре 2023 г. В ограниченном объеме исследованы структура и степень полимодальности занятий на основе анализа статистики сеансов, доступной администратору системы Google Meet, используемой в университете (рисунок 7).

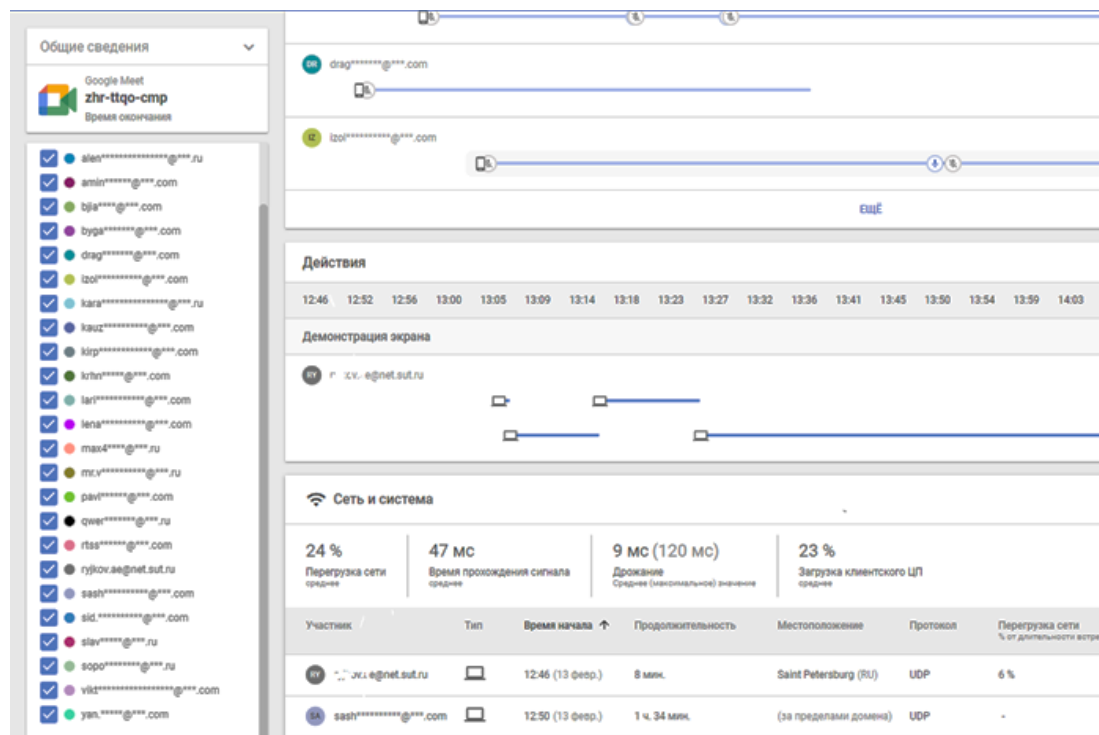


Рис. 7. Анализ статистических данных в системе Google Meet

Анализ показал (рисунок 8), что используются все три доступные модальности — видео, аудио-поток реального времени и статические (или анимированные) презентационные материалы при низкой степени «интерактивности». Основная нагрузка в рассмотренной ИС ожидаемо создается трафиком данных (презентационные материалы) и в меньшей степени — аудио- и видеокomпонентами. Интерактивные инструменты, обеспечивающие двунаправленные потоки данных, используются крайне редко.

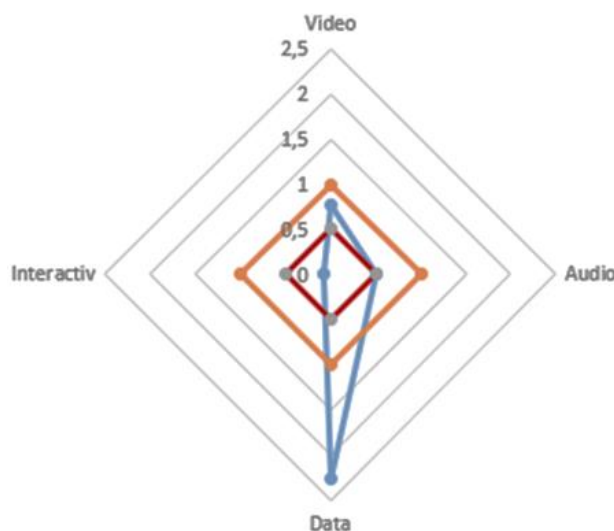


Рис.8. Варианты информационного взаимодействия в СДО СПбГУТ

Используемый для анализа ограниченный объем данных, состоящий из 100 отчетов Google Meet о занятиях, проведенных в течение трех недель, позволяет сделать только предварительный вывод о правомерности использования предложенной модели и подтверждает гипотезу о характере распределения полимодальной нагрузки в процессе занятия. В то же время для выявления закономерностей, характеризующих изменение объемов и полимодальной структуры информационных потоков в СДО ИС, необходимо продолжение эксперимента в течение не менее, чем семестра или учебного года. Для исследования остается открытым вопрос о специфике трафика для различных направлений подготовки — технических и гуманитарных. В целом образовательная система представляет хороший полигон для отладки методик анализа ИС в силу предопределенных алгоритмов деятельности последней.

### Заключение

Рассмотренная ДМИ служит надежным фундаментом для анализа ИС и в частности образовательного процесса и обеспечивающих его технологических систем:

– ДМИ позволяет выделить всех участников образовательного процесса, как непосредственных, так и опосредованных;

– она позволяет определить и зафиксировать информационные потоки, определить их количественные характеристики и сформулировать требования (пропускную способность канала, нагрузочные характеристики) к системам, обеспечивающим функционирование современной образовательной организации;

– будучи формализованной и количественно измеримой, ДМИ позволяет проводить строгий анализ и сравнение конкретных реализаций образовательного процесса, что, в свою очередь, позволяет не только выбирать наиболее подходящие реализации, но и формулировать задачи оптимизации процессов в ИС.

Ограниченный по объему эксперимент подтвердил возможность использования предложенной модели для анализа информационных процессов в образовательных системах.

Перспективным направлением представляется использование ДМИ для формулировки задачи оптимизации информационных процессов в прикладных, в том числе образовательных, системах по выбранным критериям.

### Литература

1. Щетинина Н. Е. Роль информационных технологий в современном образовании // Вопросы педагогики. № 11–1. 2021. С. 455–459. EDN: JQGSHR
2. Сотников А. Д., Катасонова Г. Р. Модель количественной оценки характеристик тематической связности образовательных программ // Фундаментальные, поисковые, прикладные исследования и инновационные проекты: сборник трудов Национальной научно-практической конференции (Москва, 10–11 ноября 2022 г.). М., 2022. С. 528–531. EDN: NDOTNW
3. Соломко Ю. С., Сотников А. Д. Использование доменной модели для описания прикладных инфокоммуникационных систем в образовании // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2021): сборник научных статей X Международной научно-технической и научно-методической конференции (Санкт-Петербург, 24–25 февраля 2021 г.). СПб.: СПбГУТ, 2021. Т. 3. С. 441–447. EDN: WWTTYE
4. Арзуманян Ю. В., Вольфсон М. Б., Захаров А. А., Катасонова Г. Р., Сотников А. Д. Модели учебных программ для задач оптимизации при конструировании индивидуальных образовательных траекторий // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2021): сборник научных статей X Международной научно-технической и научно-методической конференции (Санкт-Петербург, 24–25 февраля 2021 г.). СПб.: СПбГУТ, 2021. Т. 3. С. 330–335. EDN: ТКУНХР
5. Сотников А. Д., Катасонова Г. Р. Структурная организация процессов когнитивного взаимодействия в образовании // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2017. № 1. С. 68–70. EDN: ZHZOKN
6. Катасонова Г. Р., Соломко Ю. С., Сотников А. Д. Анализ систем дистанционного обучения с использованием доменной модели инфокоммуникаций // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и обра-

зовании (АПИНО 2023): сборник научных статей XII Международной научно-технической и научно-методической конференции (Санкт-Петербург, 28 февраля – 01 марта 2023 г.). СПб.: СПбГУТ, Санкт-Петербург. 2023. Т. 4. С. 443–447. EDN: PDVBGT

7. Сотников А. Д. Структурно-функциональная организация услуг телемедицины в прикладных инфокоммуникационных системах: автореферат дисс. ... д-ра тех. наук: 05.13.12. СПб., 2007. EDN: NJGJMZ

8. Катасонова Г. Р., Соломко Ю. С., Сотников А. Д., Стригина Е. В. Модель информационных процессов в виртуальных средах // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2022): сборник научных статей XI Международной научно-технической и научно-методической конференции (Санкт-Петербург, 15–16 февраля 2022 г.). СПб.: СПбГУТ, Санкт-Петербург. 2022. С. 589–593. EDN: GESGOF

**Статья поступила 01 апреля 2024 г.  
Одобрена после рецензирования 04 апреля 2024 г.  
Принята к публикации 15 апреля 2024 г.**

### **Информация об авторах**

*Соломко Юлия Сергеевна* — аспирант кафедры бизнес-информатики Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича.

E-mail: yssolomko@gmail.com

*Сотников Александр Дмитриевич* — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры бизнес-информатики Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. E-mail: adsotnikov@sut.ru

# Using the Methodology of Describing Information Processes in the Master's Degree Program

Y. Solomko, A. Sotnikov ✉

The Bonch-Bruevich St.-Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

**Setting the task.** *The analysis and design of complex applied information systems based on architectural approaches, productive practices and effective models simultaneously demonstrates the absence of formalized quantitative models reflecting the fundamentally significant properties and characteristics of the systems under study. Applied fields with diverse requirements for information systems dictate a variety of approaches and methods that combine multiple aspects of activity, as, for example, in well-known architecturally oriented models. Business process-based methods are also widely used, as well as object-oriented models, and are effective in development and applied design tasks. There is a kaleidoscopic variety of “approaches”, “methodologies”, “design models” and development technologies, which makes it difficult to compare and determine preferences when choosing a model at the early stages of information system design. **The purpose of the work** is to identify key properties and characteristics that are common to a variety of applied information systems and suggest the possibility of quantitative assessment, as well as to consider the use of a domain model of infocommunications to create models of applied information systems. **The research methods** are based on the identification of information sources and consumers connected by an elementary act of information interaction and a formal description based on it of information flows of an infocommunication system for the purposes of further analysis. This approach is implemented using the domain model of infocommunications, which allows us to proceed to the description and quantification of the characteristics of the infocommunication system. **The elements of the novelty** of the work are the use of: an abstract domain model of infocommunications for the practical analysis of applied information processes in the field of education; a matrix description of the organization of information flows; quantitative characteristics for evaluating the quality of solutions with the possibility of setting and strictly solving the problem of optimizing the volume and speed characteristics of traffic in the system. **An example of using** the domain model of infocommunications to describe information processes in educational activities during the preparation of masters at St. Petersburg State University is considered, since educational activities are quite characteristic and at the same time a visual information process, where the studied properties and characteristics are clearly visible. **The result of the work** is a description of complex information flows in the educational process in order to analyze the structure, quantify and develop optimization procedures.*

**Keywords:** *information systems, infocommunication systems, domain model of infocommunications, educational process, information, modeling of information processes*

## Information about Authors

*Solomko Yulia* — Postgraduate Student at the Department of Business Informatics (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: yssolomko@gmail.com

*Sotnikov Alexander* — holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Business Informatics (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: adsotnikov@sut.ru

ДАТА ВЫХОДА В СВЕТ 17.05.2024

Ответственный редактор **Татарникова И.М.**

Выпускающий редактор **Берзина Е.В.**

Выпускающий редактор **Яшугин Д.Н.**

Дизайн: **Коровин В.М.**